

**Gezondheidsrisico's van
blauwalgen**



Gezondheidsrisico's van blauwalgen

Miguel Dionisio Pires

1202723-000

Titel

Gezondheidsrisico's van blauwalgen

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

Project

1202723-000

Kenmerk

1202723-000-ZWS-0008-vj27

Pagina's**Trefwoorden**

Cyanobacteriën, toxines, WHO, zwemwater, gezondheid

Samenvatting

De World Health Organization (WHO) heeft richtlijnen ontworpen voor concentraties van cyanobacteriën in recreatiewater. Deze richtlijnen zijn afgeleid door middel van toxiciteitsgegevens uit bestaande wetenschappelijke literatuur. De richtlijnen zijn omgeven door veel onzekerheden omdat er niet altijd een duidelijk verband is tussen het vóórkomen van cyanobacteriën en gezondheidsklachten. Er zijn in de literatuur verschillende concrete gevallen beschreven over de effecten van blauwalgen (en hun toxines) op de gezondheid van de mens. Gezondheidsklachten in het algemeen variëren van lichte symptomen zoals jeuk of andere huidirritaties, hoofdpijn en duizeligheid tot 'zwaardere' reacties zoals longontsteking, koorts en allerlei ontstekingen. In een enkele geval kan zelfs sterfte optreden. Mensen komen op verschillende manieren met blauwalgen in contact. Dit kan zijn via drinkwater, water dat gebruikt wordt voor hemodialyse in ziekenhuizen, voedsel en voedingssupplementen en waterrecreatie. Bij dit laatste heerst nog veel onduidelijkheid over ziek worden tijdens waterrecreatie (zoals zwemmen) als gevolg van blootstelling aan cyanobacteriën. Deze studie heeft tot doel een overzicht te geven van de bestaande literatuur over gezondheidseffecten van cyanobacteriën na blootstelling via recreatiewater.

Bij dit laatste moet vooral gedacht worden aan zwemmen in (semi-) natuurlijke wateren. Tijdens het zwemmen kunnen mensen worden blootgesteld aan blauwalgen en hun toxines door direct contact, inademen en opname. Daar waar een blauwalgenbloei kort optreedt is het onwaarschijnlijk dat mensen chronische risico's lopen, maar daar waar bloeien en/of drijfslagen lange tijd aanhouden kunnen sub-acute of sub-chronische risico's wel degelijk aanwezig zijn. Acute symptomen zijn het meest waarschijnlijk. Deze zijn meestal wat milder (zoals hoofdpijn en koorts). In het algemeen moet echter geconcludeerd worden dat het moeilijk is om een oorzaak-gevolg relatie te leggen tussen de aanwezigheid van cyanobacteriën in recreatiewater en gezondheidsklachten bij recreanten.

In Nederland is er elk jaar veel discussie over welke normen omtrent cyanobacterie concentraties gehanteerd dienen te worden. Door veel beheerders worden de WHO richtlijnen als streng ervaren waardoor zwemwateren vaak lang gesloten moeten blijven. RWS Waterdienst wil daarom weten welke normen voor zwemwateren in andere landen gehanteerd worden. Tweede doel van deze studie is om te kijken welke normen voor cyanobacterie concentraties in zwemwateren in andere landen gehanteerd worden.

Een aantal landen hanteert de WHO-richtlijnen voor recreatiewater (soms met zelf gedefinieerde drempels) of hanteert zelf opgestelde richtlijnen. Landen die niet de WHO richtlijn volgen (of een andere richtlijn) hebben enkel een norm voor drinkwater. In een aantal landen ontbreekt er kennis over cyanobacteriën of worden cyanobacteriën in recreatiewater niet als een probleem gezien.

Titel

Gezondheidsrisico's van blauwalgen

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst

Project

1202723-000

Kenmerk

1202723-000-ZWS-0008-vj27

Pagina's

Er is al veel gepubliceerd over negatieve effecten van cyanobacteriën op organismen (Codd 2000, niet enkel blootstelling via recreatiewater) dat er reden genoeg is om een voorzichtige houding aan te nemen bij de vorming van cyanobacteriënbloei en/of drijfslag in recreatiewater. De meeste gezondheidsrisico's in recreatiewateren zijn te verwachten bij (aanhoudende) drijfslagen. Wanneer er pas actie ondernomen wordt nadat een drijfslag opgemerkt is dan betekent dit dat eerdere tekenen van mogelijke drijfslagvorming niet opgemerkt zijn. Monitoring zou daar beter op moeten inspelen. Deze zou vanaf de lente frequenter moeten worden om de vorming van een cyanobacteriebloei beter te kunnen blijven volgen. Gecombineerd met weersvoorspellingen moeten drijfslagen dan op tijd opgemerkt kunnen worden. Omdat het niet mogelijk is om mensen water in te sturen waarvan bekend is dat er zich cyanobacteriën in bevinden is het lastig om directe effecten van cyanobacteriën op de gezondheid van recreanten aan te tonen. Een methodiek die hier in de buurt komt is door recreanten een vragenlijst te laten invullen waarin vragen gesteld worden over de gezondheidstoestand van deze recreanten voor en na het recreëren.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	jun. 2010	Miguel Dionisio Pires		David Burger		Toon Segeren	
				Wergroep Cyanobacteriën			

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Cyanobacteriën	3
3 Gifstoffen en gevaren	5
3.1 Hepatotoxines	5
3.2 Neurotoxines	5
3.3 Cytotoxines	5
3.4 Dermatotoxines	5
4 Blootstelling aan cyanobacteriën	7
5 Casussen	9
6 Welke normen hanteren andere landen?	13
7 Discussie	15
8 Conclusies en aanbevelingen	17
Referenties	18

1 Inleiding

Sinds 2006 is er een nieuwe Europese zwemwaterrichtlijn. Deze richtlijn schrijft het maken van een zwemwaterprofiel per locatie voor. In dit zwemwaterprofiel wordt de invloed van vervuiliingsbronnen op de waterkwaliteit in kaart gebracht en gekwantificeerd. In de nieuwe richtlijn worden blauwalgen (cyanobacteriën) expliciet genoemd als gevaar voor de zwemwaterkwaliteit waar adequaat mee moet worden omgegaan. Normen worden daarin echter niet genoemd. De World Health Organization (WHO 2003) heeft hiervoor wel richtlijnen ontworpen. Deze richtlijnen zijn afgeleid door middel van toxiciteitgegevens uit bestaande wetenschappelijke literatuur. De richtlijnen zijn echter ook omgeven door veel onzekerheden omdat er niet altijd een duidelijk verband is tussen het vóórkomen van cyanobacteriën en gezondheidsklachten.

