

NOTITIE KIWK

Maatreegeffectiviteit plasherstel

Algenrespons op nutriënten-reductie in de Kleine Melanen



Gea van der Lee, Ralf Verdonschot, Guido Waajen en Piet Verdonschot

Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

Augustus 2021

Auteurs

Gea van der Lee, Ralf Verdonschot, Guido Waajen en Piet Verdonschot (*correspondentie: gea.vanderlee@wur.nl*)

Opdrachtgever

Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) – Waterschap de Brabantse Delta

Projectgroep

Gebruikerscommissie Kennisimpuls waterkwaliteit Systeemkennis ecologie en waterkwaliteit

Wijze van citeren

van der Lee G.H., Verdonschot R.C.M., Waajen, G. en Verdonschot P.F.M. (2021). Maatregелеffectiviteit plasherstel: Algenrespons op nutriënten-reductie in de Kleine Melanen. Notitie Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK), Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 14 pp.

Trefwoorden

Kleine Melanen, algen, plasherstel, nutriënten

Beeldmateriaal

Guido Waajen - Waterschap de Brabantse Delta

DOI: <https://doi.org/10.18174/551442>

Dit project is uitgevoerd in opdracht van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK).

© 2021 Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Inhoud	1
Samenvatting	2
1 Inleiding	3
2 Materiaal en methoden	4
2.1 Metingen	4
2.2 Taxonomische afstemming	4
2.3 Data-analyse	4
3 Resultaten	7
3.1 Algemene trends	7
3.2 PCA ordinatie en cluster analyse	9
3.3 PRC analyse	11
4 Conclusies	12
5 Literatuur	13
6 Supplement	14

Samenvatting

Een van de doelen van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) is het kwantificeren van de effectiviteit van lokale maatregelen in verschillende watertypen op verschillende organismengroepen. In dit document wordt de effectiviteit van een pakket van nutriënt reducerende maatregelen op de algenrespons in de Kleine Melanen geanalyseerd. Er kan worden geconcludeerd dat zowel de eerste ingrepen (2010-2012) als ook de afronding van het volledige maatregelenpakket waarbij de bron is aangepakt (april 2018) tot een duidelijk zichtbare reductie van de P-concentratie en chlorofyl-a concentraties hebben geleid. Er is ook een reductie in de concentratie blauwalgencellen (Cyanophyta) en groenalgencellen (Chlorophyta) in 2019. Op basis van de relatieve abundantie van de fytoplanktongemeenschap lijkt voornamelijk een verdeling te ontstaan tussen de jaren vóór en ná het nemen van de eerste maatregelen. De verlaging van de tolerantie voor totaal P van de indicatoren in de monsters genomen na 2014 behalve 2016 duidt op een vermindering in de eutrofiëring van de Kleine Melanen. De tweedeling van de clusters voor het nemen van de maatregelen komen echter niet goed naar voren in de trendanalyse met de Principal Response Curve methode. Fytoplankton heeft echter een zeer korte levensduur waardoor algenbloei zeer variabel kan zijn over tijd. Zeer frequente metingen van (blauwalgen) chlorofyl-a concentraties geven mogelijk efficiënter inzicht in de maat van algen bloeien en daarmee eutrofiëring over tijd dan moment opnames van de fytoplanktongemeenschap in plassen en meren. Een nadeel is echter dat met het gebruik van chlorofyl-a concentraties niet naar het effect van eutrofiëring op hogere planten, andere algen (benthisch) en dieren gekeken wordt. Deze andere organismen kunnen tevens als indicator dienen voor langere termijn processen, waarvoor fytoplankton minder geschikt is.

1 Inleiding

Een van de doelen van de Kennisimpuls waterkwaliteit (KIWK) is het kwantificeren van de effectiviteit van lokale maatregelen in verschillende watertypen op verschillende organismegroepen. In dit document wordt de effectiviteit van een pakket van nutriënt reducerende maatregelen op de algenrespons in de Kleine Melanen geanalyseerd.

De Kleine Melanen is een in een woonwijk (Bergen op Zoom) gelegen stadsven van 0,04 km² groot met veen- en zandbodem (KRW watertype M11; Figuur 1). Tussen 2010 en 2018 zijn zeer diverse maatregelen uitgevoerd ten behoeve van de waterkwaliteit en het terugdringen van blauwalgenoverlast. Deze maatregelen bestonden tussen het najaar van 2010 en 2012 uit:

- het wegvangen van vis,
- het baggeren van sediment,
- het snoeien van bomen,
- het aanleggen van een moeraszone,
- het aanbrengen van een zandlaag met Phoslock.

In maart 2018 is door het aanleggen van de omleiding van de hemelwaterriolering en het verbreken van de verbinding met de Ganzenvijvers de belangrijkste externe nutriëntenbronnen gereduceerd. Vervolgens is er in april 2018 Phoslock en poly aluminium chloride (PAC) toegediend aan het water (Floc & Lock) en zijn de bodemwoelende vissen (brasem en karpers) weggevangen. Het doel van deze analyse is om te onderzoeken of deze maatregelen effect hebben gehad op de biota.

A



B



Figuur 1: A) Kaart van de Kleine Melanen met algenmonsterpunten. De paarse sterren geven de locaties aan waar de algen zijn bemonsterd. B) Foto Kleine Melanen na afronding van alle verbetermaatregelen, 7 augustus 2018. (Bron: Guido Waajen - Waterschap de Brabantse Delta).

2 Materiaal en methoden

2.1 Metingen

Het fytoplankton is tussen 2002 en 2019 afwisselend over twee locaties in de stadsven bemonsterd (Figuur 1; Tabel 1; data afkomstig van Waterschap de Brabantse Delta). Per jaar zijn er 3-6 monsters genomen tussen mei en september en een beperkt aantal in de overige maanden (Tabel 2). In 2011 zijn beide locaties bemonsterd. Voor de vergelijkbaarheid zijn in deze analyse alleen de monsters tussen mei en september meegenomen. De monsterlocaties zijn samengevoegd voor de analyse.

