

controlerend – biomassa verwijderen – ultrasoon geluid

broninfo	n.v.t.
brongrootte	n.v.t.
werkingsprincipe	<p>Ultrasoon (US) is hoogfrequent geluid. Dit kan in water exploderende minuscule cavitatiebellen genereren waarbij lokaal omstandigheden optreden in de orde van 5000 °C en 500 bar (1,2). In de toepassing op algen gaan (onderdelen van) cellen stuk: ze worden 'sonisch gekraakt'. Met name de gasvacuolen (3,4) en heterocysten (5) van blauwalgen gaan stuk door US. Daarbij wordt ook de fotosynthese en groei geremd (3). In het geval dat de blauwalgen stuk gaan komen toxines en nutriënten sneller vrij en nemen ook de neveneffecten op andere trofische niveaus toe. Bij de zogenaamde 'laagvermogen'-toepassingen wordt geprobeerd alleen de interne gasvacuolen stuk te maken, en niet zozeer de gehele cel.</p> <p>Er zijn verschillende effecten mogelijk: van minder blauwalgen, tot meer blauwalgen (6,7), tot lethaal effect op meer trofische niveaus (8). Over het algemeen worden 1 of meerdere frequenties gebruikt die tussen ongeveer tussen 10 kHz en 2 MHz liggen (2,3,5–11).</p>
systeemeisen	<ul style="list-style-type: none"> Aangezien de risico's en neveneffecten potentieel aanzienlijk zijn en niet goed bekend, is terughoudendheid bij het toepassen van US aan de orde. Een goede ruimtelijke verdeling is noodzakelijk. De geluidsdruk neemt lineair af met de afstand tot de luidspreker ofwel de transducer (12). Bij metingen in een veldsituatie nam de geluidsdruk na 10 m af tot onder 1% van de geluidsdruk direct bij de transducer (2). Bij de experimenten in Tholen en de Gouden Ham zou het bereik 200 m zijn geweest (geen bron).
effectiviteit/ werkingsduur	<ul style="list-style-type: none"> Ultrasoon is een tijdelijke maatregel. Op het moment dat het stopt zal de algenbloei zich weer kunnen herpakken. Als het niet al te grof wordt aangepakt – met als voordeel wellicht minder neveneffecten – zullen cellen die naar de bodem zijn gezakt weer binnen orde grootte uren tot dagen weer actief kunnen worden in de waterkolom (7,9,13). Effectiviteit van US op zowel eencellige, koloniale en filamenteuze blauwalgen is aangetoond (3,14). Er is tegenstrijdigheid in de gerapporteerde effectiviteit. Dat zal er mee te maken hebben dat US wel een mate van selectiviteit heeft voor blauwalgen (3,15), maar overige organismen zijn ook gevoelig (zie onder <i>risico's</i>). Het is niet gegarandeerd dat het blauwalgprobleem al bij acceptabele neveneffecten vermindert. Er zijn weinig onafhankelijke publicaties gevonden van een succesvolle US veldtoepassing. Dit wordt in diverse reviews bevestigd (2,3,7,8,16). De veldstudies die er zijn geven onvoldoende informatie: <ul style="list-style-type: none"> Twee veldstudies geven positieve resultaten, maar volgens een review is er veel op die resultaten af te dingen (17). Als voorbehandeling voor een drinkwaterreservoir is US (LG Sonic) ingezet. De resultaten, gebaseerd op 1 jaar worden als positief gezien: zodra het juiste programma wordt aangezet wordt <i>Aphanizomenon</i> bestreden (18,19). In de twee jaar vóór US was echter al een grote waterkwaliteitsverbetering te zien. De waterkwaliteit in die periode voor de toepassing wordt niet weergegeven/getoetst aan de resultaten. Er worden twee reservoirs vergeleken waarbij niet duidelijk is of de reservoirs vergelijkbaar zijn. De conclusies zijn daarom niet overtuigend. In Engeland is een drietal veldstudies uitgevoerd (Dynamco model SS-5000). De conclusie waren inconsistent: er werd reductie van alle algengroepen aangetoond, geen effect, maar ook toename van blauwalgenbloeien (6). In Qaraoun Reservoir (Libanon) zijn 22 units geïnstalleerd (LG Sonic, MPC buoy). De eerste resultaten zijn positief, gebaseerd metingen door de MPC-buoy (20). In geen van deze studies wordt ingegaan op mogelijke (ongewenste) neveneffecten op aquatische ecologie. Veel effectstudies zijn kleinschalig en kortdurend (van seconden tot een half uur) in het lab uitgevoerd (bekerglas- tot vissenkomp-formaat). Daar komt vooral uit dat US effectief is tegen blauwalgen, maar dit wordt bij veel hogere geluidsdrukken uitgevoerd dan in het veld mogelijk is (3). De labstudies zijn nauwelijks te vertalen naar de praktijk door de variatie in de geluidsdruk t.o.v. de afstand tot de transducer en transportprocessen. Bovendien is niet bekend wat de neveneffecten zijn bij deze behandelingen. <p>Meer in detail:</p> <ul style="list-style-type: none"> US van 0.035 W/ml (21) en 0.043 W/ml (4) bij 35 kHz kan fotosynthese <i>Microcystis</i> stoppen en cellen laten zinken zonder dat de cellen stuk gaan.

