

Cyanobacteriën in De Gijster

Nader onderzoek risico's en oplossingsrichtingen

Fout! Gebruik het tabblad Start om Titel toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.

Fout! Gebruik het tabblad Start om Ondertitel toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.

in opdracht van	Provincie Noord-Brabant
-----------------	-------------------------

Uitvoering door	drs. Y. Wessels, drs. A.J. Wagenvoort, dr.ir. E.J.T.M. Leenen
namens opdrachtgever	Dhr. D.M. Keeman

rapportnummer	code opdrachtgever	status
06.2483	1105547	Eindrapport

autorisatie	naam	paraaf	datum
opgemaakt	Drs. Y. Wessels		
gecontroleerd	Ing. C. Dijkers		
goedgekeurd	Dr. J.F. Postma		

Citeren als: AquaSense (2017). Fout! Gebruik het tabblad Start om Titel toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven. Fout! Gebruik het tabblad Start om OnderTitel toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.. In opdracht van: Provincie Noord-Brabant. Rapportnummer: 06.2483.

Inhoud

Samenvatting	3
1. Inleiding	7
2. Het probleem in kaart.....	9
2.1. Inleiding	9
2.2. Ontwikkeling cyanobacteriën in De Gijster	10
2.3. Het risico van cyanobacterietoxines	13
2.4. Geur- en smaakstoffen.....	16
2.5. Fysieke effecten van cyanobacteriën in zuivering ...	19
2.6. Samenvatting interview KIWA	20
2.7. Conclusie probleem	20
3. Oplossingsrichtingen.....	23
3.1. Selectie meest geschikte oplossingsrichtingen.....	23
3.2. Uitwerking en kostenraming geselecteerde oplossingsrichtingen.....	25
3.3. Conclusie oplossingsrichtingen	29
4. Literatuur.....	31
5. Bijlagen	33
Bijlage 1 Kentallen voedingsstoffen voor algen in de Biesbosch spaarbekkens van 1990 tot en met 200435	
Bijlage 2. Schematische weergave van de Evides drinkwaterzuiveringen	37
Bijlage 3. Interview KIWA (26 september te Nieuwegein) .	39
Bijlage 4. Wat gebeurde er precies in 1995?	45
Bijlage 5. Bandbreedtes zuiveringen	47

Fout! Gebruik het tabblad Start om Heading 1 toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.

Samenvatting

Inleiding

In de Biesbosch liggen drie spaarbekkens van Evides Waterbedrijf NV, waarin water uit de Maas tijdelijk wordt opgeslagen. In het laatste bekken wordt het water onthard, waarna het naar vier productielocaties wordt gepompt. Daar wordt het ruwe water gezuiverd en verwerkt tot drinkwater voor 1,6 miljoen consumenten. De zuivering in productielocatie Berenplaat is het grootst en bedient de helft van dit aantal.

Evides heeft aan de Provincie Noord-Brabant een verlenging aangevraagd van een in 1969 verleende ontgrondingvergunning. Door het verdiepen van de randzones van het spaarbekken De Gijster wil Evides cyanobacteriëngroei tegengaan. De Provincie Noord-Brabant heeft Grontmij | AquaSense opdracht gegeven tot nader onderzoek naar de problemen als gevolg van cyanobacteriën en mogelijke oplossingen.

Probleemanalyse

Er zijn drie typen problemen die samenhangen met cyanobacteriën bij de drinkwaterproductie door Evides. Alle drie worden ze bevorderd door het aanwezige ondiepe voorland in De Gijster:

- Sommige soorten cyanobacteriën produceren toxines (gifstoffen), die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens. In De Gijster komen soms concentraties voor, die de drinkwaternorm overschrijden. Omdat in het huidige onderzoek is gebleken dat er nog veel onzekerheden zijn rond de verwijderingspercentages van toxines op de productielocaties, is het niet zeker dat het toxinegehalte in het drinkwater altijd beneden de drinkwaternorm is. Omdat de hoeveelheid toxines in het water gerelateerd is aan de hoeveelheid cyanobacteriën, is de ontwikkeling van grote hoeveelheden algen ongewenst. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloeien. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker en langduriger cyanobacteriebloeien optreden, zal de kans op het ontstaan van overschrijdingen van de drinkwaternorm alleen maar toenemen.
- Een tweede probleem is de productie van geur- en smaakstoffen door bodembewonende cyanobacteriën. Deze geur- en smaakstoffen zijn ongevaarlijk voor de mens, maar ze geven het water al bij zeer lage concentraties een muffe smaak. Deze stoffen worden in bepaalde perioden geproduceerd, en zijn over het algemeen met inzet van extra middelen in de zuivering weer te verwijderen, maar dit brengt kosten met zich mee. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De

Gijster is er bij lage waterstanden een grote kans op de ontwikkeling van de bodembewonende cyanobacteriën, die deze stoffen produceren. Omdat lage waterstanden in de toekomst mogelijk vaker voor kunnen komen, neemt de kans op de productie van geur- en smaakstoffen toe.

- Een derde probleem vormen de fysieke effecten van cyanobacteriën. Bij een sterke toename van algen in het water, zoals bij cyanobacteriebloei, kunnen op de productielocaties zeven verstopt raken, waardoor niet alle zuiveringsstappen volledig worden doorlopen. In verband met de grote capaciteit is de kans dat dit gebeurt het grootst bij productielocatie Berenplaat. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloei. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker cyanobacteriebloei optreden, neemt de kans op problemen in het zuiveringsproces als gevolg van het verstopt raken van zeven ook toe.

Er wordt geconcludeerd dat er op dit moment reële kansen bestaan op problemen met de drinkwaterproductie die gerelateerd zijn aan cyanobacteriën. Enerzijds zijn er gezondheidsrisico's voor de consumenten van het drinkwater, met name van de productielocatie Berenplaat (845.000 consumenten). Deze risico's zijn op dit moment waarschijnlijk zeer klein, hoewel dit niet met zekerheid gesteld kan worden. Wel zeker is dat de risico's in de toekomst zullen toenemen. Anderzijds wordt het drinkwaterbedrijf in toenemende mate geconfronteerd met kosten voor het bestrijden van de effecten van cyanobacteriën.

Aangezien geconcludeerd is dat er reële kansen bestaan op problemen door hoge dichtheden cyanobacteriën, is het wenselijk om te zoeken naar oplossingen die gericht zijn op het tegengaan van cyanobacteriën. Aangezien ook duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de problemen, moet het verdiepen van dit voorland zeker worden onderzocht als oplossingsrichting.

Oplossingsrichtingen

Tijdens een projectoverleg is gebrainstormd over oplossingsrichtingen waarbij voor- en nadelen op een rijtje werden gezet, op het gebied van o.a. technische haalbaarheid, kosten en duurzaamheid. Per oplossingsrichting werden aan alle voor- en nadelen plussen en minnen toegekend, zodat de oplossingsrichtingen met elkaar vergeleken konden worden. De drie best scorende oplossingsrichtingen zijn geselecteerd om verder uit te werken.

- Verdiepen van het voorland. Deze oplossing is gericht op het tegengaan van cyanobacterieontwikkeling zowel in de waterkolom als op de bodem. Door het verdiepen van het voorland zal het water langs de rand minder snel opwarmen en beter gemengd worden met het diepe deel. Wanneer het ondiepe deel afgegraven wordt komt zand beschikbaar dat vanwege de goede kwaliteit kan worden

verkocht. Aan deze oplossingsrichting zijn geen jaarlijkse kosten verbonden (tabel 1)

- Omwoelen van de bodem. Dit gaat de ontwikkeling van bodembewonende cyanobacteriën tegen, maar niet die van de cyanobacteriën in de waterkolom. Het omwoelen wordt in een ander spaarbekken al toegepast. Met behulp van een bootje worden balken aan ijzeren kettingen over de bodem geslept. Op dezelfde manier kan dit ook in De Gijster toegepast worden, hoewel het te 'eggen' oppervlak veel groter is. Aangenomen wordt dat hiervoor twee nieuwe boten nodig zijn. De investeringskosten zijn hoog (ca. € 150.000,-).
- Optimalisatie beluchting. Deze oplossing is gericht op het tegengaan van ontwikkeling van cyanobacteriën in het ondiepe water in de randzone in De Gijster. Vanwege de geringe diepte van het voorland is horizontale luchtinjectie waarschijnlijk niet mogelijk. Voor een kostenraming is gekozen voor een constructie met schroeven, die het water vanuit de ondiepe randzone naar het diepe deel voortstuwen. De investeringskosten van deze optie zijn erg hoog (ca. € 750.000,-).
- Combinatie beluchten en omwoelen. De oplossingsrichting 'verdiepen van het voorland' is effectief tegen zowel bodembewonende cyanobacteriën, als tegen cyanobacteriën in de waterkolom. Om zonder deze oplossingsrichting toch beide typen cyanobacteriën tegen te gaan, kunnen de oplossingsrichtingen 'omwoelen van de bodem' en 'aanpassen beluchting' gecombineerd worden. Hiervoor dienen de kosten van beide oplossingen opgeteld te worden (tabel).

Tabel 1. Jaarlijkse kosten van de drie oplossingsrichtingen naast elkaar, alsmede van de combinatie van het omwoelen van de bodem en het aanpassen van de beluchting. De investeringskosten zijn hierin verdisconteerd.

Oplossingsrichting	Jaarlijkse kosten
1. Verdiepen voorland	€ 0,00
2. Omwoelen bodem	€ 37.500,00
3. Aanpassen beluchting	€ 94.000,00
Combinatie 2+3	€ 131.500,00

Conclusie oplossingsrichtingen

De optie 'aanpassen morfologie' komt als beste oplossingsrichting naar voren. Deze oplossingsrichting is brongericht, eenvoudig en robuust en pakt zowel de benthische als de planktonische cyanobacteriën aan. Naast mogelijke maatschappelijke weerstand zijn er geen andere nadelen, en de ingreep kan waarschijnlijk kostenneutraal worden uitgevoerd.

1. Inleiding

In de Brabantse Biesbosch heeft Evides Waterbedrijf N.V. (voorheen N.V. Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch) drie spaarbekkens (figuur 1). In deze spaarbekkens wordt water uit de Maas opgeslagen voor drinkwaterbereiding, zie tekstbox 'functie spaarbekkens'. In 1995 was er in deze spaarbekkens sprake van een sterke toename van cyanobacteriën (cyanobacteriën), waardoor er problemen optraden bij de zuivering van het water. Uit onderzoek bleek dat de sterke toename van cyanobacteriën werd mogelijk gemaakt door de ondiepe randzones van het eerste van de drie in serie geschakelde spaarbekkens: De Gijster.

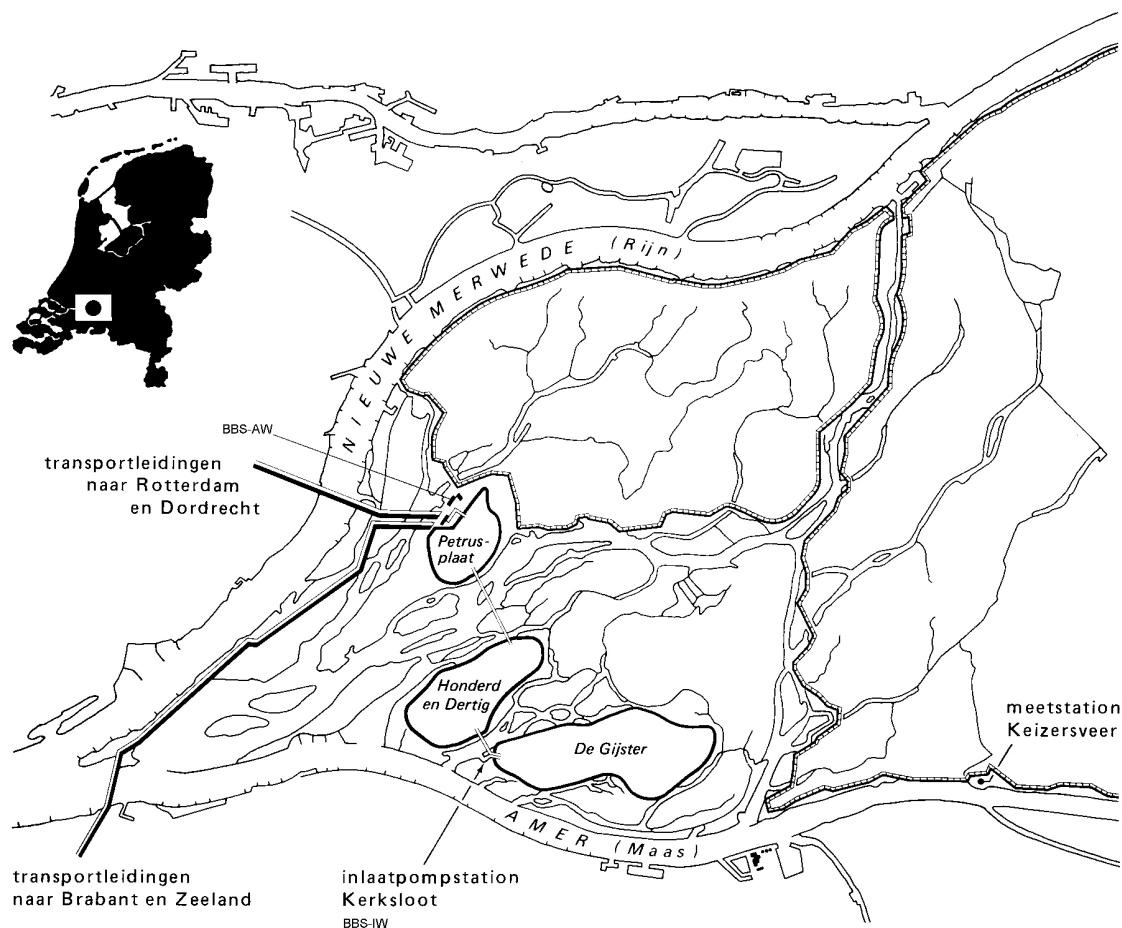
Om sterke cyanobacteriëngroei in de toekomst tegen te gaan heeft Evides aan de Provincie Noord-Brabant een verlenging aangevraagd van de in 1969 verleende ontgrondingvergunning. Het doel is om de randzones van het spaarbekken De Gijster alsnog op dezelfde diepte te brengen als de rest van het bekken. De Provincie Noord-Brabant is echter niet volledig overtuigd van het probleem en de voorziene oplossing door middel van een verdere ontgronding, dan wel het ontbreken van alternatieven om dit op te lossen. Daarom heeft de Provincie Grontmij | AquaSense gevraagd om nader onderzoek uit te voeren.