Tabel 1: *Overzicht van de algenmonsterlocaties.*

Naam	Code	Coördinaten	Metingen
De Kleine Melanen	310212	51.51321, 4.29265	2002, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017
De Kleine Melanen	310229	51.52008, 4.28868	2011, 2016, 2018, 2019

Tabel 2: *Overzicht van het aantal monsters dat per maand is genomen over de verschillende jaren per meetlocatie en het aantal jaren dat iedere maand is bemonsterd.*

Code	Jaar	Maanden											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
310212	2002					1	1	1	1	1			
	2005					1	1		2	1			
	2008					1	1	1	1	2			
	2011					2	1		1	2			
	2014					1	1	1	1	1			
	2017					2	1	1	1	1			
310229	2011					1	1		1	1			
	2016						1		2	1			
	2018						1	1	1	1			
	2019						1	1	1	1			
Aantal jaren bemonsterd		0	0	0	0	6	9	6	9	9	0	0	0

2.2 Taxonomische afstemming

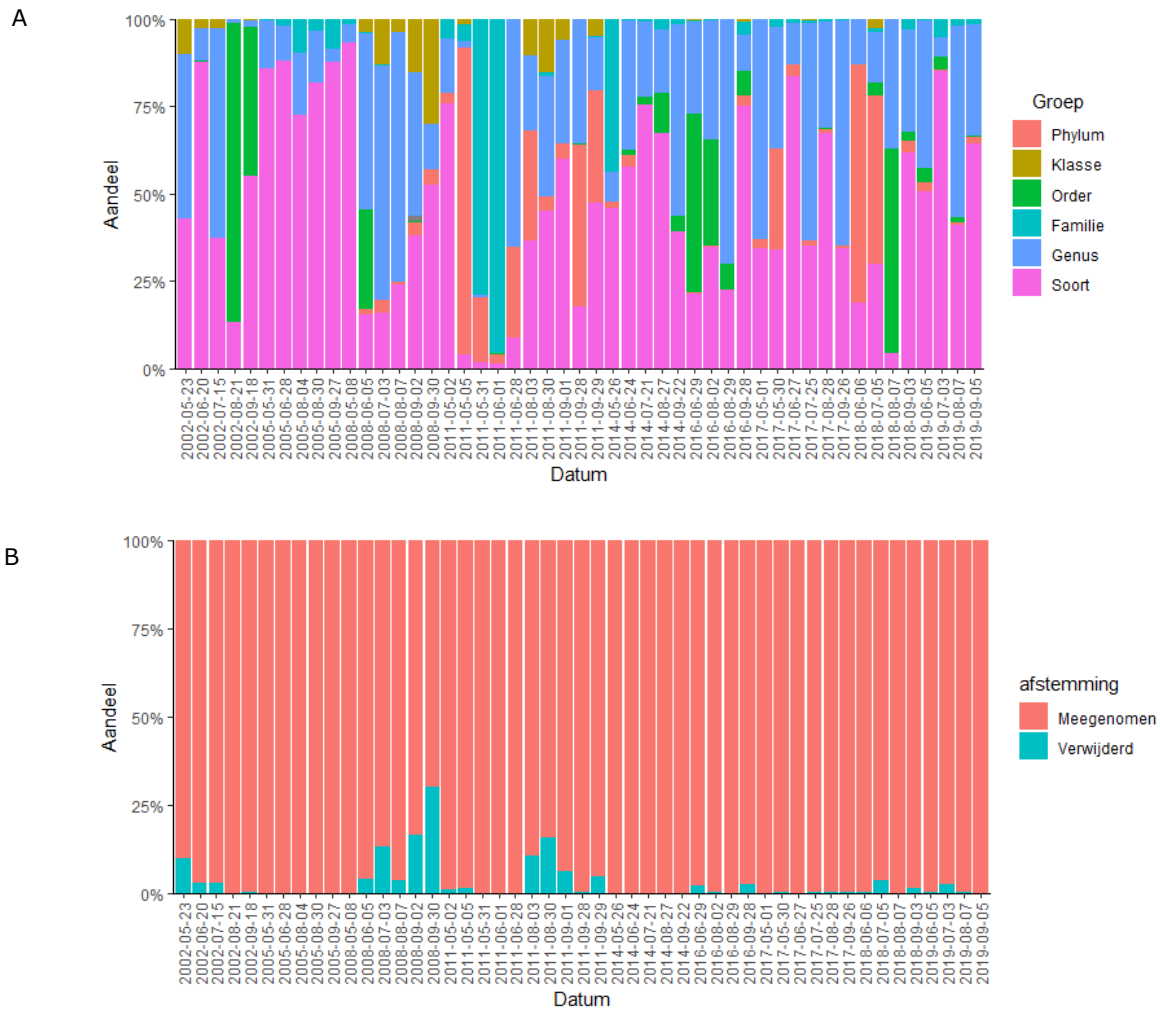
De taxonomische lijsten, afkomstig uit verschillende jaren en van verschillende locaties, laten verschillen zien in taxonomische niveaus (Figuur 2A). Voor de analyse is een eenduidig gegevensbestand noodzakelijk. Daarom is voor de analyse de oorspronkelijke data taxonomisch afgestemd op basis van frequentie van voorkomen in de monsters en totale abundantie. Alle variëteiten zijn op soortniveau meegenomen. Indien een genus op een paar uitzonderingen na was gedetermineerd tot op soortniveau, is het genus verwijderd en zijn de soorten gehandhaafd. Indien de frequentie waarmee het genus of lager taxonomisch niveau voorkomt echter hoog was, is de data geaggregeerd op dat niveau. Bij de Chroococcales en Chlorophyta zijn naast de hogere taxonomische groepen ook de gehele groep meegenomen. De overige hogere taxonomische niveaus zijn verwijderd. Behalve op 30-09-2008 is maximaal 25% van de gegevens verwijderd (Figuur 2B).

