

Blauwalgen duurzaam verdwenen na watersysteemherstel in de Grote Melanen

Guido Waajen, Simon Hofstra (waterschap Brabantse Delta), René van de Sande (gemeente Bergen op Zoom), Miquel Lürling (Wageningen Universiteit)

Om blauwalgenoverlast te bestrijden is in de Grote Melanen bij Bergen op Zoom in 2015-2016 een samenhangend pakket verbetermaatregelen uitgevoerd, gebaseerd op een watersysteemanalyse. De maatregelen richtten zich op het verminderen van de externe en interne nutriëntenbelasting en het realiseren van helder water met waterplanten. Na uitvoering van het maatregelenpakket is de waterkwaliteit sterk verbeterd en is blauwalgenoverlast duurzaam bestreden. Het ecosysteem ontwikkelt zich in de gewenste richting. De resultaten tonen de kracht van deze aanpak op basis van een diagnose.

Veel wateren in Noord-Brabant kampen regelmatig met blauwalgenoverlast. Ook de Grote Melanen had hiermee te maken (afbeelding 1). Deze ondiepe plas (waterdiepte 1,5 m, oppervlakte 4,8 ha) ligt ingeklemd tussen Bergen op Zoom en Halsteren en is ontstaan door uitvening van een moerassige laagte [1]. Behalve risico's voor de gezondheid van mens en dier vormden de blauwalgen een belemmering voor de natuurfunctie van de plas en veroorzaakten ze overlast voor recreatief medegebruik, zoals wandelen, natuurbeleving en hengelsport.

De blauwalgenoverlast en slechte waterkwaliteit waren aanleiding voor een verbeterproject. In het gemeentelijk waterplan voor Bergen op Zoom [2] werd voorgesteld om de Grote Melanen te baggeren. In een herstelplan [1] werden aanvullende verbetermaatregelen aanbevolen, gericht op het beperken van de nutriëntenbelasting, oeverherinrichting, visstandbeheer, natuurlijk peilverloop en het stimuleren van water- en oeverplanten. De uitwerking van het noodzakelijke maatregelenpakket gebeurde op basis van een nadere diagnose van de oorzaken van de slechte waterkwaliteit (watersysteemanalyse) en een veldexperiment. In 2015 en 2016 hebben waterschap Brabantse Delta en de gemeente Bergen op Zoom het maatregelenpakket uitgevoerd. De ontwikkeling van de waterkwaliteit voor en na de maatregelen is onderzocht.



Afbeelding 1. Blauwalgen in de Groote Melanen (2010)

Streefbeeld

Om uitvoering te geven aan de natuurfunctie van de Groote Melanen is het streven gericht op het terugdringen van de voedselrijkdom en blauwalgenbloeien, het realiseren van helder water met goede mogelijkheden voor water- en oeverplanten en het vergroten van de biodiversiteit. Voor een aantal variabelen zijn vooraf streefwaarden geformuleerd (tabel 1). Er werd rekening gehouden met recreatief medegebruik van de plas en omgeving, voor zover dit verenigbaar was met de natuurdoelstelling.

Tabel 1. Streefbeeld Groote Melanen. Tussen haakjes referenties

variabele	streefwaarde
totaal-fosfor (TP)	$\leq 0,05 \text{ mg P L}^{-1}$ * [3]
ortho-fosfaat (OP)	$\leq 0,01 \text{ mg P L}^{-1}$ * **
totaal-stikstof (TN)	$\leq 1,3 \text{ mg N L}^{-1}$ * [4]
chlorofyl-a	$\leq 23 \text{ } \mu\text{g/L}$ * [4]
blauwalgenchlorofyl-a	$\leq 25 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ***
doorzicht	$\geq 0,9 \text{ m}$ * [4]
onderwatervegetatie	$\geq 25\%$ bedekking [4]
viswatertype	snoek-blankvoorn [5]

*zomerhalfjaargemiddelde (april-september)

**rapportagegrens laboratorium

***maximale concentratie in enige meting, streefwaarde waterschap Brabantse Delta voor stedelijk water

Watersysteemanalyse

De uitgangssituatie werd gekenmerkt door troebel water, het ontbreken van ondergedoken waterplanten, een visstand gedomineerd door karper en de aanwezigheid van een voedselrijke sliblaag van 0,3 tot 2,0 meter dik. De verbetermaatregelen richtten zich op het beperken van de

externe en interne nutriëntenbelasting, het verhogen van de draagkracht voor nutriënten en de omslag van troebel naar helder water. Mede op basis van de waterbalans is de fosfor(P-)belasting door externe bronnen in beeld gebracht (tabel 2).