In deze studie zal worden ingegaan op de gezondheidseffecten van cyanobacteriën na blootstelling via recreatiewater. Cyanobacteriën, hun gifstoffen en gevaren daarbij zullen behandeld worden. Ook zullen er casussen beschreven worden van incidenten die zich hebben voorgedaan waar mensen in contact kwamen met cyanobacteriën in recreatiewater.

In Nederland is er elk jaar veel discussie over welke normen omtrent cyanobacterie concentraties gehanteerd dienen te worden. Door veel beheerders worden de WHO richtlijnen als streng ervaren waardoor zwemwateren vaak lang gesloten moeten blijven. RWS Waterdienst wil daarom weten welke normen voor zwemwateren in andere landen gehanteerd worden. Er is daarom gekeken of er landen zijn die de WHO norm voor cyanobacteriën in recreatiewater hanteren of juist niet. Voor deze laatste groep zullen ook de redenen genoemd worden waarom ze niet de WHO volgen.

In de discussie zal worden ingegaan op het belang van de WHO norm of een anderzijds strenge norm voor cyanobacteriën in zwemwater. Tevens zullen er aanbevelingen gedaan worden voor een beter inzicht in gezondheidseffecten van cyanobacteriën.

2 Cyanobacteriën

De meeste cyanobacteriën zijn aerobe, fotoautotrofe organismen. Dat wil zeggen dat ze fotosynthese gebruiken met licht als energiebron in de aanwezigheid van zuurstof (O_2 , dat tevens als product van fotosynthese ontstaat). Voor zover onderzocht (bijv. voor *Microcystis*) blijken veel cyanobacteriën overigens ook in staat onder anaerobe condities te groeien, o.a. door het uitvoeren van melkzuurgisting. Cyanobacteriën hebben normaliter slechts water, CO_2 , anorganische stoffen en licht nodig (Mur et al. 1999). Ze worden in alle habitats ter wereld gevonden, ook in terrestrische (bijv. als symbiont van korstmossen) maar vooral in zoet –en zoutwater milieu's. Het feit dat ze onder vrijwel alle omstandigheden kunnen voorkomen (zoet, brak –en zoutwater, warme en koude waterbronnen) laat zien dat ze zich hebben aangepast aan een veelvoud van omstandigheden en 'tegen een stootje kunnen'. Cyanobacteriën behoren tot de oudste levensvormen op aarde. Ook bloeien van deze organismen zijn allesbehalve een recent fenomeen. Verwijzingen naar het verkleuren van water o.i.v. algenbloei vindt men o.a. in het Oude Testament en het werk van Shakespeare. Bloeien van cyanobacteriën horen van nature thuis in ecosystemen als meren en plassen. Het is een illusie te denken dat het mogelijk is de groei van cyanobacteriën volledig te beheersen door manipulatie van externe condities. Evenmin is het wenselijk deze natuurlijke component van het fytoplankton volledig te doen verdwijnen. Wel is duidelijk dat door eutrofiëring de omvang van en overlast door cyanobacteriebloei zijn toegenomen.

3 Gifstoffen en gevaren

3.1 Hepatotoxines

Hepatotoxines zijn de meest voorkomende cyanobacteriële toxines. Tot deze groep behoren de microcystines en nodularines (deze laatste komt typisch voor in brak water). In testproeven met o.a. muizen veroorzaken hepatotoxines bloedingen in levers binnen een paar uur. Microcystines worden gevonden in de geslachten *Anabaena*, *Microcystis*, *Planktothrix* (vroeger bekend als *Oscillatoria*), *Nostoc* en *Anabaenopsis*. Nodularine komt enkel voor in *Nodularia spumigena*. Microcystines worden vaak geassocieerd met sterfte van vissen en vogels in ecosystemen waar hoge bloeien van cyanobacteriën aangetroffen worden (Ibelings et al. 2004, Krienitz et al. 2003). Ze zijn water oplosbaar maar zitten ten tijde van bloeien vooral in de cellen. Pas wanneer er massale celsterfte optreedt van blauwalgen dan komen ze in het water terecht.

3.2 Neurotoxines

Tot de neurotoxines behoren 1) anatoxine-a en homoanatoxine, 2) anatoxine-a(S), 3) saxitoxines en de recent beschreven β -N-methylamino-l-alanine (BMAA). Neurotoxines zijn berucht om het vergiftigen van dieren. In labtesten met muizen leiden ze binnen een paar minuten tot het stoppen van ademen. Anatoxine-a kan voorkomen in *Anabaena*, *Planktothrix* en *Aphanizomenon*. Homoanatoxine komt voor in *Planktothrix*. Anatoxine-a(S) wordt in *Anabaena* gevonden. Saxitoxines worden gevonden in *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Lyngbya* en *Cylindrospermopsis*. BMAA wordt is in bijna 20 geslachten gevonden (o.a. in *Microcystis*, *Lyngbya*, *Nostoc*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* en *Cylindrospermopsis*) en in zowel zoet, brak, zout water, hete bronnen en zelfs in terrestrische cyanobacteriën (Cox et al. 2005). BMAA wordt in verband gebracht met Alzheimer (Metcalf & Codd 2009).

3.3 Cytotoxines

Tot deze groep van toxines behoren cylindrospermopsine en deoxy-cylindrospermopsine. Ze werden gevonden in de geslachten *Cylindrospermopsis*, *Umezakia*, *Aphanizomenon*, *Anabaena* en *Raphidiopsis* (Fastner et al. 2003). Ze verschillen van de andere type toxines o.a. omdat ze een compleet andere mechanisme van toxiciteit hebben. Ze remmen namelijk de eiwitsynthese en veroorzaken daardoor necrose in de lever, nieren, milt en longen (Lurling & van Dam 2009).

