

DATA-ANALYSE ALGEN EN WATERPLANTEN IN RELATIE TOT NUTRIËNTEN IN BRAKKE WATEREN



WERKRAPPORT

2018
W03

DATA-ANALYSE ALGEN EN WATERPLANTEN IN RELATIE TOT
NUTRIËNTEN IN BRAKKE WATEREN

WERKRAPPORT

2018
W03



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR(S)
G.H.P. Arts
J.M. van Smeden
W.A. Ozinga

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Wouter Quist (Waterschap Scheldestromen, voorzitter)
Fred Kuipers (Waterschap Hollandse Delta)
Miriam Collombon (Wetterskip Fryslân)
André van de Straat (Provincie Zeeland)
Guido Waajen (Waterschap Brabantse Delta)
Jan Wanink (Waterschap Noorderzijlvest)
Gert van Ee (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Pui Mee Chan (STOWA)
Bas van der Wal (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-W03

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

SAMENVATTING

Het project “data-analyse algen en waterplanten in relatie tot nutriënten in brakke wateren” was een pilot studie die gericht was op Sleutelfactor 1, Productiviteit (STOWA, 2014). De hoofdvraag die hierbij voorlag was om een analyse uit te voeren van nutriënten in relatie tot algengroei en het voorkomen van ondergedoken waterplanten in brakke watersystemen (range 1000 – 5000 mg/L Cl). Om deze vraag te beantwoorden zijn significante relaties onderzocht tussen nutriëntengehalten (verschillende vormen van fosfaat en stikstof) in het oppervlaktewater, de abundantie van algen (fytoplankton als Chlorofyl-a) en het voorkomen en de abundantie van ondergedoken waterplanten in brakke wateren. De methodiek die hierbij is toegepast is een multivariate analyse techniek, namelijk Canonical Correspondence Analysis (CANOCO). In totaal zijn 6 volledige datasets met waterplanten en waterkwaliteit afkomstig van 6 waterbeheerders geanalyseerd. In totaal gaat het om 642 datapunten met een abundantie van één of meerdere waterplanten en meerdere waterkwaliteitsvariabelen. De set aan abiotische gegevens was niet helemaal gevuld, bijvoorbeeld het sulfaatgehalte en totaal-fosfaat waren niet overal gemeten. Deze variabelen zijn daarom in een kleinere subset in de CANOCO-analyses meegenomen. Van de chemie zijn alleen de abiotische gegevens van het groeiseizoen (april tot en met september) meegenomen om te koppelen aan de vegetatie (waterplantenbegroeiing). De gedachte hierachter was dat de zomerwaarden de milieumstandigheden zouden weerspiegelen van de waterplanten in het groeiseizoen.

Uit de eerste analyse bleek dat er significante verschillen in soortensamenstelling zijn tussen de datasets van verschillende beheerders, hetgeen kan samenhangen met methodische verschillen, maar ook met typologische verschillen (systeemvoorwaarden als geologische ondergrond en klimaat, landgebruik, beheer etc.), met de ligging in het landschap (historie, kustgenese) tussen de brakke wateren in de verschillende beheergebieden en met het beheer (inlaat van zoet water in brakke gebieden). Omdat de focus van dit project ligt op chemische variabelen, is een aanvullende analyse uitgevoerd waarin de beheerders als co-variabele zijn meegenomen. In totaal zijn er vier ordinaties uitgevoerd (met of zonder sulfaat en P-totaal en met of zonder waterbeheerder als co-variabele). Het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard kan worden door het model neemt toe wanneer sulfaat en P-totaal als verklarende variabele meegenomen worden. Het meenemen van sulfaat als variabele is dus noodzakelijk om een goede verklaring te krijgen voor de variatie in de samenstelling van waterplanten in brakke wateren. Daarnaast blijkt dat het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard wordt door het model iets afneemt indien waterbeheerder als co-variabele in het model meegenomen wordt. Dit laatste kan duiden op typologische verschillen in de brak-water-systemen tussen de beheergebieden die mede de variatie in de samenstelling van de waterplanten verklaren. Uit de totale analyse (ordinatie-diagrammen) komt een aantal variabelen naar voren die het meest bepalend zijn voor de waterplantenvegetatie. Dat zijn:

- Chlorofyl-a (maximum en gemiddelde);
- Chloride (maximum en gemiddelde);
- Sulfaat (maximum en gemiddelde);
- pH (maximum en gemiddelde).

Wanneer sulfaat wordt meegenomen in de analyse, blijken de nutriënten in het oppervlaktewater ondergeschikt te zijn geworden voor de variatie in de soortensamenstelling van de

waterplantenvegetatie. Sulfaat dient dan ook altijd te worden meegenomen als verklarende variabele voor waterplantenvegetaties in brakke wateren. Hogere chloridegehalten zijn niet altijd gecorreleerd zijn met een hoger chlorofyl-a gehalte (de pijlen voor chloride en chlorofyl-a wijzen in de ordinatiediagrammen niet in dezelfde richting), maar wel met een lager aantal soorten waterplanten.

Uit zowel de analyse met CANOCO als de correlaties tussen nutriënten in het oppervlaktewater en Chlorofyl-a komt naar voren dat er geen één op één relatie aanwezig is tussen Chlorofyl-a en nutriënten in het oppervlaktewater, en tussen het voorkomen van brak-waterplanten en Chlorofyl-a en nutriënten in het oppervlaktewater. Er spelen dus meerdere sturende variabelen een rol in brakke wateren. De consequentie hiervan is dat we geen eenduidige normen voor nutriënten in het oppervlaktewater hebben kunnen adviseren aan Waterschap Scheldestromen ter opname in hun volgende generatie stroomgebiedbeheerplannen.

Voor de Stroomgebiedsbeheerplannen bevelen we aan om de volgende variabelen mee te nemen in rapportages en monitoringsprogramma's:

- Sulfaat;
- Chloride (maximum, gemiddelde en de variatie in chloridegehalten);
- Chlorofyl-a;
- -Stikstof (ammonium en totaal stikstof) en fosfaat (PO_4) niet noodzakelijkerwijs op basis van de onderhavige studie gebaseerd op nutriënten in het oppervlaktewater van brakke wateren in het zomerseizoen; voor nutriënten in het winterseizoen en nutriënten in de bodem kunnen deze relaties anders liggen. Dat zal onder meer in een vervolgstudie nader onderzocht worden.

In het rapport worden aanbevelingen gedaan voor de vervolgfase van het onderzoek naar brakke watersystemen.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

DATA-ANALYSE ALGEN EN WATERPLANTEN IN RELATIE TOT NUTRIËNTEN IN BRAKKE WATEREN

INHOUD

	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Probleemstelling	1
1.2	Achtergrond	1
2	METHODE	3
2.1	Verzamelen van gegevens	3
2.2	Verwerking en koppeling van gegevens	4
2.3	Data-bewerking t.b.v. multivariate analyse	5
2.4	Multivariate statistische analyse met behulp van CANOCO	7
3	RESULTATEN	9
3.1	Resultaten statistische multivariate analyse	9
3.1.1	Canonical Correspondence Analysis (CCA) met basis-set	10
3.1.2	Canonical Correspondence Analysis (CCA) met basisset plus SO ₄ en P-totaal	12
3.1.3	Partial Canonical Correspondence Analysis (waterbeheerder als co-variabele) met basisset	16
3.1.4	Partial CCA (waterbeheerder als covariabele) met basisset plus SO ₄ en P-totaal	18
3.1.5	Partial Canonical Correspondence Analysis (CCA) met waterbeheerder als co-variabele met basisset plus SO ₄ en P-totaal met weglating van Enteromorpha intestinalis en Enteromorpha spec.	20
3.1.6	Relatie tussen Chlorofyl-a en nutriëntengehalten in het oppervlaktewater van brakke wateren	22

4	WAT IS ER BEKEND UIT DE LITERATUUR?	24
5	DISCUSSIE	27
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	30
7	DANKWOORD	31
8	REFERENTIES	32
BIJLAGE 1	Gegevens selectie	34
BIJLAGE 2	Overzicht van gebruikte gegevens van waterbeheerders (in groen)	36

1

INLEIDING

1.1 PROBLEEMSTELLING

Waterschappen die brakke wateren in hun beheer hebben, zien dat de nutriëtnormen in hun systemen bijna gehaald worden, maar dat de biologische kwaliteit achterblijft, bijvoorbeeld omdat wortelende waterplanten niet aanwezig zijn of niet tot ontwikkeling komen. Daarmee wordt voor deze wateren niet voldaan aan de eisen die gesteld worden vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW).

1.2 ACHTERGROND

Waterbeheerders worstelen met de vraag hoe zinnige KRW-doelen voor N en P kunnen worden afgeleid voor brakke wateren. Er is onvoldoende kennis van brakke wateren, waardoor de waterschappen niet goed weten of de doelen juist gesteld zijn en welke maatregelen ze moeten treffen om tot verbetering te komen. Ook in natuurlijk ingerichte wateren, waar de nutriëntengehalten binnen de gestelde (zij het vrij ruime) norm blijven, komen geen waterplanten tot ontwikkeling. Omdat brakke KRW-watertypen (M30, M31, M32) maar beperkt in Nederland voorkomen, blijft de aandacht voor deze wateren achter.

De vraag die in dit rapport voorligt is een eerste stap om meer kennis te ontwikkelen over brakke wateren en om meer inzicht te krijgen in de vraag of en hoe nutriënten werken als sturende factoren voor algenbloei en het voorkomen van ondergedoken waterplanten in brakke wateren. De productiviteit van een water wordt voor een groot deel bepaald door de beschikbaarheid van nutriënten. Deze bevorderen de groei van planten en algen (productiviteit). Ondergedoken waterplanten komen vooral voor bij een lage productiviteit van het oppervlaktewater, bij een hogere productiviteit worden ze weggeconcentreerd door algen (sleutelfactor 1; STOWA, 2014).

Binnen Wageningen Environmental Research (Alterra) is reeds in de jaren 90 van de vorige eeuw onderzoek gedaan aan brakke wateren. In het kader van het opstellen van de natuurdoeltypen voor de Nederlandse wateren (Aquatisch Supplement) is gewerkt aan brakke wateren (van Beers en Verdonchot, 2000). Ook is in het kader van het referentie-onderzoek voor Staatsbosbeheer, een aantal brakke wateren bemonsterd op de kwaliteit van oppervlaktewater, poriewater en sediment en is in deze wateren de vegetatie bestudeerd (Arts et al., 2007; Arts en Smolders, 2008a;b).

