

## controlerend – mengen - verticaal

broninfo	n.v.t.
brongrootte	n.v.t.
werkingsprincipe	<p>Een belangrijke succesfactor van veel overlast veroorzakende blauwalg is hun drijfvermogen door hun gasblaasjes. Hierdoor kunnen cyanobacteriën in de bovenste lagen van het water verblijven en daar het meeste licht invangen. Vooral in diepe gestratificeerde meren is dat een voordeel t.o.v. andere niet drijvende fytoplanktonsoorten die naar de diepte zakken (1).</p> <p>Door de blauwalgen actief diep te mengen vangen cellen onvoldoende licht om goed te kunnen groeien. De (drijf)voordelen die blauwalgen hebben worden opgeheven. De concurrentiekracht van het overig fytoplankton neemt extra toe doordat hun verliesterm door sedimentatie afneemt (2). Daarnaast wordt de biomassa over de gehele diepte verdeeld waardoor de concentratie bovenin de waterkolom afneemt en drijfalg wordt voorkomen.</p>
systeemeisen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Er moet een verticale neerwaartse stroming op gang gebracht worden die de stijgsnelheid van de blauwalgen overtreft. Alleen destratificeren is dus niet afdoende. De vorm van de plas en de verhouding tussen diep en ondiep areaal is daarbij van belang, want ook water in de ondiepe delen moet meedoen in de circulatie.</li> <li>• Verticale menging is inzetbaar in gestratificeerde diepe meren. De menging moet diep genoeg zijn lichtlimitatie te forceren.</li> <li>• <i>Microcystis</i> heeft grote kolonies en hoge stijgsnelheden en is daardoor de lastigste soort om te bestrijden (1).</li> <li>• Als ondieper wordt gemengd: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nemen de aanleg- en energiekosten toe. Als in de Nieuwe Meer bij dezelfde techniek en uitgangspunten wordt gerekend dan moet 145 kWh worden aangelegd bij een mengdiepte (<math>z_m</math>) = 15 m, en 85 kWh bij <math>z_m = 20</math> m (3).</li> <li>• Neemt de kans toe dat de effectiviteit afneemt. Zie hieronder en ook onder <i>risico's</i>.</li> </ul> </li> <li>• Desalniettemin valt te overwegen om niet de gehele waterkolom te mengen, maar een deel van het hypolimnion ongestoord te laten voor andere doeleinden zoals koudewinning.</li> </ul> <p>Op basis van onderstaand: Bij <math>z_m = 20</math> meter mengdiepte (<math>z_m</math>) is verticale menging zeer kansrijk bij acceptabele kosten. Bij <math>z_m = 15</math> m kunnen waarschijnlijk blauwalgenbloeiën worden tegengegaan. Oudere studies geven aan dat hier de grens bereikt is. Een recente studie over De Nieuwe Meer geeft aan dat nog ondieper mengen ook succesvol zou kunnen zijn (zie hieronder).</p> <p>Praktijkvoorbeelden en modellering kunnen helpen om te bepalen of (1) een meer effectief verticaal gemengd kan worden en (2) wat de minimale mengdiepte (<math>z_m</math>) is:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uit literatuuronderzoek van praktijkvoorbeelden (<math>n=13</math>) blijkt dat succesvolle verticale menging om <i>Microcystis</i> te bestrijden mogelijk is bij een gemiddelde diepte (<math>z_{gem}</math>) &gt; 15.8 m. Bij andere soorten kan het ook in ondiepere meren succesvol zijn (1).</li> <li>• In een troebel meer zal een lichtlimitatie eerder optreden dan in helder water. De eufotische diepte (<math>z_{eu}</math>, waar nog net genoeg licht is) is van belang. Als vuistregel voor een effectieve mengdiepte kan uitgegaan worden van <math>z_m/z_{eu} &gt; 3</math>, gebaseerd op <i>Anabaena circinalis</i> en <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (1).</li> <li>• In De Nieuwe Meer (Amsterdam, <math>z_{gem} = 14.7</math> m, <math>z_{max} = 30</math> m) is inmiddels veel ervaring opgedaan met de bestaande menginstallatie(s), en er is ook veel gerekend. De doelsoort is <i>Microcystis</i>. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>z_m &gt; 20</math> m is in de praktijk zeer effectief (4,5).</li> <li>• <math>z_m = 11</math> m, op basis van een nieuwe rekenmethode (6).