3.4 Dermatotoxines

Dermatotoxines worden in twee groepen onderverdeeld (Lurling & van Dam 2009): 1) lipopolysacchariden (LPS) en 2) aplysiatoxines, debromoaplysiatoxines en *Lyngbyatoxines*. Dermatotoxines veroorzaken irritaties aan huid of ogen en kunnen ook leiden tot koorts. De aplysiatoxines, debromoaplysiatoxines en *lyngbyatoxines* worden geproduceerd door (vooral de mariene varianten van) *Lyngbya*, *Planktothrix* en *Schizothrix*. LPS komt vooral voor in de celwand van alle Gram negatieve bacteriën, inclusief cyanobacteriën (Chorus & Bartram 1999). Ondanks dat LPS bekend staat om irritaties aan huid of ogen te veroorzaken is echter nooit aangetoond dat cyanobacteriële LPS bij de mens dit soort reacties heeft veroorzaakt (zie ook volgend hoofdstuk).

4 Blootstelling aan cyanobacteriën

Mensen kunnen blootgesteld worden aan cyanobacteriën op verschillende manieren:

- 1 opname via de mond (drinkwater, voedsel, per ongeluk inslikken van water tijdens recreatie);
- 2 blootstelling via de huid;
- 3 inademen.

Het binnenkrijgen van cyanobacteriën via de mond is de belangrijkste weg van gevaar. Voor zwemwater echter zijn de punten 2 en 3 hierboven echter ook belangrijk. Opname via de mond gebeurt wanneer gifhoudende cyanobacteriën in water opduiken, die bedoeld is voor drinkwater. Van belang hierbij is dat het zuiveringsproces naar behoren werkt. In natuurlijke zwemwateren kunnen mensen in contact komen met cyanobacteriën door huidcontact, inademen (fontein die het water opspuit) en inslikken van water. In wateren waarin bloeien of drijfslagen van korte duur zijn, zijn chronische risico's (zoals levernecrose) onwaarschijnlijk, maar daar waar de bloeien en drijfslagen aanhouden moet hiermee rekening gehouden worden (Funari & Testai 2008). In Nederland zijn potentiële problemen vooral te verwachten bij recreatieve activiteiten (van Riel et al. 2007).

Naast de hierboven beschreven wegen van gevaar is er ook een mogelijkheid om cyanotoxines binnen te krijgen via hemodialyse (in ziekenhuizen) waar vervuild water is gebruikt. In Nederland heeft zoiets zich echter nooit voorgedaan (van Riel et al. 2007).

Risico's van cyanotoxines voor de mens kunnen onderscheiden worden in acute (korte termijn) en chronische (lange termijn) effecten. In het algemeen worden acute effecten van cyanotoxines als meest bedreigend voor de menselijke gezondheid beschouwd (ongeacht blootstellingroute). Acute effecten van cyanotoxines op de menselijke gezondheid zijn meestal echter milde effecten, zoals hoofdpijn, koorts en blaren in de mond (Stewart et al. 2006, Turner et al. 1990). In enkele gevallen kunnen echter ergere symptomen optreden zoals longontsteking (Turner et al. 1990). In recreatiewateren zal het niet waarschijnlijk zijn dat chronische effecten op zullen treden omdat het daarvoor noodzakelijk is dat mensen vele dagen achter elkaar een recreatiewater bezoeken. Indien er tevens sprake is van bij bloeien die niet lang aanhouden dan is de kans op chronische effecten nog kleiner. Daar waar bloeien wel langer aanhouden en er veel recreatie is kunnen subacute/subchronische effecten mogelijk optreden (Funari & Testai 2008). Omdat acute effecten van cyanotoxines tijdens recreatieactiviteiten mild zijn wordt niet altijd een dokter geraadpleegd. Vele symptomen die horen bij vergiftiging door cyanobacteriën horen vaak ook bij ziektes zoals verkoudheid, griep of voedselvergiftiging. Vele wateren waarin een hoge biomassa van cyanobacteriën aanwezig is zijn eutroof (voedselrijk) en hebben daarom ook vaak hoge concentraties van andere bacteriën, zoals *E. coli* en intestinale enterococci, of pathogenen zoals *Cryptosporidium* sp. Als gevolg hiervan kan een diagnose, waarin mensen zijn blootgesteld aan water met veel cyanobacteriën, verkeerd gesteld worden en wordt er mogelijk geen verder onderzoek verricht. Hierdoor is de kennis over effecten van cyanotoxines bij blootstelling via recreatie klein. Gevaar hiervan is ook dat effecten van cyanotoxines via deze blootstellingroute onderschat kunnen worden (Funari & Testai 2008, Stewart 2004). Van de hepatotoxines (zie hoofdstuk 3) wordt microcystine-LR (MC-LR) beschouwd als één van de meest gevaarlijke (Funari & Testai 2008). De WHO norm voor drinkwater is daarom ook gebaseerd op de acute effecten van MC-LR waardoor de norm een conservatief element bevat wanneer men kijkt naar microcystines in het algemeen.

Acute toxiciteit van MC-LR bij muizen via intraperitoneale injectie leidt tot een LD_{50}^1 van 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ gewicht. Wanneer MC-LR via de mond wordt toegediend dan is de LD_{50} echter 5000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ gewicht. Tussen verschillende MC varianten bestaat veel variatie in acute toxiciteit en ook tussen de verschillende cyanotoxines in het algemeen (hepatotoxines, neurotoxines, cytotoxines en dermatotoxines) bestaat veel verschil in acute toxiciteit, waarbij vooral anatoxines zeer gevaarlijk zijn (Funari & Testai 2008). Acute toxiciteit hoeft niet meteen op te treden. Bij cylindrospermopsine kunnen acute effecten (dood bij muizen) 24 tot 120 uur na toediening optreden. Er zijn gevallen bekend van sterfte bij dieren, buiten het lab, als gevolg van blootstelling aan water waarin cyanobacteriën zitten (Stewart et al. 2008). Onder andere koeien en honden stierven vrij snel na blootstelling aan water waarin zich cyanobacteriën bevonden. Voor koeien is er een geval bekend uit Australië, waarin 55 koeien stierven als gevolg van het drinken van water waarin cylindrospermospine zat (tevens in maag gevonden). Voor honden is er een geval bekend van anatoxine vergiftiging in Frankrijk waarin een hond van 25 kg na een paar dagen stierf en een hond van 2.5 kg zelfs vrij snel nadat hij uit het water kwam (Stewart et al. 2008).