In de provincie Noord-Holland is uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar verschillende watertypen en bijbehorende biologie (macrofauna, macrofyten, diatomeeën). Vanaf ca. 1980-2000 is als onderdeel van de Provinciale Natuur Informatie hydrobiologisch onderzoek uitgevoerd. Hierin is ook uitgebreid aandacht voor brakwater geweest (Van der Hammen 1992; Van Ee en Houdijk 2006). Hierbij zijn verschillende typen zilte en brakke polderwateren onderscheiden: licht brakke boezemwateren, licht brakke zandwinplassen, brakke polderplassen en duinwateren met zee-invloed. Daarnaast zijn zogenaamde responsiespectra opgesteld voor chloride

en nutriënten (belastingsindex). Ook is onderzoek uitgevoerd naar optimalisatie van brakke watersystemen (Wessels 1998) en zijn modellen ontwikkeld voor water- en overplanten en macrofauna, waarbij aandacht was voor brakke wateren (ICHORS (Barendregt en Wassen, 1989); IMRAM (Amesz en Barendregt, 1996)). Uit het onderzoek naar de macrofauna in Noord-Holland kwamen de chloridegrenzen op basis van de soorten uit op de volgende ranges: 0-952 mg Cl/L; 953-2300 mg Cl/L; 4000 mg Cl/L; 8000 mg Cl/L (Van der Hammen 1992).

De doelstelling van dit project is om een analyse uit te voeren van de nutriëntengehalten in brakke watersystemen in relatie tot algenbloei en het voorkomen van ondergedoken waterplanten. De huidige studie richt zich op de brakke binnenwateren, dat zijn wateren langs de Nederlandse kust die geen open verbinding hebben met de zee, maar waar het zoute zeewater zijn invloed doet gelden via poreuze dijken, lekkende sluizen, duikers en via ondergrondse kwelstromen (www.wew.nu/bw40/item.php?id=27). De chloriderange van brakke wateren ligt strikt genomen tussen de 1000 en 5000 mg Cl/L. Als we de range tot 300 mg Cl/L (is de grens met het zoete water, en de ondergrens van het KRW-type M30, zwak brakke wateren) hadden doorgetrokken, had dit veel ruis in de dataset gegeven. De analyse is dus gericht op gegevens uit wateren met de genoemde range in chloride. In de CANOCO-analyse is, op basis van de databeschikbaarheid binnen de dataset, de analyse zo nodig opgesplitst in analyses van verschillende subsets met en zonder bepaalde variabelen. Het projectresultaat is dit rapport waarin de relaties tussen chloride, de verschillende vormen van stikstof en fosfaat met algenbloei en het voorkomen van ondergedoken waterplanten is uitgewerkt aan de hand van multivariate analysetechnieken met behulp van het programma CANOCO. In het grondwater in Nederland wordt naast een toename in nitraat ook een toename in sulfaat geconstateerd. Van nature komt er in Nederland sulfaatrijk grondwater voor als er sprake is van brakke kwel. Sulfaat is ook belangrijk als het gaat om de beïnvloeding van de fosfaatbeschikbaarheid en sulfide is toxisch voor de wortels van waterplanten (Arts et al., 2007) Daarom is sulfaat ook meegenomen als variabele in de analyse.

Het projectresultaat levert een bijdrage aan het vergroten van het inzicht in de sturende factoren voor de waterkwaliteit in brakke wateren. Het project is een nadere uitwerking van Ecologische Sleutelfactor 1 voor brakke wateren (Productiviteit van het water bepaald door de belasting met voedingsstoffen) (STOWA, 2014). Het rapport levert middels het vergroten van het inzicht in de sturende factoren in brakke wateren een bijdrage aan de opkomende Stroomgebiedbeheerplannen, die in 2018 zullen worden opgesteld.

Het project is een eerste stap op weg naar een groter onderzoeksprogramma voor brakke wateren, waarvoor een plan is ingediend en dat als doel heeft het gelijk trekken van het kennisniveau van brakke aquatische systemen met dat van zoete aquatische systemen.

2

METHODE

2.1 VERZAMELEN VAN GEGEVENS

Het onderzoek startte met het verzamelen van nutriëntengehalten (verschillende vormen van fosfaat en stikstof), waterkwaliteitsgegevens (pH, sulfaat, buffering of alkaliniteit en chloride) en de abundantie van algen (fytoplankton uitgedrukt in Chl-a) en het voorkomen en de abundantie van ondergedoken waterplanten in brakke wateren. Appendix 10.1 geeft een overzicht van de opgevraagde abiotische gegevens en van de geselecteerde biotische gegevens (waterplanten karakteristiek voor brakke wateren, uitgebreid met waterplanten van eutrofe brakke wateren). In overleg met de opdrachtgever zijn de gegevens verzameld bij waterbeheerders in Nederland en Vlaanderen die brakke wateren in hun beheergebied hebben (zie Tabel 1) en is er geen gebruik gemaakt van bewerkte gegevens uit de bestanden beschikbaar bij het Informatiehuis Water (Limnodata Neerlandica). Er is dus gebruik gemaakt van de oorspronkelijke gegevens van de waterbeheerders.

TABEL 1

WATERBEHEERDERS WAARVAN DE GEGEVENS MEEGENOMEN ZIJN IN DE CANOCO-ANALYSE

Waterbeheerder	Gebruikte afkorting in de data-bestanden
Hoogheemraadschap van Rijnland	HRR
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	HHNH
Waterschap Scheldestromen	SS
Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard	SK
Vlaamse Milieumaatschappij (België)	VL
Waterschap Hollandse Delta	WSD
Wetterskip Fryslân	WSF
Waterschap Noorderzijlvest	WSNSV

De beschikbare gegevens van de waterbeheerders betreffen KRW meetgegevens (routinematig meetnet, met name toestand- en trendmonitoring). De meetfrequentie op de KRW-punten bedraagt gewoonlijk maandelijks metingen van nutriënten + chlorophyll-a en waterplanten 1x per 3-5 jaar. Gegevens zijn opgevraagd vanaf het jaar 2000; dit komt neer op meestal drie jaren met vegetatiegegevens met de bijbehorende chemie. Er is gekozen om gegevens vanaf het jaar 2000 te verzamelen teneinde een analyse te maken op basis van recente gegevens alsook met het oog op de vragen die voor lagen aan deze studie en de informatie nodig was voor de volgende generatie gebiedsbeheerplannen. Er is ook vòòr 2000 veel onderzoek gedaan aan brakke wateren en er zijn gegevens bijeen gebracht. Deze gegevens zullen worden meegenomen in het project brakke wateren, dat gericht is op een systeemanalyse.

Appendix 10.2 geeft een overzicht van de datasets die de waterbeheerders hebben aangeleverd. Niet alle datasets waren bruikbaar, omdat in een aantal gevallen de punten waarop de chemische gegevens verzameld zijn niet konden worden gekoppeld aan de locaties van de vegetatiegegevens, bijvoorbeeld omdat beide punten te ver uit elkaar lagen. In totaal zijn er 6 complete datasets van waterplantenvegetatie met bijbehorende chemie afkomstig van 6 verschillende waterbeheerders beschikbaar voor de analyse.

Gegevens van brakke wateren die recentelijk verzameld zijn door Jan Roelofs en Gerben van Geest, in het kader van een herhaling van het verspreidingsonderzoek aan waterplanten in Nederlandse wateren, zijn in deze analyse niet meegenomen. Ook zijn gegevens van terrein-beherende organisaties die brakke wateren in hun beheergebied hebben, met name in de duingebieden, niet meegenomen. Omdat deze gegevensbronnen een belangrijke toegevoegde waarde hebben (onder andere minder gestoorde systemen door hun ligging in natuurgebied), zullen ze in een volgende fase van een volledige systeemanalyse van brakke wateren worden meegenomen en geanalyseerd.

2.2 VERWERKING EN KOPPELING VAN GEGEVENS

Het format waarin de waterbeheerders ons de gegevens aangeleverd hebben, verschilde sterk ondanks dat we de waterbeheerders gevraagd hadden de gegevens in een specifiek (KRW) format aan te leveren. Ook werden in een aantal gevallen alle fysisch-chemische data aangeleverd, waaruit vervolgens de selectie op basis van de gegevens van de vegetatie (locatie en jaar) nog moest plaatsvinden. Met behulp van Microsoft Excel en Access zijn de juiste gegevens geselecteerd en gekoppeld. Figuur 1 geeft een visualisatie van de gebruikte methode van selectie en koppeling van de gegevens. De set aan abiotische gegevens was niet helemaal gevuld, bijvoorbeeld het sulfaatgehalte was niet overal gemeten. Het gevolg hiervan is dat sulfaat alleen in een kleinere subset in de CANOCO-analyses kon worden meegenomen. Van de chemie zijn alleen de abiotische gegevens van het groeiseizoen (april tot en met september) en dus de zomerwaarden (gemiddelde, maximum, minimum) meegenomen omdat de zomerwaarden de waterkwaliteit in het groeiseizoen weergeven en deze naar verwachting beter de milieucondities voor de vegetatie weerspiegelen. De waterplanten datasets en de abiotische datasets zijn gekoppeld op basis van de meetlocatie en opnamedatum.

FIGUUR 1 VISUALISATIE GEBRUIKTE METHODE VAN SELECTIE EN KOPPELING VAN DE GEGEVENS



Meetlocaties die in elke dataset terugkomen zijn bepaald uit de beschikbare chemie data.

In de chemiedataset zijn de waarden weergegeven als groeiseizoensgemiddelde. Dit is bepaald uit de meetlocatie en de datum van bijbehorende vegetatieopname. De reden waarom sommige regels in de chemiedataset leeg zijn, is omdat er dan geen seizoensgemiddelde berekend kon worden voor de chemie data.

2.3 DATA-BEWERKING T.B.V. MULTIVARIATE ANALYSE

Voor de analyse zijn alle abundantiegegevens van de vegetatie eerst omgezet naar een schaal van 1 tot 9. De oorspronkelijke vegetatiegegevens betroffen namelijk zowel abundantieklassen (volgens Braun-Blanquet schaal) als opnamen waarin de schaal van Tansley was toegepast. Deze percentages zijn vervolgens getransformeerd naar de reeds genoemde schaal van 1 tot 9.