2.3 Data-analyse

Er is eerst een gemiddelde abundantie per taxa per jaar berekend, waarna de gemiddelde abundantie is gestandaardiseerd naar een relatief aandeel per jaar. De gemiddelde relatieve abundantie is daarna $\log_{10}(x+1)$ getransformeerd om het effect van hoge dichtheden te verminderen en de rol van laag-abundante soorten te vergroten. Allereerst hebben we de monsters puntsgewijs geclusterd volgens de *k-means* clustering methode. Het optimale aantal clusters is gekozen doormiddel van de *silhouet* analyse (Kassambara 2017). Per cluster hebben we de indicatorsoorten bepaald op basis van de getrouwheid en de relatieve abundantie binnen de groep (Dufrêne & Legendre 1997). We zijn hier uitgegaan van indicatorsoorten met $p < 0.05$. De indicatiewaarde geeft aan in hoeverre een taxon gerelateerd is aan een bepaald cluster. De indicatorsoorten hebben we vergeleken met de optimumcurves van de

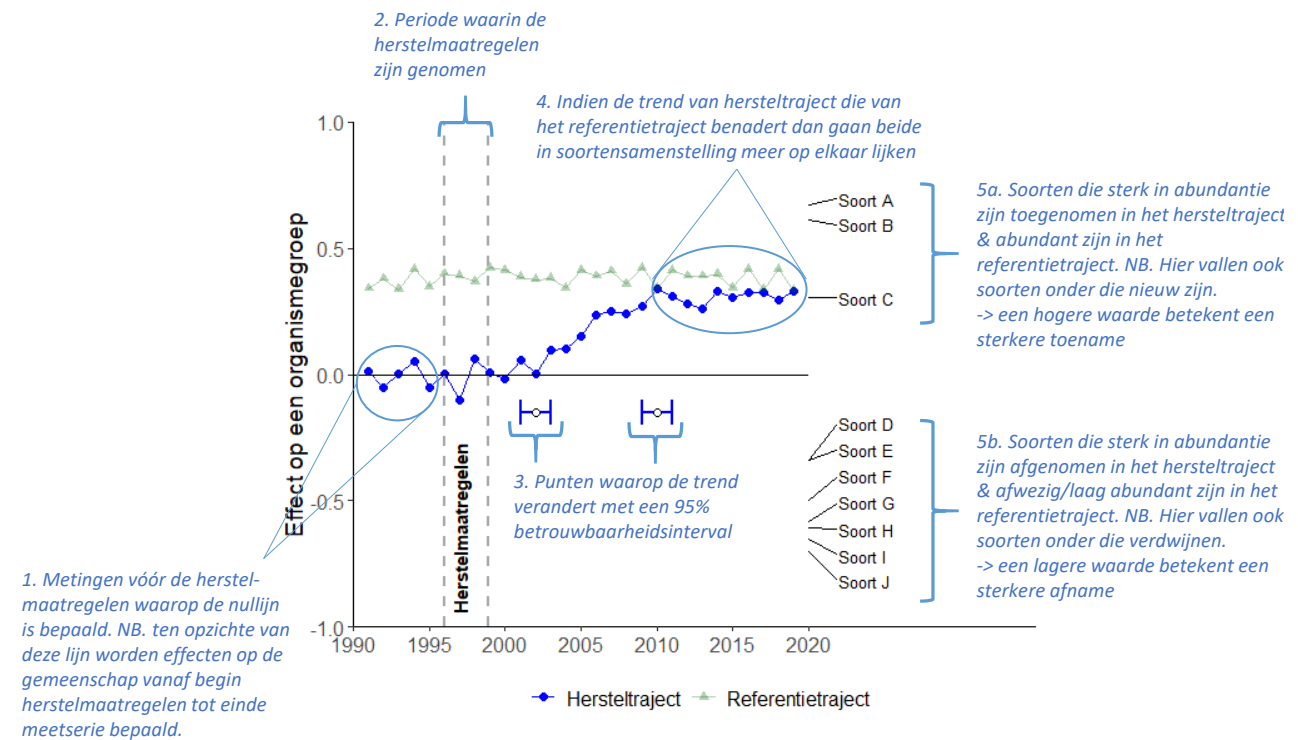
fytoplanktongenera volgens de *Plankton trophic index* (Phillips et al. 2012). Daarna hebben we de data doormiddel van een Principale-ComponentenAnalyse (PCA) geplot om de patronen in de algengemeenschap tussen de jaren weer te geven.

Vervolgens hebben we de data ook geanalyseerd volgens de 'Principal Response Curve (PRC)' methode (Van den Brink & ter Braak, 1999; zie Box 1 voor uitgebreide uitleg). Deze methode biedt de mogelijkheid om veranderingen in de gemeenschap bij verschillende maatregelen (zogenoemde 'treatments') uit te zetten tegen de tijd. Dit resulteert in een grafiek met de tijd op de x-as en de verandering in de gemeenschap (zogenoemde 'canonical coefficient C_{dt} ') ten opzichte van de mediaan van de gemeenschap voor de uitvoering van de herstelmaatregelen in de periode 2002 – 2010 op de y-as. Er zijn te weinig datapunten om vervolgens een 'changepoint analysis' toe te passen, dus hebben we de grafiek 'op het oog' geïnterpreteerd. Ieder taxon heeft een gewicht (zogenoemde 'species weight b_k ') gekregen, wat aangeeft in welke mate het taxon het patroon van de respons volgt. Taxa met een positief gewicht volgen de verandering, taxa met een negatief gewicht vertonen een tegenovergestelde respons en taxa met een gewicht van bijna nul vertonen geen respons of een respons die niet gerelateerd is aan het patroon dat in het diagram wordt getoond. Alle analyses zijn gedaan in R (versie 3.6.3) met softwarepakketten *vegan* (Oksanen et al. 2019) en *factoextra* (Kassambara & Mundt 2020).



Figuur 2: A) Aandeel algencellen dat op verschillende taxonomische niveaus is gedetermineerd. B) Aandeel algencellen dat door de afstemming is verwijderd.

Box 1: Uitleg bij de grafiek van de 'Principal Response Curve' (PRC) analyse



De bovenstaande figuur laat een hypothetisch voorbeeld zien van de uitkomst van de 'Principal Response Curve' analyse waarmee de resultaten grafisch inzichtelijk worden gemaakt. Het voorbeeld volgt een zogenaamd BACI-ontwerp met jaarlijkse metingen vóór (Before) en ná (After) het nemen van de herstelmaatregelen in een referentietraject met de gewenste situatie (dit wordt de Control, genoemd en kan bijvoorbeeld een natuurgebied bovenstrooms zijn) en met jaarlijkse metingen vóór (Before) en ná (After) in het hersteltraject, het traject waar de maatregelen zijn genomen (Impact). In plaats van een referentietraject kan de Control ook bestaan uit een traject dat vergelijkbaar is met het hersteltraject, maar waar geen maatregelen zijn genomen. In dat geval zou de lijn rond de nullijn moeten lopen omdat die situatie bijna gelijk is aan die in het hersteltraject voor het nemen van de maatregelen.