1. *Lethal Dose 50%: de hoeveelheid van een stof waarbij 50% van een populatie testorganismen sterft.*

5 Casussen

Er zijn in de literatuur verschillende concrete gevallen beschreven over de effecten van blauwalgen (en hun toxines) op de gezondheid van de mens. Mensen komen op verschillende manieren met blauwalgen in contact. Dit kan zijn via drinkwater, water dat gebruikt wordt voor hemodialyse in ziekenhuizen, voedsel en voedingssupplementen en waterrecreatie (Funari & Testai 2008). Bij dit laatste moet vooral gedacht worden aan zwemmen in (semi-) natuurlijke wateren. Omdat deze studie bedoeld is ter onderbouwing van het blauwalgenprotocol zullen in dit hoofdstuk enkel gevallen beschreven worden die betrekking hebben op recreatieve activiteiten in of nabij zwemwater. Recreatieactiviteiten kunnen mensen blootstellen aan blauwalgen en hun toxines door direct contact, inademen en opname. Daar waar een blauwalgenbloei kort optreedt, is het onwaarschijnlijk dat mensen chronisch risico lopen, maar daar waar bloeien en/of drijfslagen lange tijd aanhouden kunnen sub-acute of sub-chronische risico's wel degelijk aanwezig zijn (Funari & Testai 2008). In de meeste gevallen zullen recreanten water met drijfslagen vermijden omdat mensen terughoudend zijn met zwemmen in troebel en stinkend water (van Riel et al. 2007). Daar waar geen drijfslagen zijn opgetreden kan overigens de hoeveelheid cyanobacteriën biomassa nog steeds hoog zijn.

Er zijn aanwijzingen dat consumptie van cyanobacteriën in de zomer van 2002 een 17 jarige tiener in Wisconsin (VS) fataal is geworden, nadat hij samen met vier vrienden verkoeling had gezocht in een vijver nabij een golfterrein (Behm 2003). Drie van de vijf tieners ontwikkelden lichte symptomen, maar de twee die een ferme slok water hadden binnen gekregen, ontwikkelden heftige symptomen zoals misselijkheid, overgeven en diarree. Eén van hen overleed 48 uur na contact en consumptie van cyanobacteriën. Onderzoek toonde aan dat beide waren blootgesteld aan *Anabaena flos-aquae* en anatoxine-a. Echter de tijdsspanne tussen blootstelling en overlijden van 48 uur was ook voor de bij het onderzoek betrokken expert, Dr W. Carmichael, een raadsel. Desalniettemin concludeerde hij "...the evidence points to anatoxin " (Behm 2003). Dit is de enige casus waarbij iemand waarschijnlijk sterft als gevolg van blootstelling aan blauwalgen tijdens recreatieactiviteiten.

Een epidemiologische studie met 852 recreanten laat een hogere incidentie aan diarree, braken, koorts, en irritaties aan ogen, oren en huid zien binnen een week na blootstelling aan cyanobacteriën, waarbij de klachten proportioneel zijn met blootstellingsduur en dichtheid van de cyanobacteriën (Pilotto et al. 1997).

In de Canadese provincie Saskatchewan bleken in 1959 verschillende meren hoge concentraties cyanobacteriën te bevatten (o.a. *Microcystis* en *Anabaena*). Veel dieren (honden, watervogels en koeien) vertoonden vreemd gedrag en stierven na blootstelling aan deze wateren. Tegelijkertijd kwamen er ook gevallen binnen van mensen die in het water hadden gezwommen en vrij snel daarna ziek waren geworden (hoofdpijn, diarree, spierpijn), waaronder 10 kinderen. Eén van de recreanten was een dokter die per ongeluk water had ingenomen nadat hij in een meer was gevallen waar op dat moment een drijfslaag aanwezig was en binnen een paar uur ziek werd. Tijdens een microscopische examinatie van zijn uitwerpselen werden *Microcystis* en *Anabaena* gevonden (Dillenberg & Dehnel 1960).

In 1989 werden in Engeland 20 soldaten onderworpen aan een zwem- en kanottraining in een meer met een dichte *Microcystis* bloei. De helft werd behoorlijk ziek (diarree, overgeven, buikpijn, keelpijn, zwerende lippen), en twee moesten met longontsteking (toegeschreven aan inademing van toxinen) worden opgenomen in het ziekenhuis (Turner et al. 1990).

Het bleek dat degenen die het slechts konden zwemmen en het meeste water hadden binnen gekregen ook het ziekst waren geworden.

Stewart et al. (2006) heeft beschikbare data (uit de Verenigde Staten en Australië) en informatie over mogelijke relaties tussen blootstelling aan blauwalgen gedurende recreatieactiviteiten en effecten op gezondheid verkend. Hieruit bleek dat blootstelling aan blauwalgen gepaard gaat met een variatie aan symptomen. Hieronder vallen zware hoofdpijnen, longontstekingen, koorts, spierpijn en duizeligheid. Er zijn ook beschrijvingen van allergische reacties die ontstekingen van slijmvlies en bindvlies, astma en netelroos tot gevolg hebben. Deze reacties komen overeen met ontstekingen als gevolg van lipopolysaccharides (LPS) endotoxines die bekend zijn van gram-negatieve bacteriën en ook toegeschreven worden aan cyanobacteriële LPS. Er is echter nooit aangetoond dat cyanobacteriële LPS ook dit soort ontstekingen bij mensen oproepen. Bovendien is het zo dat tijdens een blauwalgenbloei verscheidene organische stoffen, zoals aldehyden, terpenoïden en ketonen in het water aanwezig zijn die mogelijk ook irriterend werken op huid of vliezen.

Stewart et al. (2006) ondervroegen 1331 mensen (zwemwaterrecreanten) in Australië en Florida op klachten na 1 dag recreëren in wateren met verschillende categorieën van blauwalgbloeien. Daaruit bleek dat mensen die het water op die dag waren ingegaan problemen ondervonden aan de luchtwegen of andere symptomen vertoonden (Dit laatste werd in de studie samengevoegd en geclassificeerd als matige symptomen). Een niet significante relatie werd gevonden voor problemen aan de huid en oor en ook waren er koortssymptomen geobserveerd. Opvallend in deze studie was dat cyanotoxines niet vaak gevonden werden en indien gevonden dan waren de concentraties (voor microcystines, cylindrospermopsine en anatoxine) meestal laag ($1-2 \mu\text{g L}^{-1}$). Slechts één keer werd een concentratie van $12 \mu\text{g L}^{-1}$ gevonden. Er was geen relatie tussen gezondheidsklachten en fecale verontreiniging.