Een overzicht van de beschikbare omgevingsvariabelen wordt gegeven in tabel 2. Naast nutriëntensamenstelling zijn ook andere variabelen in de analyse meegenomen. Zwavelverbindingen (sulfaat en sulfide) vormen een belangrijke variabele in brakke wateren en zijn ook medebepalend voor de fosfaatbeschikbaarheid. Van alle milieuvariabelen zijn minimum, maximum en gemiddelde waarden meegenomen in de analyse. De milieuvariabelen zijn ln-getransformeerd, met uitzondering van de pH-waarden. Omdat de schaal van de verschillende variabelen verschilt, zijn de variabelen voorafgaand aan de analyse gecentreerd en gestandaardiseerd. Dit houdt in dat ze getransformeerd worden naar een standaardverdeling met gemiddelde = 0 en variantie = 1. Voor de analyse zijn alleen plots bruikbaar waarbij informatie beschikbaar is voor alle in de analyse gebruikte milieuvariabelen. Dit komt omdat plots met één of meerdere lege velden niet goed bruikbaar zijn voor veel statistische analyses, waaronder ordinaties. Om het verlies aan meetpunten zo beperkt mogelijk te houden, is

gewerkt met een subset van milieuvariabelen met gegevens voor minimaal 300 meetpunten (zie Tabel 2, selectie = 1). Daarnaast is een extra run uitgevoerd waarbij de selectie van milieuvariabelen is uitgebreid met SO_4 en P-totaal (selectie = 2 in Tabel 2). Deze tweede run met meer milieuvariabelen is dus gebaseerd op een veel kleiner aantal meetpunten en is daardoor minder robuust. Soortenaantal en jaar zijn als extra variabelen meegenomen in de analyse. Het soortenaantal kan mogelijk informatie geven waar soortenrijkere dan wel soortenarmere locaties in het diagram geplaatst worden en hoe deze samenhangen met milieuvariabelen. Het jaar is als variabele meegenomen omdat mogelijk verschillen van jaar tot jaar een rol spelen bij het verklaren van de variatie binnen de totale dataset.

TABEL 2 OVERZICHT VAN DE OMGEVINGSVARIABLEN MET PER VARIABLE HET AANTAL PLOTS WAARVOOR GEGEVENS BESCHIKBAAR ZIJN, HET GEMIDDELDE, MINIMUM EN MAXIMUM EN DE SELECTIE VOOR DE ORDINATIEMODELLEN (1: IN BASISSET; 2: IN EXTRA RUN). AV. = GEMIDDELDE, MAX. = MAXIMUMWAADE ZOMER, MIN. = MINIMUMWAADE ZOMER

Variabele	Variabele code in analyses	Selectie model	Aantal plots	Meetwaarde		
				Avg	Min	Max
Jaar	jaar	1	642	2008	2000	2017
Waterbeheerder	Waterbeheerder	1	642	-	-	-
Chlorofyl-a	CHLfa Av.	1	310	114.085	2	1800
	CHLfa Max	1	310	183.468	2	2040
	CHLfa Min		310	69.055	0	1800
Chloride	Cl Av.	1	395	2274.002	1000	4900
	Cl Max	1	395	2643.146	1000	4900
	Cl Min		395	1935.135	1000	4900
Ammonium	NH_4 Av.	1	383	0.977	0.01	15
	NH_4 Max	1	383	1.450	0.01	23.39
	NH_4 Min		383	0.619	0	13
Stikstof-totaal	Ntot Av.	1	339	4.539	0.44	21.55
	Ntot Max	1	339	5.687	0.7	34.43
	Ntot Min		339	3.565	0	17.16
Zuurgraad	pH Av.	1	387	8.071	7.1	9.24
	pH Max	1	387	8.245	7.1	10.1
	pH Min		387	7.767	0	9.24
Fosfaat	PO_4 Av.	1	386	0.801	0.005	9.4
	PO_4 Max	1	386	1.064	0.005	9.4
	PO_4 Min		386	0.550	0	9.4
Nitraat + nitriet	sNO_3NO_2 Av.		148	0.861	0	8.7
	sNO_3NO_2 Max		148	1.201	0	8.7
	sNO_3NO_2 Min		148	0.597	0	8.7
Sulfaat	SO_4 Av.	2	243	310.729	15	2300
	SO_4 Max	2	243	339.675	15	2300
	SO_4 Min		243	213.383	0	2300
Bicarbonaat	HCO_3 Av.		6	3.814	0.33	11
	HCO_3 Max		6	3.973	0.34	11
	HCO_3 Min		6	1.864	0	7.9
Ammoniak	NH_3 Av.		87	0.535	0.03	8.8
	NH_3 Max		87	0.003	0	0.25
	NH_3 Min		87	0.000	0	0
Fosfor-totaal	Ptot Av.	2	211	1.308	0.056667	9.4
	Ptot Max	2	211	1.593	0.08	9.4
	Ptot Min		211	0.989	0	9.4
Soortenrijkdom	Species Aantal	1	642	2.086	0	10

2.4 MULTIVARIATE STATISTISCHE ANALYSE MET BEHULP VAN CANOCO

De relatie tussen milieufactoren en de soortensamenstelling van de brakke wateren is geanalyseerd met ordinatietechnieken met behulp van het programma CANOCO 5.10 (Ter Braak & Šmilauer 2012). Ordinatietechnieken zijn technieken waarmee de dimensies (assen) worden berekend die de grootste variatie in soortensamenstelling verklaren. Ordinatietechnieken kunnen beschouwd worden als hypothetische milieugradiënten, die zodanig zijn geconstrueerd dat de soorten optimaal passen in een statistisch model dat de soort-abundanties langs gradiënten beschrijft. Het is een methode die vergelijkbaar is met regressietechnieken, maar waarmee het mogelijk is om meerdere responsevariabelen (in dit geval soorten) gelijktijdig te bestuderen en de relaties tussen deze soorten en het milieu te kwantificeren. Er zijn verschillende ordinatietechnieken en hier hebben we gekozen voor canonische correspondentieanalyse (CCA: canonical correspondence analysis). Bij deze techniek worden de milieuvariabelen meegenomen in de berekening en is het mogelijk om de significantie van de variabelen te testen met behulp van een permutatietest. Een eerste resultaat van de CCA is een kwantificatie van het relatieve belang van de geselecteerde omgevingsfactoren bij het verklaren van de variatie in soortensamenstelling.

Canonical Correspondence Analysis (CCA) is een directe (constrained) unimodale ordinatietechniek. Dat eerste betekent dat de omgevingsfactoren in het model gebruikt worden (i.e. indirecte ordinatietechnieken zoals DCA; deze indirecte technieken hebben ook als nadeel dat je de significantie van de variabelen niet kunt testen). Dat tweede betekent dat bij de response van soorten langs de ordinatietechnieken uitgegaan wordt van optimum curves in plaats van een rechte lijn. Voor lange milieu gradiënten (zoals hier het geval is), zijn deze unimodale modellen realistischer.

In de analyse zijn de individuele variabelen op basis van hun effect beoordeeld. Er is in de analyse geen gebruik gemaakt van “forward selection”. Bij “forward selection” probeer je de sub-set aan milieuvariabelen te selecteren die het best de variatie in soortensamenstelling kan verklaren. Het voordeel van de benadering die in deze studie is toegepast, is dat de effecten onderling vergeleken kunnen worden tussen de variabelen (in tegenstelling tot de resultaten na forward selection). De p-waarden zijn gecorrigeerd voor het aantal te testen parameters op basis van ‘False Discovery Rate’.

Een tweede, meer visueel resultaat van de CCA is een rangschikking van soorten en monsterpunten in een ordinatiediagram, gedefinieerd met behulp van ordinatietechnieken. De soorten en monsterpunten worden hierbij zodanig gerangschikt dat gelijkende eenheden dicht bij elkaar liggen. In de ordinatiediagram komt de positie van de soorten overeen met het punt waar de kans het grootst is dat de soort aanwezig is met een relatief hoge abundantie (het niche optimum). De monsterpunten liggen in het ordinatiediagram op het centroid (gemiddelde) van de punten van de soorten die in dat monsterpunt voorkomen. Hierdoor is de kans groot dat monsterpunten die dicht bij een bepaalde soort liggen, ook een hoge abundantie van die soort hebben. De soorten en monsterpunten in het diagram geven dus de variatie in soortensamenstelling van de monsterpunten weer langs gradiënten. Voor de belangrijkste omgevingsfactoren wordt het effect op de soortensamenstelling weergegeven met een pijl. Deze pijl wijst in de richting van de maximale verandering van de milieuvariabele en de lengte is evenredig met de mate van verandering in soortensamenstelling in deze richting. Hierbij moet wel in het achterhoofd gehouden worden dat dergelijke ordinatiediagrammen een tweedimensionale weergave zijn van een multi-dimensionale ordinatieruimte. Voor een vergelijking van het relatieve belang van verschillende

omgevingsfactoren bieden de tabellen met de resultaten van de statistische tests daarom betrouwbaardere informatie.

Uit de eerste analyse bleek dat er significante verschillen in soortensamenstelling zijn tussen de datasets van verschillende beheerders, hetgeen kan samenhangen met methodische verschillen, maar ook met typologische verschillen (systeemvoorwaarden als geologische ondergrond en klimaat, landgebruik, beheer etc.) tussen de brakke wateren in de verschillende beheergebieden. Diverse zaken kunnen de oorzaak zijn van verschillen in beheer. Het kan daarbij gaan om doorspoelen, onderhoud, aanvoer van zoet water of nog mogelijke andere redenen. Omdat de focus van dit project ligt op chemische variabelen, hebben we een aanvullende analyse uitgevoerd waarin de beheerders als co-variabele zijn meegenomen (partial-CCA). De beheerders als co-variabele kan een proxy zijn voor variatie in ecologische, methodische of brak-water-systeemverschillen. Om te achterhalen waar de verschillen precies vandaan komen, zijn nadere analyses nodig met verschillende subsets. In de onderhavige studie hebben we het effect van verschillende beheerders op de soortensamenstelling in een tweede stap eruit gefilterd en is de analyse uitgevoerd op basis van de variatie in soortensamenstelling die niet samenhangt met verschillen in beheerder (de residuele variatie). Indien er verschillen tussen deelgebieden zijn in de gemiddelde waterchemie, dan heeft dit als nadeel dat hiermee ook een deel van de relevante variatie eruit gefilterd wordt. Deze analyse geeft dus een conservatieve schatting van het effect van milieuvariabelen. In totaal zijn er dus vier ordinaties uitgevoerd (met of zonder SO_4 en P-totaal en met of zonder waterbeheerder als co-variabele)

3

RESULTATEN

3.1 RESULTATEN STATISTISCHE MULTIVARIATE ANALYSE

Een samenvatting van de vier ordinatiemodellen wordt gegeven in Tabel 3. De percentages voor de verschillende assen zijn cumulatief weergegeven, dus het percentage onder As 6 (Axis 6) is de totale verklaarde variatie. Uit tabel 3 blijkt dat het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard kan worden door het model (adjusted explained variation) toeneemt in het model waarin ook SO₄ en P-totaal als verklarende variabelen meegenomen worden (maar in deze modellen is het aantal meetpunten geringer). Het meenemen van SO₄ als variabele is dus noodzakelijk om een goede verklaring te krijgen voor de variatie in de samenstelling van de waterplanten. Daarnaast blijkt dat het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard wordt door het model iets afneemt indien waterbeheerder als co-variabele in het model meegenomen wordt. Dit laatste kan duiden op beheergebied-specifieke verschillen in de milieuvariabelen in de brak-water-systemen die mede de variatie in de samenstelling van de waterplanten verklaren.