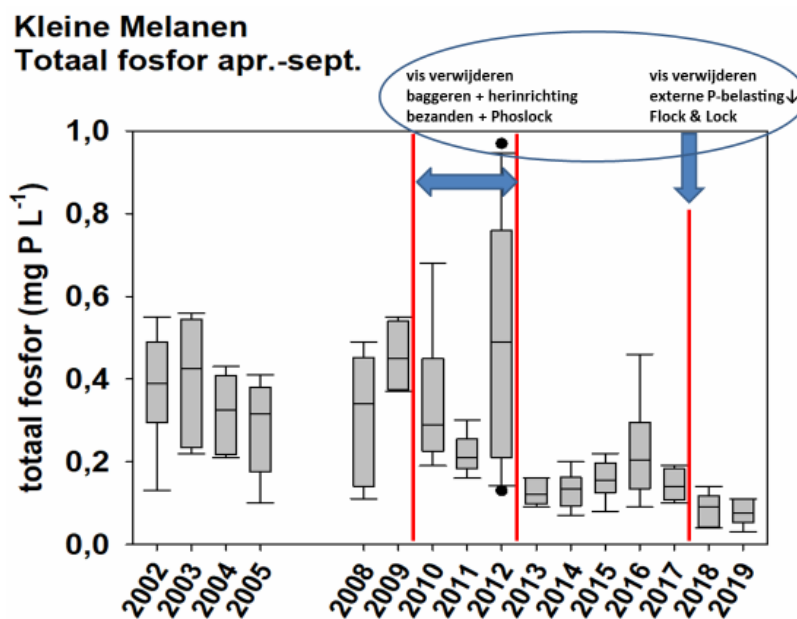
In de grafiek staat tijd op de x-as en de (eventuele) verandering in de gemeenschap (zogenoemde 'canonical coefficient C_{dt} ') op de y-as. De verandering in de gemeenschap wordt uitgezet tegen de mediaan van de gemeenschap vóór de herstelmaatregelen, de zogehete nullijn (het traject aangeduid door tekstblok 1). Om deze nullijn goed te definiëren is het belangrijk dat er voldoende meetjaren beschikbaar zijn. De periode waarin de herstelmaatregelen zijn genomen wordt in de grafiek aangegeven met twee verticale grijze stippellijnen, in dit geval tussen 1996 en 1999 (aangeduid met tekstblok 2). In dit voorbeeld hebben de maatregelen een effect gehad op de samenstelling van de gemeenschap, aangezien de C_{dt} score van het hersteltraject van de nullijn gaat afbewegen na de uitvoering van het herstel. Dit betekent hoe hoger de C_{dt} score wordt des te groter is het effect van de maatregel(en). Als er geen verandering optreedt dan blijft de C_{dt} score van het hersteltraject rondt de nullijn schommelen. Indien er voldoende data beschikbaar is (minimaal 10 meetjaren), kan met een zogenaamde 'change point analysis' worden aangegeven of en wanneer verandering in de trend heeft plaatsgevonden (aangeduid met tekstblok 3). In het bovenstaande voorbeeld laten deze punten met het 95% betrouwbaarheidsinterval (de horizontale blauwe lijnstukken) zien dat de gemeenschap tussen 2002 en 2010 is veranderd. We zien ook dat de lijn van het hersteltraject de lijn van het referentietraject gaat benaderen (aangeduid met tekstblok 4). Dit betekent dat de herstelmaatregelen een positief effect hebben gehad op deze gemeenschap. Aan de rechterkant van de grafiek is af te lezen welke soorten het sterkst aan deze verandering hebben bijgedragen (zogenoemde 'species weight b_k '). Soorten die zijn toegenomen in het hersteltraject en abundant zijn in het referentietraject hebben een positieve score (aangeduid met tekstblok 5a) en soorten die zijn afgenomen in het hersteltraject en minder abundant/afwezig zijn in het referentietraject hebben een negatieve score (aangeduid met tekstblok 5b).

De analyse kan in principe ook worden gedaan met alleen een BA- of CI-ontwerp. Bij een BA-ontwerp is het echter niet uit te sluiten of de veranderingen door de herstelmaatregelen worden veroorzaakt of in het hele gebied hebben plaatsgevonden. Bij een CI design moet de nullijn worden bepaald op basis van de mediaan van de Control (de waarnemingen in het referentie- of controletraject). Als de Control in milieu-omstandigheden (typologisch) niet goed vergelijkbaar is met de situatie in het herstel van voor de maatregelen dan zullen alleen deze verschillen worden weergegeven in de grafiek. Ook is niet uit te sluiten dat de veranderingen al voor de herstelmaatregelen waren begonnen.