Figuur 1. De Biesbosch Spaarbekkens. Van voor naar achteren De Gijster, Honderd en Dertig en de Petrusplaat. Foto N.V. WBB Werkendam

In dit onderzoek wordt op basis van de nieuwste literatuur (na 2000), aangevuld met enkele interviews, een actueel overzicht gegeven van de ernst van het probleem in De Gijster in relatie tot de drinkwaterbereiding (hoofdstuk 2) en de meest geschikte oplossingsrichtingen (hoofdstuk 3).

Het functioneren van de drie spaarbekken in de Brabantse Biesbosch



Begin jaren zeventig zijn in de Brabantse Biesbosch drie grote spaarbekken aangelegd. Ingenomen water uit de Maas wordt tijdelijk hierin opgeslagen, voordat het wordt gezuiverd tot drinkwater. De totale opslagcapaciteit van de bekkens bedraagt 80 miljoen m³. Met de bekkens kan een periode van ruim twee maanden overbrugd worden, zonder dat de productie van drinkwater in gevaar komt. Een groot voordeel van deze bekkens is daarnaast, dat het Maaswater selectief wordt ingenomen. Hierdoor maken we uitsluitend gebruik van de beste kwaliteit water van de rivier. In de bekkens heeft het water een gemiddelde verblijftijd van bijna vijf maanden, waarbij het zelfreinigend vermogen ervoor zorgt dat de waterkwaliteit vanzelf sterk verbetert. In het laatste bekken wordt het water onthard, waarna het naar de vier productielocaties wordt gepompt (Baanhoek, Berenplaat en Kralingen in het Rijnmond-gebied en Braakman in Zeeuws-Vlaanderen). Daar wordt het ruwe water tot drinkwater verwerkt voor in totaal 1,6 miljoen consumenten. De zuivering in de Berenplaat is het grootst. Hier wordt drinkwater geproduceerd voor ongeveer de helft van het totaal aantal consumenten.

Bron: www.evides.nl

2. Het probleem in kaart

2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een analyse gegeven van de daadwerkelijke problemen en risico's van cyanobacteriënontwikkeling in De Gijster. Cyanobacteriën kunnen in een drinkwaterspaarbekken op verschillende manieren voor problemen zorgen.

Ten eerste kunnen sommige soorten cyanobacteriën toxines (gifstoffen) produceren, die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens. De aanwezigheid van toxines in de spaarbekkens hoeft nog niet direct een gevaar op te leveren, omdat ze vaak in lage concentraties voorkomen, en omdat ze tijdens de zuivering tot drinkwater op de productielocaties verwijderd kunnen worden. De cyanobacteriënontwikkeling in De Gijster en de bijbehorende risico's op het voorkomen van te hoge concentraties toxines in drinkwater worden toegelicht in respectievelijk paragraaf 2.2 en 2.3.

Een tweede probleem is de vorming van geur- en smaakstoffen. O.a. bepaalde soorten cyanobacteriën zijn hiervoor verantwoordelijk. Deze geur- en smaakstoffen zijn ongevaarlijk voor de mens, maar ze geven het water een muffe smaak en de verwijdering ervan brengt kosten met zich mee. Omdat deze geur- en smaakstoffen al bij zeer lage concentraties waarneembaar zijn, is de ontwikkeling van de cyanobacteriën, die deze stoffen produceren ongewenst. De ontwikkelingen in De Gijster worden besproken in paragraaf 2.4.

Een derde probleem zijn de fysieke effecten van cyanobacteriën. Bij een sterke toename van algen in het water in de spaarbekkens kunnen er problemen ontstaan in de zuiveringsstappen op de productielocaties. Dit heeft te maken met het verstopt raken van zeven. Dit probleem wordt besproken in paragraaf 2.5.

De kennis over bovenbeschreven problemen en risico's bij drinkwaterproductie is nog sterk in ontwikkeling. Daarom is de laatste stand van zaken op een rij gezet, aangevuld met een interview met deskundigen op het gebied van drinkwaterproductie. Een samenvatting van dit interview is te vinden in paragraaf 2.6.

In paragraaf 2.7 worden de conclusies van de probleemanalyse op een rijtje gezet.

2.2. Ontwikkeling cyanobacteriën in De Gijster

Voedingsstoffen en algenontwikkeling

In het spaarbekken De Gijster wordt Maaswater ingenomen. Dit water is het hele jaar door rijk aan voedingsstoffen. Voedingsstoffen zoals stikstof (N) en fosfor (P) vormen voor algen essentiële bouwstoffen, waarmee ze met behulp van lichtenergie celmateriaal kunnen opbouwen. Grote hoeveelheden aan de voedingsstoffen N en P kunnen algenbloei tot gevolg hebben. Door het voedselrijke Maaswater kunnen dus ook in De Gijster algenbloeien optreden.

Specifieke eigenschappen cyanobacteriën

Er zijn verschillende soorten algen, zoals groenalgen, bruinalgen en blauwalgen. Een meer correcte naam voor blauwalgen is cyanobacteriën. Binnen de groep cyanobacteriën bestaan soorten met specifieke eigenschappen, waardoor ze ondanks een lage groeisnelheid aan het einde van de zomer een grote biomassa kunnen bereiken. Dit zijn onder andere cyanobacteriën van de geslachten *Microcystis*, *Aphanizomenon* en *Anabaena*. Deze soorten kunnen gasvacuoles (eiwitstructuren waarin gas zit) aanmaken, waardoor ze lichter worden en snel naar de oppervlakte kunnen stijgen. Aan het oppervlak kunnen ze met behulp van licht celmateriaal aanmaken (fotosynthese), waarbij eerder in de diepere waterlagen opgeslagen voedingsstoffen worden gebruikt. Daarnaast bezitten enkele soorten over de aanleg om onder stikstofbeperkende omstandigheden met gespecialiseerde cellen (heterocysten) opgelost stikstofgas vast te leggen.

Bloeien van cyanobacteriën zijn vooral te verwachten aan het eind van de zomer als het water opgewarmd is, omdat deze algen warmteminnend zijn. Bij windstil weer kunnen dikke drijflagen ontstaan. Bloeien van cyanobacteriën en zeker drijflagen zijn zeer ongewenst in drinkwaterspaarbekkens, omdat ze stoffen kunnen produceren, die voor de mens toxisch zijn.

Beluchting o.a. om algenbloeien tegen te gaan

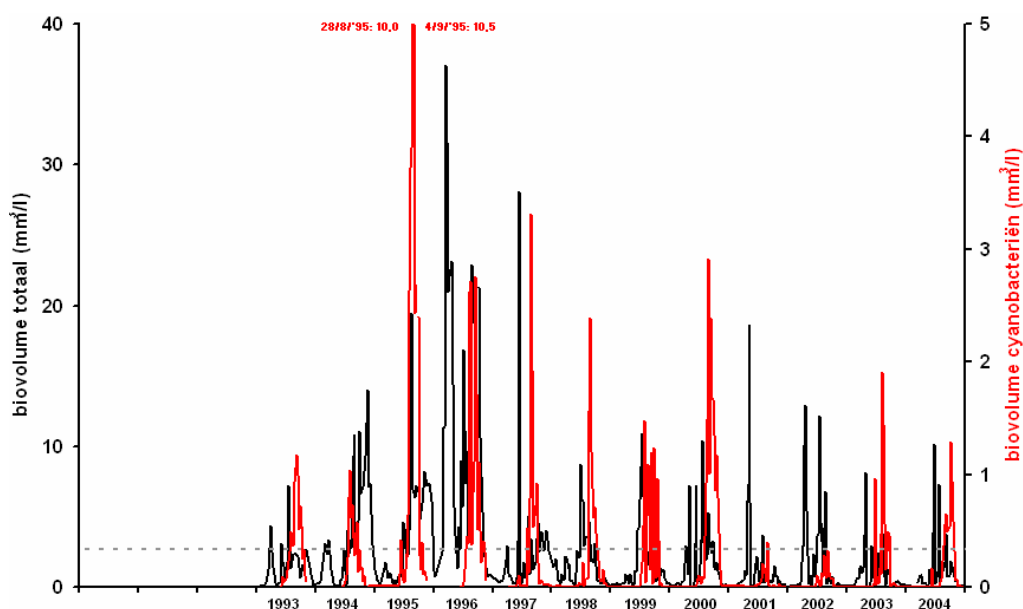
Het water in De Gijster en de twee procesbekkens wordt kunstmatig gemengd via injectie van lucht vanaf de bodem. Dit heeft een tweeledig doel. Enerzijds treedt hierdoor in de zomermaanden geen gelaagdheid van temperatuur en zuurstof op, waardoor zuurstofloosheid, rotting, fosfaat-nalevering en vissterfte voorkomen wordt. Anderzijds zorgt de beluchting ervoor dat algen naar de diepere delen getransporteerd worden, waar het geringe licht beperkend is voor groei. De totale hoeveelheid algen blijft mede door deze beheermaatregel laag vergeleken met de potentiële waarden (tabel 2.1).

Cyanobacteriënprobleem in 1995

In de nazomer van 1995 nam de biomassa van cyanobacteriën (cyanobacteriën) sterk toe in De Gijster en in het afgeleverde 'ruwe' water (figuur 2.1 en 2.2). Door de fysieke toename van algencellen in het ruwe water hebben de afnemende drinkwaterproductiebedrijven problemen ondervonden bij het zuiveringsproces (WBB, 1996), waardoor na zuivering nog steeds algencellen in het water voorkwamen (bijlage 4). Naar aanleiding van deze problemen is onderzoek gestart naar methodes voor het voorkomen van cyanobacteriegroei in de spaarbekkens en het verwijderen ervan.

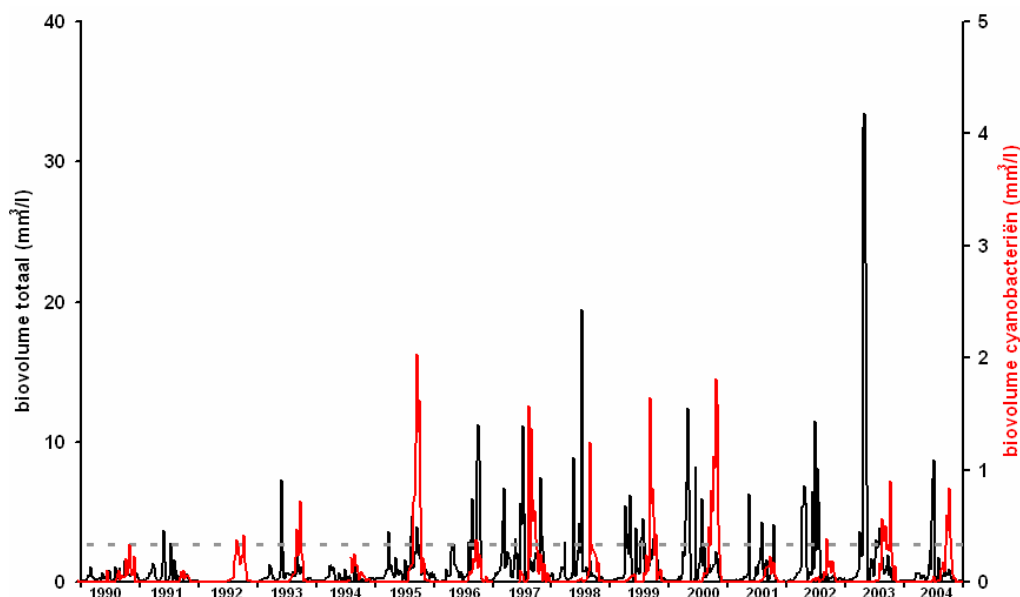
Tabel 2.1 Kengetallen aan algenbiomassa in de Biesbosch spaarbekkens van 1990 tot en met 2004. Potentiële biomassa is berekend op basis van aanwezige nutriëntengehalten (bijlage 1).

Parameter		Maas Keizersveer	Uitlaat De Gijster	Ruw water
potentiële algenbiomassa (µg chlorofyl/l) (naar: CUWVO, 1987)	5 ^e percentiel	130	81	34
	gemiddelde	220	130	66
	mediaan	200	130	63
	95 ^e percentiel	350	190	110
waargenomen algenbiomassa (µg chlorofyl/l)	5 ^e percentiel		2	2
	gemiddelde		13	8
	mediaan		8	6
	95 ^e percentiel		44	18



Figuur 2.1 Totale algenbiomassa en biomassa cyanobacteriën in De Gijster.
 —: totale biomassa algen; —: biomassa cyanobacteriën,
 - - - : grenswaarde voor luchtinjectie (0,33 mm³ cyanobacteriën/l¹).