TABEL 3 OVERZICHT VAN DE VERKLAARDE VARIANTIE VOOR DE CCA ANALYSE MET PER ORDINATIE-AS 1) EXPLAINED VARIATION: HET PERCENTAGE VAN DE VARIATIE IN RESPONSE DATA (SOORTENSAMENSTELLING) DIE VERKLAARD WORDT DOOR DE ORDINATIE-ASSEN (CUMULATIEF) EN 2) EXPLAINED FITTED VARIATION: DE CUMULATIEVE FRACTIE VAN DE GEFITTE VARIATIE IN DE SOORTENSAMENSTELLING DIE VERKLAARD WORDT OP EEN SCHAAL VAN 0-100%. VERDER WORDT PER ORDINATIEMODEL HET AANTAL MEETPUNTEN VERMELD DAT IN DE ANALYSE MEEGENOMEN IS (N) EN DE 'ADJUSTED EXPLAINED VARIATION'. DEZE MAAT IS VERGELIJKBAAR MET EEN ADJUSTED R² BIJ KLASSIEKE REGRESSIEANALYSES

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
CCA met basisset (N=271; adj. explained variation 11.62%)						
Explained variation (cumulat)	3.06	6.07	8.22	9.88	11.42	12.62
Explained fitted variation (cumulat)	17.14	34.02	46.11	55.4	64	70.76
CCA basisset + SO ₄ en Ptot (N=111; adj. explained variation 21.43%)						
Explained variation (cumulat)	8.39	14.6	19.22	23.48	26.51	29
Explained fitted variation (cumulat)	23.48	40.89	53.82	65.73	74.21	81.19
Partial CCA, beheerder covar (N=271; adj. explained variation 6.58%)						
Explained variation (cumulat)	2.42	4.42	6.13	7.45	8.46	9.15
Explained fitted variation (cumulat)	21.05	38.36	53.23	64.71	73.48	79.51
Partial CCA, beheerder covar + SO ₄ en Ptot (N=111; adj. explained variation 16.84%)						
Explained variation (cumulat)	9.01	13.62	17.37	20.71	23.26	25.35
Explained fitted variation (cumulat)	29.36	44.37	56.57	67.45	75.75	82.56

3.1.1 CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS (CCA) MET BASIS-SET

TABEL 4 OVERZICHT VAN DE MATE WAARIN DE VERSCHILLENDE OMGEVINGSVARIABLEN BIJDAGEN AAN HET VERKLAREN VAN VERSCHILLEN IN SOORTENSAMENSTELLING MET PER VARIABLE EEN RELATIEVE MAAT VOOR DE FRACTIE VERKLAARDE VARIATIE, DE STATISTISCHE TESTGROOTHEID (PSEUDO-F) EN DE MATE VAN SIGNIFICANTIE (P-WAARDE)

Name	Verklarend percentage %	pseudo-F	Significantie (p-waarde)
Waterbeheerder.HHNNH	2.92	8.1	0.001
Waterbeheerder.SS	2.21	6.1	0.001
Spec-Aant	2.2	6.1	0.001
Waterbeheerder.WSD	1.95	5.3	0.001
Cl Av.	1.74	4.8	0.001
Cl Max	1.71	4.7	0.001
CHLfa Max	1.56	4.3	0.00699
pH Max	1.49	4.1	0.001
pH Av.	1.44	3.9	0.001
jaar	1.3	3.5	0.001
CHLfa Av.	1.17	3.2	0.03796
Waterbeheerder.HRRSTOWA	1.09	3	0.07493
PO ₄ Max	1.04	2.8	0.001
PO ₄ Av.	0.89	2.4	0.01299
Waterbeheerder.VL	0.74	2	0.0989
Ntot Max	0.62	1.7	0.03596
Ntot Av.	0.61	1.6	0.03497
NH ₄ Av.	0.54	1.5	0.15185
Waterbeheerder.WSF	0.43	1.2	0.22278
NH ₄ Max	0.42	1.1	0.27972

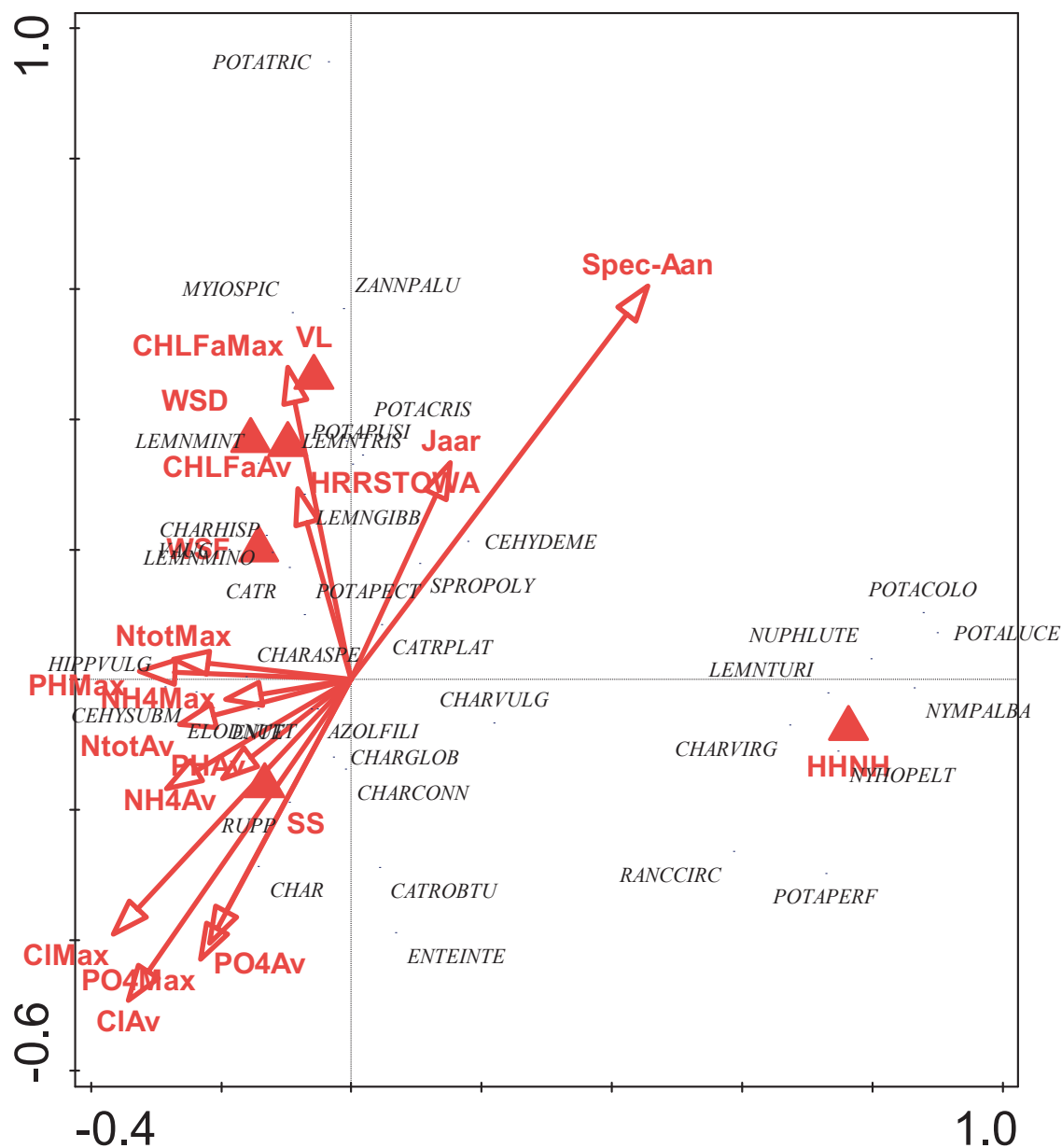
Tabel 4 geeft het verklarend percentage van alle variabelen, de statistische test-grootheid F en de mate van significantie (p-waarde). De omgevingsvariabelen zijn gerangschikt van een hoog naar een laag verklarend percentage. Hieruit blijkt dat waterbeheerder, soortenaantal en chloride het meest bepalend zijn, want deze staan bovenaan. De CCA analyse resulteerde in een verklarend model, waarin de volgende verklarende statistische significante variabelen zijn opgenomen (zie tabel 4): een aantal waterbeheerders (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Waterschap Scheldestromen en Waterschap Hollandse Delta), het soortenaantal, Chloride (gemiddelde en maximum), het maximum en gemiddelde Chlorofyl-a gehalte, pH (maximum en gemiddelde), het jaar, het fosfaatgehalte (maximum en gemiddelde). Totaal stikstof is in mindere mate significant (< 0.05) en heeft ook een lager verklarend percentage dan PO₄. De maximum waarden van Chlorofyl-a en PO₄ geven een grotere significantie dan de gemiddelde waarden. Ook geeft PO₄ een grotere significantie dan totaal stikstof.