	<p>Dezelfde onderzoeksgroep geeft aan dat na behandeling de cellen weer actief kunnen worden, zeker in warmer water (4,13,22)¹.</p> <ul style="list-style-type: none"> Hogere frequenties (1.3 MHz) en hoger ingebracht vermogen (de effectieve geluidsdruk) bleek het effectiefste voor de bestrijding van <i>Microcystis</i> (23). Bij een hoge frequentie (862 kHz, 200 W) nam - op volgorde van afnemende effectiviteit - de fotosynthese sterk af van <i>Aphanizomenon</i>, <i>Microcystis</i> en <i>Scenedesmus</i> (14). Lagere frequenties kosten minder energie (3). Bij 30 en 300 Watt kan <i>Microcystis</i> bij twee doseringen van 2 min effectief bestreden worden (9). Ook groenalgen kunnen bestreden worden, het effectiefste bij frequenties > 1 MHz (24), en een diatomee juist bij lage frequenties (14). In een recente review van US is een conclusie dat de effectiviteit in het veld anders dan op labschaal aanvechtbaar is en kampt met een gebrek aan kennis (2).
uitvoering	De commercieel verkrijgbare US transducers zijn klein, verbruiken weinig energie (orde 10 – 100 W) en kunnen onderwater aan kades of onder drijvers gemonteerd worden, zo nodig gevoed door zonnepanelen.
risico's	<ul style="list-style-type: none"> Een belangrijk risico is het gebrek aan kennis. <ul style="list-style-type: none"> Er mist veldonderzoek waarbij op basis van metingen van 1) effect op blauwalgen, 2) neveneffecten op overige aquatische ecologie en 3) geluidsdruk/frequentie, wordt aangetoond dat US effectief, selectief voor blauwalgen en onschadelijk voor recreanten is. Vrijwel alle studies betreft labstudies (2,3,7,8,16). Dat is opvallend omdat US een bekende techniek is die wereldwijd en soms ook grootschalig wordt toegepast. Ook in NL is US toegepast, maar niet blijvend (zie onder <i>referentieprojecten</i>) Zoals onder <i>werkingsprincipe</i> aangegeven: de effectiviteit van US varieert sterk. US is zeer potent. Maar de selectiviteit kan laag zijn. Zie verder onder <i>neveneffecten</i> voor dit soort risico's. Fabrikanten zijn niet helder over hun producten. Vaak is niet duidelijk op welke frequenties en met welke geluidsdrukken wordt uitgezonden. Dat is niet alleen in NL zo, maar ook internationaal (8). Bij sommige producten wordt de frequentie en geluidsdruk op afstand aangepast (LG Sonic MPC). Dat kan voordelen hebben in effectiviteit, maar het maakt het nog lastiger om effectiviteit, risico's en neveneffecten objectief te bepalen. Zie verder onder <i>neveneffecten</i>. Er zijn voor zwemmers gezondheidsrisico's verbonden aan blootstelling aan ultrasoon omdat ultrasoon vergelijkbaar door een menselijk lichaam reist als door brak water en bovendien cellen heeft die vergelijkbaar zijn met algencellen (25). Gebaseerd op de NURC²-normeringen moet de zwemmer minimaal orde meters afstand houden van de transducer (5,25–27). Van belang daarbij is dat de NURC-normering over gepulst geluid gaat (12), terwijl bij algenbestrijding US ook permanent aan kan staan. Als gevolg van US kan desoriëntatie of gehoorschade optreden, ook wat dit aspect betreft wordt aanbevolen minimaal een meter van de transducer weg te blijven (10).
neveneffecten	<p>Er is weinig onderzoek gedaan naar neveneffecten in het veld³:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aangetoond is dat metalen (Cu, Zn, Cr, en Pb) uit sediment vrij kunnen komen bij gebruik van (laagvermogen) US (28). Dit verhoogt de concentraties in de waterfase. Onder hogere vermogens wordt US ook wel gebruikt om metalen bv. uit slib te verwijderen. In een testopstelling in twee identieke uit bedrijf geraakte bezinkbekkens in RWZI-Zwaanshoek is een Flexidal AL-50 getest. <i>Daphnia</i> verdween uit het behandelde bassin en chlorofyl-a nam (licht) toe (29). Emergente waterplanten bleken ongevoelig. Er is gemerkte vis uitgezet in de bassins. Na 1 en 4 maanden zat 37% respectievelijk 87% meer vissen in het bekken zonder US⁴. De lengteverdeling en het aandeel sterfte was in beide bassins gelijk. Bij hoge capaciteiten (om ballasttanks schoon te houden) bij 19-20 kHz bleek vooral zoöplankton gevoelig (sterfte binnen enkele seconden) in vergelijking met fytoplankton en bacteriën. Bv. <i>Aphanizomenon</i> had een tweemaal hogere dosis nodig dan de kleinste zoöplankton soorten (30). Maar ander onderzoek gaf aan dat juist hogere frequenties (tot 44 kHz) effectief <i>Daphnia</i>'s doden (31). Een Flexidal AL-05 (31) en een Flexidal AL-10 (17) bleken in de gebruikte frequenties (20 – 44 kHz) in labexperimenten <i>Daphnia Magna</i> te doden.