</li> <li>• <math>z_m = 15</math> meter, waarbij 20 µg/l chlorofyl-a acceptabel wordt geacht (7). Het betreft niet gecalibreerde modelresultaten en onderbouwing ontbreekt wat betreft de toelaatbare chlorofyl-a concentraties. Deze concentraties <i>Microcystis</i> midden op de plas kunnen tot drijfalg leiden aan de oevers (8).</li> <li>• <math>z_m = 15</math> m is mogelijk, berekend door de ontwerper van de installatie (3).</li> <li>• <math>z_m = 15</math> m zal resulteren in toename van (blauw)algenbiomassa's met een factor 2-3. Risico's op drijfalg nemen dan ook toe (9).</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>z_m = 15</math> meter is mogelijk, maar alleen gebaseerd op modelberekeningen (10)<sup>1</sup>.</li> <li>• In de Bosplas (<math>z_{gem} = 10.5</math> m, <math>z_{max} = 20</math> m, <math>z_m = 15</math> m) waren de resultaten redelijk, maar konden bloeien niet geheel voorkomen worden. De menging was niet optimaal en mogelijk is ook de mengdiepte in de plas niet groot genoeg (5). Het systeem in de Bosplas is in 2014 verwijderd.</li> </ul>
effectiviteit/ werkingsduur	Er is veel ervaring met verticale menging. Blauwalgbloeien en drijfslagvorming kan effectief worden tegengegaan mits het tijdig wordt ingezet (normaliter in mei). De werkingsduur wordt bepaald door de technische werkingsduur. In de Nieuwe Meer zijn na ongeveer tien jaar zowel de lijnbeluchting als de compressors vervangen. Inmiddels is meer ervaring met kosteneffectieve puntbeluchters die naar verwachting langer meegaan (toegepast in Zegerplas en Vlietland).
uitvoering	<p>De menging wordt gerealiseerd door op grote diepte kleine belletjes lucht in te brengen. Met het opstijgen van de lucht ontstaat verticale stroming in het watersysteem (zie illustratie). Normaliter is een dergelijke installatie de hele zomer (bv. vanaf mei) in bedrijf.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Er kan op een aantal locaties een puntbeluchting (met diffusors) geïnstalleerd worden of er kan door middel van een buizen netwerk een lijnbeluchting aangelegd worden. Voor deze technieken is veel ervaring en kennis aanwezig (zie onder <i>verder lezen</i>).</li> <li>• Een op zich conventionele techniek maar niet veel toegepast voor blauwalgbestrijding betreft een <i>airlift</i> (bellenpomp). Hierbij wordt de lucht onder in een buis gepompt, waardoor de opwaartse stroming in de buis plaats vindt. Een beltenpomp is vanaf 2011 een aantal jaren gebruikt in de kleine Ursemmerplas (maximaal 17 meter diep, 0.03 km<sup>2</sup> oppervlak) met aanvankelijk positief resultaat. Uiteindelijk bleek de capaciteit onvoldoende om de plas blauwalgvrij te houden en wordt de airlift niet meer ingezet (info Dennis Kos HHNK).</li> <li>• Voor De Nieuwe Meer (1.3 km<sup>2</sup>) is gesteld dat drie airlifts de huidige opstelling kunnen vervangen (7). Deze layout wordt echter niet onderbouwd maar zou 85% minder energiekosten opleveren, gebaseerd op 110 kW resp. 30 kW aan geïnstalleerd compressorvermogen<sup>2</sup>. De layout van de Nieuwe Meer genereert 5.3 resp. 4.5 m<sup>3</sup>/s/kW waterverplaatsing (bij mengdieptes van 20 en 15 m) (3). De airlift in de Ursemmerplas genereert 0.5 m<sup>3</sup>/s/kW waterverplaatsing (mengdiepte 13 m) (11). E.e.a. bevestigt een beknopte literatuurstudie waarin het rendement van een beltenpomp (met een kleinere diameter) op 0.13 – 0.52 m<sup>3</sup>/s/kW waterverplaatsing wordt berekend (12). Dit ondersteunt niet dat de airlift energetisch voordeliger uitpakt dan een luchtmenger, integendeel.</li> </ul>
risico's	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bij installatie in een te ondiepe plas is het werkingsprincipe lichtlimitatie niet van toepassing. Dan blijft concentratieverlaging als gevolg van verdunning over en dat geeft minder goede resultaten. In het slechtste geval functioneert de menging juist als een industriële 'batch reactor' en kunnen de algen meer licht krijgen dan in een situatie zonder menging. Dat zou de groei juist kunnen bevorderen (al geeft fluctuerend licht een</li> </ul>

<sup>1</sup> Niet publiek beschikbaar, betreft studie in opdracht van Nuon.