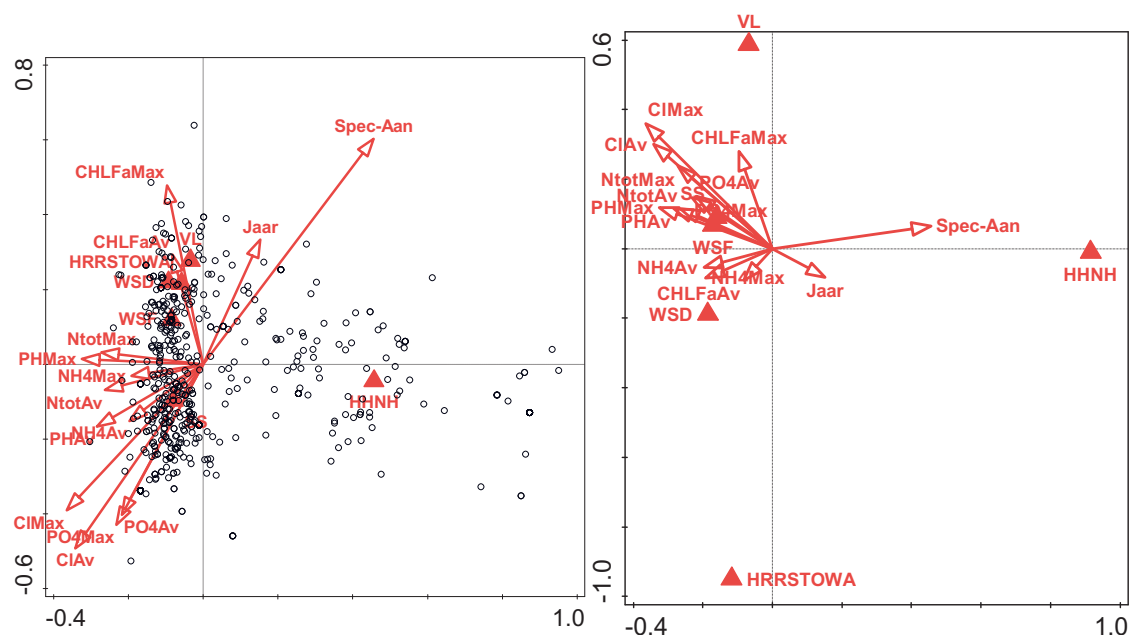
Figuur 2 laat zien dat Waterschap Hollands Noorderkwartier helemaal rechts in het ordi-natiediagram wordt geplaatst. De waterplanten die in de nabijheid van deze variabele hun zwaartepunt hebben, zijn over het algemeen typerend voor zoetere omstandigheden, zoals *Nymphaea alba*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton coloratus*, *Nuphar lutea*, *Nymphoides peltata*, *Chara virgata*, *Lemna*. Deze wateren bepalen sterk de positionering van de objecten in het diagram. De oorzaak van het voorkomen van genoemde waterplanten van zoete wateren in de brakke wateren van het Waterschap Hollands Noorderkwartier is vooral de grote verzoeting die heeft plaats gevonden en nog steeds voortduurt als gevolg van de inlaat van zoet water t.b.v. zout-

bestrijding. Vòòr 2000 ontbrak een flink aantal waterplanten die tegenwoordig wel aanwezig zijn, al dan niet opzettelijk verspreid via menselijke activiteiten. Gegevens uit het verleden zouden in deze behulpzaam kunnen zijn zodat een referentiebeeld ontstaat voor de brakke systemen en niet voor de overgangssituatie zoals deze nu wordt aangetroffen.

FIGUUR 2

ORDINATIEDIAGRAM VAN AS 1 EN 2 MET DAARIN DE POSITIE VAN DE SOORTEN (AFKORTINGEN) EN HET EFFECT VAN DE OMGEVINGSFACTOREN (PIJLEN: IN DE RICHTING VAN DE PIJL NEEMT DE VARIABLE TOE, HOE LANGER DE PIJL HOE GROTER HET EFFECT). IN HET DIAGRAM ZIJN ALLE VARIABLEN WEERGEHEELD. VOOR DE SIGNIFICANTIE VAN DE VARIABLEN, ZIE TABEL 5. HET ZWAARTEPUNT VAN DE VERSCHILLENDE DATASETS (WATERBEHEERDER) WORDT WEERGEHEELD MET EEN DRIEHOEK. IN DE INZET LINKSONDER AS 1 EN 2 MET DE POSITIE VAN DE MEETPUNTEN EN RECHTSONDER AS 1 EN 3. VOOR DE VERKLAARDE VARIATIE PER AS ZIE TABEL 3





TABEL 5 CORRELATIES TUSSEN DE OMGEVINGSVARIABLEN EN DE ORDINATIE-ASSEN.

Omgevingsvariabele	As 1	As 2	As 3	As 4
Jaar	-0.299	-0.196	-0.164	0.236
VL	0.013	-0.022	-0.026	-0.077
HHNH	0.068	-0.070	0.009	0.017
WSD	0.246	-0.030	-0.261	-0.069
WSF	0.001	-0.007	-0.054	-0.113
HRRSTOWA	0.187	0.103	0.341	0.097
SS	-0.320	0.051	0.120	0.053
CHLFAv	0.280	0.116	0.407	0.074
CHLFAMax	0.239	0.089	0.328	0.071
CIAv	0.276	0.058	-0.059	0.055
CIMax	0.335	0.045	-0.022	0.057
NH ₄ Av	-0.063	0.141	0.058	0.048
NH ₄ Max	-0.047	0.122	0.085	0.027
NtotAv	0.034	0.118	0.110	0.112
NtotMax	0.057	0.114	0.090	0.095
PHAv	0.210	-0.303	0.158	-0.005
PHMax	0.197	-0.225	0.130	0.007
PO ₄ Av	0.056	0.066	0.075	0.089
PO ₄ Max	0.114	0.082	0.018	0.138
Species Aantal	-0.161	0.144	-0.030	0.085

3.1.2 CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS (CCA) MET BASISSET PLUS SO₄ EN P-TOTAAL

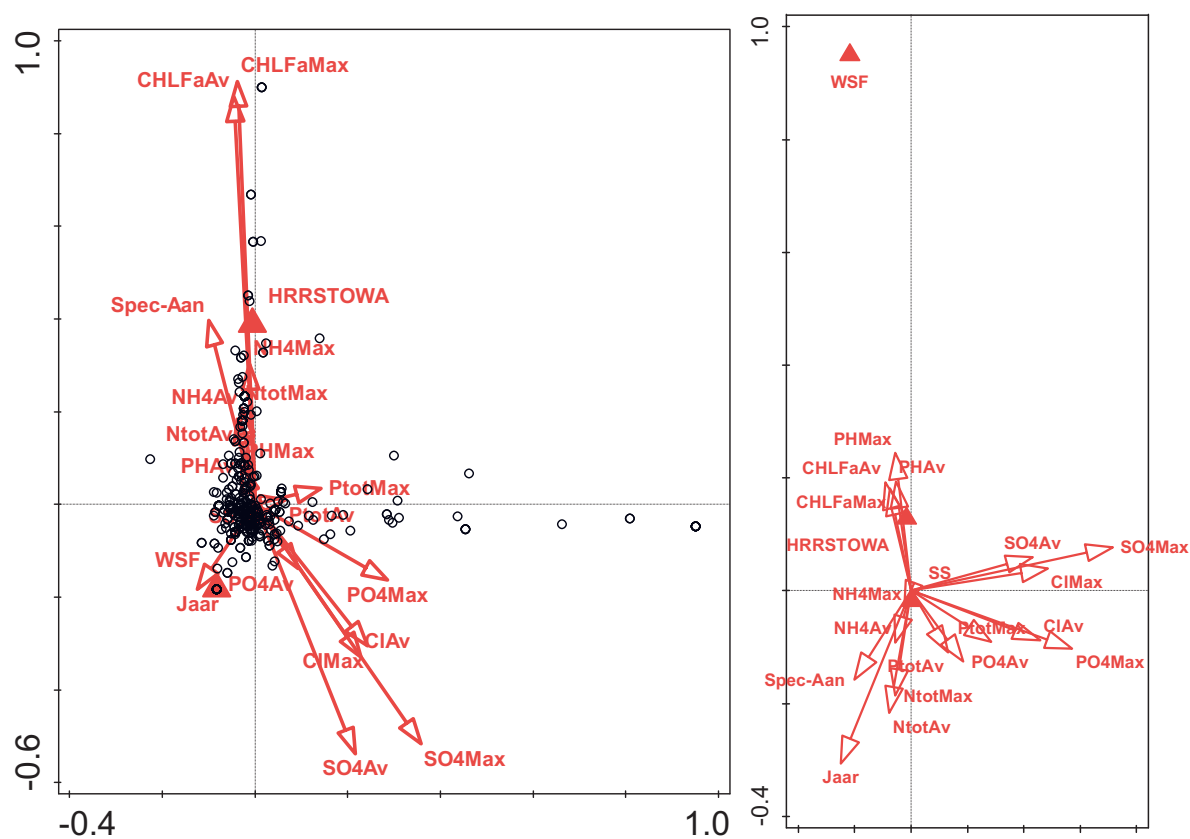
Wanneer de variabelen sulfaat (SO₄) en totaal fosfaat (totaal P) worden meegenomen, resulteert dit in een kleinere dataset. Tabel 6 geeft het verklarend percentage van alle variabelen, de statistische test-grootheid F en de mate van significantie (p-waarde). De omgevingsvariabelen zijn gerangschikt van een hoger naar een lager verklarend percentage. Hieruit blijkt dat Chlorofyl-a, waterbeheerder, het soortenaantal, sulfaat (SO₄; maximum en gemiddelde), Chloride (maximum en gemiddelde) en pH (gemiddelde en maximum) en het jaar significante verklarende variabelen zijn. De nutriënten PO₄, totaal stikstof en totaal fosfaat verklaren geen significant deel van de variatie in de waterplantenvegetatie.

De wateren met *Enteromorpha intestinalis* worden aan de rechterkant van het diagram geplaatst. De variabelen SO_4 , PO_4 en Cl zijn bepalende factoren voor de ligging van deze wateren. De vectoren voor SO_4 , PO_4 en Cl zijn mede te ontleden naar horizontale en verticale as. Het diagram van de as 1 versus as 3 geeft aan dat deze drie variabelen vooral op de eerste as gelegen zijn. De wateren met *Enteromorpha intestinalis* zijn wateren van hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en waterschap Scheldestromen. Voor *Enteromorpha* sp. ook Vlaanderen en Waterschap Hollandse Delta. De tweede as is een Chlorofyl-a as want de vector voor Chl-a valt vrijwel geheel samen met de tweede as.