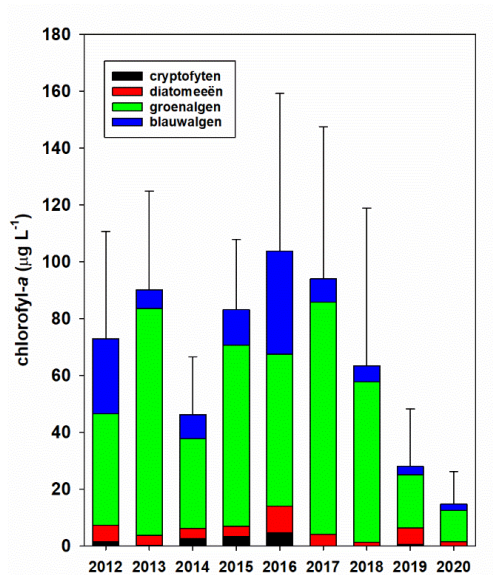
3 Resultaten

3.1 Algemene trends

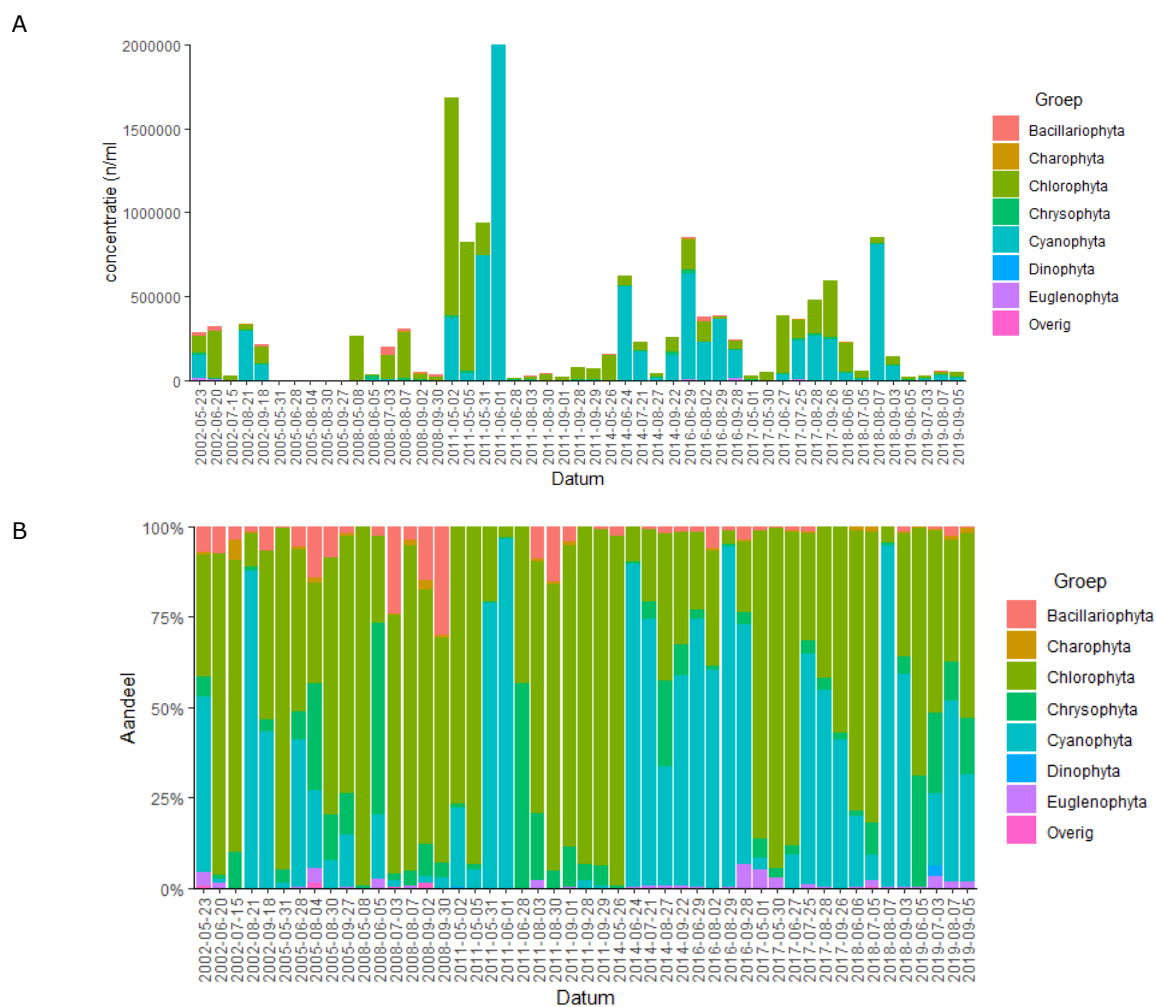
Zowel de eerste ingrepen (2010-2012) als ook de afronding van het volledige maatregelenpakket (april 2018) hebben tot een duidelijk zichtbare reductie van de P-concentratie en chlorofyl-a concentraties geleid (Figuur 3 en Supplement Tabel S1). Na de afronding van het volledige maatregelenpakket zijn zowel de concentraties blauwalgen en groenalgen chlorofyl-a aanzienlijk lager (Figuur 4). De fytoplanktonmonsters laten echter een grote variatie tussen de metingen zien (doordat bijvoorbeeld kolonies zijn bemonsterd) (Figuur 5A). Wanneer de metingen per jaar worden geplot, wordt zichtbaar dat de concentratie blauwalgencellen (Cyanophyta) en groenalgencellen (Chlorophyta) in 2005 en 2019 lager was dan in de overige jaren (Figuur 6). In 2005 zijn in totaal telkens 200 cellen/ml bemonsterd, wat waarschijnlijk een notatie fout is (m.a.w. dit zijn waarschijnlijk geen concentraties, maar getelde cellen). De reductie van de concentratie blauwalgencellen (Cyanophyta) en groenalgencellen (Chlorophyta) in 2019 is waarschijnlijk gerelateerd aan de nutriënt reducerende maatregelen. De algengemeenschap wordt over de gehele meetperiode gedomineerd door groenalgen (Chlorophyta) afgewisseld met blauwalgen (Cyanophyta) (Figuur 5B). Blauwalgen domineren vaak onder eutrofe omstandigheden, met name in meren met een chlorofyl-a > 10 µg/L (Phillips et al. 2003, Ptasnik et al. 2008). Hoewel de chlorofyl-a in de Kleine Melanen sterk is afgenomen, is deze ook na de afronding van het volledige maatregelenpakket nog > 10 µg/L (Supplement Tabel S1).



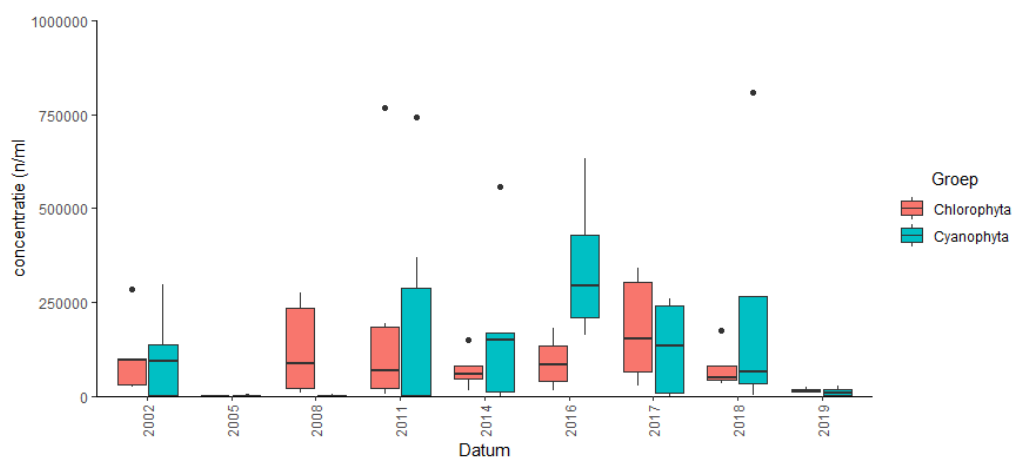
Figuur 3: Zomergemiddelde (april tot en met september) concentratie totaal-fosfor in de Kleine Melanen 2002 en 2019. De horizontale lijnen in de boxen geven de mediaanwaarden weer. De foutbalken boven en onder de boxen geven de 10- en 90-percentielen weer en de stippen indiceren uitschieters. Herstelmaatregelen zijn genomen tussen het najaar van 2010 en 2012 en in 2018 (aangegeven met rode lijn).