Tabel 2. Externe fosfor(P-)belasting (mg P m⁻² d⁻¹) in de uitgangssituatie

externe P-bron	P-belasting (mg P m⁻² d⁻¹)
Jankenbergloopje*	0,48
sloot volkstuintencomplex*	2,09
kwel	0,03
oppervlakkige afstroming	0,60
watervogels	0,03
voeren van vogels	0,05
voeren door hengelsport	0,02
bladval	0,45
depositie (droog, nat)	0,02
Totaal externe P-bronnen	3,77

*afvoer naar Grootte Melanen

De totale externe P-belasting was over het jaar gemiddeld 3,77 mg P m⁻² d⁻¹. Naast externe P-belasting trad nalevering van P uit de sliblaag op, die op basis van porievochtonderzoek [6] werd geschat op 1,9 mg P m⁻² d⁻¹. Met het metamodel van PCLake [7] zijn de kritische belastingsgrenzen bepaald voor de situatie na uitvoering van verbetermaatregelen: 1,04 mg P m⁻² d⁻¹ van troebel naar helder en 3,48 mg P m⁻² d⁻¹ van helder naar troebel water. De individuele belastingsposten kennen onzekerheid, evenals de kritische belastingsgrenzen [8].



Afbeelding 2. Aanbrengen zandlaag (2015)

Maatregelen

Het maatregelenpakket (tabel 3) richtte zich op het beperken van de blauwalgengroei, het realiseren van helder water en het verbeteren van de groeiomstandigheden van onderwaterplanten. De focus lag op het beperken van de externe en interne P-belasting tot een niveau ruimschoots beneden de hoogste kritische belastingsgrens, het verhogen van de kritische belastingsgrenzen en het daadwerkelijk realiseren van een omslag van blauwalgrijk, troebel, naar helder water met weinig blauwalgen. De nutriëntenbelasting als gevolg van de afvoer van twee waterlopen (tabel 2) kon niet worden beëindigd met bronaanpak. Daarom is gekozen voor een omleidingsloot met afvoer naar minder kwetsbaar oppervlaktewater benedenstrooms van de Groote Melanen. Voor het beperken van de P-nalevering door de waterbodem is eerst bodemslib verwijderd, waarna de onderliggende oorspronkelijke veen- en zandbodem is afgedekt met 25 centimeter schoon, voedselarm zand (afbeelding 2). Aan de onderste 5 centimeter afdeksand is het fosfaatbindend middel Phoslock toegevoegd om P-aanvoer met kwel uit de oorspronkelijke bodem vijf jaar te immobiliseren. Voor het verwijderen van opgelost en particulier P uit het water zijn Phoslock en polyaluminiumchloride (PAC) aan het water toegediend. Het aanbrengen van een zandlaag in combinatie met Phoslock en PAC is vooraf getest in een veldexperiment in de nabijgelegen Kleine Melanen [9], een plas met vergelijkbare kenmerken en problematiek. Om vegetatieontwikkeling te stimuleren zijn stekken van water- en oeverplanten aangebracht (afbeelding 3). Om beter afgestemd te zijn op de nieuwe, voedselarmere omstandigheden, is de visbiomassa verminderd door een overmaat karper en brasem te verwijderen.



Afbeelding 3. Scholieren planten water- en oeverplanten (2016)

De kosten van het verbeterproject bedroegen circa € 2 miljoen (incl. BTW), waarvan 25% voor voorbereiding, onderzoek en directievoering. De kosten zijn gedragen door waterschap Brabantse Delta en de gemeente Bergen op Zoom, met subsidie van de provincie Noord-Brabant.

Tabel 3. Maatregelenpakket Grote Melanen. Tussen haakjes is het type maatregel aangegeven: A) verminderen externe P-belasting, B) verminderen interne P-belasting, C) verhogen kritische belastingsgrenzen, D) omslag troebel naar helder

maatregelen	periode van uitvoering
Gedeeltelijk verwijderen vis voorafgaande aan baggeren, ter voorkoming van vissterfte	februari 2015
Baggeren van sliblaag tot op ondergrond van zand en veen (B)	april–juli 2015
Herinrichting oevers, verwijderen houtige oeverbegroeiing en overhangende takken (A, C)	oktober–november 2015
Aanleg omleidingssloot, beëindiging afvoer Jankenbergloopje en sloot volkstuintencomplex (A)	oktober–november 2015
Afdekken waterbodem met 25 cm schoon voedselarm zand, inclusief 14 ton Phoslock in onderste 5 cm afdekkand (A, B)	november 2015–januari 2016
Toedienen 13,65 ton Phoslock en 3200 L PAC (PAX 18) aan wateroppervlak, inclusief 25 kg calciumhydroxide als pH-buffer (B, D)	april 2016
Aanbrengen water- en oeverplanten (C)	mei 2016
Verwijderen karper en brasem (D)*	juni 2016

*Na het verwijderen van vis (februari 2015) zijn aanvullend in juni 2016 karper en brasem verwijderd. In februari 2017 en in december 2019 zijn nogmaals karper en brasem verwijderd.