¹ Beide Tan et al. 2017 zijn op basis van de samenvattingen (hoofdttekst is Chinees)

² NATO Undersea Research Centre

³ Door leveranciers gefinancierd of beïnvloed onderzoek is hier niet meegenomen.

⁴ Het betrof te weinig datapunten om significantie te kunnen toetsen.

	<ul style="list-style-type: none"> • In de 1-2 MHz toepassing zijn ook ondergedoken waterplanten gevoelig voor US (8). • US kan bindingen verbreken waardoor fosfaten vrijkomen in het water (8). • In een literatuuronderzoek wordt geconcludeerd dat als blauwalgen met US bestreden kunnen worden er zeker ook nevenschade is op de aquatisch ecologie (8). Een vergelijkbare stelling is: als US werkt tegen algen dan is het gebruik gevaarlijk (12). • Bij de lagere frequenties wordt vooral zoöplankton gedood (30). • Bij meer vermogen en langduriger behandeling neemt het extracellulair toxinegehalte toe (23). Zeker <i>Aphanizomenon</i> gaat snel stuk (14). Positief is dat (cyano)toxines kunnen worden afgebroken door US (15,32). • Door het selectief verminderen van blauwalgen zou het aandeel en de biomassa groenalgen kunnen toenemen (15,33).
kosten	De Dommel heeft een LG Sonic MPC-Grid gekocht á k€25, de jaarlijkse kosten bedragen k€3-5. Een MPC-Buoy heeft een meerprijs van k€10.
referentieprojecten	<ul style="list-style-type: none"> • US is toegepast bij een aantal locaties waar de beheerders aangeven dat er geen of weinig aantoonbaar effect is geweest. De apparaten zijn niet meer operationeel. Ook hier valt op dat geen goede evaluaties hiervan beschikbaar zijn. <ul style="list-style-type: none"> ◦ Haven Tholen (2007, LG Sound LG Sonic XXL) ◦ Warmond (2007, SonicSolutions SS 500) ◦ Westeinderplassen (Aalsmeer, 2007, Flexidal AL-50) ◦ Gouden Ham (Maas, 2007) ◦ Zoetermeerse Plas (2015-2017, LG Sonic) • Op andere locaties wordt nog onderzocht: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Hendrik de Keijzervijver (Eindhoven, 2018, LG Sonic). ◦ IJzeren Man (Vught, moet nog starten in 2019, LG Sonic) • AMWater (inmiddels uit bedrijf, 19) • Qaraoun Reservoir, Libanon (2018, LG Sonic)
verder lezen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suslick KS. Sonochemistry. Science [Internet]. 1990;247(4949):1439–45. Beschikbaar op: http://www.jstor.org/stable/2874223 2. Park J, Church J, Son Y, Kim K-T, Lee WH. Recent advances in ultrasonic treatment: Challenges and field applications for controlling harmful algal blooms (HABs). Ultrason Sonochem [Internet]. september 2017 [geciteerd 13 september 2017];38:326–34. Beschikbaar op: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350417717300950 3. Rajasekhar P, Fan L, Nguyen T, Roddick FA. A review of the use of sonication to control cyanobacterial blooms. Water Res [Internet]. 15 september 2012;46(14):4319–29. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135412003922 4. Duan Z, Tan X, Li N. Ultrasonic selectivity on depressing photosynthesis of cyanobacteria and green algae probed by chlorophyll- <i>a</i> fluorescence transient. Water Sci Technol [Internet]. 25 oktober 2017 [geciteerd 29 oktober 2018];76(8):2085–94. Beschikbaar op: https://iwaponline.com/wst/article/76/8/2085-2094/19229 5. Kotopoulis S, Schommartz A, Postema M. Sonic cracking of blue-green algae. Appl Acoust [Internet]. oktober 2009;70(10):1306–12. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X09000371 6. Purcell D, Parsons SA, Jefferson B, Holden S, Campbell A, Wallen A, e.a. Experiences of algal bloom control using green solutions barley straw and ultrasound, an industry perspective. Water Environ J [Internet]. juni 2013;27(2):148–56. Beschikbaar op: http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00338.x 7. Dehghani MH. Removal of cyanobacterial and algal cells from water by ultrasonic waves - A review. J Mol Liq [Internet]. oktober 2016 [geciteerd 29 oktober 2018];222:1109–14. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732215305882 8. LaLiberte G, Haber E. Literature Review of the Effects of Ultrasonic Waves on Cyanobacteria, Other Aquatic Organisms, and Water Quality [Internet]. Wisconsin: Wisconsin Department of Natural Resources; 2014 mrt [geciteerd