TABEL 6

OVERZICHT VAN DE MATE WAARIN DE VERSCHILLENDE OMGEVINGSVARIABELEN BIJDRAGEN AAN HET VERKLAREN VAN VERSCHILLEN IN SOORTENSAMENSTELLING MET PER VARIABLE EEN RELATIEVE MAAT VOOR DE FRACTIE VERKLAARDE VARIATIE, DE STATISTISCHE TESTGROOTHEID (PSEUDO-F) EN DE MATE VAN SIGNIFICANTIE (P-WAARDE)

Name	Explains %	pseudo-F	P
CHLfa Max	5.4	6.3	0.01499
CHLfa Av.	5.4	6.2	0.02298
Waterbeheerder.HRRSTOWA	5.3	6.1	0.01998
Waterbeheerder.SS	4.9	5.6	0.01698
Spec-Aant	3.6	4.1	0.001
SO_4 Max	3.5	4	0.001
SO_4 Av.	3.2	3.6	0.001
Cl Av.	2.4	2.7	0.001
NH_4 Max	2	2.2	0.0989
Cl Max	2	2.2	0.004
pH Av.	1.9	2.2	0.02797
Waterbeheerder.WSF	1.9	2.1	0.12488
jaar	1.8	2	0.02697
pH Max	1.7	1.9	0.04196
NH_4 Av.	1.4	1.6	0.16184
PO_4 Max	1.2	1.4	0.17483
Ntot Av.	1.1	1.2	0.27972
Ntot Max	1	1.1	0.34965
Ptot Max	0.8	0.9	0.52248
Ptot Av.	0.8	0.9	0.4965
PO_4 Av.	0.7	0.8	0.53546



TABEL 7

CORRELATIES TUSSEN DE OMGEVINGSVARIABLEN EN DE ORDINATIE-ASSEN

Omgevingsvariabele	As 1	As 2	As 3	As 4
Jaar	0.072	0.069	0.064	-0.129
WSF	-0.114	0.112	0.123	-0.014
HRRSTOWA	-0.119	-0.074	-0.107	0.040
SS	0.152	0.031	0.059	-0.033
CHLFAv	0.218	0.115	0.019	-0.020
CHLFAmax	0.076	-0.021	0.010	-0.005
CIv	0.190	0.294	-0.272	0.042
CIv	0.192	0.142	-0.287	-0.016
NH ₄ Av	-0.306	-0.037	-0.203	0.099
NH ₄ Max	-0.401	-0.176	-0.202	-0.010
NtotAv	-0.044	0.207	-0.091	-0.014
NtotMax	-0.128	0.106	-0.022	-0.029
PHAv	0.230	-0.077	0.107	-0.074
PHMax	0.127	-0.115	0.170	-0.109
PO ₄ Av	0.064	0.002	-0.239	0.067
PO ₄ Max	0.029	-0.033	-0.185	0.001
SO ₄ Av	0.088	0.243	-0.190	0.027
SO ₄ Max	0.053	0.174	-0.197	0.007
PtotAv	0.162	-0.003	-0.271	0.092
PtotMax	0.074	-0.085	-0.250	0.043
Species Aantal	-0.436	0.132	-0.163	0.040

3.1.3 PARTIAL CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS (WATERBEHEERDER ALS CO-VARIABELE) MET BASISSET

Met de basisset aan variabelen is ook een CCA gedraaid met de “waterbeheerder” als co-variabele. Dat betekent dat van welke waterbeheerder de gegevens vandaan komen, niet als verklarende variabele wordt meegenomen in de analyse. Tabel 8 geeft het verklarend percentage van alle variabelen, de statistische test-grootheid F en de mate van significantie (p-waarde).

De variabelen variabelen die statistisch significant zijn: aantal soorten, chlorofyl-a (maximum), chloride (gemiddelde en maximum), pH (gemiddelde en maximum), jaar en fosfaat (PO_4 , maximum). pH lijkt vooral gecorreleerd met de derde as.

TABEL 8 OVERZICHT VAN DE MATE WAARIN DE VERSCHILLENDE OMGEVINGSVARIABELEN BIJDRAGEN AAN HET VERKLAREN VAN VERSCHILLEN IN SOORTENSAMENSTELLING MET PER VARIABLE EEN RELATIEVE MAAT VOOR DE FRACTIE VERKLAARDE VARIATIE, DE STATISTISCHE TESTGROOTHEID (PSEUDO-F) EN DE MATE VAN SIGNIFICANTIE (P-WAARDE).

Name	Explains %	pseudo-F	P
Spec-Aant	1.87	5	0.001
CHLfa Max	1.62	4.3	0.01598
Cl Max	1.57	4.2	0.001
Cl Av.	1.5	4	0.001
pH Av.	1.45	3.9	0.001
pH Max	1.43	3.8	0.001
jaar	1.37	3.7	0.001
PO_4 Max	0.81	2.1	0.01099
CHLfa Av.	0.78	2.1	0.07193
PO_4 Av.	0.61	1.6	0.07193
Ntot Max	0.51	1.3	0.13686
NH_4 Av.	0.46	1.2	0.24476
Ntot Av.	0.44	1.2	0.24376
NH_4 Max	0.39	1	0.34066

TABEL 9

CORRELATIES TUSSEN DE OMGEVINGSVARIABLEN EN DE ORDINATIE-ASSEN (DE CORRELATIES ZIJN GECORRIGEERD VOOR DE CO-VARIABLEN)

Omgevingsvariabele	As 1	As 2	As 3	As 4
Jaar	0.310	0.011	0.046	-0.032
CHLfaAv	-0.116	-0.177	0.223	-0.067
CHLfaMax	-0.061	-0.074	0.056	-0.046
ClAv	0.055	0.147	0.054	-0.043
ClMax	0.049	0.118	0.040	-0.069
NH ₄ Av	0.026	0.247	-0.004	0.155
NH ₄ Max	-0.004	0.244	-0.085	0.152
NtotAv	0.043	0.134	0.115	-0.047
NtotMax	0.045	0.108	0.005	-0.044
PHAv	-0.064	-0.124	-0.028	0.038
PHMax	-0.044	-0.046	-0.065	-0.012
PO ₄ Av	0.027	0.061	0.148	0.166
PO ₄ Max	0.098	-0.004	0.113	0.157
Species Aantal	0.063	0.029	0.007	0.045

3.1.4 PARTIAL CCA (WATERBEHEERDER ALS COVARIABLE) MET BASISSET PLUS SO₄ EN P-TOTAAL

Met de basisset aan variabelen aangevuld met SO₄ en P-totaal is ook een CCA gedraaid met de “waterbeheerder” als co-variabele. Dat betekent dat van welke waterbeheerder de gegevens vandaan komen, niet als verklarende variabele wordt meegenomen in de analyse. Tabel 10 geeft het verklarend percentage van alle variabelen, de statistische test-grootheid F en de mate van significantie (p-waarde).

De variabelen die als statistisch significant uit deze analyse naar voren komen zijn: aantal soorten, sulfaat (SO₄; gemiddelde en maximum waarde), chlorofyl-a (gemiddelde en maximum), jaar, chloride (gemiddelde en maximum), pH (gemiddelde en maximum). De nutriënten PO₄, totaal stikstof en totaal fosfaat zijn veel minder verklarend voor de variatie in de waterplantenvegetatie en zijn ook niet significant in deze partiële CCA.

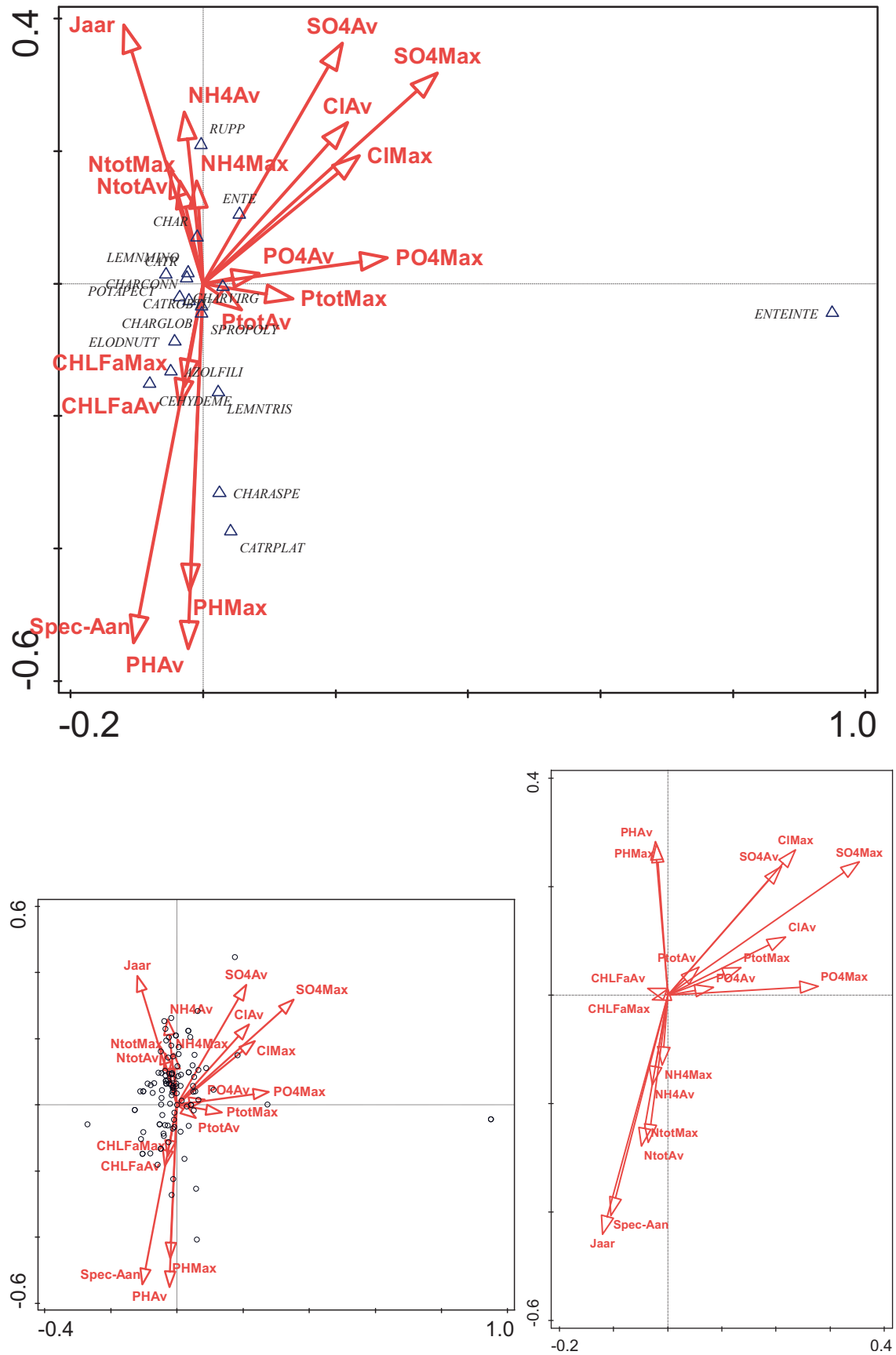
TABEL 10

OVERZICHT VAN DE MATE WAARIN DE VERSCHILLENDE OMGEVINGSVARIABLEN BIJDRAGEN AAN HET VERKLAREN VAN VERSCHILLEN IN SOORTENSAMENSTELLING MET PER VARIABLE EEN RELATIEVE MAAT VOOR DE FRACTIE VERKLAARDE VARIATIE, DE STATISTISCHE TESTGROOTHEID (PSEUDO-F) EN DE MATE VAN SIGNIFICANTIE (P-WAARDE)