<sup>2</sup> Voor beide layouts wordt uitgegaan van een mengdiepte van 15 meter.

	<p>langzamere groeisnelheid t.o.v. een constante lichttoevoer (2). M.n. <i>Plankthotrix</i> zou daarvan kunnen profiteren. Dit is waargenomen in de zwemplas De Kuil. Daar kan ook het ontwerp van de menger (windaangedreven) een rol gespeeld hebben (13). Juist als er weinig wind is hebben blauwalgen concurrentievoordeel en dan staat een windaangedreven menger stil.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Als ervoor gekozen wordt om (een deel van) het hypolimnion intact te laten (t.b.v. koudewinning) kan het zijn dat de diepe waterbodem zuurstofloos wordt. Dit heeft negatieve gevolgen voor fauna en kan (ijzergebonden) fosfaatsnalevering bevorderen.</li> <li>• Uitval/storing van het systeem kan binnen enkele weken tot bloei en drijfslagen van blauwalgenmateriaal zorgen (8). Bij een installatie in een ondiepe plas waarbij lichtlimitatie minder of niet aan de orde is zal deze periode naar verwachting korter zijn.</li> <li>• Verkeerd getimed gebruik kan leiden tot het opmengen van diep (zuurstofloos) water, met massale vissterfte tot gevolg. Dit is gebeurd in de Ursemmerplas (2017).</li> </ul>
neveneffecten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Door de complete verticale menging blijft de waterbodem in de zomer zuurstofrijk. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dit heeft mogelijk een verminderde flux van ijzergebonden fosfaatsnalevering uit de waterbodem tot gevolg. Aan de andere kant kunnen de hogere zuurstofconcentraties en hogere temperatuur van het sediment resulteren in meer afbraak van organisch materiaal en daardoor juist meer nalevering van fosfaat (14). Het netto effect is onduidelijk. Voor de blauwalgenbloei is de nutriëntenstatus niet van belang in een goed gemengd diep systeem, voor het behalen van de ecologische (KRW-)doelen wel.</li> <li>• De leefomgeving voor bodemvoedsel-etende vis zoals brasem wordt vergroot, waardoor de biomassa kan toenemen. Dit kan negatieve effecten hebben op ondiepe vegetatieontwikkeling en wellicht ook fosfaatsnalevering vanuit de waterbodem al wordt dit effect vooralsnog als laag ingeschat (15).</li> </ul> </li> <li>• In zijn totaliteit zijn de verwachte neveneffecten gering en netto positief omdat blauwalgen afnemen en helderheid toeneemt, wat weer gunstig is voor submerse vegetatie (16).</li> </ul>
kosten	<p>De kosten bedragen (aanneemsom inc. btw) ongeveer k€ 750 /km<sup>2</sup> in het geval van plassen met een maximale diepte van ongeveer 30 m. De energiekosten (50 kW) bedragen ongeveer k€ 30 per jaar. Ondiepere en kleinere plassen worden relatief duurder. Kosten kunnen wellicht beperkt worden door optimalisatie van het ontwerp en beheer (4,8).</p>
referentieprojecten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nieuwe Meer (Amsterdam) (3–5,8,17,18)</li> <li>• Vlietland (Voorschoten) (19,20)</li> <li>• Zegerplas (Alphen a/d Rijn) (19)</li> <li>• Haarlemmermeerse Bosplas (Hoofddorp, sinds 2014 niet meer in gebruik) (5)</li> <li>• drinkwaterbekkens Petrusplaat, Honderd en Dertig, de Gijster (de Biesbosch) (21–23).</li> </ul>