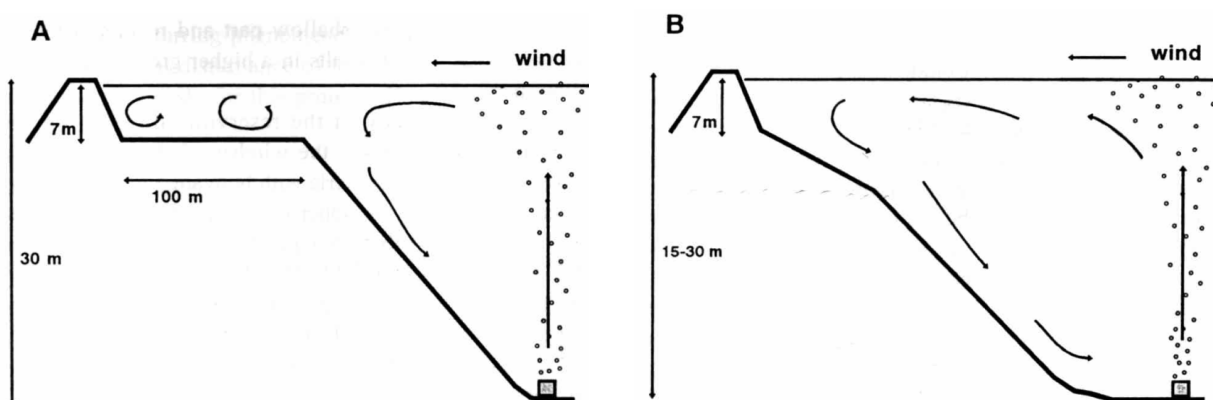
¹ De grenswaarde wordt als signaalwaarde voor hoge algenbiomassa gehanteerd. De waarde komt overeen met de drinkwaternorm van de WHO voor toxines (paragraaf 2.2), maar deze norm is niet van toepassing op dit ruwe water, aangezien het water daarna nog gezuiverd wordt.



Figuur 2.2 Totale algenbiomassa en biomassa cyanobacteriën in het ruwe water naar de zuiveringsinstallaties (Afgeleverde Water).
—: totale biomassa algen; —: biomassa cyanobacteriën;
- - -: grenswaarde voor luchtinjectie en melding aan afnemende zuiveringen (0,33 mm³ cyanobacteriën/l).

Morfologie De Gijster

Uit een uitgebreide modelstudie bleek dat een belangrijke oorzaak van de problemen is gelegen in de morfologie van het spaarbekken De Gijster (Ibelings, 1996). De Gijster is in vergelijking met de andere bekkens over een groot oppervlak (circa 110 ha.) relatief ondiep. Op dit ondiepe 'voorland' is de beluchting, die moet zorgen voor menging om algenontwikkeling tegen te gaan, weinig effectief (figuur 2.3). Het ondiepe voorland kan bij rustig warm weer leiden tot een snelle groei van drijfslaagvormende cyanobacteriën. De bloei in De Gijster vormt de ent voor de ontwikkeling in de twee procesbekkens. In deze bekkens zelf zijn ontwikkelingsmogelijkheden voor cyanobacteriën, door de vorm en grotere mengsnelheid, beperkt.



Figuur 2.3 Geschematiseerde dwarsdoorsnede van de effectiviteit van de kunstmatige menging door middel van de injectie van lucht in spaarbekken De Gijster (A) en spaarbekken Petrusplaat en Honderd en Dertig (B) (uit: van Breemen & Ketelaars, 1995).

Trend?

Sinds de problemen met cyanobacteriën in 1995 lijkt er een tendens naar hogere biomassa aan cyanobacteriën. In de laatste tien jaar was de maximale biomassa in vijf jaren hoger dan 1 mm³/l, terwijl dit in de jaren voor 1995 niet werd waargenomen (figuur 2.2). En niet alleen de maxima, maar ook de gemiddelde waarden zijn in de periode na 1995 hoger dan in de jaren voor 1995 (tabel 2.2).

Tabel 2.2 Kengetallen aan cyanobacteriën(cyanobacterie)biomassa in de Biesbosch spaarbekkens van 1990 tot en met 2004. n.a. = niet aangetroffen.

parameter		Uitlaat De Gijster	Uitlaat laatste spaar- bekken (Petrusplaat)
cyanobacteriën vóór 1995 (mm ³ /l)	5 ^e percentiel	0,07	n.a.
	gemiddelde	0,46	0,17
(tijdens groeiseizoen van juli tot en met oktober)	mediaan	0,37	0,03
	95 ^e percentiel	1,0	0,82
cyanobacteriën vanaf 1995 (mm ³ /l)	5 ^e percentiel	0,01	< 0,01
	gemiddelde	1,5	0,27
(tijdens groeiseizoen van juli tot en met oktober)	mediaan	0,74	0,12
	95 ^e percentiel	5,1	1,25

Toekomstverwachting algenbloeien

Als gevolg van nieuw ingezet beleid zoals de Kaderrichtlijn Water zullen de voedingsstoffenconcentraties in het oppervlaktewater in Nederland waarschijnlijk afnemen, waardoor de kans op algenbloeien in het algemeen afneemt. Er wordt echter voor het water in de Maas niet verwacht dat het fosfaatgehalte zodanig laag wordt, dat deze beperkend zal worden voor cyanobacteriebloeien. Voor 2015 wordt verwacht dat de situatie sterk lijkt op de huidige toestand (Regionaal Ambtelijk Overleg Maas, 2004). In de huidige toestand is het gemiddelde totaal-fosfaatgehalte in de Maas 0,3 mg/l P. Dit ligt ver boven de grens voor het voorkomen van cyanobacteriebloeien (0,1 mg/l P).

Daarnaast bestaat de algemene trend dat onze zomers warmer en droger worden als gevolg van 'global warming'. Gezien de relatie tussen de groei van cyanobacteriën en de temperatuur is het waarschijnlijk dat in de toekomst vaker en langduriger cyanobacteriebloeien optreden (Bresser et al., 2005). Dit betekent dat de kans op situaties zoals in 1995, met hoge biomassa's algen in het ruwe water, toeneemt en er dus een reëel probleem is.

2.3. Het risico van cyanobacterietoxines

Incidenten met toxines vooral met recreatiewater

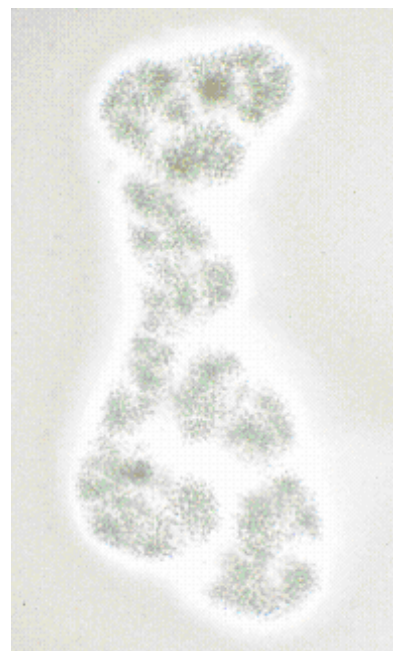
Sinds het einde van de negentiende eeuw is de toxiciteit van cyanobacteriën bij zoogdieren beschreven (Francis, 1878). Sindsdien zijn in eutrofe meren, verspreid over de gehele aarde, bloeien van toxische cyanobacteriën aangetroffen (Carmichael & Falconer, 1993). Vergiftiging door cyanobacterietoxines beperkt zich voornamelijk tot ziekte en sterfte in veestapels en wild, maar daarnaast zijn ook ziektegevallen (waaronder kanker) bij mensen beschreven, die

veroorzaakt zijn door drinkwater en wateren die voor recreatiedoeleinden worden gebruikt (Carmichael & Falconer, 1993). In Nederland zijn weinig gevallen van vergiftigingen door cyanobacterietoxines bekend (Kappers, 1973). De enkele incidenten betroffen in alle gevallen acute vergiftigingen als gevolg van recreatie in water met een hoge dichtheid aan cyanobacteriën. Van de warme zomer van 2003 zijn er geen ernstige incidenten bekend (Krot & Visser, 2003). Van vergiftigingen door drinkwater zijn in Nederland geen gevallen bekend (Wagenvoort et al., 2000). Uiteraard is het voorkomen van toxines in drinkwater niet gewenst, hetgeen dan ook regelmatig wordt onderzocht.

Onderzoek naar de hoeveelheid toxines in oppervlaktewater is echter relatief tijdrovend en kostbaar. Daarom wordt in plaats daarvan meestal de biomassa cyanobacteriën in de gaten gehouden. De biomassa cyanobacteriën is een maat voor de hoeveelheid toxines, die door deze algen geproduceerd kan worden.

Hoeveelheid toxines per blauwalgcel

In de Biesbosch spaarbekkens is het voorkomen van toxines meerdere malen onderzocht. Onderzoek uit 1998 en 2000 wees uit dat de populaties cyanobacteriën worden gedomineerd door de soort *Microcystis aeruginosa* (figuur 2.4). Deze soort produceert de toxine microcystine. Uit het onderzoek kwam ook naar voren dat de hoeveelheid toxine per cel sterk kan variëren (Wagenvoort et al., 2000; Hoogenboezem et al., 2004). In 1998 bedroeg het maximale gehalte 7,12 µg microcystine per mm³ cyanobacteriën, hetgeen overeen komt met 0,468 pg microcystine per *Microcystis*-cel. Het gemiddeld gehalte bedroeg 0,212 pg microcystine per cel (Wagenvoort et al., 2000). In 2000 waren de cellen in spaarbekken De Gijster minder toxisch (Hoogenboezem et al., 2004).



Figuur 2.4. Kolonie van *Microcystis aeruginosa* (foto A. Wagenvoort)

Hoeveelheid toxines per liter

Voor drinkwater is door de WHO (Falconer et al., 1999) een norm voor toxines voorgesteld: 1 µg toxine/l drinkwater. Voor het berekenen van veiligheidsniveaus werd door Falconer et al (1999) uitgegaan van een gemiddeld toxinegehalte van 0,2 pg per blauwalgcel ofwel 3 µg microcystine per mm³ cyanobacteriën. Dit komt goed overeen met de toxinegehalten per cel in De Gijster. Nu bekend is hoeveel toxines voorkomen per eenheid cyanobacteriën, kan de maximaal toelaatbare biomassa cyanobacteriën per liter berekend worden: 0,33 mm³ cyanobacteriën/l.

De hoeveelheid cyanobacteriën wordt in de Biesbosch spaarbekkens wekelijks gemeten. Bij overschrijding van deze waarde (0,33 mm³ cyanobacteriën/l) wordt de luchtinjectie aangezet, en worden de

afnemende zuiveringen gewaarschuwd dat er cyanobacteriën in het ruwe water aanwezig zijn.

Drijfslagen

De grootste kans op te hoge concentraties cyanobacteriën en toxines in het ruwe water is bij het ontstaan van drijfslagen. Bij de vorming van drijfslagen hopen cyanobacterietoxines zich sterk op: de concentratie toxines in drijfslagen kan factor 1000 hoger zijn dan in de rest van het water (Falconer et al., 1999). Echter, de kans dat een drijfslaag uiteindelijk naar de zuiveringslocaties wordt gepompt is zeer gering omdat drijfslagen zich aan het oppervlak bevinden, en het ruwe water enige meters onder het wateroppervlak wordt onttrokken.

Normoverschrijding drinkwater?

In de laatste 10 jaar bereikten cyanobacteriën in het ruwe water (dus voor zuivering tot drinkwater) frequent een biomassa hoger dan 1,2 mm³/l. De hoogst gemeten biomassa bedroeg in deze periode ruim 2 mm³/l. In dit ruwe water wordt dus regelmatig de drinkwaternorm overschreden, want deze waarden komen overeen met een toxinegehalte van 3,8 µg/l met een maximum van 6,7 µg/l.

Tot op dit moment werd echter verondersteld dat dit geen gevaar oplevert voor de volksgezondheid, omdat in de drinkwaterzuiveringen de toxines grotendeels worden verwijderd (tabel 2.3, naar Carpentier et al., 1999). Bij deze aanname kan alleen op de productielocatie 'de Berenplaat' in de huidige situatie (tot 2006) het toxinegehalte in het drinkwater een enkele keer boven de voorgestelde WHO-norm van 1 µg/l uitkomen. Ook dan zal direct gevaar voor de volksgezondheid zeer beperkt zijn, omdat de drinkwaternorm is opgesteld uitgaande van een levenslange blootstelling.

Tabel 2.3 Verwijderingspercentage van microcystine bij een levende populatie. De afzonderlijke zuiveringsschema's zijn in bijlage 2 opgenomen. Getallen voor de huidige situatie zijn gebaseerd op Carpentier et al (1999). Getallen Berenplaat vanaf 2006 zijn in dit onderzoek bepaald (bijlage 2).

Zuivering	Verwijdering (%)	Referentie
Baanhoek	99,9	Carpentier <i>et al.</i> (1999)
Berenplaat vóór 2006	54,4 – 86,5	Carpentier <i>et al.</i> (1999)
Berenplaat vanaf 2006	> 90	dit rapport
Berenplaat bij parallelbedrijf vanaf 2006*	10 – 90	dit rapport
Kralingen	99,9	Carpentier <i>et al.</i> (1999)
Braakman	99,98	Carpentier <i>et al.</i> (1999)

* Voor extra productiecapaciteit kan de voor- en nazuivering parallel geschakeld worden, zie bijlage 2. Dit gebeurt in principe alleen bij calamiteiten.