Name	Explains %	pseudo-F	P
Spec-Aant	3.4	3.7	0.003
SO ₄ Max	3	3.3	0.001
CHLfa Av.	2.8	3	0.05794
jaar	2.7	2.9	0.001
SO ₄ Av.	2.6	2.8	0.002
pH Av.	2.1	2.3	0.01998
Cl Av.	2.1	2.3	0.01199
CHLfa Max	2.1	2.3	0.04895
NH ₄ Max	2	2.1	0.07892
pH Max	1.8	2	0.03397
Cl Max	1.8	1.9	0.02298
NH ₄ Av.	1.5	1.6	0.12587
PO ₄ Max	1.2	1.3	0.21179
Ntot Av.	1	1.1	0.36763
Ntot Max	0.9	0.9	0.52448
Ptot Av.	0.8	0.9	0.44755
Ptot Max	0.8	0.9	0.4995
PO ₄ Av.	0.7	0.7	0.65834

FIGUUR 5

ORDINATIEDIAGRAM VAN AS 1 EN 2 MET DAARIN DE POSITIE VAN DE SOORTEN (PUNTEN) EN HET EFFECT VAN DE OMGEVINGSFACTOREN (PIJLEN): IN DE RICHTING VAN DE PIJL NEEMT DE VARIABLE TOE, HOE LANGER DE PIJL HOE GROTER HET EFFECT). IN DE INZET LINKSONDER AS 1 EN 2 MET DE POSITIE VAN DE MEEPUNTEN EN RECHTSONDER AS 1 EN 3



TABEL 11

CORRELATIES TUSSEN DE OMGEVINGSVARIABLEN EN DE ORDINATIE-ASSEN (DE CORRELATIES ZIJN GECORRIGEERD VOOR DE CO-VARIABLEN)

Omgevingsvariabele	As 1	As 2	As 3	As 4
Jaar	-0.101	-0.220	-0.107	0.025
CHLfaAv	0.094	0.121	-0.072	-0.056
CHLfaMax	-0.078	0.113	-0.072	-0.065
ClAv	0.404	-0.165	0.060	-0.017
ClMax	0.280	-0.183	-0.011	-0.002
NH ₄ Av	0.097	-0.131	0.100	-0.094
NH ₄ Max	-0.027	-0.134	-0.036	-0.120
NtotAv	0.204	-0.063	-0.002	-0.047
NtotMax	0.096	-0.008	-0.017	-0.072
PHAv	-0.113	0.056	-0.053	-0.082
PHMax	-0.156	0.131	-0.086	-0.084
PO ₄ Av	0.096	-0.204	0.041	-0.046
PO ₄ Max	0.046	-0.156	-0.022	-0.089
SO ₄ Av	0.397	-0.027	0.037	-0.001
SO ₄ Max	0.324	-0.051	0.013	-0.061
PtotAv	0.090	-0.244	0.061	-0.052
PtotMax	0.021	-0.220	0.012	-0.113
Spec-Aan	0.220	-0.024	0.000	0.126

3.1.5 PARTIAL CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS (CCA) MET WATERBEHEERDER ALS CO-VARIABLE MET BASISSET PLUS SO₄ EN P-TOTAAL MET WEGLATING VAN ENTEROMORPHA INTESTINALIS EN ENTEROMORPHA SPEC.

Door deze CCA toe te passen ontstaan 35 meetlocaties zonder waterplanten, dus plots met *Enteromorpha intestinalis* of *Enteromorpha* sp. als enige soort. Dit kan ook verklaren waarom deze soort zo'n afwijkende plek heeft in de ordinatiediagram. Deze 35 plots met de bijbehorende milieuvariabelen worden met het weglaten van *Enteromorpha intestinalis* of *Enteromorpha* sp. als enige soort noodzakelijkerwijs ook uit de analyse weggelaten, zodat er een relatief kleine dataset overblijft.

Tabel 12 presenteert het relatieve belang van de variabelen in deze her-analyse. Ook zonder *Enteromorpha intestinalis* of *Enteromorpha* spec heeft SO₄ een relatief groot effect.

TABEL 12

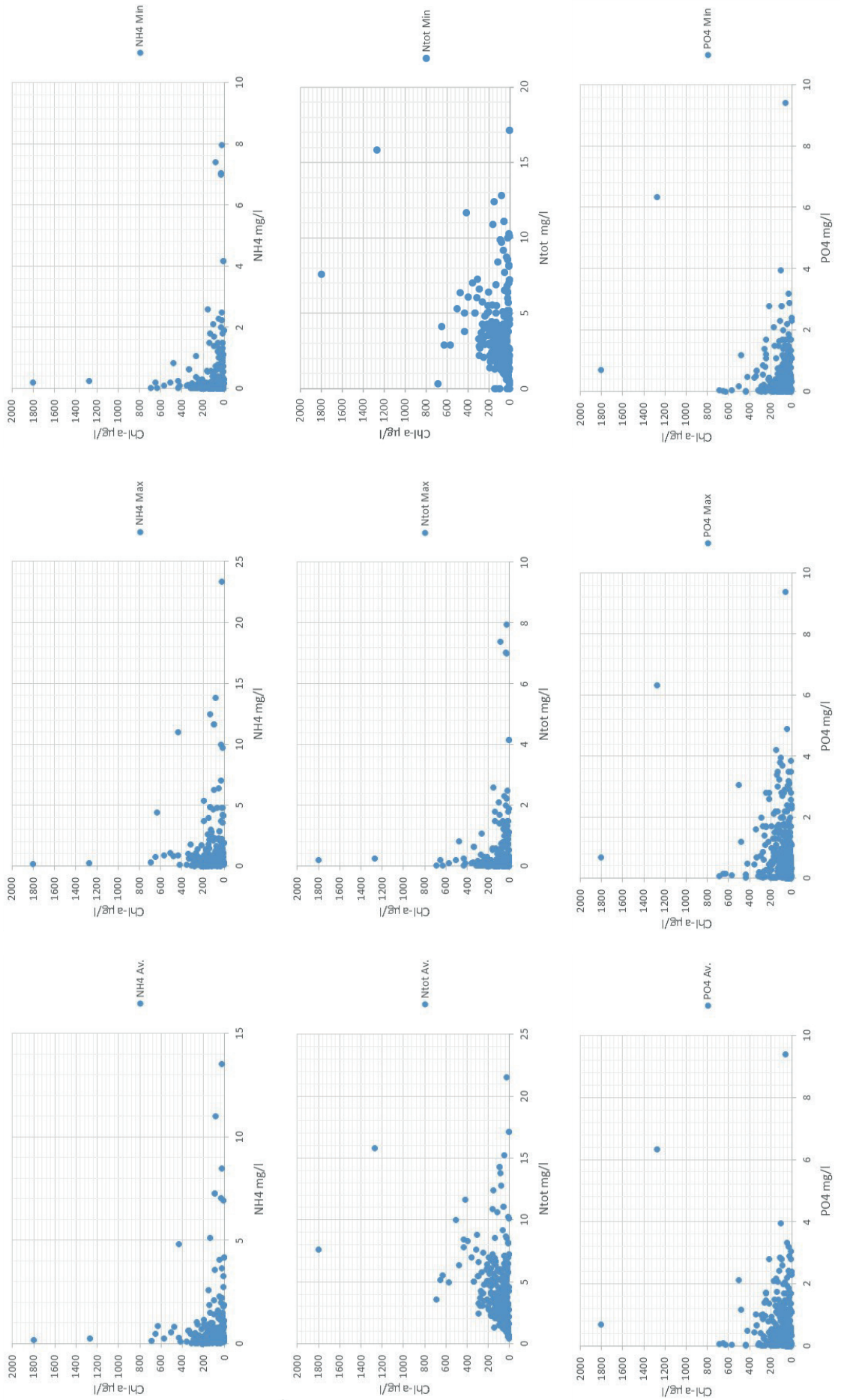
OVERZICHT VAN DE MATE WAARIN DE VERSCHILLENDE OMGEVINGSVARIABELEN BIJDRAGEN AAN HET VERKLAREN VAN VERSCHILLEN IN SOORTENSAMENSTELLING MET PER VARIABLE EEN RELATIEVE MAAT VOOR DE FRACTIE VERKLAARDE VARIATIE, DE STATISTISCHE TESTGROOTHEID (PSEUDO-F) EN DE MATE VAN SIGNIFICANTIE (P-WAARDE)

Name	Explains %	pseudo-F	P
Spec-Aant	3.9	4.1	0.004
CHLFa Av.	3.1	3.1	0.04496
jaar	3	3	0.002
SO ₄ Av.	2.8	2.8	0.001
pH Av.	2.6	2.6	0.02398
SO ₄ Max	2.5	2.5	0.00699
CHLFa Max	2.4	2.4	0.05295
pH Max	2.3	2.3	0.01798
Cl Av.	2.1	2.1	0.02697
NH ₄ Max	2.1	2.1	0.09191
NH ₄ Av.	1.7	1.7	0.11089
Cl Max	1.7	1.7	0.06593
Ntot Av.	1.2	1.2	0.30869
Ntot Max	1	1	0.45954
Ptot Av.	0.9	0.9	0.42857
Ptot Max	0.9	0.9	0.44655
PO ₄ Max	0.8	0.8	0.51748
PO ₄ Av.	0.8	0.8	0.55345

De variabelen die statistisch significant zijn, omvatten aantal soorten, chlorofyl-a (gemiddelde), jaar, sulfaat (SO₄; gemiddelde en maximum waarde), chloride (gemiddelde), pH (maximum). De nutriënten PO₄, NH₄, totaal stikstof en totaal fosfaat zijn veel minder verklarend voor de variatie in de waterplantenvegetatie en zijn ook niet significant.