Resultaten en discussie

Door aanleg van de omleidingssloot stopte de aanvoer van oppervlaktewater uit twee waterlopen. Dit leidde tot grotere fluctuaties in de waterstand. In 2013 en 2014 waren de verschillen tussen zomer- en winterwaterstand beperkt tot 20 à 30 cm. In 2018 en 2019 was dat 40 tot 50 cm, waarbij de hoogste waterstanden in de winter vergelijkbaar waren met die van voor het herstel.

Tussen juni 2009 en december 2021 is maandelijks de waterkwaliteit midden op de plas onderzocht. In zomermonsters is de fytoplanktonsamenvatting bepaald (2016-2019). Na uitvoering van het maatregelenpakket zijn er significante reducties van de concentraties TP, OP, TN, chlorofyl-a en blauwalgenchlorofyl-a (tabel 4). Deze variabelen voldoen na de maatregelen aan de streefwaarden. Het doorzicht is significant toegenomen en voldoet in 2021 ook aan de streefwaarde.

Tabel 4. Gemiddelde concentraties totaal-fosfor (TP), ortho-fosfaat (OP), totaal-stikstof (TN), chlorofyl-a en blauwalgenchlorofyl-a en gemiddeld doorzicht in de Grote Melanen vóór maatregelen (februari 2010–december 2014; blauwalgenchlorofyl-a maart 2012–december 2014) en na maatregelen (februari 2017–december 2021). Tussen haakjes ± 1 SD

variabele	voor	na
TP (mg P L ⁻¹) *	0,47 (0,23)	0,03 (0,01) **
OP (mg P L ⁻¹) *	0,30 (0,17)	0,01 (0,00) **
TN (mg N L ⁻¹) *	3,66 (1,13)	1,24 (0,22) **
chlorofyl-a (µg L ⁻¹) *	68,9 (74,3)	16,2 (16,5) **
blauwalgenchlorofyl-a (µg L ⁻¹) *	32,8 (47,3)	4,0 (5,3) **
doorzicht (m) *	0,65 (0,28)	0,89 (0,44)**

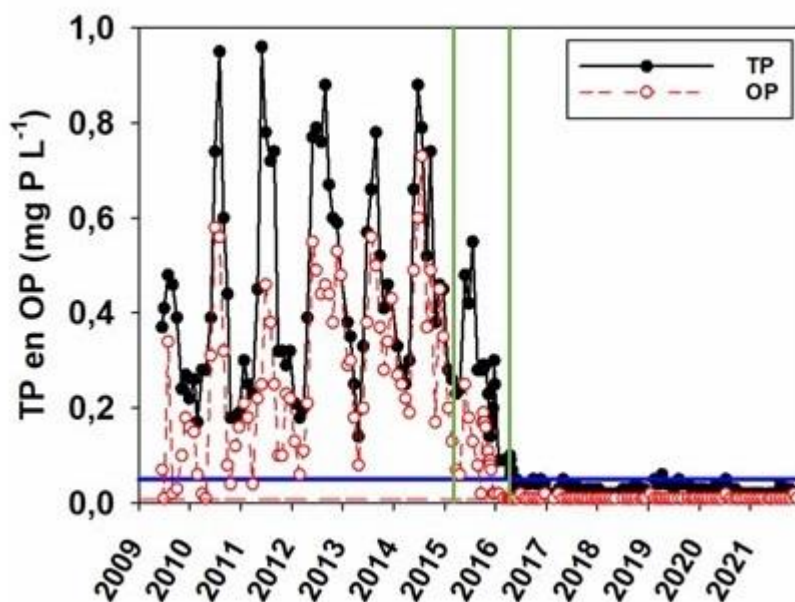
*significant verschil mediaanwaarden voor en na maatregelen ($P \leq 0,005$; Mann-Whitney Rank Sum test)

**voldoet aan streefwaarde voor zomerhalfjaargemiddelde (doorzicht alleen in 2021)

Totaal-fosfor en ortho-fosfaat

Het verminderen van de externe en interne P-belasting is gericht op verlaging van TP- en OP-concentraties zodat de groei van blauwalgen wordt beperkt. Vóór de maatregelen waren seizoensgebonden fluctuaties van concentraties TP en OP waarneembaar (afbeelding 4). In de zomer waren de concentraties hoger dan in de winter door nalevering uit het bodemslib. Na de maatregelen zijn deze seizoensfluctuaties verdwenen.