Uit meer recente literatuur (House et al., 2004) blijkt echter dat de veronderstelde verwijderingspercentages mogelijk te hoog zijn (bijlage 5), dus dat de drinkwaternorm vaker overschreden kan worden. Dit geldt voornamelijk voor de verwijdering van vrije (extracellulaire) toxines met koolpakketten. Daarnaast geldt voor de nieuwe zuiveringsstap in de Berenplaat met UV dat theoretisch wel hoge verwijderingspercentages gehaald kunnen worden, maar dat dit in de praktijk niet zal gebeuren. De in de literatuur genoemde stralingsdoses zijn erg hoog en worden in de Berenplaat niet toegepast (bijlage 5).

Geconcludeerd wordt dat er nog zeer veel onzekerheden zijn rond de verwijderingspercentages van toxines in de verschillende zuiveringen. Dit betekent dat ook onzeker is of de drinkwaternorm overschreden wordt bij hoge algenbiomassa's.

2.4. Geur- en smaakstoffen

Geosmine en 2-MIB

Geosmine en 2-methylisoborneol (2-MIB) zijn twee organische stoffen die het water een muff-grondige smaak kunnen geven. Omdat deze stoffen al bij zeer lage concentraties (ca. 5 ng/l) geroken kunnen worden, zijn deze stoffen ongewenst in de grondstof voor drinkwaterproductie (WBB, 1985, Young et al., 1996).

Het voorkomen van een onaangename grondige geur en smaak in water is een wereldwijd probleem waar vooral drinkwaterproductiebedrijven veel hinder van kunnen ondervinden (onder andere Wood et al., 1983). Eind 19e eeuw werd al geconstateerd dat cyanobacteriën verantwoordelijk konden zijn voor een onaangename smaak en geur van het water (Farlow, 1883). Op dit moment zijn er vele myceliumvormende bodembacteriën (actinomyceten), een aantal cyanobacteriën, een Myxobacterie (*Nanocystis exedens*) en een tweetal schimmels (*Basidiobolus ranum* en *Chaetomium globosum*) bekend die in staat zijn tot de productie van geosmine en 2-MIB (Wood et al., 1983). Voor de gezondheid zijn deze stoffen onschadelijk, maar voor consumenten is een onaangename geur of smaak van het water een duidelijk signaal dat het drinkwater niet in orde is. Zodra het water uit de kraan een enigszins ongewone geur of smaak bezit, is het vertrouwen in de zuiverheid van het water meteen verdwenen (Ketelaars, 1994).

Oorzaak in Biesbosch: benthische cyanobacteriën

In de Biesbosch spaarbekkens doen zich sinds 1984 problemen voor met betrekking tot deze geur- en smaakstoffen. In 1984 bedroeg het maximale gehalte in het uitgaande water van spaarbekken Petrusplaat 33 ng/l geosmine. Uit (bodem)onderzoek kwam naar voren dat het probleem werd veroorzaakt door *benthische* (op de bodem levende) cyanobacteriën. In tegenstelling tot de Petrusplaat werd in de spaarbekkens De Gijster en Honderd en Dertig op dat moment slechts sporadisch groei van cyanobacteriën waargenomen. Dit verschil hangt samen met het al dan niet voorkomen van brasems. In De Gijster en Honderd en Dertig komen brasems voor, en in de Petrusplaat niet. Brasems woelen de bodem om, waardoor niet voldoende licht doordringt tot de bodem voor de ontwikkeling van de benthische cyanobacteriën. Eventuele groei werd veelal uitsluitend in het voorjaar waargenomen, omdat in deze periode de brasems paaien en minder woelen (Carpentier, 1996).

Om de ontwikkeling van de benthische cyanobacteriën in de Petrusplaat te beperken, werd een speciale beheersmethode ontwikkeld, te weten het omwoelen van de bodem met de zogenaamde Biesbosch-eg (Van Breemen et al., 1991; Ketelaars & Ebbeng, 1994). Door deze methode in te zetten op de plaatsen waar SCUBA-duikers groei van cyanobacteriën hebben waargenomen zijn de gehalten aan geosmine en 2-MIB in het uitgaande water van spaarbekken Petrusplaat, ofwel het ruwe water, de laatste jaren laag:

ver beneden de grens waarbij de stoffen waargenomen worden (Wagenvoort, 2005a).

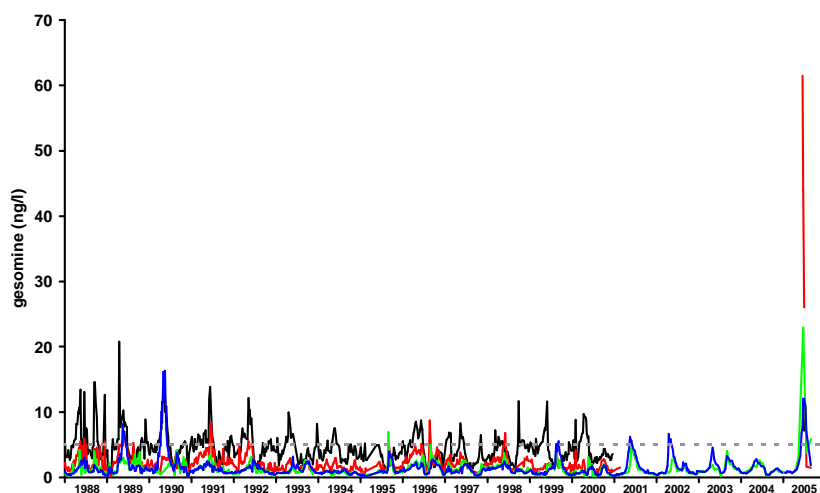
In het ruwe water heeft zich tot op heden nog geen probleem voorgedaan met geur- en smaakstoffen, die afkomstig waren van *planktonische* (vrij in het water levende) cyanobacteriën. Zelfs de hoge biomassa van 1995 kan slechts leiden tot een extracellulair geosmine gehalte van 2 ng/l (House et al., 2004), hetgeen nog onder de waarneembare concentratie ligt.

Smaakklachten in 2005

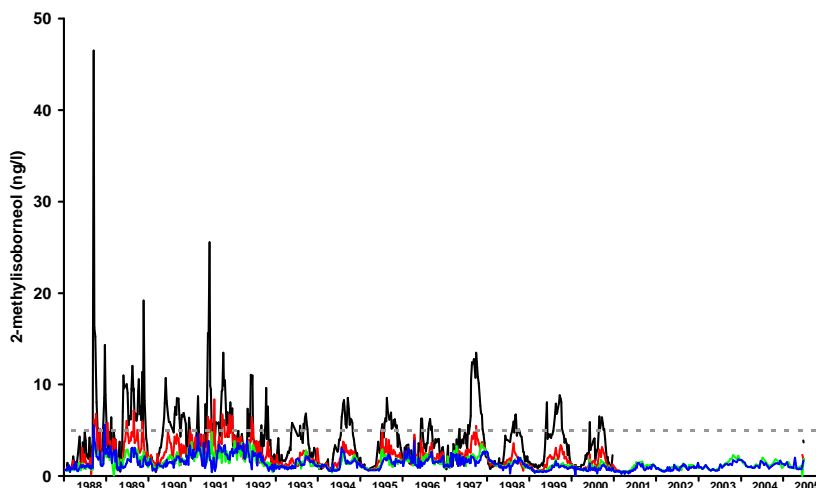
Begin juni 2005 nam het aantal smaakklachten over het drinkwater van productiebedrijf Berenplaat sterk toe (Wagenvoort, 2005b). Bij de andere productiebedrijven trad dit niet op; waarschijnlijk omdat daar andere typen zuivering gebruikt worden (langere contacttijd van de kool). Om de waterkwaliteit te verbeteren werd in de zuivering van de Berenplaat poederkool (dosering 5 g per m³) toegepast om geur- en smaakstoffen te binden. Deze ingreep had snel resultaat en het aantal klachten nam vervolgens af.

Laboratoriumonderzoek wees uit dat de klachten het gevolg waren van een verhoogd geosminegehalte in het uitgaande water van de Biesbosch spaarbekkens, en dat de bron van geosmine zich in spaarbekken De Gijster bevond (figuur 2.5; Wagenvoort, 2005b). De stof 2-MIB werd slechts in zeer lage concentraties aangetroffen en zal nauwelijks van invloed zijn geweest op de smaakklachten (figuur 6).

In eerdere jaren is in de spaarbekkens Honderd en Dertig en De Gijster in het voorjaar (van april tot juni) vaker een verhoging van de gehalten van geosmine of 2-MIB waargenomen, echter nooit zo extreem als in 2005 (meer dan 60 ng/l; figuur 2.5).



Figuur 2.5 Het gehalte aan geosmine in de Biesbosch spaarbekkens. — : Ingenomen water; — : Uitlaat De Gijster; — : Uitlaat Honderd en Dertig; — : Afgeleverd Water (Uitlaat Petrusplaat); - - - : grenswaarde (5 ng/l) voor melding aan afnemende zuiveringen.



Figuur 2.6 Het gehalte aan 2-methylisoborneol (2-MIB) in de Biesbosch spaarbekkens. — : Ingenomen water; — : Uitlaat De Gijster; — : Uitlaat Honderd en Dertig; — : Afgeleverd Water (Uitlaat Petrusplaat); - - - : grenswaarde (5 ng/l) voor melding aan afnemende zuiveringen.

Carpentier (1996) concludeerde in haar onderzoek dat jaarlijks enige toename van benthische cyanobacteriën optreedt, waarschijnlijk als gevolg van een verminderd foerageergedrag van brasem (*Abramis brama*), omdat het voorkomen van cyanobacteriën samenvalt met de paaitijd van deze soort. Ebbeng et al. (2000) toonden aan dat foeragerende brasem door de bodemomwoelende activiteit de bedekking van cyanobacteriën reduceert.

Oorzaak problemen in 2005

Wagenvoort (2005b) geeft aan dat de oorzaak van de problemen in 2005 het gevolg is van het met 3 m verlaagde waterniveau in verband met een reparatie aan de dijk. Deze verlaging viel samen met de helder waterfase en de paaitijd van brasem. Deze combinatie van factoren boden de benthische cyanobacteriën optimale groeiomstandigheden, waardoor een hoge bedekking van een groot areaal (het voorland) mogelijk werd en er veel geosmine kon worden geproduceerd. Nadat het bekken weer op peil kwam, de zichtdiepte afnam en de paaitijd voorbij was, staakte de productie van geosmine en werd het geosmine in het water afgebroken.

Toekomst?

Spaarbekken De Gijster is onder meer aangelegd om een selectief innamebeleid mogelijk te maken, zodat de inname van Maaswater gestaakt kan worden bij een lage afvoer van de rivier, bij calamiteiten op de rivier of bij een ongewenste waterkwaliteit, zonder dat de levering van ruw water in het geding komt. Bij iedere innamestop daalt het bekkenniveau van spaarbekken De Gijster en is er mede door de aanwezigheid van het voorland kans op herhaling van het geurprobleem. De verwachting is dat dit in de toekomst, met een grotere kans op lage afvoeren als gevolg van klimaatverandering, vaker kan optreden. Ondanks dat dit geen risico's oplevert voor de gezondheid, zal dit vanwege het belang van het consumentenvertrouwen tegengegaan moeten worden.

Toevoeging van poederkool bleek in 2005 een effectieve maatregel tegen de geosmines. Echter, dit is een dure maatregel (€ 25.000,- per week), en de poederkool moet ook weer worden verwijderd.

Het is niet de verwachting dat *planktonische* cyanobacteriën in de toekomst een probleem met geur- en smaakstoffen zullen veroorzaken, aangezien zelfs hoge biomassa's zoals in 1995 niet tot problemen hebben geleid.

2.5. Fysieke effecten van cyanobacteriën in zuivering

Bij een zeer hoge dichtheid van algencellen in het ruwe water kunnen op de productielocaties problemen ontstaan in het zuiveringsproces. Bij de voorzuivering worden vaak microzeven gebruikt, om grote vuildeeltjes te verwijderen. De microzeven vangen ook algencellen af, maar bij een grote belasting kunnen de zeven verstoppert en gaat het water via een 'by pass' verder de zuivering in. Het meest gevoelig hiervoor is de productielocatie Berenplaat, vanwege de grote capaciteit van deze locatie. Op deze locatie moet voor 845.000 consumenten (de helft van het totaal aantal consumenten van het Biesbosch-water) drinkwater geproduceerd worden. Hierdoor is het bij calamiteiten niet mogelijk om tijdelijk over te stappen op een andere grondstof (water uit een andere bron/voorraad), zoals op kleinere productielocaties.

In 1995 is het dichtslaan van de zeven door een grote algenbiomassa en het ontstaan van een bypass inderdaad opgetreden in de Berenplaat (bijlagen 3 en 5). In 2001 is dit ook voorgekomen in het Braakman spaarbekken. In de volgende stappen kon de zuivering de algen in voldoende mate verwijderen (mondelinge mededeling W. van den Broek, senior processtechnoloog Evides industriewater). Ook elders in Nederland treden problemen met zuiveringsprocessen door overmatige algengroei wel op (bijlage 3).

Het ontstaan van een by pass, waardoor naast algencellen en toxines ook andere deeltjes worden doorgelaten is uiteraard ongewenst, omdat hierdoor de verwijderingspercentages en aldus de kwaliteit van het drinkwater niet gegarandeerd kan worden.