5 januari 2016] p. 20. Report No.: Research report 195. Beschikbaar op: <http://dnr.wi.gov/files/PDF/pubs/ss/SS0595.pdf>

9. Ahn C-Y, Park M-H, Joung S-H, Kim H-S, Jang K-Y, Oh H-M. Growth inhibition of Cyanobacteria by ultrasonic radiation: laboratory and enclosure studies. *Environ Sci Technol* [Internet]. juli 2003;37(13):3031–7. Beschikbaar op: <https://doi.org/10.1021/es034048z>
10. Hekkenberg RT. Onderzoek naar de veilige toepassing van ultrageluid gebruikt om blauwalg te bestrijden. Leiden: TNO Kwaliteit van Leven; 2007 sep. Report No.: KvL/P&Z 2007.107.
11. Keijzers R, Postma J. Veldonderzoek naar eventuele effecten van ultrasoon geluid op zoöplankton. *Ecofide*; 2017.
12. Postema M. email: "ultrasone blauwalgenbestrijding". 2018.
13. Tan X, Duan Z, Li N, Sun Y, Dai K, Zhu F. Effects of ultrasound on photosynthetic activity and sinking process of *Microcystis* colonies. *Hupo KexueJournal Lake Sci* [Internet]. 2017 [geciteerd 29 oktober 2018];29(6):1324–30. Beschikbaar op: http://www.jlakes.org/ch/reader/view_abstract.aspx?doi=10.18307/2017.0604
14. Purcell D, Parsons SA, Jefferson B. The influence of ultrasound frequency and power, on the algal species *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Scenedesmus subspicatus* and *Melosira* sp. *Environ Technol* [Internet]. september 2013;34(17):2477–90. Beschikbaar op: <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2013.773355>
15. Ahn C-Y, Joung S-H, Choi A, Kim H-S, Jang K-Y, Oh H-M. Selective control of cyanobacteria in eutrophic pond by a combined device of ultrasonication and water pumps. *Environ Technol* [Internet]. april 2007;28(4):371–9. Beschikbaar op: <http://dx.doi.org/10.1080/09593332808618800>
16. Tekile A, Kim I, Lee J-Y, Tekile A, Kim I, Lee J-Y. 200 kHz Sonication of Mixed-Algae Suspension from a Eutrophic Lake: The Effect on the Caution vs. Outbreak Bloom Alert Levels. *Water* [Internet]. 24 november 2017 [geciteerd 29 oktober 2018];9(12):915. Beschikbaar op: <https://www.mdpi.com/2073-4441/9/12/915>
17. Lüring M, Tolman Y. Beating the blues: Is there any music in fighting cyanobacteria with ultrasound? *Water Res* [Internet]. december 2014;66:361–73. Beschikbaar op: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135414006101>
18. Schneider OD, Weinrich LA, Brezinski S. Ultrasonic Algae Control at the Canoe Brook Reservoir. American water works company, inc.; 2015 jan.
19. Schneider OD, Weinrich LA, Brezinski S. Ultrasonic Treatment of Algae in a New Jersey Reservoir. *J AWWA Am Water Works Assoc* [Internet]. oktober 2015;C(10):E533–42. Beschikbaar op: <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2015.107.0149>
20. Dia S. Assessment Report of Ultrasonic Treatment Technology on Qaraoun Reservoir. Beirut: American University of Beirut, World Waternet; 2019 jan p. 32.
21. Tan X, Shu X, Guo J, Parajuli K, Zhang X, Duan Z. Effects of low-frequency ultrasound on *microcystis aeruginosa* from cell inactivation to disruption. *Bull Environ Contam Toxicol* [Internet]. 1 juli 2018 [geciteerd 26 oktober 2018];101(1):117–23. Beschikbaar op: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-018-2348-y>
22. Tan X, Sun Y, Duan Z, Zeng Q, Zheng X, Liu Q. Influence of ultrasonic intensity on sinking of *Microcystis* colonies and their floating process under different light and temperature conditions. *J Lake Sci* [Internet].