Figuur 4: Concentraties chlorofyl-a in de Kleine Melanen van 2012 tot 2020. Herstelmaatregelen zijn genomen tussen het najaar van 2010 en 2012 en in 2018.



Figuur 5: Voorkomen verschillende groepen van algencellen in A) absolute concentraties (op 01-06-2011 was de concentratie Cyanophyta 4773547 n/ml en Chlorophyta 1581155 n/ml) en B) aandeel van het monster.



Figuur 6: Concentratie van blauwalgencellen (Cyanophyta) en groenalgencellen (Chlorophyta) per jaar. De boxen zijn interkwartielafstanden (25^e percentiel tot 75^e percentiel), de verticale lijnen ('whiskers') strekken zich uit tot maximaal 1,5 keer de breedte van de box en stippen zijn uitschieters.

3.2 PCA ordinatie en cluster analyse

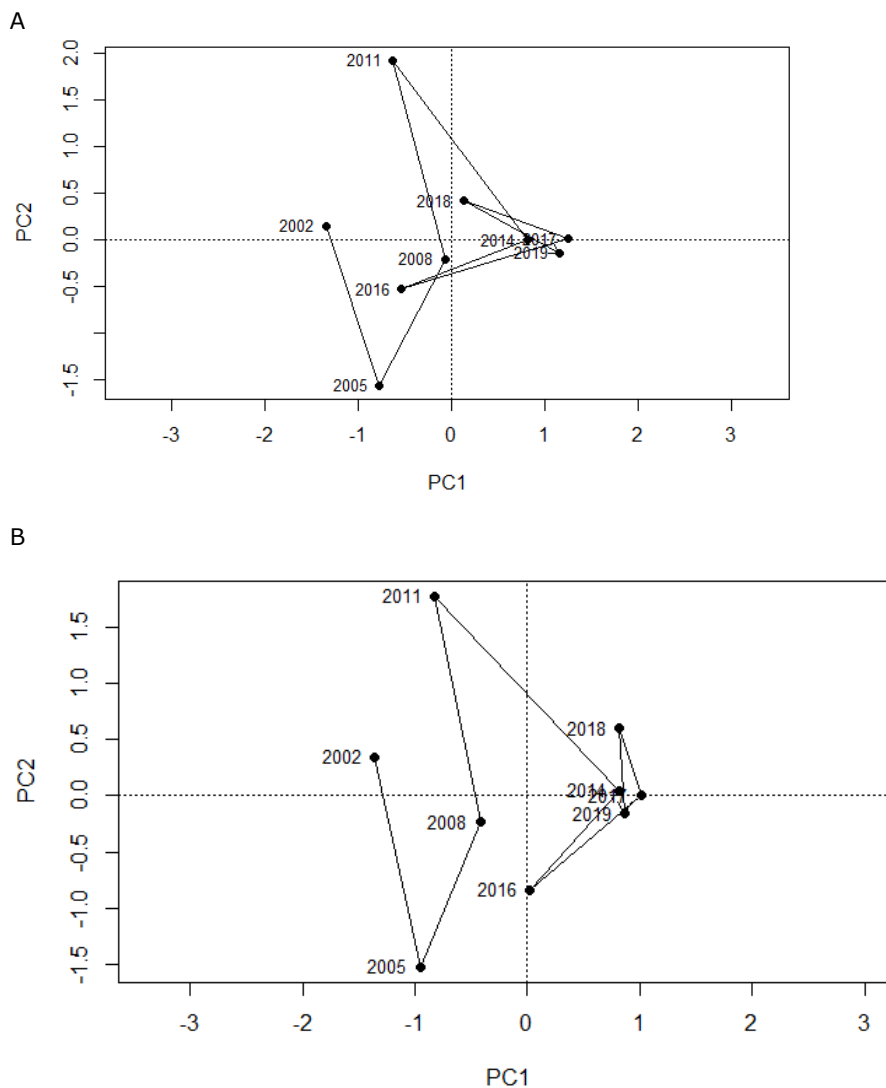
De clustering van de fytoplanktongemeenschap laat een verdeling in drie groepen over de tijd zien (Tabel 2). Cluster 1 bestaat uit de jaren 2002, 2005 en 2016, cluster 2 uit 2008 en 2011 en cluster 3 uit de jaren 2014, 2017, 2018 en 2019. De PCA ordinatie laat een vergelijkbaar patroon tussen de jaren zien als de cluster analyse (Figuur 7A). Er lijkt een verdeling te ontstaan tussen de jaren vóór en ná het nemen van de eerste maatregelen op de eerste PC-as. Daarnaast verschillen de monsters genomen vóór de eerste maatregelen op de tweede PC-as. Deze verdeling op de eerste PC-as wordt versterkt als Chroococcales niet als extra groep wordt meegenomen (Figuur 7B). Chroococcales waren naast de hogere taxonomische groepen ook de gehele groep meegenomen. In Tabel 3 staan de taxa die specifiek gerelateerd zijn aan de drie clusters uit Tabel 2. Er horen geen significante indicatorsoorten bij cluster 2. De tolerantie voor totaal-P van de twee indicatorsoorten voor het eerste cluster is iets hoger dan de tolerantie van de indicatoren die horen bij het derde cluster. De verlaging van de tolerantie voor totaal-P van de indicatoren in de monsters genomen na 2014 behalve 2016 duidt op een vermindering in de eutrofiëring nadat de eerste herstelmaatregelen zijn genomen.

Tabel 2: Overzicht van clustering van de jaren.