De kans op een grote dichtheid algen in het ruwe water zou erg groot zijn bij de inname van drijfalg. Deze kans is echter zeer gering aangezien het innamepunt vanuit het laatste spaarbekken gunstig gelegen is. De kans op de inname van grote hoeveelheden bentische cyanobacteriën is ook zeer gering, aangezien zij erg aan de bodem gebonden zijn. Bovenstaand probleem is dus gebonden aan het ontstaan van grote dichtheden vrij in het water levende cyanobacteriën. Het ontstaan hiervan in de toekomst is niet uit te sluiten, aangezien dit in 1995 ook is voorgekomen. Bovendien geldt ook hier de toekomstverwachting met betrekking tot de groei van cyanobacteriën en het vaker voorkomen van warmere en drogere zomers: het is waarschijnlijk dat in de toekomst vaker en langduriger cyanobacteriënbloei optreden (Bresser et al., 2005). Dit betekent dat de kans op situaties zoals in 1995, met hoge biomassa's algen in het ruwe water, toeneemt. En dus ook dat de kans op het ontstaan van fysieke problemen in de zuivering van de Berenplaat toeneemt.

2.6. Samenvatting interview KIWA

Op 26 september heeft een interview plaatsgevonden met twee KIWA medewerkers: Anneke Gijsbertsen en Corina de Hoogh-Carpentier. Doel van het interview was het toetsen van de probleemanalyse aan een aantal deskundigen op het gebied van drinkwaterzuivering en het voeren van een eerste brainstorm over mogelijke oplossingsrichtingen. Vanuit de opdrachtnemer waren Imke Leenen (Grontmij) en Arco Wagenvoort (AqWa) deelnemers aan het gesprek. Een verslag van het gesprek is opgenomen in bijlage 3. Algemene conclusies waren de volgende:

- Er is nog veel onzekerheid over de verwijderingspercentages van toxines in de verschillende zuiveringsstappen. De zuivering in de Berenplaat is kwetsbaar bij een hoge algendichtheid, waarbij zeven kunnen dichtslaan. Als dit gebeurt kan er een bypass ontstaan, waardoor er algen in het gezuiverde water terecht kunnen komen.
- Naast toxines kunnen geosmines een probleem vormen. Bij verhoogde productie (zoals bij verlaging van het waterniveau in De Gijster) worden geosmines op dit moment niet afdoende verwijderd in de zuiveringen van de Berenplaat.
- Over de oplossingsrichtingen werd geconcludeerd dat aanpak van bovenstaande problemen bij de bron wenselijk is (tegengaan algengroei), maar dat zuiveringen voldoende robuust moeten zijn om eventuele problemen het hoofd te kunnen bieden.

2.7. Conclusie probleem

Op basis van bovenbeschreven nader onderzoek wordt geconcludeerd dat er op dit moment reële kansen bestaan op problemen met de drinkwaterproductie die gerelateerd zijn aan cyanobacteriën. Enerzijds zijn er gezondheidsrisico's voor de consumenten van het drinkwater, met name van de productielocatie Berenplaat (845.000 consumenten). Deze risico's zijn op dit moment waarschijnlijk zeer klein, hoewel dit niet met zekerheid gesteld kan worden. Wel zeker is dat de risico's in de toekomst zullen toenemen. Anderzijds wordt het drinkwaterbedrijf in toenemende mate geconfronteerd met kosten voor het bestrijden van de effecten van cyanobacteriën.

Er zijn drie typen problemen met cyanobacteriën, die allemaal worden gestimuleerd door het aanwezige ondiepe voorland in De Gijster:

- Sommige soorten cyanobacteriën produceren toxines (gifstoffen), die gevaarlijk kunnen zijn voor de mens. In De Gijster komen soms concentraties voor, die de drinkwaternorm overschrijden. Omdat in het huidige onderzoek is gebleken dat er nog veel onzekerheden zijn rond de verwijderingspercentages van toxines op de productielocaties, is het niet zeker dat het toxinegehalte in het

drinkwater altijd beneden de drinkwaternorm is. De hoeveelheid toxines in het water is gerelateerd aan de hoeveelheid cyanobacteriën. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloeiën. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker en langduriger cyanobacteriebloeiën optreden, zal de kans op het ontstaan van overschrijdingen van de drinkwaternorm alleen maar toenemen.

- Een tweede probleem is de productie van geur- en smaakstoffen door bodembewonende cyanobacteriën. Deze geur- en smaakstoffen zijn ongevaarlijk voor de mens, maar ze geven het water al bij zeer lage concentraties een muffe smaak. Deze stoffen worden in bepaalde perioden geproduceerd, en dit is over het algemeen in de zuivering met inzet van extra middelen (en kosten) weer te verwijderen. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster is er bij lage waterstanden een grote kans op de ontwikkeling van de bodembewonende cyanobacteriën, die deze stoffen produceren. Omdat lage waterstanden in de toekomst mogelijk vaker voor kunnen komen, neemt de kans op de productie van geur- en smaakstoffen dus toe.
- Een derde probleem vormen de fysieke effecten van cyanobacteriën. Bij een sterke toename van algen in het water, zoals bij algenbloeiën, kunnen er problemen ontstaan in het zuiveringsproces op de productielocaties door het verstopt raken van zeven. In verband met de capaciteit is de kans dat dit gebeurt het grootst bij productielocatie Berenplaat. Door de aanwezigheid van het ondiepe voorland in De Gijster zijn de condities geschikt voor het ontstaan van cyanobacteriebloeiën. Aangezien in de toekomst mogelijk vaker cyanobacteriebloeiën optreden, neemt de kans op het dichtslaan van zeven ook toe.

Aangezien geconcludeerd is dat er reële kansen bestaan op problemen door hoge dichtheden cyanobacteriën, is het wenselijk om te zoeken naar oplossingen die gericht zijn op het tegengaan van cyanobacteriën. Aangezien ook duidelijk is dat het ondiepe voorland in De Gijster een belangrijke rol speelt bij het ontstaan van de problemen, moet het verdiepen van dit voorland zeker worden onderzocht als oplossingsrichting.

3. Oplossingsrichtingen

3.1. Selectie meest geschikte oplossingsrichtingen

Tijdens een projectoverleg zijn diverse oplossingsrichtingen besproken, waarbij voor- en nadelen op een rijtje werden gezet, op het gebied van o.a. technische haalbaarheid, kosten en duurzaamheid (tabel 3.1). Vervolgens werden per oplossing plussen en minnen toegekend aan de voor- en nadelen (tabel 3.2), zodat de oplossingen met elkaar vergeleken konden worden. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Brongerichte maatregelen scoren beter dan effectgerichte maatregelen (liever voorkómen van ontwikkeling van cyanobacteriën dan bestrijden cyanobacteriën en effecten);
- Eenvoudige, robuuste oplossingen scoren beter dan technisch ingewikkelde. Dit in verband met een kleinere faalkans en geringer onderhoud en kosten;
- Toevoegingen van stoffen zijn in principe ongewenst. Stoffen moeten vaak na het gebruik weer verwijderd worden, en kunnen verstorend werken voor het ecosysteem.

Tabel 3.1 Overzicht mogelijke oplossingsrichtingen met voor- en nadelen zoals besproken tijdens het projectoverleg op 28 november 2005.

Categorie	Oplossingsrichting	Voordelen	Nadelen
BESTRIJDING PLANKTONISCHE CYANOBACTERIËN			
	1. Chemische defosfatering van ingenomen Maaswater	<ul style="list-style-type: none">• Reductie nutriënten → algenreductie• Brongericht	<ul style="list-style-type: none">• Onzeker resultaat, mate algenreductie onvoorspelbaar, mogelijk toename• Aanschaf dure installatie• Toevoegingen in principe ongewenst• Blijvende inspanning en beheerkosten, afvalproductie (slib)• Geen oplossing geosmineprobleem, mogelijk versterking (helderder water)
	2. Optimalisatie beluchting (vergroten capaciteit naar 9,2 m ³ /100ha per min)	<ul style="list-style-type: none">• Hogere circulatie zodat water van voorland uitwisselt met diepere lagen → algenreductie• Brongericht	<ul style="list-style-type: none">• Technisch ingewikkeld, onzeker resultaat (weinig praktijkvoorbeelden)• Aanschaf dure installatie• Blijvende inspanning en beheerkosten

Tabel 3.1 (vervolg). Overzicht mogelijke oplossingsrichtingen met voor- en nadelen zoals besproken tijdens het projectoverleg op 28 november 2005.

Categorie	Oplossingsrichting	Voordelen	Nadelen
• BESTRIJDING PLANKTONISCHE CYANOBACTERIËN (vervolg)			
	3. Verdiepen voorland	<ul style="list-style-type: none"> • Overall menging met bestaande beluchting → algenreductie • Meer volume → langere verblijftijd → toename biol.afbraakprocessen • Kostenneutrale uitvoering • Eenvoudig en robuust • Brongericht 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontgroningen in het Nationaal park, maatschappelijke weerstand (?)
	4. afdekken spaarbekken	<ul style="list-style-type: none"> • Geen licht → geen algengroei • Brongericht 	<ul style="list-style-type: none"> • Technisch niet uitvoerbaar of disproportionele kosten vanwege grote dimensie De Gijster
	5. chemische bestrijding (algiciden)	<ul style="list-style-type: none"> • Algen worden gedood 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestrijdingsmiddelen zijn in drinkwater niet toepasbaar i.v.m. drinkwaternorm, overige algiciden (zoals kopersulfaat) verstoren het ecosysteem • Kans op vrijkomen grote hoeveelheden toxines bij sterfte algen • Effectgericht
	6. virussen (biologische bestrijding van de algen)	<ul style="list-style-type: none"> • Algen worden gedood en afgebroken (opgegeten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Deze techniek is nog niet operationeel (beginnende onderzoeksfase) • Effectgericht
	7. klappen van gasvacuoles	<ul style="list-style-type: none"> • Algen worden gedood 	<ul style="list-style-type: none"> • Kans op vrijkomen grote hoeveelheden toxines bij sterfte algen • Toepassing op een dergelijke schaal is erg duur • Effectgericht
	8. afzuigen van drijfslagen	<ul style="list-style-type: none"> • Algen en toxines worden afgezogen 	<ul style="list-style-type: none"> • Onzeker of de drijfslagen bereikt kunnen worden in een dergelijk groot systeem (bij wind snel buiten bereik). • Effectgericht
BESTRIJDING BENTHISCHE CYANOBACTERIËN			
	9. (= 3.) verdiepen voorland	<ul style="list-style-type: none"> • Kleinere oppervlak met geschikte omstandigheden voor geosmineproducerende algen • Brongericht 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontgroningen in het Nationaal park, maatschappelijke weerstand (?)
	10. (= 5.) chemische bestrijding (algiciden)	<ul style="list-style-type: none"> • Zie 5 	<ul style="list-style-type: none"> • Zie 5.
	11. omwoelen van de bodem (evenals in spaarbekken Petrusplaat met 'Biesbosch-eg')	<ul style="list-style-type: none"> • Door het omwoelen van de bodem wordt algenontwikkeling verstoord → geosmineproductie stopt 	<ul style="list-style-type: none"> • Groot ondiep oppervlak, dus groot omwoeloppervlak → veel tijd nodig • Afgelegen ligging → 2 mensen en veel transporttijd nodig. • Door resuspensie komen mogelijk meer nutriënten in oplossing • Effectgericht

Naar aanleiding van de gevoerde discussie zijn de voordelen omgezet in plussen en minnen, zodat het beter mogelijk was om de oplossingen met elkaar te vergelijken (tabel 3.2).

Tabel 3.2 Overzicht mogelijke oplossingsrichtingen met voor- en nadelen uitgedrukt in plussen en minnen.

Oplossingsrichting	Reductie plankton. algen	Reductie benth. algen	Bron (+) Effect (-)	Eenv (+) technisch moeilijk (-)	Toevoegingen (-)	Extra nadelen	Eind score
BESTRIJDING PLANKTONISCHE CYANOBACTERIEN							
1. chemische defosfatering	+?	-	+	-	-		-?
2. optimalisatie beluchting	+?		+	-			+?
3. (=9.) verdiepen voorland	+	+	+	+		-	+++
4. afdekken spaarbekken	+	+	+	-			++
5. chemische bestrijding	+		-	+	-		0
6. virussen	?		-		-		--?
7. klappen van gasvacuoles	+		-	-			-
8. afzuigen van drijfslagen	?		-	+			?
BESTRIJDING BENTHISCHE CYANOBACTERIEN (GEOSMINEPRODUCENTEN)							
9. (= 3.) verdiepen voorland	+	+	+	+		-	+++
10. chemische bestrijding		+	-	+	-		0
11. omwoelen van de bodem		+	-	+			+

De best scorende oplossingsrichtingen zijn:

- Verdiepen voorland (3/9): +++
- Afdekken spaarbekken (4): ++
- Omwoelen v.d. bodem (11): +
- Optimalisatie beluchting (2): +?

Uit dit rijtje is de oplossing 'afdekken spaarbekken' toch niet uitgewerkt, omdat deze oplossing technisch echt onhaalbaar werd geacht.

3.2. Uitwerking en kostenraming geselecteerde oplossingsrichtingen

1. Verdiepen voorland

Het verdiepen van het voorland is zowel gericht op het tegengaan van cyanobacteriënontwikkeling in de waterkolom als op de bodem. Door het verdiepen van het voorland zal het water langs de rand minder snel opwarmen en beter gemengd worden met het diepe deel.

Het verdiepen is mogelijk door het ondiepe deel af te graven. Vanwege de goede kwaliteit van het vrijkomende zand kan dit worden gebruikt voor verschillende doeleinden, waardoor deze optie niet alleen kosten, maar ook baten oplevert.