verder lezen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voor algemene info over principes van verticale luchtmenging (5,18,19,24).</li> <li>• Over drijfvermogen en drijfslagvorming van <i>Microcystis</i> (25).</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Visser PM, Ibelings BW, Bormans M, Huisman J. Artificial mixing to control cyanobacterial blooms: a review. <i>Aquat Ecol</i> [Internet]. 19 augustus 2015;50(3):423–41. Beschikbaar op: <a href="http://dx.doi.org/10.1007/s10452-015-9537-0">http://dx.doi.org/10.1007/s10452-015-9537-0</a></li> <li>2. Köhler J, Wang L, Guislain A, Shatwell T. Influence of vertical mixing on light-dependency of phytoplankton growth. <i>Limnol Oceanogr</i> [Internet]. mei 2018;63(3):1156–67. Beschikbaar op: <a href="http://dx.doi.org/10.1002/lno.10761">http://dx.doi.org/10.1002/lno.10761</a></li> <li>3. Jungo E. Nieuwe Meer Amsterdam; Limitation of <i>Microcystis</i>; Adaptation of the existing bubble plume installation; Feasibility Study. Zürich: Jungo Engineering LTD.; 2004 mrt. Report No.: V1Ju.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Visser PM, Ibelings BW, van der Veer B, Koedood J, Mur L. Artificial mixing prevents nuisance blooms of the cyanobacterium <i>Microcystis</i> Lake Nieuwe Meer, the Netherlands. <i>Freshw Biol.</i> 1996;36:435–450.</li> <li>5. Stroom JM, van Schaik F. Beknopte evaluatie mengsystemen Bosplas en Nieuwe Meer. Leiden: Hoogheemraadschap van Rijnland; 2007 jan.</li> <li>6. Uittenbogaard R, Pires MD. Risico's blauwalgenoverlast omhoogbrengen luchtbellenscherm Nieuwe Meer; Concept. Delft: Deltares; 2018 nov. Report No.: 11202411-002-ZWS-0001.</li> <li>7. van de Weerd H. Onderzoek KRW maatregelen Nieuwe Meer en Amstelveense Poel. Apeldoorn: Arcadis Nederland BV; 2014 jan. Report No.: 077566245:0.9.</li> <li>8. Huisman J, Jöhnk K, Sommeijer B, Sharples J, Visser P, Stroom JM, e.a. Intermittent Mixing in Lake Nieuwe Meer, Field Experiment and Model Simulations 2003. Amsterdam: IBED, Universiteit van Amsterdam; 2004 jun.</li> <li>9. Los H, Uittenbogaard R. Expert opinion adaptation Nieuwe Meer Bubble installation. WL Delft Hydraulics; 2004.</li> <li>10. Huisman J, Jöhnk K. Simulation of the population development of the toxic cyanobacterium <i>Microcystis</i> in Lake Nieuwe Meer under proposed heated water inflow scenarios; Phase 4: Simulations for confined heat input. Amsterdam: Aquatic Microbiology, IBED, University of Amsterdam (AMB); 2004 okt.</li> <li>11. Buiters R. Belletjes tegen de blauwalg. <i>Visionair</i>. september 2013;(29).</li> <li>12. Uittenbogaard RE. Instelling bellenscherm t.b.v. verzoek simulaties en bezwaren oppositie vergunning; Uitbreiding energie verbruik per 18 juni 2014 (nav discussie air lifts). Deltares; 2014.</li> <li>13. Haskoning. Vervolgstudie bestrijding <i>oscillatoria rubescens</i> en <i>ceratium hirundinella</i> in de Kuil; eindrapport. Haskoning / Hoogheemraadschap van West-Brabant; 1996 aug. Report No.: 7212.D1772.B0/R003/BWI/GKK.</li> <li>14. Chorus I, Bartram J. Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring, and management. London; New York: E &amp; FN Spon; 1999.</li> <li>15. Osté L, Roskam G, Los H, Cinjee A. Fosfaatfixatie in de Sloterplassen - Concept 4. Delft: Deltares; 2014 feb. Report No.: 1208370-000, versie 2.</li> <li>16. Jaarsma NG. Onderzoek neveneffecten luchtmenginstallaties op diepe plassen. Deventer: Witteveen + Bos; 2011. Report No.: LEDN176-1.