In 2010-2014 was de zomerhalfjaarconcentratie TP gemiddeld 0,61 en die van OP 0,36 mg P L⁻¹. In 2017-2021 is dit voor TP gedaald naar 0,03 en voor OP naar 0,01 mg P L⁻¹.

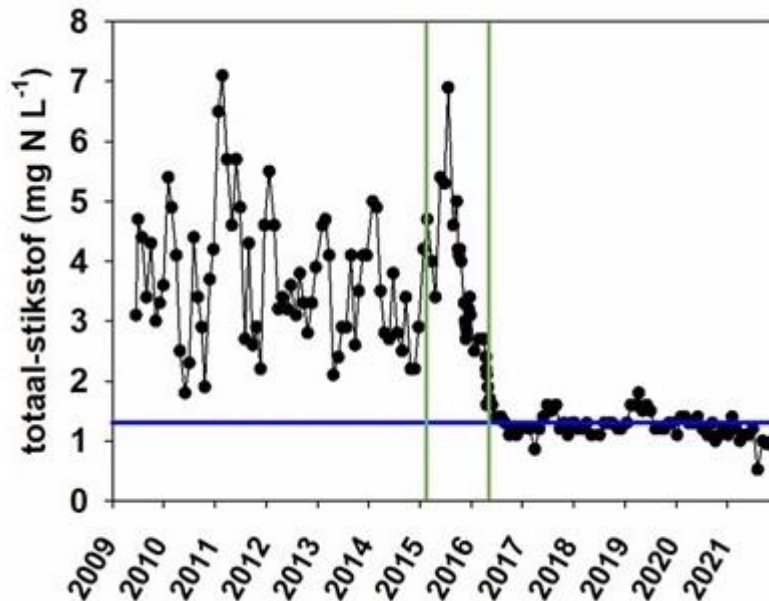


Afbeelding 4. Concentraties totaal-fosfor (TP) en ortho-fosfaat (OP), 2009-2021. De horizontale blauwe lijn markeert de bovengrens van de streefwaarde voor TP (zomerhalfjaargemiddelde), de horizontale rode stippellijn de bovengrens van de streefwaarde voor OP. De verticale lijnen markeren begin en einde van uitvoering van maatregelen

Totaal-stikstof

De concentratie TN is na de maatregelen gedaald en grote schommelingen zijn verdwenen (afbeelding 5). De concentratie TN wordt in de Grote Melanen bepaald door organisch gebonden stikstof, zowel vóór als na de maatregelen. De concentraties nitriet en ammoniak - giftig voor waterorganismen - zijn zowel voor als na de maatregelen laag.

Tussen 2010 en 2014 was de zomerhalfjaarconcentratie van TN gemiddeld $3,28 \text{ mg N L}^{-1}$. In de periode 2017 tot 2021 is dit gedaald naar $1,27 \text{ mg N L}^{-1}$. Het zomerhalfjaargemiddelde schommelt vanaf 2017 rond de streefwaarde en is in 2021 gedaald naar $0,99 \text{ mg N L}^{-1}$.

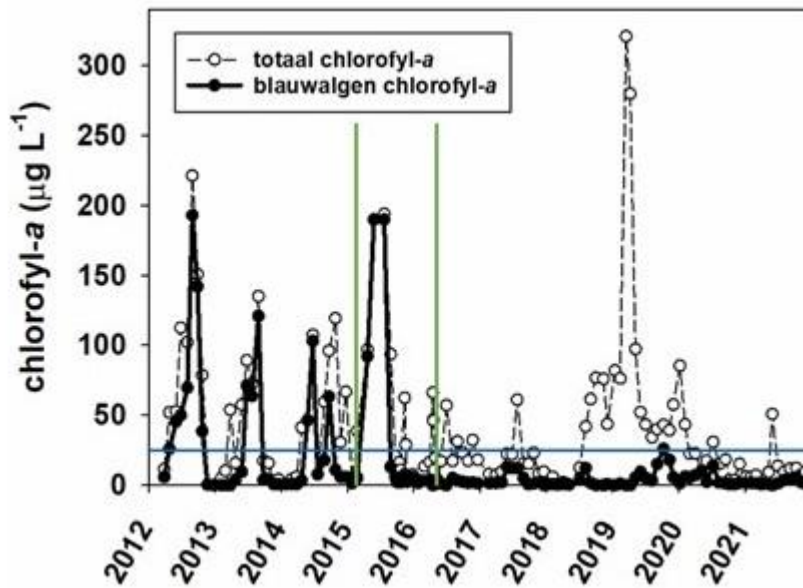


Afbeelding 5. Concentratie totaal-stikstof, 2009–2021. De horizontale lijn markeert de bovengrens van de streefwaarde. De verticale lijnen markeren begin en einde van uitvoering van maatregelen