Uitgangspunten bij de raming zijn:

- Hoeveelheid af te baggeren zand is: 8600m (bekken omtrek) * 100 m (breedte af te graven strook) * 12 m (gemiddelde diepte) de helft afbaggeren, totaal circa 5 miljoen m³;
- Depotvorming mogelijk nabij de Kurenpolder;
- Uitkomend zand is geschikt om als ophoogzand te dienen, en mogelijk als beton- en metselzand (zeefkromme nodig);
- Markt dient bereid te zijn te betalen voor het depotzand: euro 5,- per m³, mogelijk meer als toepassing industriezand mogelijk.
- Ligging in Nationaal Park brengt mogelijk meer kosten met zich mee;

Kosten/baten:

- Op basis van bovenvermelde uitgangspunten ramen wij globaal als saldo van kosten en baten een opbrengst van euro 2,- per m³.

Tabel 3.3. Investerings- en jaarlijkse kosten van de oplossingsrichting 'verdiepen voorland'.

Eenmalige kosten	€ 15.000.000,00
Eenmalige baten	€ 25.000.000,00
Jaarlijkse kosten:	
Afschrijving	€ 0,00
Energie kosten	€ 0,00
Manuren	€ 0,00
Totaal jaarlijkse kosten:	€ 0,00

2. Omwoelen van de bodem

Het omwoelen van de bodem gaat de ontwikkeling van benthische cyanobacteriën tegen. De ontwikkeling van de planktonische cyanobacteriën wordt hiermee niet geremd.

Op dit moment wordt deze oplossingsrichting in een van de andere spaarbekkens, de 'Petrusplaat' al toegepast. Hier wordt de zogenaamde 'Biesbosch-eg' ingezet. De 'Biesbosch-eg' bestaat uit een bootje, dat een ponton voortduwt. Aan dat ponton hangen balken aan ijzeren kettingen, die over de bodem slepen. In de Petrusplaat wordt dit uitgevoerd op een diepte van ca. 7m in de Petrusplaat, aangezien de bodemalgen hier het meest actief zijn (op de grens van de zichtdiepte). In De Gijster is de zichtdiepte meestal < 2m. Als het waterniveau verlaagd wordt

kan het licht ook de bodem van het voorland bereiken (3-7m), waardoor het hele voorland omgewoeld zou moeten worden.

Uitgangspunten bij de raming zijn:

- 2 nieuwe motorboten met een ponton voorzien van aan de ponton hangende balken met ijzeren kettingen die over de bodem slepen;
- Bekken omtrek 8,6 km;
- Sleepsnelheid 2 km/h, reistijd en vaartijd werknemers naar locatie, opbouw en afbouw sleep per dag. Dit komt op één ronde per dag;
- Breedte eg 7 meter, breedte te eggen stuk 100 meter, dus 16 rondes per keer;
- Uurloon medewerker € 45,00. Minimaal twee medewerkers aanwezig i.v.m. afgelegen ligging;
- Aanvoer van brandstof doormiddel van drums en handmatig overpompen naar de brandstoftank van de motorboot;
- Voor transport van en naar De Gijster wordt gebruikgemaakt van de bestaande middelen.
- Brandstofkosten per keer compleet eggen € 1.000,00
- Manuren per keer compleet eggen: 16 dagen * 8uur * 2 man * € 45,00 = € 11.500,00
- Het eggen zal niet elk jaar nodig zijn, en soms wel vaker per jaar. Uitgangspunt is 7x rond in 5 jaar.

Tabel 3.4. Investerings- en jaarlijkse kosten van de oplossingsrichting 'omwoelen bodem'.

Investeringskosten	€ 300.000,00
Jaarlijkse kosten:	
Afschrijving	€ 20.000,00
Energie kosten	€ 1.400,00
Manuren	€ 16.100,00
Totaal jaarlijkse kosten:	€ 37.500,00

3. Optimalisatie beluchting

Optimalisatie van de beluchting is gericht op het tegengaan van cyanobacterieontwikkeling in de ondiepe randzone in De Gijster. De ontwikkeling van benthische cyanobacteriën wordt hiermee nauwelijks tegengegaan.

Optimalisatie van de beluchting vereist een nieuwe installatie, die het water zodanig mengt dat het water van het ondiepe voorland in het diepere deel terechtkomt. Op verschillende plaatsen in de ondiepe randzone zou lucht ingepompt moeten worden. Navraag bij een bedrijf, dat met beluchtingsinstallaties werkt (KSB Nederland bv), heeft uitgewezen dat horizontale beluchting van het voorland geen optie is, vanwege de geringe diepte. Daarom

is gekozen voor een constructie, waarbij schroeven geplaatst worden, die het water vanuit de ondiepe randzone naar het midden van de plas voortstuwen. De huidige beluchtingsinstallatie kan zorgen voor de menging met het diepe deel.

Uitgangspunten bij de raming zijn:

- Twintig voortstuwars in de omtrek plaatsen, mogelijk meer. Juiste aantal moet tijdens ontwerp definitief bekeken worden; Geschatte vermogen per voortstuwars 5,5 kW;
- Voedingskabels rond het bekken in het dijk lichaam;
- Voortstuwars dertig meter uit de walkant plaatsen met een onderhoudssteiger.
- Ponton met hijsvoorzieningen om voortstuwars te kunnen onderhouden.
- Voor de afschrijving is uitgegaan van 15 jaar.
- Niet bekend is of er voldoende vermogen aanwezig is. Eventueel trafo plaatsen (niet meegenomen in de kosten).
- Voor energiekosten uitgegaan van 6 weken per jaar continu in bedrijf.
- Manuren: 10 dagen per jaar à € 45,00/h
- Technisch is deze optie om een goed beeld te krijgen van de kosten onvoldoende uitgewerkt.

Tabel 3.5. Investerings- en jaarlijkse kosten van de oplossingsrichting 'aanpassen beluchting'.

Investeringskosten		€ 750.000,00
Jaarlijkse kosten:	Afschrijving	€ 50.000,00
	Energie kosten	€ 8.000,00
	Manuren	€ 3.600,00
Totaal jaarlijkse kosten:		€ 94.000,00

Combinatie beluchten en omwoelen

De oplossingsrichting 'verdiepen voorland' voorziet in het tegengaan van zowel de bentische als de vrij levende cyanobacteriën, waarmee in één keer de kans op de drie verschillende typen problemen wordt verminderd. Een alternatief hiervoor is de combinatie van de beide andere besproken oplossingsrichtingen: 'aanpassen beluchting' en 'omwoelen van de bodem'. Hiervoor dienen de kosten van beide oplossingen opgeteld te worden (tabel 3.6).

Tabel 3.6. Jaarlijkse kosten van de drie oplossingsrichtingen naast elkaar, alsmede van de combinatie van het omwoelen van de bodem en het aanpassen van de beluchting.

Oplossingsrichting	Jaarlijkse kosten
1. Verdiepen voorland	€ 0,00
2. Omwoelen bodem	€ 37.500,00
3. Aanpassen beluchting	€ 94.000,00
Combinatie 2+3	€ 131.500,00

3.3. Conclusie oplossingsrichtingen

De optie 'Verdiepen voorland' komt duidelijk als beste oplossingsrichting naar voren. Deze oplossingsrichting is brongericht, eenvoudig en robuust, en pakt zowel de benthische als de planktonische cyanobacteriën aan. Doordat hiermee de omstandigheden zodanig worden aangepast dat de ontwikkeling van cyanobacteriën wordt tegengegaan, worden de problemen voorkómen, terwijl de meeste andere oplossingsrichtingen de problemen slechts beheersbaar maken. Naast mogelijke maatschappelijke weerstand zijn er geen andere nadelen.

Een bijkomend voordeel is dat er geen hoge investerings- of terugkerende kosten zijn, maar dat de ingreep waarschijnlijk kostenneutraal kan worden uitgevoerd.

4. Literatuur

- Breemen, L.W.C.A. van, H.A.M. Ketelaars, P. Visser & J.H. Ebbeng (1991). A new method to control growth of geosmin producing benthic cyanobacteria. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 2168-2173.
- Breemen, L.W.C.A. van & H.A.M. Ketelaars (1995). The influence of artificial mixing and other factors on algal biomass in the Biesbosch reservoirs. Aqua 44, Suppl I: 65-71.
- Bresser, A.H.M., M.M. Berk, G.J. van den Born, L. van Bree, F.W. van Gaalen, W. Ligtoet, J.G. van Minnen & M.C.H. Witmer (2005). Effecten van klimaatverandering in Nederland. NMP, Bilthoven.
- Carmichael, W.W. & I.R. Falconer (1993). Diseases related to freshwater Blue-green algal toxins, and control measures. In: Falconer, IR (ed.). Algal toxins in seafood and drinking water. Academic Press, London. 187-209.
- Carpentier, C.J. (1996). De groei van geurbedervers. Onderzoek naar de factoren die het voorkomen verklaren van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën in spaarbekken Petrusplaat. Rapport. N.V. WBB, Werkendam.
- Carpentier, C.J., W. Hoogenboezem & H.A.M. Ketelaars (1999). Cyanobacterietoxines en drinkwater bereid uit oppervlaktewater. Een worst-case benadering. Rapport. N.V. PWN, Bloemendaal en N.V. WBB, Werkendam.
- Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (CUWVO). (1987). Vergelijkend onderzoek naar de eutrofiëring in Nederlandse meren en plassen; resultaten van de derde eutrofiëringenquête. Rijkswaterstaat DBW/RIZA, Lelystad.
- Ebbeng, J.H., A.J. Wagenvoort & H.A.M. Ketelaars (2000). Brasem (*Abramis brama*) beperkt de groei van geosmine-producerende benthische cyanobacteriën in het spaarbekken Petrusplaat. Rapport. N.V. WBB, Werkendam.
- Falconer, I.R., J. Bartram, I. Chorus, T. Kuiper-Goodman, H. Utkilen, M. Burch & G.A. Codd (1999). Safe levels and safe practices. In: Chorus, I & J. Bartram (eds). Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences, monitoring and management. E & FN Spon, London. 156-178.
- Farlow, W.G. (1883). Relations of certain forms of algae to disagreeable taste and odors. Science 2: 333-334.
- Francis, G. (1878). Poisonous Australian lake. Nature 18: 11-12.
- Hoogenboezem, W, A.J. Wagenvoort & K. Blaauboer (2004). The occurrence of toxic cyanobacteria in some Dutch surface waters used for the production of drinking water. RIWA-report, Nieuwegein.
- House, J, L. Ho, G. Newcombe & M. Burch (2004). Management strategies for toxic blue-green algae: Literature review. Australian Water Quality Centre, Salisbury.
- Ibelings, B. (1996). Bestrijding van planktonische cyanobacteriën in de Biesbosch spaarbekken. Rapport. Haskoning, Nijmegen.

- Kappers, Fl. (1973). Giftige blauwwieren en de drinkwatervoorziening. *H₂O* 15: 396-400.
- Ketelaars, H.A.M. (1994). Ursachen von Geruchs- und Geschmacksproblemen in der Trinkwasserversorgung und ihre Lösung: Eine Übersicht. In: Ketelaars, H.A.M., A.E. Nienhüser & E. Hoehn (eds). *Die Biologie der Trinkwasserversorgung*. ATT Information, Academic Book Centre, De Lier: 133-153.
- Ketelaars, H.A.M. & H.(J.)H. Ebbeng (1994). Ursachen und Bekämpfung der Geruchs- und Geschmacksproblemen beim Speicherbeckenverband Brabantse Biesbosch. In: Ketelaars, H.A.M., A.E. Nienhüser & E. Hoehn (eds). *Die Biologie der Trinkwasserversorgung*. ATT Information, Academic Book Centre, De Lier: 155-169.
- Krot, B., en P.M. Visser (2003). Inventarisatie naar de concentraties van cyanotoxines in Nederlandse meren gedurende zomer 2003 en naar eventuele hiermee samenhangende incidenten, een Quick Scan. IBED/Universiteit van Amsterdam, in opdracht van RIZA.
- Meent, Adviesbureau De (2000). Toename van de problemen met de waterkwaliteit van het afgeleverde water van het Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch. In opdracht van: Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch.
- Regionaal Ambtelijk Overleg (RAO Maas) (2004). Karakterisering Stroomgebied Maas (Nederland). In opdracht van Regionaal Bestuurlijk Overleg (RBO Maas). Status: Conceptrapport. Versienummer: 2004-02
- Wagenvoort, A.J., S. Novemsia-Danuhyarsu, A. van der Made-Engelberts, C.P.R. Pikaar-Schoonen & R. Trompetter (2000). Productie van microcystine door een natuurlijke *Mircocystis*-populatie in de Biesbosch spaarbekkens en het gehalte aan microcystine in gezuiverd drinkwater. Rapport. NV WBB, Werkendam.
- Wagenvoort, A. (2005a). Het voedselweb in de Biesbosch spaarbekkens 2002 - 2004. Rapport. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- Wagenvoort, A. (2005b). Bron van geosmine in spaarbekken De Gijster - Overzicht van de genomen maatregelen. Notitie. AqWa – ecologisch advies, Goes.
- WBB (1985). Jaarverslag laboratorium 1983/1984. N.V. WBB, Werkendam.
- WBB (1996). Jaarverslag 1995. N.V. WBB, Werkendam.
- Wood, S., S.T. Williams & W.R. White (1983). Microbes as a source of earthy flavours in potable water – a review. *Int. Biodeterioration Bulletin* 19: 83-97.
- Young, W.F., H. Horth, R. Crane, T. Ogden & M. Arnott (1996). Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. *Wat. Res.* 30: 331-340.