</li> <li>17. Jungo E. Nieuwe Meer Amsterdam; <i>Microcystis</i> - Bekaempfung mit Kuenstlicher Zirkulation; Machbarkeitsstudie. Zürich: Ingenieurbuero Jungo; 1991 sep.</li> <li>18. Jungo E, Visser PM, Stroom J, Mur LR. Artificial mixing to reduce growth of the blue-green alga <i>Microcystis</i> in Lake Nieuwe Meer, Amsterdam: an evaluation of 7 years of experience. <i>Water Sci Technol Water Supply.</i> 2001;1(1):17–23.</li> <li>19. Uittenbogaard R, Aparicio Medrano E. Hydrodynamic simulations of the reduction of microcystis blooms by bubble plumes in deep lakes. Delft: Deltares; 2011 nov. Report No.: 1002213-000-DSC-0003.</li> <li>20. Aparicio Medrano E, Uittenbogaard RE, Dionisio Pires LM, van de Wiel BJH, Clercx HJH. Coupling hydrodynamics and buoyancy regulation in <i>Microcystis aeruginosa</i> for its vertical distribution in lakes. <i>Ecol Model</i></li> </ol>
4	<p style="text-align: center;"> <i>Beating the Blues, 2019-06-25</i>  <i>J.M. Stroom (Waternet), W.E.A. Kardinaal (KWR)</i>  <a href="mailto:stowa@stowa.nl">stowa@stowa.nl</a> </p>

	<p>[Internet]. januari 2013 [geciteerd 8 januari 2014];248(Supplement C):41–56. Beschikbaar op: <a href="http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380012004784">http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380012004784</a></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>21. Oskam G, van Breemen LWCA. Management of Biesbosch reservoirs for quality control with special reference to eutrophication. In: Sutcliffe DW, Jones JG, redacteurs. Eutrophication: research and application to water supply [Internet]. Ambleside, UK: Freshwater Biological Association; 1992. p. 197–213. (FBA Special Publications). Beschikbaar op: <a href="http://aquaticcommons.org/5297/">http://aquaticcommons.org/5297/</a></li> <li>22. van Breemen LWCA, Ketelaars HAM. The influence of artificial mixing and other factors on algal biomass in the Biesbosch reservoirs. International Water Supply Association GB, redacteur. Aqua Q Bull Int Water Supply Assoc. 1995;44(suppl. 1):65–71.</li> <li>23. Visser PetraM, Ketelaarsl HenkAM, Breemen LambertWCA, Mur LuucR. Diurnal buoyancy changes of Microcystis in an artificially mixed storage reservoir. Hydrobiologia [Internet]. 1 september 1996;331(1–3):131–41. Beschikbaar op: <a href="http://dx.doi.org/10.1007/BF00025414">http://dx.doi.org/10.1007/BF00025414</a></li> <li>24. Cooke GD, Welch EB, Peterson S, Nichols SA. Restoration and Management of Lakes and Reservoirs. 3de dr. Boca Raton, FL: Taylor &amp; Francis; 2005. 692 p.</li> <li>25. Aparicio Medrano E. Physical aspects explaining cyanobacteria scum formation in natural systems [Internet] [dissertation]. [Eindhoven]: Eindhoven University of Technology; 2014 [geciteerd 18 juni 2014]. Beschikbaar op: <a href="http://dtvirt35.deltares.nl/products/30587">http://dtvirt35.deltares.nl/products/30587</a></li> </ol>
kennishouders	<p>kennisinstituut</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Universiteit van Amsterdam (Petra Visser, blauwalgen)</li> <li>• Deltares (Rob Uittenbogaard, mengen)</li> <li>• Universiteit van Genève (Bas Ibelings, blauwalgen)</li> </ul> <p>overheid</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luchtmenging: HHRS Rijnland (Johan Oosterbaan en Mike Heuzen)</li> <li>• Airlift: HHNK (Dennis Kos)</li> </ul> <p>overig</p>
illustratie	