Fytoplankton

Vóór uitvoering van de maatregelen was de zomerhalfjaargemiddelde concentratie chlorofyl-a (spectrofotometrische analyse) over de periode juni 2009–september 2014 $110,0 \mu\text{g L}^{-1}$ en voldeed niet aan de streefwaarde. In 2017–2021 is dit gedaald naar $5,2 \mu\text{g L}^{-1}$ en voldoet aan de streefwaarde. Vanaf 2012 wordt de concentratie chlorofyl-a ook bepaald met fluorescentie, waarbij vier hoofdgroepen fytoplankton worden onderscheiden (blauwalgen, groenalgen, kiezelalgen en cryptofyten). De concentratie blauwalgenchlorofyl-a is na 2015 gedaald en voldoet nagenoeg steeds aan de streefwaarde die waterschap Brabantse Delta hanteert voor stedelijke wateren (afbeelding 6). Vóór de maatregelen werd het totale chlorofyl-a in belangrijke mate bepaald door het aandeel blauwalgenchlorofyl-a. Na de maatregelen maakt het blauwalgenchlorofyl-a een beperkt deel uit van het totale chlorofyl-a. Groenalgen zijn dan belangrijker.

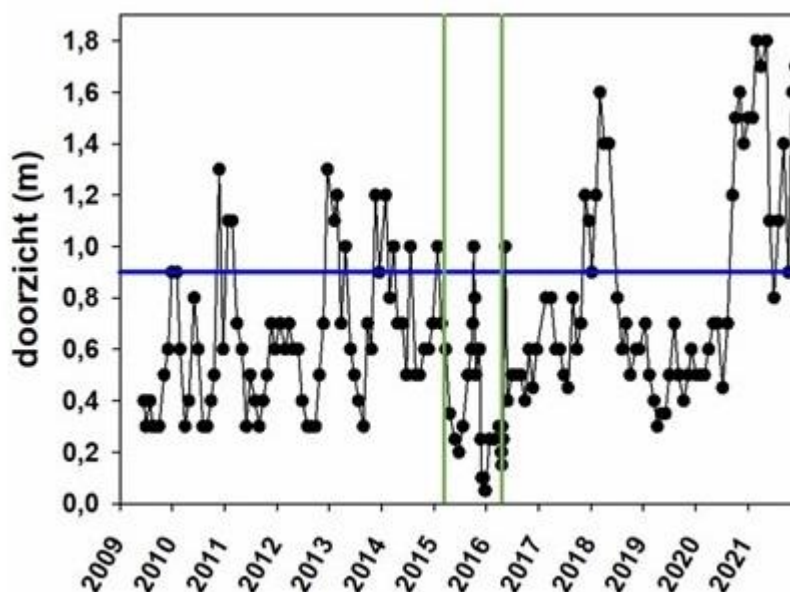
De fytoplanktongemeenschap indiceerde vóór de maatregelen een hogere tolerantie voor TP. Na de maatregelen (2016–2019) indiceert het fytoplankton een verminderde eutrofiëring, hoewel de omstandigheden nog steeds als eutroof worden gekwalificeerd [10].



Afbeelding 6. Concentratie chlorofyl-a, 2012-2021. Totaal chlorofyl-a is de som van chlorofyl-a van blauwalgen, groenalgen, kiezelalgen en cryptofyten. De horizontale lijn markeert de bovengrens van de streefwaarde voor blauwalgenchlorofyl-a. De verticale lijnen markeren begin en einde van uitvoering van maatregelen

Doorzicht

Na de maatregelen verbetert het doorzicht, met name in 2020 en 2021 (afbeelding 7). In 2021 komt bij vier monsternames bodemzicht voor. Vóór de maatregelen (2009-2014) was het zomerhalfjaardoorzicht gemiddeld 48 cm. Na de maatregelen (2017-2021) is dit gemiddeld 81 cm. In 2021 is het zomerhalfjaardoorzicht 1,32 m en voldoet aan de streefwaarde.