5. Bijlagen

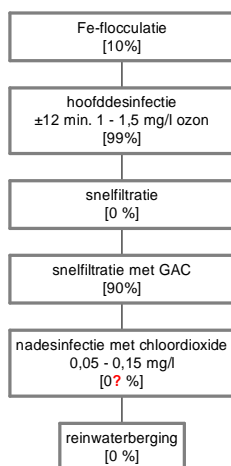
Bijlage 1 Kentallen voedingsstoffen voor algen in de Biesbosch spaarbekkens van 1990 tot en met 2004

parameter		Maas te Keizersveer	Uitlaat De Gijster	Afgeleverd Water
totaal fosfaat (mg P/l)	5 ^e percentiel	0,19	0,11	0,05
	gemiddelde	0,29	0,17	0,08
	mediaan	0,27	0,17	0,07
	95 ^e percentiel	0,42	0,23	0,12
nitraat (mg N/l)	5 ^e percentiel	3,2	2,7	2,4
	gemiddelde	4,0	3,5	3,2
	mediaan	3,9	3,5	3,2
	95 ^e percentiel	5,0	4,4	4,0
silicaat (mg Si/l)	5 ^e percentiel	0,5	0,2	0,2
	gemiddelde	2,5	1,3	0,8
	mediaan	2,4	1,0	0,6
	95 ^e percentiel	4,6	3,2	2,0

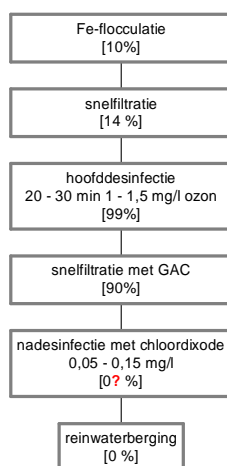
Bijlage 2. Schematische weergave van de Evides drinkwaterzuiveringen

Schematische weergave van de Evides drinkwaterzuiveringen naar Carpentier et al. (1999), geactualiseerd in overleg met de heer J. Bahlman, Evides Waterbedrijf. Tussen vierkante haken is de verwijdering van toxines (microcystine) weergegeven, gebaseerd op Carpentier et al. (1999).

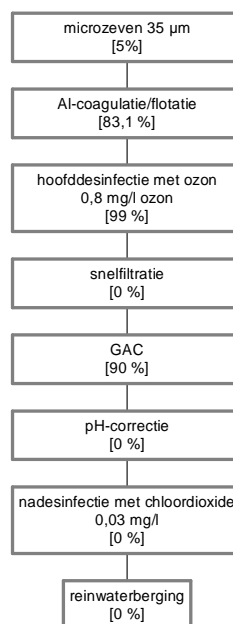
Kralingen



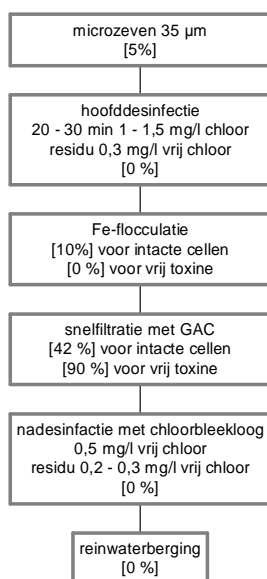
Baanhoek



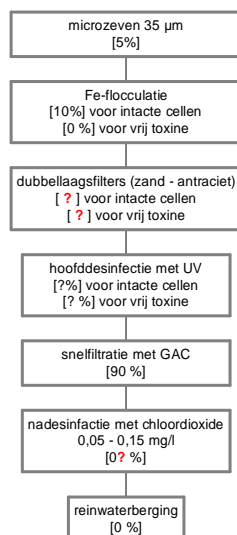
Braakman



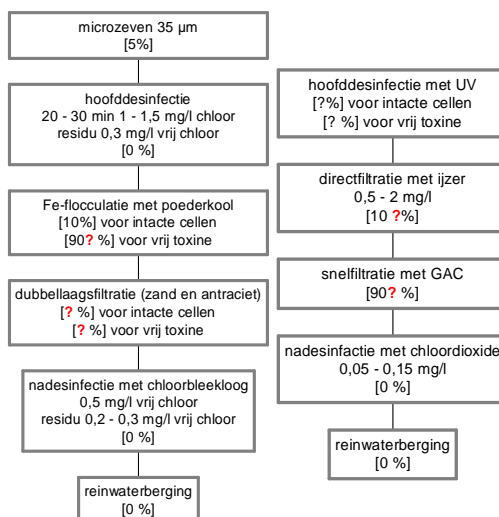
Berenplaat (voor 2006)



Berenplaat (vanaf 2006)



Berenplaat (vanaf 2006 bij parallele bedrijfsvoering, opsplitsen voor- en nazuivering)



Voor dit onderzoek zijn de verwijderingspercentages nog eens onder de loep genomen op basis van de meest recente literatuur (Bijlage 5). Hieruit blijkt o.a. dat de verwijderingspercentages voor vrij toxine door middel van actieve kool sterk kan variëren, afhankelijk van type kool en contacttijd. Carpentier et al. (1999) veronderstelden een verwijdering van 90%, wat mogelijk aan de hoge kant is.

Voor de nieuwe zuiveringsstappen in de Berenplaat (vanaf 2006) is in dit onderzoek bepaald wat waarschijnlijke verwijderingspercentages zijn:

- Berenplaat vanaf 2006: > 90% (werking dubbellaagsfilter en UV nog onduidelijk en veiligheidshalve op 0% gezet, alle toxines kunnen in deze stappen vrij komen zodat alleen het koolpakket rest)
- Berenplaat bij parallelbedrijf vanaf 2006: 10 tot 90% (10% indien flocculatie de cellen niet goed afvangt)

Bijlage 3. Interview KIWA (26 september te Nieuwegein)

Deelnemers: Anneke Gijsbertsen en Corina de Hoogh-Carpentier (KIWA), Imke Leenen (Grontmij) en Arco Wagenvoort (AqWa).

Voorafgaand aan het behandelen en beantwoorden van de vragen en oplossingsrichtingen is er door Imke en Arco een korte inleiding gegeven met betrekking tot de opdracht en het werk dat tot op heden is verricht.

De bijeenkomst mondde grotendeels uit in een discussie. Vandaar dat bij het beantwoorden van de vragen de vorm niet als interview is weergegeven en geen citaten zijn opgenomen, maar dat conclusies en een eventuele discussie is opgenomen.

Onderdeel A. Probleemanalyse

1. *Wat is het rendement van toxineverwijdering in de zuiveringen (invullen schema Evides zuiveringen – bijlage 2)?*
2. *Gelden deze verwijderingspercentages ook in het geval van zeer hoge concentraties (als toevallig precies een deel van een drijfslaag in het afgeleverde water terechtkomt?)*

De toxineverwijdering is op de meeste zuiveringslocaties >90%. Op de Berenplaat is het verwijderingspercentage bij parallelle bedrijfsvoering onzeker (10-90%), zie Bijlage 2. De schema's in Bijlage 2 zijn gebaseerd op het rapport (Carpentier et al., 1999) en destijds bleek uit de literatuur dat er veel variatie in de gepresenteerde waarden is:

- De binding van toxines is o.a. afhankelijk van de vormgeving van de koolpakketten, het gebruik van PAC (poederkool) of GAC (koolkorrels), de belasting met organisch materiaal, het beheer en spoeltijden.
- Naast binding van toxines worden toxines ook verwijderd via desinfectie met ozon, chloor of UV. Ozon dringt dieper door dan chloor. Chloor moet door middel van diffusie tot de cellen doordringen. Geleimantels van cyanobacteriën kunnen dit diffusieproces verstoren/vertragen. De effecten van UV zijn nog relatief onbekend. Carlile (1994, in: House et al., 2004) toonde aan dat 90% van het anatoxine kon worden verwijderd met een Uvstraling van 22,5 WS/cm². Met een blootstelling aan 24 WS/cm² werd 91% van het microcystine-LR kapot gemaakt. Gangbare intensiteiten liggen vaak echter veel lager (op Berenplaat bijvoorbeeld 73 mWS/cm²), aangezien het primaire doel meestal desinfectie is (doden micro-organismen) en niet toxineverwijdering.
- Flocculatieprocessen zijn sterk afhankelijk van de grootte van de deeltjes.
- Bij ultrafiltratie kunnen intracellulaire toxines vrijkomen. Van deze extracellulaire toxines gaat circa 2% door het membraan heen.

In het algemeen kwam naar voren dat de zuivering Berenplaat kwetsbaar is. De microzeven in deze zuivering vangen de grote kolonies af, maar bij veel weerstand/dichtslaan van zeven (dus bij een hoge biomassa) wordt de capaciteit gehandhaafd door een "by pass" te openen. Dan kunnen de in het schema genoemde verwijderingspercentages dus niet gehaald worden.

Grenswaarden:

Een Japans onderzoeksteam stelt dat de blootstelling aan microcystine niet hoger mag zijn dan 0,01 µg/l. Nog geen enkel ander onderzoeksteam heeft dit geverifieerd. De WHO stelt dat in drinkwater bij levenslange blootstelling niet meer dan 1 µg/l toxine aanwezig mag zijn. Bij incidentele blootstelling (recreatie) geldt (volgens de WHO) een waarde van 20 µg/l toxine.

Geconcludeerd wordt dat toxineverwijdering nooit 100% is en dat het beheer en onderhoud van de zuivering zodanig dient te zijn ingericht dat deze in de (na)zomer optimaal is.

3. *Gevoelsmatig: is er nu wel of niet een risico voor het drinkwater i.v.m. toxines?*

Pas bij een hoge belasting van de (Berenplaat) zuivering kan een probleem ontstaan, als de “by pass” open gaat.

Specifieke omstandigheden kunnen echter nadelig of juist gunstig zijn. Het innamepunt (vanuit het laatste spaarbekken: Petrusplaat) is gunstig gelegen. Het ligt in het midden van een lange zijde en er is een diepe onttrekking, waardoor de kans dat een opgehoopte drijfslaag wordt ingenomen zeer beperkt is.

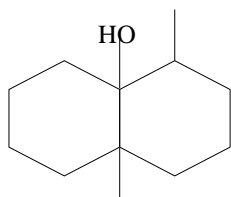
4. *Welke problemen kunnen er verder zijn als gevolg van planktonische, benthische en drijfslaagvormende cyanobacteriën in de verdere behandeling van het ruwe water tot drinkwater of industriewater?*

Geosmine

Geosmine is een terpenoïd verbinding (figuur 1). Het heeft een andere structuur dan de toxines en komt voornamelijk vrij in het water voor. Het is biologisch goed afbreekbaar, ook door de ‘normale’ biologische processen in de spaarbekken. Wat nog overblijft komt in de zuiveringen terecht, waar het aan actieve wordt kool gebonden. De laatste jaren blijkt regelmatig dat de zuivering van de Berenplaat niet afdoende is om dergelijke verbindingen in voldoende mate te verwijderen.

Geosmine vormt bij zeer lage concentraties al een probleem, zeker in vergelijking tot TOC (± 3 mg/l). De binding aan kool speelt hierbij een belangrijke rol. Geosmine moet voor de binding de competitie aangaan met andere stoffen. De verwijdering zal sterk afhankelijk zijn van de aanwezige biofilm. Door een biofilm is de ringverbinding van geosmine makkelijk af te breken. De afbraak door een biofilm op de kool is wenselijk om te voorkomen dat gebonden geosmine van de kool vrijkomt en nageleverd wordt.

Geosmine kan ook afgebroken worden door chlorering, maar dit wordt niet meer gebruikt in zuiveringen, i.v.m. wet- en regelgeving.



Figuur 1. Chemische structuur van geosmine.

Klimaatverandering

Als gevolg van “Global Warming” is de algemene trend dat de zomers warmer en droger worden. Cyanobacteriebloeiën zullen sterker zijn, vaker optreden en langduriger zijn (Bresser et al., 2005).

Over de lange termijn (30 jaar) zullen door vergaande zuivering van het afvalwater en verhinderen van ongezuiverde lozingen, de hoeveelheden aan nutriënten (met name stikstof) in Nederland lager worden. Dit zal echter nog enkele decennia duren, omdat nutriënten nog lange tijd worden nageleverd. Een beperkte beschikbaarheid aan stikstof kan echter leiden tot een competitief voordeel voor N-fixerende cyanobacteriën. Hetgeen tot een verslechtering van het probleem kan leiden.

De problemen zijn op te lossen door meer (voldoende) zuiveringsstappen in te bouwen. Het huidige beleid (KRW) is er echter opgericht dat de productie van drinkwater juist met eenvoudige zuivering moet worden kunnen uitgevoerd.

5. *Wat is het gevolg van bovenstaande problemen op de verwijdering van toxines?*

Naar het zich laat aanzien zullen in eerste instantie (komende decennia) de problemen groter kunnen worden. Dit zal met name leiden tot een hogere belasting en problemen bij de verwijdering van deeltjes (algen) door filtratie en flocculatie. Het doorslaan of open gaan van een ‘by pass’ is uiteraard onwenselijk.

Zoals eerder aangegeven doen de voornaamste problemen zich voor in de Berenplaat. Petruševski (1996) heeft een overzicht gegeven. (tabel 1)

Tabel 1

Verwijdering van algen in verschillende zuiveringsstappen (Petruševski, 1996).

Unit Operation	Removal efficiency	Associated problems
1. Microstraining	* only high for species larger than mesh size (usually 35 μm)	* fast clogging during blooms * some filamentous species become matted and are difficult to remove
2. Coagulation + Sedimentation	* varies over a wide range as a function of dominant species, growth phase and process parameters; * some species pass treatment easily (e.g. very small algae)	* process optimisation difficult
3. Coagulation + Flotation	* higher than with coag./sedimentation; * certain species difficult to remove (e.g. large diatoms)	* process optimisation and operation difficult
4. Rapid Sand Filtration	* generally low, and depends on dominant algal species	* fast filter clogging if algal concentration high
5. Slow Sand Filtration	* very high for most algal species * some very small species may pass filters	* fast clogging if algae present in moderate concentration * possible proliferation of algae on filter surface and in the supernatant
6. Oxidation	* kills algae or alters their properties and consequently enhances their removal during later treatment stages	* release of dissolved organics in water if higher dosages applied * possible production of oxidation by-products that may be health-hazardous
7. Direct Filtration	* considerably higher than with rapid sand filtration * small, unicellular species may pass filter	* fast clogging possible if algal concentration very high

Petruševski, B. 1996. Algae and particle removal in direct filtration of Biesbosch water. Influence of algal characteristics, oxidation, and other pre-treatment condition. PhD thesis, TUD/IHE, Delft.