In een Australische rivier waar zich een hevige *Anabaena*-bloei voordeed is gekeken of deze hevige bloei mogelijk leidde tot problemen met het spijsverteringsstelsel of huidziektes. Het bleek dat mensen die onbehandeld water dronken duidelijke problemen met het spijsverteringsstelsel kregen of huidirritaties. De mensen die het water gebruikten voor enkel recreatie bleken geen echte problemen te ondervinden (El Saadi et al. 1995).

In Nederland heeft het RIVM in 2006 op een zwemlocatie 166 zwemrecreanten gevraagd naar gezondheidsklachten na zwemmen in water met meer dan $10 \mu\text{g L}^{-1}$ aan microcystinen. 16% van de zwemmers is ziek geworden na het zwemmen. Het ging hierbij om milde gezondheidsklachten zoals huidklachten, misselijkheid/braken, diarree en geïrriteerde ogen. Ook werden mensen ondervraagd die niet gezwommen hadden ($n=35$). Vanuit die groep werden geen gezondheidsklachten gerapporteerd (Schets et al. 2007). Een directe link met blauwalgen bleek in deze studie moeilijk omdat andere pathogene (micro-)organismen ook dit soort gezondheidseffecten teweeg brengen. De onderzoekers concludeerden wel dat het aannemelijk is dat recreanten aan recreatiewater regelmatig aan hoge concentraties cyanotoxines blootgesteld worden (hoger dan de zwemwaternorm van $20 \mu\text{g L}^{-1}$) ondanks de weinige meldingen van ernstige (neurologische) klachten als gevolg van blootstelling aan recreatiewater met blauwalgen. Dit laatste kan echter ook komen doordat de link tussen de gezondheidsklachten en aanwezigheid algen in recreatiewater veelal wordt overzien of onbekend is.

Leenen (1999) heeft gezondheidsklachten in Nederland als gevolg van zwemmen onderzocht voor de zomer van 1998. Leenen en De Roda Husman (2004) hebben hetzelfde gedaan voor de zomers van 2000, 2001 en 2002, gebaseerd op gegevens van de GGD's van verschillende provincies. De meeste klachten (tot 53 per jaar) hadden te maken met huidklachten, gevolgd door maag-darmklachten (gemiddeld 15 per jaar) (Leenen en De Roda Husman, 2004). In het geval van huidklachten konden de klachten van verschillende personen toegeschreven worden aan een gebeurtenis op één zwemlocatie.

Het is niet mogelijk de klachten te onderscheiden die het gevolg zijn van blauwalgen. Leenen en De Roda Husman (2004) suggereren dat huidklachten in toenemende mate veroorzaakt worden door blauwalgen en dat het aantal gerapporteerde gevallen een onderschatting is van het totaal, omdat milde klachten waarschijnlijk niet gerapporteerd worden en omdat artsen de symptomen vaak niet zullen wijten aan de blootstelling aan cyanotoxines.

Brouwer en Bronda (2005) rapporteren op basis van een enquête onder 1500 personen dat 10% aangeeft gezondheidsklachten ondervonden te hebben in het zwemseizoen van 2002 als gevolg van een slechte waterkwaliteit. Als klachten worden genoemd diarree en infecties aan ogen, oren en keel. 40% van de betrokkenen heeft een arts bezocht. De oorzaak van de klachten is niet gerapporteerd.

Er zijn ook studies bekend waarbij de effecten van blauwalgenbloei op waterrecreatieactivisten geen effect heeft. Het gaat hierbij dan om zeilen waarbij het directe contact tussen mens en blauwalg uiteraard een stuk minder is dan wanneer er gezwommen wordt (Philipp 1992, Philipp & Bates 1992).

Uit bovenstaande blijkt dat het erg moeilijk is om directe effecten van cyanobacteriën te koppelen aan gezondheidsklachten van waterrecreanten. Dit komt vooral omdat de gezondheidsklachten niet specifiek met blootstelling aan cyanobacteriën te maken hebben, maar ook andere oorzaken kunnen hebben. Een andere reden is dat symptomen niet ernstig genoeg zijn om een arts te raadplegen waardoor er geen onderzoek plaatsvindt.

6 Welke normen hanteren andere landen?

In veel landen wordt onderkend dat cyanobacteriën een gevaar vormen voor de volksgezondheid indien mensen ermee in contact komen tijdens verschillende vormen van recreatie. De World Health Organization (WHO) heeft richtlijnen opgesteld voor de relatieve kans van effecten van blootstelling aan cyanobacteriën en microcystinen tijdens recreatieve activiteiten, zoals zwemmen. Deze zijn weergegeven in Tabel 6.1.

Tabel 6.1 WHO richtlijnen voor de relatieve kans op acute gezondheidsproblemen gedurende recreatieve blootstelling aan cyanobacteriën en microcystines. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op *Microcystis* (voor kolom 2) en *microcystine-LR* (voor kolom 3). Chlorofyl kan gebruikt worden indien er geen enkele andere informatie beschikbaar is of als aanvulling op kolommen 2 en 3. Bron: WHO 2003 en Chorus & Bartram 1999.

Kans op acute gezondheidsproblemen	Cyanobacteriën (cellen/mL)	Microcystine-LR (µg/L)	Chlorofyl-a (µg/L)
Laag	< 20,000	< 10	< 10
Matig	20,000-100,000	10-20 ^a	10-50
Hoog	100,000-10,000,000	20-2,000	50-5,000
Zeer hoog	> 10,000,000	> 2,000	> 5,000

^aWHO adviseert om bij 20 µg/L actie te ondernemen. Dit wordt daarom vaak als de zwemwaternorm gehanteerd.