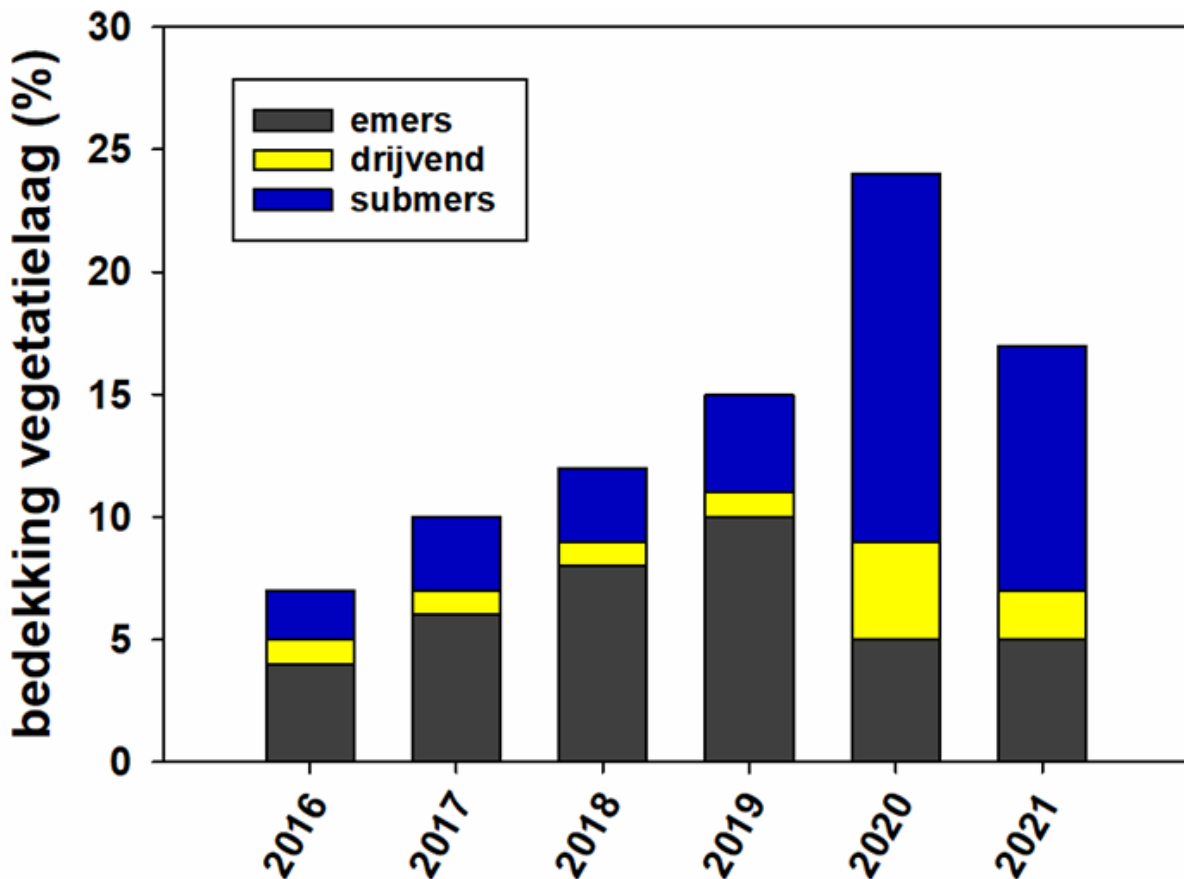
Afbeelding 7. Doorzicht, 2009 – 2021. De horizontale lijn markeert de ondergrens van de streefwaarde. De verticale lijnen markeren begin en einde van uitvoering van maatregelen

Water- en oeverplanten

De ontwikkeling van water- en oeverplanten is onderzocht in 2014 en vanaf 2016 jaarlijks [11], [12]. Vóór het herstel ontbraken waterplanten, uitgezonderd enkele exemplaren *Lemna minor* en *Spirodela polyrhiza*. Voorjaar 2016 zijn bewortelde scheuten ondergedoken en drijvende waterplanten aangebracht (*Potamogeton lucens*, *P. crispus*, *P. natans*, *Hottonia palustris*, twee kratten van 50x30x10 cm per soort) en een krat met regionaal verzamelde stekken *Chara spec.* Op heringerichte oeverdelen zijn oeverplanten aangebracht (*Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Sparganium emersum*, *Lycopus europaeus*, *Filipendula ulmaria*, vijf exemplaren per soort). Van 2016 tot 2020 is er een toename van de bedekking met waterplanten (afbeeldingen 8, 9), in 2021 een afname, mogelijk door het koude voorjaar. In 2021 zijn *P. lucens*, *P. natans* en *Elodea nuttallii* dominante waterplanten, terwijl *Phragmites australis* dominant is op de oevers. Kranswieren (*Chara*) zijn na 2019 niet waargenomen.