Jaar	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
2002	X		
2005	X		
2008		X	
2011		X	
2014			X
2016	X		
2017			X
2018			X
2019			X

Tabel 3: Overzicht van taxa die indicatief zijn voor de groepen uit tabel 2. De Indval-waarde (indicatiewaarde) geeft aan in hoeverre een taxon gerelateerd is aan een bepaald cluster, de p-waarde geeft de waarschijnlijkheid van het verkrijgen van een even hoge indicatorwaarden als waargenomen over de gespecificeerde iteraties en de frequentie geeft het voorkomen in de verschillende monsters in een cluster. De indicatorsoorten hebben we vergeleken met de optimumcurves van de fytoplanktongenera volgens de Plankton trophic index (Phillips et al. 2012). n.v.t. betekent dat (op dit taxonomisch niveau) geen informatie beschikbaar is. De twee meetlocaties in 2011 zijn samengevoegd.

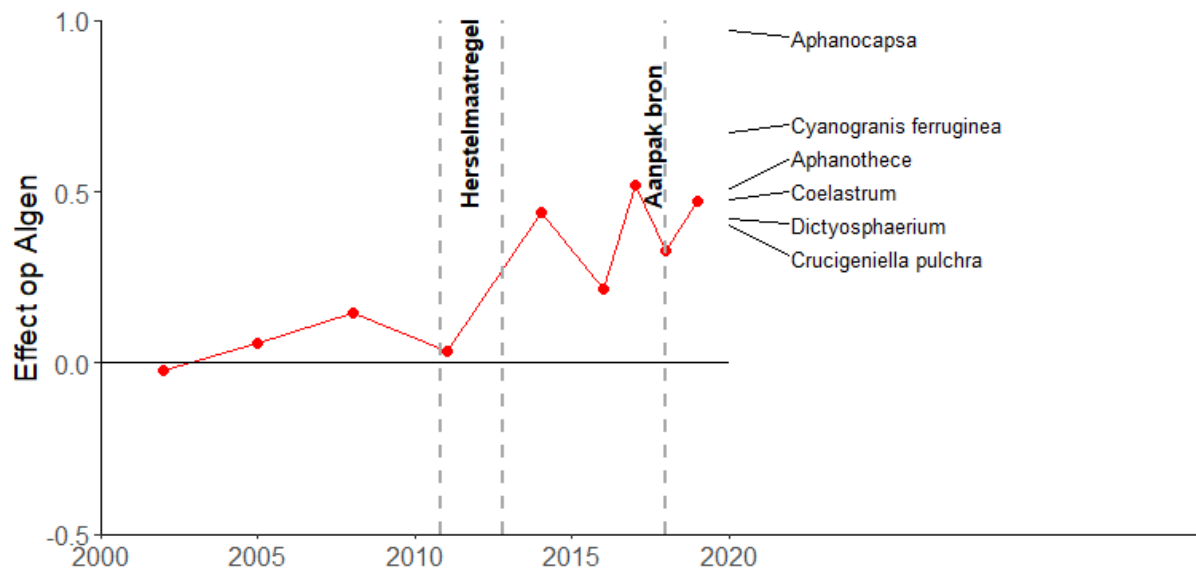
Taxa	cluster	Indval-waarde	p-waarde	Frequentie	Tolerantie TP ($\mu\text{g}/\text{L}$)		
					Gemiddeld	Minimum	Maximum
<i>Anabaena</i>	1	0.77	0.026	7	38	21	67
<i>Aulacoseira</i>	1	0.76	0.005	8	34	18	65
<i>Asterionella formosa</i>	3	1.00	0.01	4	17	11	27
<i>Monoraphidium irregulare</i>	3	1.00	0.008	4	12	7	22
<i>Chrysococcus</i>	3	0.96	0.007	5	15	8	25
<i>Ophiocytium</i>	3	0.95	0.004	5	29	21	40
<i>Cyanogranis ferruginea</i>	3	0.94	0.005	5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<i>Aphanocapsa</i>	3	0.86	0.003	8	29	18	46
<i>Crucigeniella pulchra</i>	3	0.75	0.048	5	22	12	40
<i>Dictyosphaerium</i>	3	0.69	0.041	9	21	11	41



Figuur 7: Ordinatie (PCA) van de gemiddelde algengemeenschap per jaar door de tijd aangegeven met een pijl. A) met Chroococcales als extra groep en B) zonder Chroococcales als extra groep. 2011 met * is genomen op locatie 310229 en zonder * op locatie 310212.

3.3 PRC analyse

Wanneer we, gebruik makend van een PRC-analyse, de algengemeenschap uitzetten in de tijd tegen de mediaan van de gemeenschap in de periode 2002 – 2011, zien we de trend die zichtbaar was langs de eerste as van de PCA ordinatie (Figuur 7) terug in Figuur 8. Aanvullende effecten van het aanpakken van de bron in 2018 zijn op basis van de relatieve abundantie van de fytoplanktongemeenschap hierin niet zichtbaar. Ook de tweedeling van de clusters voor het nemen van de maatregelen zijn niet zichtbaar.



Figuur 8: Verandering in de algengemeenschap in de Kleine Melanen ten opzichte van de mediaan van de gemeenschap in de toestand voorafgaand aan het nemen van de herstelmaatregelen in de periode 2002-2011 en gepresenteerd volgens de zogeheten Principal Response Curve. De soortgewichten in het rechterdeel van het diagram vertegenwoordigen de affiniteit van elk taxon met de respons weergegeven in het diagram. Voor de duidelijkheid zijn alleen de afnemende taxa met een gewicht <-0.4 en de toenemende taxa met een gewicht >0.4 weergegeven.

4 Conclusies

Zowel de eerste ingrepen (2010-2012) als ook de afronding van het volledige maatregelenpakket waarbij de bron is aangepakt (april 2018) hebben tot een duidelijk zichtbare reductie van de P-concentraties en chlorofyl-a concentraties geleid. Er is ook een reductie in de concentratie blauwalgencellen (Cyanophyta) en groenalgencellen (Chlorophyta) in 2019. Op basis van de relatieve abundantie van de fytoplanktongemeenschap lijkt een verdeling te ontstaan tussen de jaren vóór en ná het nemen van de eerste maatregelen. De verlaging van de tolerantie voor totaal-P van de indicatoren in de monsters genomen na 2014, behalve 2016, duidt op een vermindering in de eutrofiëring van de Kleine Melanen. De tweedeling van de clusters voor het nemen van de maatregelen komen echter niet goed naar voren in de trendanalyse met de Principal Response Curve methode. Fytoplankton heeft echter een zeer korte levensduur waardoor algenbloei zeer variabel kan zijn over tijd. Zeer frequente metingen van (blauwalgen) chlorofyl-a concentraties geven mogelijk efficiënter inzicht in de maat van algen bloeien en daarmee eutrofiëring over tijd dan moment opnames van de fytoplanktongemeenschap in plassen en meren. Een nadeel is echter dat met het gebruik van chlorofyl-a concentraties niet naar het effect van eutrofiëring op hogere planten, andere algen (benthisch) en dieren gekeken wordt. Deze andere organismen kunnen tevens als indicator dienen voor langere termijn processen, waarvoor fytoplankton minder geschikt is.