De WHO-richtlijnen zijn niet bindend maar zijn bedoeld als een advies voor landen waar cyanobacteriën in recreatiewateren mogelijke problemen voor de gezondheid veroorzaken. De normen die gehanteerd zijn zijn ook niet de complete 'waarheid'. Zoals ook door de WHO zelf wordt aangegeven (WHO 2003) is het moeilijk om 'veilige' concentraties aan te geven omdat er individuele verschillen bestaan in allergische reacties of huidgevoeligheden. Als cyanobacteriën onder zwem –of duikkleding accumuleren dan kunnen ze zelfs bij waterconcentraties, die onder de laagste norm zitten, problemen veroorzaken. Vanwege die onzekerheden hebben verschillende landen wel of geen WHO normen geadopteerd en ook hebben landen die de WHO-richtlijnen hanteren soms ook andere drempels gedefinieerd. In Tabel 6.2 is voor 18 landen aangegeven of de WHO richtlijnen voor recreatiewater geadopteerd is of niet. Daarnaast is, voor die landen die wel de WHO volgen, aangegeven welke drempels ze hanteren.

Tabel 6.2 Richtlijnen (wel of geen WHO) in verschillende landen en criteria die daarbij worden gehanteerd voor recreatiewateren. Bron: Chorus 2005.

Land	WHO?	celdichtheid	biovolume	microcystine
Australië	ja	50,000 cellen/mL	≥4 mm ³ /L ≥10 mm ³ /L	≥ 10 µg/L
België	? ¹			
Luxemburg	? ¹			
Brazilië	nee			
Tsjechië	ja	20,000 cellen/mL 100,000 cellen/mL		geen

Canada	ja	100,000 cellen/mL		20 µg/L
Denemarken	nee	-	-	-
Finland	? ²	-	-	-
Frankrijk	nee	20,000 cellen/mL 100,000 cellen/mL		> 25 µg/L
Duitsland	nee	-	-	10 en 100 µg/L
Griekenland	nee	-	-	-
Hongarije	nee	100,000 cellen/mL	-	10 µg/L
Italië	nee	5,000 cellen/mL	-	-
Nieuw Zeeland	ja	15,000 - cellen/mL	0.5 mm ³ /L 1.8 mm ³ /L 10 mm ³ /L	12 µg/L
Polen	nee	-	-	-
Zuid Afrika	ja ³	50,000 cellen/mL	≥4 mm ³ /L ≥10 mm ³ /L	≥ 10 µg/L
Spanje	nee	-	-	-
VS	verschillend ⁴			

¹Het is onduidelijk welke normen ten aanzien van cyanobacteriën België en Luxemburg hanteren en of die er zijn. Dit komt vooral door de relatief mindere kennis die er bij de autoriteiten is uit die landen tov andere landen (Chorus 2005). Inmiddels is een inhaalslag gaande.

²Waarschijnlijk wordt WHO niet gevolgd.

³Voor recreatiewateren volgt Zuid Afrika waarschijnlijk de normen die Australië hanteert (en dus WHO).

⁴De VS kennen op nationaal niveau geen richtlijnen voor cyanobacteriën in recreatiewateren. Veel staten in de VS echter, hebben zelf richtlijnen gedefinieerd waarbij een aantal staten de WHO normen volgt (Graham et al. 2009).

Van de 18 landen in Tabel 6.2 volgen 5 landen de WHO norm (Australië, Tsjechië, Canada, Nieuw Zeeland en Zuid Afrika). Daarnaast worden in de VS de WHO richtlijnen ook gevolgd, maar dit is per staat verschillend (sommige wel en sommige niet) (Graham et al. 2009). De redenen waarom sommige landen de WHO niet volgen is verschillend. In een enkel geval (Duitsland, Frankrijk, Italië) komt dat doordat er al heel lang nationale richtlijnen zijn opgesteld omdat cyanobacteriën vroeger al als probleem in recreatiewateren werden onderkend. Deze zelf opgestelde richtlijnen komen grotendeels tot stand op basis van (locale) studies naar toxiciteit van cyanobacteriën (net zoals WHO). In veel landen bestaat enkel een richtlijn voor drinkwater (Brazilië, Spanje, Polen, Hongarije). Er zijn ook landen waar de plaatselijke autoriteiten cyanobacteriën in recreatiewateren niet als probleem willen zien (Griekenland) of er relatief weinig kennis over hebben (België, Luxemburg).

Conclusie: een aantal landen hanteert de WHO-richtlijnen voor recreatiewater (soms met zelf gedefinieerde drempels) of hanteert zelf opgesteld richtlijnen. Landen die niet de WHO richtlijn volgen (of een andere richtlijn) hebben enkel een richtlijn voor drinkwater (WHO), ontbreken kennis over cyanobacteriën en/of zien cyanobacteriën in recreatiewater niet als een probleem.

7 Discussie

Uit hoofdstuk 5 blijkt dat het moeilijk is om een oorzaak-gevolg verband te leggen tussen het optreden van ziekteverschijnselen na recreatieactiviteiten in buitenwater en cyanobacteriën. De oorzaken hiervoor zijn verschillend. In veel gevallen zijn de symptomen niet ernstig genoeg bevonden door mensen om een arts te raadplegen (Stewart 2004). Ook ontbreekt er nog steeds veel kennis over cyanobacteriën bij beleidsmedewerkers, beheerders, recreanten en artsen waardoor veel casussen waarschijnlijk niet de juiste diagnose stellen bij het optreden van gezondheidsklachten na zwemmen in recreatiewater. Het mogelijk in het water aanwezig zijn van andere stoffen of ziekteverwekkers zoals fecale coliforme bacteriën maakt het extra lastig om een link te leggen tussen cyanobacteriën in het water en gezondheidsklachten. Er is echter al zoveel gepubliceerd over negatieve effecten van cyanobacteriën op organismen (Codd 2000) dat dit op zich al reden genoeg is om een voorzichtige houding aan te nemen bij de vorming van cyanobacteriënbloei en/of drijfslag. Dit is extra belangrijk omdat we nog niet alle cyano-toxinen kennen en er steeds meer ontdekt worden die ook daadwerkelijk in Nederlandse wateren te vinden zijn (Faassen et al. 2009).