Afbeelding 8. *Potamogeton lucens* (foto P. Bieren, Aquon, 2019)

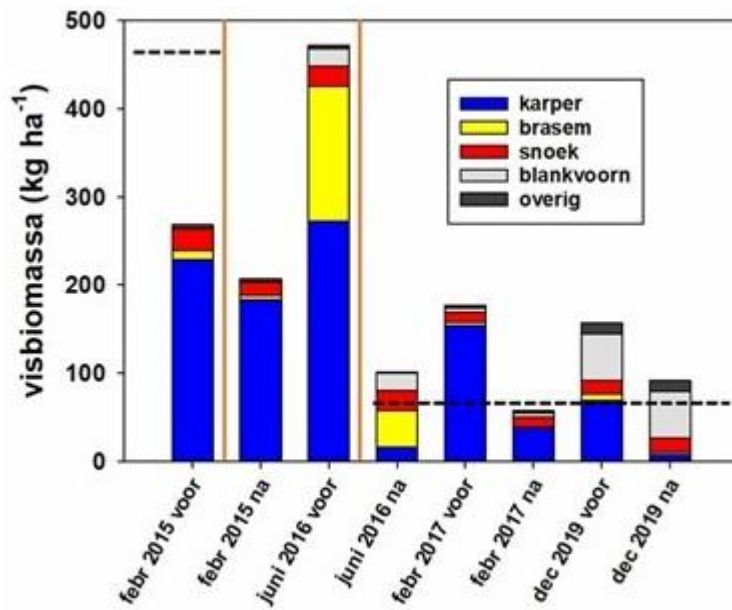


Afbeelding 9. Bedekking vegetatielagen 2016-2021

De Kaderrichtlijn Water (KRW)-beoordeling voor ‘overige waterflora’ (watertype M11) is in 2019 EKR 0,62, in 2020 EKR 0,65 en in 2021 EKR 0,63 (3x goed).

Vis

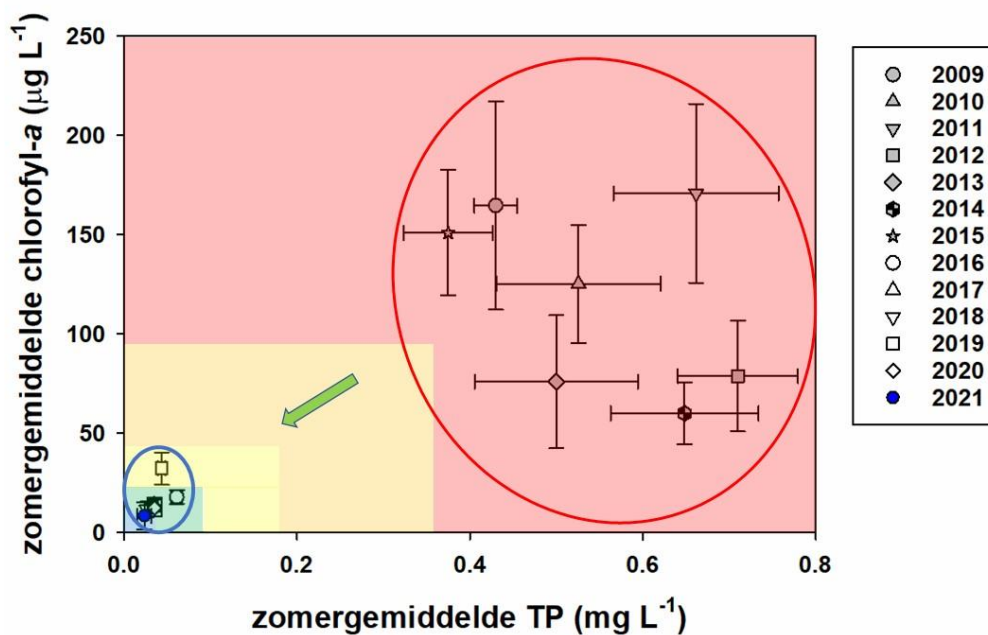
De visstand is onderzocht in 2015, 2016, 2017 en 2019. Vóór het baggeren is in 2015 307,6 kg vis (=23% van de visbiomassa) verwijderd. Na afronding van de werkzaamheden is visstandonderzoek uitgevoerd in juni 2016, februari 2017 en december 2019, waarbij telkens een deel van de aanwezige karpers en brasems is verwijderd. Deze vormden een belemmering voor het snoek-blankvoorn-viswatertype [13]. Door afname van de voedselrijkdom is de draagkracht voor vis afgenomen (afbeelding 10) [14].



Afbeelding 10. Visbiomassa in 2015-2017 en 2019, voor en na verwijdering van vis. De verticale lijnen markeren de uitvoeringsperiode van maatregelen. De horizontale stippellijnen markeren de visbiomassa's passend bij TP-concentraties vóór ($0,47 \text{ mg P L}^{-1}$) en na maatregelen ($0,03 \text{ mg P L}^{-1}$; tabel 4)

Resumé

In de Grote Melanen is in 2015-2016 een samenhangend maatregelenpakket uitgevoerd, gericht op het wegnemen van de oorzaken van de slechte waterkwaliteit en blauwalgenoverlast. Hierna verbeterde de waterkwaliteit sterk en verminderde de blauwalgenoverlast. Ook tijdens jaren waarin een hittegolf voorkwam bleef de plas gevrijwaard van blauwalgenoverlast. Toetsing aan de KRW-normen voor chlorofyl-a en TP [4], toont een verschuiving van slecht (2009-2015), naar matig (2019), goed (2016-2017-2018-2020) en zeer goed (2021, afbeelding 11). Dit betekent een verbetering met circa 3 KRW-klassen, waarbij de trofische staat [15] verschuift van hypertroof (2009-2015) naar eutroof (2016-2020) en mesotroof (2021).