	<p>2017;29(5):1168–76. Beschikbaar op: http://www.jlakes.org/ch/reader/article_export.aspx?file_no=20170514&flag=1&export_type=EndNote</p> <p>23. Zhang G, Zhang P, Wang B, Liu H. Ultrasonic frequency effects on the removal of <i>Microcystis aeruginosa</i>. <i>Ultrason Sonochem</i> [Internet]. 1 juli 2006 [geciteerd 6 november 2018];13(5):446–50. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417705000891</p> <p>24. Yamamoto K, King PM, Wu X, Mason TJ, Joyce EM. Effect of ultrasonic frequency and power on the disruption of algal cells. <i>Ultrason Sonochem</i> [Internet]. 1 mei 2015 [geciteerd 5 november 2018];24:165–71. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417714003368</p> <p>25. Postema M. Onderzoek naar de veilige toepassing van ultrageluid gebruikt om blauwalg te bestrijden - Review. University of Hull; 2007.</p> <p>26. Postema M, Schommartz A. Bubbles, ultrasound, and swimmer safety. In: <i>Proceedings of the Institute of Acoustics</i> [Internet]. 2008. p. 378–80. Beschikbaar op: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84871187663&partnerID=40&md5=cd98a5e00a0271086ca656eef6e4e271</p> <p>27. Kotopoulos S, Schommartz A, Postema M. Safety radius for algae eradication at 200 kHz – 2.5 MHz. In: <i>2008 IEEE Ultrasonics Symposium</i>. 2008. p. 1706–9.</p> <p>28. Zhen S, Li N, Gu S, Tan X. The effect of ultrasonic algae inhibition on the concentration and state changes of heavy metals in sediments. <i>ScienceAsia</i> [Internet]. 2017 [geciteerd 20 november 2018];43(4):244. Beschikbaar op: http://www.scienceasia.org/content/viewabstract.php?ms=8615</p> <p>29. Govaert E, Vanderstukken M, Muylaert K. Evaluatie van effecten van ultrasone straling op het ecosysteem. Kortrijk: KULeuven; 2007 nov p. 20.</p> <p>30. Holm ER, Stamper DM, Brizzolara RA, Barnes L, Deamer N, Burkholder JM. Sonication of bacteria, phytoplankton and zooplankton: Application to treatment of ballast water. <i>Mar Pollut Bull</i> [Internet]. juni 2008;56(6):1201–8. Beschikbaar op: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X08000787</p> <p>31. Lüring M, Tolman Y. Effects of Commercially Available Ultrasound on the Zooplankton Grazer <i>Daphnia</i> and Consequent Water Greening in Laboratory Experiments. <i>Water</i> [Internet]. 28 oktober 2014 [geciteerd 5 januari 2016];6(11):3247–63. Beschikbaar op: http://www.mdpi.com/2073-4441/6/11/3247/</p> <p>32. Lira VS, Moreira IC, Tonello PS, Henriques Vieira AA, Fracácio R. Evaluation of the ecotoxicological effects of <i>Microcystis aeruginosa</i> and <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> on <i>Ceriodaphnia dubia</i> before and after treatment with ultrasound. <i>Water Air Soil Pollut</i> [Internet]. januari 2017;228(1):49. Beschikbaar op: http://link.springer.com/10.1007/s11270-016-3209-0</p> <p>33. Reeze AJG, Bloemerts M, Matthijs HCP, Visser PM. Bestrijding blauwalgen recreatieplas Koetshuis met behulp van waterstofperoxide. Apeldoorn: Arcadis; 2010 jan. Report No.: 074498519:0.1!</p>
kennishouders	<p>kennisinstituut</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>overheid</p> <ul style="list-style-type: none"> • Johan Oosterbaan (Rijnland) • Maarten van Schijndel (De Dommel) <p>overig</p> <ul style="list-style-type: none"> •
illustratie	