Uit het werk van Stewart et al. (2006, zie Hoofdstuk 5) volgde dat veel mensen gezondheidsklachten kregen na een dag zwemmen in water met cyanobacteriën, vooral in water met veel cyanobacteriën. De concentraties toxines bleken in de meeste gevallen erg laag te zijn (veel lager dan de WHO norm). Fecale verontreiniging bleek niet gecorreleerd te zijn met de gezondheidsklachten. Mensen die onlangs ziek waren geweest of die zich ziek voelden op de dag van recreatie werden niet meegenomen in de studie, waardoor er enkel is gekeken naar gezonde mensen. Het optreden van gezondheidsklachten en lage concentraties toxines doet vermoeden dat cyanobacteriën andere eigenschappen en (onbekende) toxines hebben die ook voor gezondheidsklachten kunnen zorgen bij mensen. Het onderzoek van Stewart et al. (2006) pleit er dan ook voor dat de huidige normen van de WHO in ieder geval niet te streng zijn en eerder omlaag dan omhoog zouden moeten gaan.

Van Riel et al. (2007) stellen in hun artikel dat ernstige gezondheidseffecten bij mensen niet snel te verwachten zijn na recreatieve blootstellingen omdat de meeste mensen terughoudend zijn met zwemmen in troebel en stinkend water. Van Riel et al. (2007) gaan echter voorbij aan het gedrag van spelende kinderen voor wie een drijfslag in het water (en opgehoopte blauwalgen aan de kant van het water) uiterst aantrekkelijk kunnen zijn. Bij deze leeftijdsgroep recreanten kunnen daarom juist wel ernstige gezondheidsklachten optreden, ook al omdat het hier gaat om een groep die fysiologisch gezien extra gevoelig is. Niet zwemmende recreanten, zoals waterskiërs, vermijden geen drijfslagen en kunnen daarom via de huid in contact komen met cyanobacteriën.

Niet alle landen hanteren de WHO richtlijn voor cyanobacteriën in zwemwater. Een aantal landen hebben hun eigen richtlijnen opgesteld die goed onderbouwd zijn met toxiciteitgegevens van casussen uit eigen land. Andere landen die de WHO norm niet hanteren kijken enkel naar drinkwater (en volgen dan wel vaak de WHO norm), hebben te weinig kennis of willen problemen niet zien. Schets & de Roda Husman (2005) rapporteerden dat GGD's en provinciën in de zomer van 2003 meer incidenten van vermoedelijk watergerelateerde gezondheidsklachten binnen hadden gekregen dan in voorgaande jaren. In 2003 hebben meer mensen gerecreëerd dan in de andere jaren als gevolg van een uitzonderlijke warmte.

Aangezien het de verwachting is dat uitzonderlijk warme zomers in de toekomst vaker zullen gaan optreden is het aannemelijk dat gezondheidsklachten als gevolg van zwemwaterrecreatie zich ook vaker zullen voordoen.

8 Conclusies en aanbevelingen

Het blijkt moeilijk om een oorzaak-gevolg relatie te leggen tussen enerzijds het optreden van cyanobacteriën in recreatiewateren en anderzijds de gezondheidsklachten bij recreanten. Dit komt doordat:

1. de symptomen niet specifiek zijn. Zo kunnen huidirritaties ook komen door andere organismen of verontreinigingen die zich in het water bevinden.
2. symptomen vaak niet ernstig genoeg zijn om een arts te raadplegen, zoals hoofdpijn.
3. er weinig kennis is over cyanobacteriën (en diens toxines) bij beheerders, recreanten en artsen waardoor vaak niet de juiste diagnose gesteld kan worden.

Een aantal landen hanteert de WHO-richtlijnen voor recreatiewater (soms met zelf gedefinieerde drempels) of hanteert zelf opgestelde richtlijnen. Landen die niet de WHO richtlijn volgen (of een andere richtlijn) hebben enkel een richtlijn voor drinkwater. In een aantal landen ontbreekt er kennis over cyanobacteriën of worden cyanobacteriën in recreatiewater niet als een probleem gezien.

De meeste gezondheidsrisico's in recreatiewateren zijn te verwachten bij (aanhoudende) drijfslagen. Wanneer er pas actie ondernomen wordt nadat een drijfslag opgemerkt is dan betekent dit dat eerdere tekenen van mogelijke drijfslagvorming (opkomst van cyanobacteriën) niet opgemerkt zijn. Monitoring moet daar op inspelen (Prof. Wayne Carmichael, persoonlijke communicatie). Deze zou vanaf de lente frequenter moeten worden om de vorming van een cyanobacteriebloei beter te kunnen blijven volgen. Gecombineerd met weersvoorspellingen moeten drijfslagen dan op tijd opgemerkt kunnen worden.

Het is juridisch niet mogelijk om mensen het water in te sturen, waar zich op dat moment cyanobacteriën bevinden, om de (directe) effecten van cyanobacteriën op de gezondheid van recreanten te bestuderen (en die te vergelijken met een groep recreanten die water in zijn gegaan waar zich geen cyanobacteriën bevonden) (Dr. Imke Leenen, persoonlijke communicatie). Hierdoor zal het lastig blijven om een link te leggen tussen cyanobacteriën en ziekteverschijnselen bij waterrecreanten. Als alternatief kan er aan waterrecreanten, die in contact komen met water waarin zich cyanobacteriën bevinden, gevraagd worden mee te werken bij het invullen van een vragenlijst waarin vragen gesteld worden over de gezondheidstoestand van deze recreanten voor en na waterrecreatie. Gecombineerd met informatie van recreanten op dezelfde locatie, die niet in contact komen met het water, en goede monitoring ter plekke (cyanobacteriën concentraties, toxinemetingen, metingen andere potentiële ziekteverwekkers etc.) kan dit veel informatie opleveren over ziekteverschijnselen na blootstelling aan cyanobacteriën in recreatiewater.