Afbeelding 11. Zomerhalfjaargemiddelde concentraties (± 1 SD) totaal-fosfor (TP) en chlorofyl-a. De kleuren geven de KRW-klassen aan: rood = slecht, oranje = ontoereikend, geel = matig, groen = goed, blauw = zeer goed. Periode vóór maatregelen 2009–2014, tijdens uitvoering maatregelen 2015, na maatregelen 2016-2021

Na de uitvoering van het maatregelenpakket is een pionierssituatie ontstaan, waarna het ecosysteem zich geleidelijk ontwikkelt richting streefbeeld. Waterplanten, onmisbaar voor een stabiele heldere toestand, breiden zich geleidelijk uit. De laatste jaren verbetert het doorzicht en treedt regelmatig bodemzicht op. Afname van de visbiomassa en beperking van het aantal bodemwoelende vissen (karper, brasem) vraagt blijvend om afstemming met de hengelsport. Monitoring van waterkwaliteit en biologische variabelen is onmisbaar voor het uitvoeren van adequaat beheer. De resultaten tonen de kracht van de maatwerk aanpak gebaseerd op een diagnose (watersysteemanalyse).

Referenties

1. Dam, H. van, Melisie, E.J., Bois, T. du & Bruning, C. (2007). *Herstelplan voor de Groote Melanen (Bergen op Zoom)*. Herman van Dam, adviseur Water en Natuur, Amsterdam.
2. Witteveen+Bos (2001). *Het Water te Bergen. Waterplan Bergen op Zoom*. Raadgevende ingenieurs B.V., Breda.
3. Romo, S., Soria, J., Fernández, F., Ouahid, Y. & Barón-Solá, A. (2013). 'Water residence time and the dynamics of toxic cyanobacteria'. *Freshwater Biology* 58:513-522.
4. Molen, D.T. van der, Pot, R., Evers C.H.M., Buskens, R. & Herpen, F.C.J. van (red.) (2013). *Referenties en maatlatten voor overige wateren (geen KRW-waterlichamen)*. Rapport 2013-14. STOWA, Amersfoort.
5. Zoetemeyer, R.B. & Lucas, B.J. (2001). *Basisboek visstandbeheer*. Sportvisserij Nederland, Bilthoven.
6. Waltjé, E., Haverkamp, S. & Steketee, J. (2009). *Waterbodemonderzoek Groote en Kleine Melanen en Ganzenvijvers*. Tauw bv, Eindhoven.
7. Planbureau voor de Leefomgeving. [Metamodel PCLake \(pbl.nl\)](https://pbl.nl), geraadpleegd 8 januari 2020).

8. Janse, J.H. et al. (2010). 'Estimating the critical phosphorus loading of shallow lakes with the ecosystem model PCLake: sensitivity, calibrations and uncertainty'. *Ecological Modelling* 221(4):654–665.
9. Waajen, G., Lürling, M. & Sande, R. van de (2019). 'The unfulfilled promise of urban Lake Kleine Melanen (The Netherlands): diagnostics, experiment on reduction of sediment P-release and in-lake restoration'. *Lake and Reservoir Management* 35:8-24.
10. Lee, G.H. van der, Verdonschot, R.C.M., Waajen, G. & Verdonschot, P.F.M. (2021). *Maatregel-effectiviteit plasherstel: Algenrespons op nutriënten-reductie in de Grootte Melanen*. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen. Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen.
11. Lambregts-Van de Clundert, F. & Trompetter, R. (2015). *Rapportage routinematig onderzoek Waterschap Brabantse Delta meetjaar 2014*. Aquon, Breda.
12. Touwen, S.J. (2022). *Vegetatie Grootte Melanen 2021*. Aquon, Hydrobiologie, Tiel.
13. Kroon, J.W. (2020). *Visstandbemonstering Grootte en Kleine Melanen; uitgevoerd 9, 10 en 17 december 2019*. VSN 2019.09. Visserij Service Nederland, Groot-Ammers.
14. Hanson, J.M. & Leggett, W.C. (1982). 'Empirical prediction of fish biomass and yield.' *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39:257-263.
15. Nürnberg, G.K. (1996). 'Trophic state of clear and colored, soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish'. *Journal of Lake and Reservoir Management* 12:432-447.