6. *Treden bovenbesproken fysieke problemen daadwerkelijk op (ergens in NL)? Hoe wordt hiermee omgegaan?*

In Polen, waterbedrijf van Łódź, treden grote problemen op. In het ondiepe stuwmeer is een hoge dichtheid aan cyanobacteriën en regelmatig is er een ophoping in de kreek van het innamewerk.

In Nederland worden de spaarbekkens te Andijk gevoed met IJsselmeer water. De kwaliteit m.b.t. cyanobacteriën is in de zomer veelal slecht en veroorzaken ook problemen in de zuiveringen.

Water voor het Haagse drinkwater wordt vanuit de Maas (na defosfatering) in de duinen geïnfiltreerd. Dit water wordt na microzeven (verwijdering algen en dierlijke organismen) getransporteerd van Brakel naar de kust. In de duinplassen en verzamelkom wordt regelmatig overmatige algengroei waargenomen. In de zuivering hebben zich ook fysieke problemen voorgedaan (dichtslibben van filters).

WML (De Lange Vlieter, Limburg) beheert een diep spaarbekken met kunstmatige menging en ondervindt (nog) geen problemen.

Onderdeel B. Oplossingsrichtingen

7. *Aanpak problemen bij de bron (in de bekkens) of misschien net zo makkelijk tijdens de zuiveringen (hoe dan?)*

Gezien de fysische aspecten is een aanpak bij de bron het meest efficiënt. Voor een optimale verwijdering in de zuivering kan gebruik worden gemaakt van ultrafiltratie of reversed osmose.

De gezamenlijk conclusie was dat de aanpak van het probleem bij de bron wenselijk is, maar dat zuiveringen voldoende robuust moeten zijn om eventuele problemen het hoofd te kunnen beiden. In dat geval zijn zuiveringen ook op nieuwe bedreigingen ingericht.

Plankton voorkomen groei:

- Chemische defosfatering van ingenomen Maaswater (nadelen: grote dure installatie en helder water geosmineproducenten kunnen nog meer gaan groeien)
Defosfatering met FeCl_3 heeft ook een nadeel. In veel gevallen leidt de toepassing bij aanvang tot een sterkere groei van algen. De watersector (KIWA) is van mening dat bij de bereiding van drinkwater zo min mogelijk stoffen of verbindingen moeten worden toegevoegd aan water. Voor het defosfateren van in het ingenomen water is een grote installatie noodzakelijk, is een relatief dure maatregel en produceert veel afval.

Andere methoden om eutrofiëring te verminderen zijn:

- Selectief innamebeleid: in dat geval is de capaciteit van het systeem ontoereikend om aan de vraag naar voorgezuiverd water te kunnen voldoen.
- Regulering van de lozing van nutriënten middels wetgeving en handhaving: dit is een lange weg en in een internationaal stroomgebied moeilijk realiseerbaar.
- Biologische verwijdering: Het toepassen van hangcultures van mosselen om nutriënten vast te leggen. Op een dergelijk grote schaal zijn de ervaringen beperkt en de bedrijfszekerheid niet gewaarborgd.

Een nadeel van het creëren van helder water is het vergroten van de kans op een geosmineprobleem. Licht kan vaker over een groter areaal instralen tot op de bodem.

- Optimalisatie beluchting menging (aanpassen installatie en vergroten capaciteit naar $9,2 \text{ m}^3/100\text{ha}/\text{min}$ en/of aanpassen morfologie)
Optimalisatie zal zeker een positief effect hebben. Niet alle deelnemers zijn er van overtuigd of deze maatregel het probleem volledig kan tegen gaan.

Bestrijden bloei: Voorwaarde bij het bestrijden van een bloei is een vroegtijdige detectie van een lage biomassa. Nieuwe technieken (ELISA voor toxines en in situ metingen van de algensamenstelling en biomassa) kunnen uitkomst bieden.

- Algiciden. Chemische bestrijding van drijfslagen is zeer onverstandig. Alle toxines komen in één keer vrij en moeten in korte tijd worden afgevangen en kunnen in het (eco)systeem eventueel sterfte veroorzaken. Het toepassen van andere (bestrijdings)middelen in de bron van drinkwater is ongewenst.
- Virussen (nog niet operationeel)
Niet behandeld. Nog te weinig ervaring mee om op zo'n schaal te kunnen toepassen.
- Klappen van gasvacuoles
Deze methode zal alleen werken bij een hoge biomassa en dan komen alle toxines in één keer vrij en de andere twee bekkens zijn opnieuw geënt. Tijdens het verblijf zal het toxine gehalte enigszins afnemen, maar mogelijk is dat niet afdoende. Deze methode vereist een druk van 8 bar. Dit gaat veel energie kosten of voor de constructie is een zeer diepe buis noodzakelijk.

Benthische cyanobacteriën

- Chemische bestrijding (CuSO_4) per actie 10 g Cu per m^2 (ongewenst ivm interventiewaarden en invloed ecosysteem), en ruim 400 mg/l
- Algiciden
Het toepassen van andere (bestrijdings)middelen in de bron van drinkwater is ongewenst.
- Biesbosch-eg (oppervlak groot, veel tijd en kosten door afgelegen locatie)
Spreekt voor zich.

Aanpak van het probleem m.b.t. planktonische algen (cyanobacteriën) kan leiden tot een groter probleem met geosmine producerende (bodem)cyanobacteriën. Helder water leidt tot het dieper

instralen van licht. Door de vorm van de bekkens (helling neemt af in de diepte) kan een groter areaal of hetzelfde areaal vaker voldoende licht krijgen om de groei van deze cyanobacteriën mogelijk te maken.

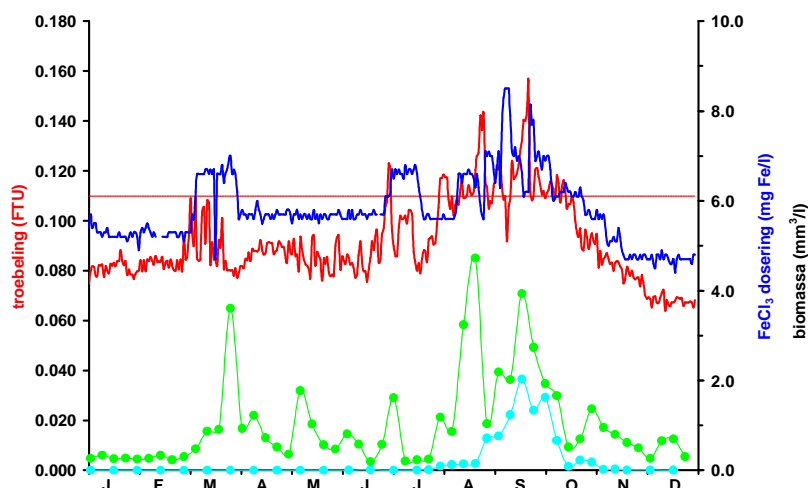
- Aanpassen morfologie (wegnemen/sterk reduceren van het areaal van het substraat) zie eerder

Slotconclusie:

Alleen het aanpassen van de morfologie en optimalisatie menging pakt beide problemen aan. In de andere gevallen kan het wegnemen of oplossen van een probleem juist het andere probleem versterken.

En: wed niet op 1 paard. Pas morfologie en menging aan, maar vergeet de zuivering niet. De zuivering moet robuust zijn en voorbereid op de meeste calamiteiten. Een goed beheer is noodzakelijk!

Bijlage 4. Wat gebeurde er precies in 1995?



Figuur 1. Het effect van de algenbiomassa op de werking van de zuivering Berenplaat.

● : totale algenbiomassa; ● : biomassa aan cyanobacteriën; — : troebeling na enkellaagsfilters (reinwater); —: maximaal toelaatbare waarde voor troebeling van reinwater; — : dosering FeCl₃.

Microcystis cellen in reinwater van zuivering Berenplaat

In de zuivering Berenplaat (voor zuiveringsschema zie bijlage 2) worden grote algen door middel van microzeven verwijderd. De kleinere algen worden door middel van vlokvorming geconcentreerd en door middel van een vlokkendeken afgevangen (dit proces wordt ook wel flocculatie genoemd). Voor de vorming van vlokken wordt ijzer(III)chloride aan het water toegevoegd (dosering circa 5 mg Fe/l). Bij hogere dichtheden wordt deze dosering enigszins verhoogd. Na de flocculatie wordt het water gefiltreerd door een enkellaagsfilter om deeltjes af te vangen en eventuele ongewenste opgeloste verbindingen aan actief kool (korrelkool, Chemviron type 8611) te binden. Als gevolg daarvan wordt het water helder en is de troebeling laag (lager dan 0,11 FTU).

In 1995 kwam er tijdens de nazomer een hoge algenbiomassa, bestaande uit voornamelijk *Microcystis*, in het voorgezuiverde water uit de Biesbosch spaarbekkens voor (Figuur 1). In verband met deze hoge *Microcystis*-biomassa werd de ijzerdosering aanzienlijk verhoogd (tot 8,5 mg Fe/l). Desalniettemin was de werking van de zuivering niet optimaal, nam het aantal spoelingen toe en werd het water te troebel. Onderzoek wees uit dat de verhoogde troebeling niet het gevolg was van doorslag van ijzer, maar dat ze werd veroorzaakt door cellen van *Microcystis* die in het reinwater voorkwamen (mondelijke mededeling K. de Wee processtechnoloog bij Evides waterbedrijf, 7 oktober 2005). Het voorkomen van deeltjes en organismen afkomstig uit de bron (oppervlakte water) is niet wenselijk. Dit geldt vooral voor organismen zoals *Microcystis*, die voor de mens toxische stoffen kunnen produceren.

Bijlage 5. Bandbreedtes zuiveringen

Toxines van cyanobacteriën komen in een tweetal compartimenten voor, te weten in cellen (intracellulair) en vrij (opgelost) in het water (extracellulair). Drinkwaterzuiveringen moeten de toxines uit beide compartimenten kunnen verwijderen.

Intracellulaire toxines

Door intacte cellen te af te vangen, kunnen intracellulaire toxines uit het water worden verwijderd. Verschillende studies (House et al., 2004) hebben uitgewezen dat dit effect goed met coagulatie kan worden bereikt, waarbij het risico dat toxines vrijkomen minimaal is. Oxidatie voorafgaand aan de vlokvorming kan de cellen beschadigen, waardoor cellysis optreedt en de toxines uit de cellen vrijkomen. Pietsch et al., (2002: in House et al., 2004) rapporteerden dat het coagulatie/flocculatie-proces (met aluminium, 4 mg Al/l, of ijzerchloridesulfaat, 6 mg Fe/l) het vrijkomen van toxines uit cellen van *Microcystis aeruginosa* en *Planktothrix rubescens* (indien celcultures in stationaire fase waren) bevordert. Bij exponentiële groei kon dit effect niet worden aangetoond. Drikas et al. (2001) vonden dat in de ingedikte celmassa, die ontstaat tijdens de coagulatie, lysis kan optreden en toxines vrijkomen. Een juist beheer op het verwijderen en hergebruik van het slib is van belang.

Verschillende studies wezen uit dat cyanobacteriën door de aanwezigheid van gasvacuoles efficiënter met flotatie kunnen worden verwijderd (House et al., 2004).

Rapala et al. (2002 in House et al., 2004) vonden voor intracellulaire toxines de volgende verwijderingspercentages:

- Combinatie van coagulatie/zuivering/zandfiltratie verwijdert 86% van de intracellulaire toxines;
- Langzame zandfiltratie verwijdert 36% van de intracellulaire toxines;
- Coagulatie gevolgd door sedimentatie verwijdert 83% van de intracellulaire toxines;
- Coagulatie gevolgd door twee sedimentatiestappen verwijdert 83% van de intracellulaire toxines;
- Coagulatie gevolgd door sedimentatiestap flotatie verwijdert 99% van de intracellulaire toxines;

Extracellulaire toxines (verwijderingspercentage uit House et al., 2004)

- Oxidatie leidt tot destructie van vrij microcystine.
- Oxidatie met chloor leidt tot een destructie van 6 tot 100% (gemiddelde 75% en mediaan 93%) van het vrij microcystine. Anatoxine raakt echter door dit oxidatiemiddel nauwelijks beschadigd.
- Ozon is een effectiever oxidatiemiddel dan chloor en leidt tot de destructie van 50 tot 100% (gemiddelde 92% en mediaan 100%). Andere toxines (waardonder anatoxines) worden ook eerder beschadigd.
- Organische verbindingen en dus ook toxines kunnen uit het water worden verwijderd door ze te laten binden aan actieve kool. Deze actieve kool kan in vele vormen en kwaliteiten worden verkregen. In de zuiveringen is er verder een grote variatie in dosering (bij poederkool) en contacttijd.
- Poederkool kan 20 tot meer dan 99% van het vrij microcystine adsorberen (gemiddelde 79% en mediaan 90%).
- Korrelkool kan minder dan 2 tot 100% van het vrij microcystine adsorberen (gemiddelde 49% en mediaan 50%).
- Carpentier et al. (1999) veronderstelden een verwijdering van 90%, wat mogelijk aan de hoge kant is.