Referenties

- Behm, D. (2003) Coroner cites algae in teen's death. From the Sept. 6, 2003 editions of the *Milwaukee Journal Sentinel*.
- Brouwer, R. & R. Bronda (2005) The costs and benefits of a revised European Bathing Water Directive in the Netherlands. In: *Cost-Benefit Analysis and water Resources Management* (Brouwer R. & D. Pearce (2005), pp. 251-269. Edward Elgar, Cheltenham.
- Chorus, I. (2005) Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries. Federal Environmental Agency, Berlin.
- Chorus, I. & J. Bartram (1999) Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, London.
- Codd, G.A. (2000) Cyanobacterial toxins, the perception of water quality, and the prioritisation of eutrophication control. *Ecological Engineering* 16: 51-60.
- Cox, P.A., S.A. Banack, S.J. Murch, U. Rasmussen, G. Tien, R.R. Bidigare, J.S. Metcalf, L.F. Morrison, G.A. Codd & B. Bergman (2005) Diverse taxa of cyanobacteria produce β -N-methylamino-L-alanine, a neurotoxic amino acid. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102: 5074-5078.
- Dillenberg, H.O. & M.K. Dehnel (1960) Toxic waterbloom in Saskatchewan, 1959. *Canadian Medical Association Journal* 83: 1151-1154.
- El Saadi, O.E., A.J. Esterman, S. Cameron & D.M. Roder (1995) Murray River water, raised cyanobacterial cell counts, and gastrointestinal and dermatological symptoms. *Medical Journal of Australia* 162: 122-125.
- Faassen, E.J., F. Gillissen, H.A.J. Zweers & M. Lurling (2009) Determination of the neurotoxins BMAA (beta-N-methylamino-L-alanine) and DAB (alpha, gamma-diaminobutyric acid) by LC-MSMS in Dutch urban waters with cyanobacterial blooms. *Amyotrophic Lateral Sclerosis* 10: 79-84.
- Fastner, J., R. Heinze, A.R. Humpage, U. Mischke, G.K. Eaglesham & I. Chorus (2003) Cylindrospermopsin occurrence in two German lakes and preliminary assessment of toxicity and toxin production of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) isolates. *Toxicon* 42: 313-321.
- Funari E. & E. Testai (2008) Human Health Risk Assessment Related to Cyanotoxins Exposure. *Critical reviews in Toxicology* 38: 97-125.
- Graham, J.L., K.A. Loftin & N. Kamman (2009) Monitoring recreational freshwaters. *Lakeline Summer* 2009: 18-24.
- Ibelings B.W., K. Bruning, J. de Jonge, K. Wolfstein, L.M. Dionisio Pires, J. Postma & T. Burger (2005) Distribution of microcystins in a lake foodweb: no evidence for biomagnification. *Microbial Ecology* 49: 487-500.
- Krienitz, L., A. Ballot, K. Kotut, C. Wiegand, S. Pütz, J.S. Metcalf, G.A. Codd & S. Pflugmacher (2003) Contribution of hot spring cyanobacteria to the mysterious deaths of Lesser Flamingos at Lake Bogoria, Kenia. *FEMS Microbiology Ecology* 43: 141-148.
- Leenen, E.J.T.M. (1999) Gezondheidsklachten na recreatie in oppervlaktewater, zomer 1998. *Infectieziekten Bulletin* 10: 215-217.
- Leenen, E.J.T.M. & A.M. de Roda Husman (2004) Gezondheidsklachten in verband met recreatie in oppervlaktewater in de zomers van 2000, 2001 en 2002. *Infectieziekten Bulletin* 15: 178-183.
- Lurling M. & H. van Dam (2009) Blauwalgen: giftig groen. Stowa-rapport 2009-43.
- Metcalf, J.S. & G.A. Codd (2009) Cyanobacteria, neurotoxins and water resources: Are there implications for human neurodegenerative disease? *Amyotrophic Lateral Sclerosis*, Supp. 2: 74-78.

- Mur L.R., O.M. Skulberg & H. Utkilen (1999) Cyanobacteria in the environment. Pages 15-40 in I. Chorus and J. Bartram, eds. *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E & FN Spon, London.
- Philipp, R. (1992) Health risks associated with recreational exposure to blue-green algae (cyanobacteria) when dinghy sailing. *Water and Environment Journal* **13**: 110-114.
- Philipp, R. & A.J. Bates (1992) Health-risks assessment of dinghy sailing in Avon and exposure to cyanobacteria (blue-green algae). *Journal of the Institution of Water and Environmental Management* **6**: 613-620.
- Pilotto, L.S., R.M. Douglas, M.D. Burch, S. Cameron, M. Beers, G.R. Rouch, P. Robinson, M. Kirk, C.T. Cowie, S. Hardiman, C. Moore & R.G. Attewell (1997) Health effects of recreational exposure to cyanobacteria (blue-green algae) during recreational water-related activities. *Australian and New Zealand Journal of Public Health* **21**: 562-566.
- Schets, F.M. & A.M. de Roda Husman (2005) Gezondheidsklachten in relatie tot recreatie in oppervlaktewater in de zomer van 2003. *Infectieziekten Bulletin* **15**: 380-386.
- Schets, F.M., R. Italiaander & A.M. de Roda Husman (2007) Gezondheidsklachten mogelijk veroorzaakt door blootstelling aan cyanobacteriën (blauwalgen) in Nederlands zwemwater. *Infectieziekten Bulletin* **18**: 242-248.
- Stewart, I. (2004) Recreational exposure to freshwater cyanobacteria: epidemiology, dermal toxicity and biological activity of cyanobacterial lipopolysaccharides. PhD thesis University of Queensland, 418 pp.
- Stewart, I., P.M. Webb, P.J. Schluter, L.E. Fleming, J.W. Burns Jr, M. Gantar, L.C. Backer & G.R. Shaw (2006) Epidemiology of recreational exposure to freshwater cyanobacteria – an international prospective cohort study. *BMC Public Health* **6**: doi:10.1186/1471-2458-6-93.
- Stewart, I., A.A. Seawright & G.R. Shaw (2008) Cyanobacterial poisoning in livestock, wild mammals and birds – an overview. Chapter 28 in: *Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs* (K.H. Hudnell ed.). Book series *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Volume 619.
- Turner, P.C., A.J. Gammie, K. Hollinrake & G.A. Codd (1990) Pneumonia associated with cyanobacteria. *British Medical Journal* **300**: 1440-1441.
- Van Riel, A.J.H.P., F.M. Schets & J. Meulenbelt (2007) Gezondheidseffecten van blauwalgen. *Nederlands Tijdschrift voor de Geneeskunde* **151**: 1723-1728.
- WHO (2003) Guidelines for safe recreational water environments. Volume 1 – coastal and fresh waters.