5 Literatuur

- Dufrêne, M., & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological monographs*, 67(3), 345-366.
- Kassambara, A. & Mundt, F. (2020). *factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses*. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>
- Kassambara, A. (2017). *Practical guide to cluster analysis in R: Unsupervised machine learning* (Vol. 1). Sthda.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlenn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson G. L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Phillips, G., Lyche-Solheim, A., Skjelbred, B., Mischke, U., Drakare, S., Free, G., ... & Carvalho, L. (2013). A phytoplankton trophic index to assess the status of lakes for the Water Framework Directive. *Hydrobiologia*, 704(1), 75-95.
- Ptácnik, R., Lepistö, L., Willén, E., Brettum, P., Andersen, T., Rekolainen, S., ... & Carvalho, L. (2008). Quantitative responses of lake phytoplankton to eutrophication in Northern Europe. *Aquatic Ecology*, 42(2), 227-236.
- Van den Brink, P. J., & Braak, C. J. T. (1999). Principal response curves: Analysis of time-dependent multivariate responses of biological community to stress. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(2), 138-148.
- Waajen, G. W., Faassen, E. J., & Lürling, M. (2014). Eutrophic urban ponds suffer from cyanobacterial blooms: Dutch examples. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(16), 9983-9994.
- Zeileis, A., Kleiber, C., Kraemer, W., & Hornik, K. (2003). Testing and Dating of Structural Changes in Practice. *Computational Statistics & Data Analysis*, 44, 109-123.

6 Supplement

Tabel S1: Gemiddelde van de resultaten van metingen van verschillende variabelen in de Kleine Melanen (310212 t/m medio 2009, 310229 vanaf medio 2009): totaal fosfor (TP), ortho-fosfaat (OP), chlorofyl-a (Chl-a), cyano chlorofyl-a (Cyano Chl-a), totaal stikstof (TN), ammonium (NH₄), nitraat (NO₃), sulfaat (SO₄), chloride (Cl), doorzicht, geleidbaarheid (EGV), troebelheid, pH, totaal aluminium (Tal), gefilterd aluminium (FAI), totaal lanthaan (TLa), gefilterd lanthaan (FLa) en zuurstof (O₂). Voor maatregelen (1993-augustus 2010), tijdens 1^e maatregelen (september 2010-oktober 2012), na 1^e maatregelen (november 2012-januari 2018), tijdens 2^e maatregelen (februari 2018-april 2018) en na alle maatregelen (mei 2018-maart 2020). Voor cyano chlorofyl a waren geen gegevens beschikbaar van de periode voor 2012. Standaard fout staat tussen haakjes, * betekent significant verschil ($P < 0,05$) tussen 'voor maatregelen' en 'na alle maatregelen' en † betekent significant verschil tussen 'na 1^e maatregelen' en 'na alle maatregelen'.

	Voor maatregelen	Tijdens 1 ^e maatregelen	Na 1 ^e maatregelen	Tijdens 2 ^e maatregelen	Na alle maatregelen
TP (mg/l)* †	0,27 (0,01)	0,3 (0,04)	0,13 (0,01)	0,08 (0,01)	0,07 (0,01)
OP (mg/l)*	0,07 (0,01)	0,04 (0,01)	0,01 (0,00)	0,02 (0,01)	0,01 (0,00)
Chl-a (µg/l)* †	129 (13)	74 (11)	51 (5)	10 (4)	24 (5)
Cyano Chl-a (µg/l)	-	24,2 (6,8)	9,8 (2,5)	0,8 (0,1)	3,1 (0,8)
TN (mg/l)* †	2,83 (0,09)	2,79 (0,30)	1,88 (0,06)	2,34 (0,14)	1,55 (0,07)
NH ₄ (mg/l)	0,46 (0,05)	0,73 (0,22)	0,29 (0,04)	0,73 (0,06)	0,38 (0,07)
NO ₃ (mg/l)	0,35 (0,04)	0,24 (0,04)	0,34 (0,04)	0,68 (0,10)	0,20 (0,04)
SO ₄ (mg/l)	13,1 (0,7)	18,9 (1,6)	15,4 (0,8)	18,4 (1,0)	13,9 (1,2)
Cl (mg/l)* †	29,9 (1,4)	33,2 (2,1)	27,5 (1,2)	38,5 (3,2)	40,5 (1,9)
doorzicht (dm)* †	5,5 (0,2)	5,0 (0,6)	6,2 (0,3)	9,9 (1,3)	8,9 (0,6)
EGV (mS/m)* †	25,2 (0,7)	25,9 (1,0)	27,3 (0,7)	30,0 (1,0)	30,5 (0,8)
Troebelheid (FTU)†	11,8 (2,2)	71,5 (24,7)	16,5 (1,6)	8,5 (2,8)	8,0 (1,0)
pH	7,62 (0,05)	7,60 (0,09)	7,55 (0,04)	7,23 (0,07)	7,56 (0,05)
TAI (µg/l)	15,2 (2,8)	390,7 (317,5)	26,6 (4,6)	26,9 (2,3)	17,2 (1,9)
FAI (µg/l)†	98,6 (24,3)	5524,7 (2089,7)	297,7 (78,3)	422,7 (224,5)	109,2 (12,1)
TLa (µg/l)	<12,0	13,6 (3,7)	3,2 (0,5)	86,2 (53,2)	12,3 (1,5)
FLa (µg/l)	<12,0	219,6 (84,0)	21,4 (3,0)	299,1 (201,2)	58,9 (8,1)
O ₂ (mg/l)	9,3 (0,4)	9,0 (0,5)	9,3 (0,2)	8,8 (0,5)	8,9 (0,4)