3.1.6 RELATIE TUSSEN CHLOROPHYL-A EN NUTRIËNTENGEHALTEN IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN BRAKKE WATEREN

FIGUUR 6 CORRELATIES TUSSEN HET CHLOROPHYL-A GEHALTE EN VERSCHILLENDE VORMEN VAN STIKSTOF EN FOSFAAT IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN BRAKKE WATEREN (1000 – 5000 MG CL/L)



De relatie tussen de verschillende nutriëntengehalten en het chlorofyl-a gehalte van de waterlaag is voor de gehele dataset nader onderzocht. Daarbij is geen onderscheid gemaakt in verschillende klassen chloridegehalten. De gehele dataset met gegevens van wateren in de range tussen 1000 en 5000 mg Cl/L is hierin meegenomen. Voor NH_4 , N_{tot} en PO_4 , laten de grafieken een puntenwolk zien, waarin geringe correlaties in te ontdekken zijn (R^2 correlaties nog niet berekend) (Fig. 6).

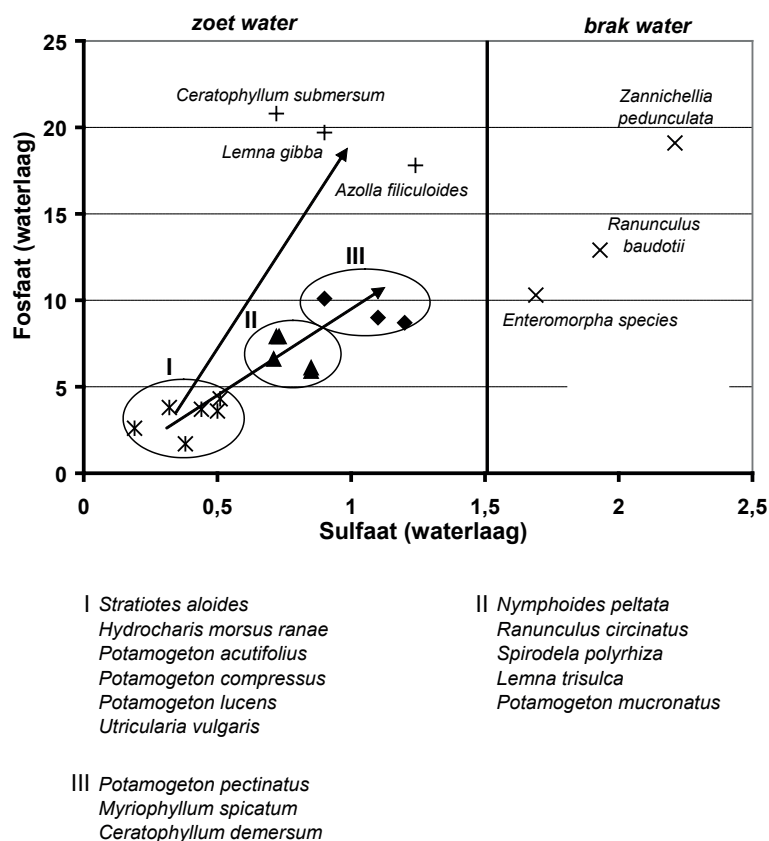
4

WAT IS ER BEKEND UIT DE LITERATUUR?

In de provincie Noord-Holland is al in het verleden uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar verschillende brakke watertypen en bijbehorende biologie (macrofauna, macrofyten, diatomeeën). Vanaf ca. 1980-2000 is als onderdeel van de Provinciale Natuur Informatie hydrobiologisch onderzoek uitgevoerd.

FIGUUR 7

RELATIE TUSSEN DE GEMIDDELDE SULFAATCONCENTRATIE EN DE GEMIDDELDE FOSFAATCONCENTRATIE WAARBIJ VERSCHILLENDE SOORTEN WATERPLANTEN VOORKOMEN. DE PRIMAIRE DATA ZIJN UIT DE LYON EN ROELOFS, (1986). ZIE OOK GEREFEREERD IN ARTS ET AL. (2007)



Hierin is ook uitgebreid aandacht voor brak water geweest (Van der Hammen 1992; Van Ee en Houdijk 2006) en zijn verschillende typen zilte en brakke polderwateren onderscheiden. Daarnaast zijn zogenaamde responsiespectra opgesteld voor chloride en nutriënten (de zogenaamde belastingsindex) en zijn chloridegrenzen afgeleid voor verschillende soorten macrofauna. Deze responsietabellen zijn bij de Provincie Noord-Holland opgesteld juist toen de situatie nog veel brakker was dan na 2000. Daarnaast zijn er modellen ontwikkeld voor water- en overplanten en macrofauna (ICHORS (Barendregt en Wassen, 1989); IMRAM (Amez en Barendregt, 1996)).

Op landelijk niveau is de eerste typologie van brakke wateren beschreven door van Beers en Verdonschot (2000) als onderdeel van het Aquatisch Supplement. Dat was een serie achtergronddocumenten bij het herzien Handboek Natuurdoeltypen. De typologie is gebaseerd op basis van sturende factoren die voor het betreffende watertype vanuit de bestaande kennis relevant wordt geacht. Er zijn voor deze typologie geen data bijeengebracht.

Van Dam (2002) heeft voor STOWA een “Ecologische beoordeling van brakke binnenwateren” gemaakt. Het betreft een systeem voor de beoordeling van het ecologisch functioneren van brakke binnenwateren. Deze auteur geeft aan dat als ondergedoken waterplanten als *Ruppia*-soorten het doel zijn, het water helder moet zijn en er hoge eisen aan de concentraties voedingsstoffen worden gesteld. Het grootste deel van de wateren met een P-totaal gehalte onder 1 mg/l is helder. Daarnaast moet het doorzicht voor waterplanten zo hoog mogelijk zijn (variërend van ca. 0,7 meter voor bijvoorbeeld *Snavelruppia* tot meer dan een meter voor *Spiraalruppia*) om eventuele groei van waterplanten (drijfblad- en ondergedoken waterplanten) zo groot mogelijke kans te geven (hoe beter het doorzicht des te dieper kunnen waterplanten zich manifesteren). Van Dam geeft aan dat volledige droogval voor deze *Ruppia*-soorten moet worden tegengegaan. Van Dam heeft tevens voor de WIKI van de WEW een pagina gemaakt over brak water: www.wew.nu/bw40/item.php?id=27. Deze pagina is vooral gebaseerd op het voorgaand genoemde rapport Van Dam (2002) met aanvulling van meer recente literatuur. Een relatie met sulfaat wordt door alle voorgaande auteurs niet genoemd.

Figuur 7 laat zien dat zowel sulfaatgehalten als de fosfaatgehalten in brakke wateren met karakteristieke waterplanten hoger zijn. Dit wordt bevestigd door de huidige studie. Ook Arts *et al.* (2007) vonden hoge sulfaatconcentraties in brakke wateren.

Van Dijk *et al.* (2017) constateert dat door *Ruppia* gedomineerde vegetaties gekarakteriseerd worden door hoge zwavelconcentraties en hoge chlorideconcentraties (omcirkelde blauwe driehoeken in figuur 4 in Van Dijk *et al.*, 2017). Zij zien een sterke relatie tussen chloride en sulfaat, een patroon dat ook in onze analyses duidelijk wordt. In het onderzoek van Van Dijk is de waterbodem meegenomen (poriewater), waardoor meer inzicht wordt verkregen in de rol die de onderwaterbodem speelt bij de waterkwaliteit. Onder anaerobe en zwavelrijke omstandigheden kan sulfaatreductie, en de hiermee gepaard gaande toename van sulfide, er toe leiden dat ijzer aan sulfide wordt gebonden, waardoor er in de waterbodem minder ijzer beschikbaar is om fosfor te binden (Van Dijk *et al.*, 2017). Doordat de Zeeuwse locaties gemiddeld genomen zouter en daarmee rijker aan zwavel zijn dan de locaties op Goeree-Overflakkee, leidt dit tot een lagere Fe:P ratio in het poriewater en daarmee ook tot een grotere nalevering van fosfor naar de waterlaag. De waterbodem beïnvloedt daarmee in grote mate de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. De nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater worden dus waarschijnlijk zowel door nalevering vanuit de waterbodem als eventueel door verversing via aanvoer vanuit omringende wateren bepaald (Van Dijk *et al.*, 2017). Los van het hiervoor besproken effect van hogere sulfaatconcentraties in brakkere condities op de bindingcapaciteit van fosfor in de waterbodem, zorgt een overmaat aan sulfaat ervoor dat de anaerobe afbraak van reactief organisch materiaal optimaal verloopt en hiermee sneller beschikbaar komt dan in anaerobe waterbodems met minder sulfaat (Van Dijk *et al.*, 2017). Daarnaast kan sulfide zeer toxisch zijn voor waterplanten, vooral voor de wortels (ref). Van Dijk *et al.*, (2017) treffen in een aantal bemonsterde waterbodems in Zeeland hoge sulfideconcentraties aan in het bodemporiewater. Deze zijn beduidend hoger dan de sulfideconcentraties op locaties op Goeree Overflakkee. Zij concluderen dat over het algemeen de sulfideconcentraties in het poriewater op brakkere (sulfaatrijkere) locaties hoger is. Ook Arts *et al.* (2007)

vinden de hoogste zwavelgehalten in de sedimenten van brakke milieus. Deze gevoeligheid voor sulfide verschilt echter per soort. Soorten die kenmerkend zijn voor een brakwatermilieu hebben vaak mechanismen om met deze sulfidetoxiciteit om te gaan. Waarschijnlijk zijn de aangetroffen sulfideconcentraties hierom in mindere mate een belemmerende factor voor het voorkomen van brakwater soorten zoals *Ruppia* (Van Dijk *et al.*, 2017). Sulfidetoxiciteit zal dus vooral een effect hebben op het voorkomen van soorten van een zoet ofwel licht brak milieu. Ook constateren deze auteurs dat de waterbodem over het algemeen zouter is dan de waterlaag. Dit betekent dat de standplaatsfactoren in de waterbodem voor wortelende waterplanten geregeld zouter zijn dan wat er op basis van oppervlaktewateranalyses verwacht kan worden.

5

DISCUSSIE

Het project “data-analyse algen en waterplanten in relatie tot nutriënten in brakke wateren” was een pilot studie die gericht was op Sleutelfactor 1, Productiviteit (STOWA, 2014). De voornaamste vragen die hierbij met betrekking tot brakke wateren voorlagen, waren:

- Wat is de relatie tussen Chlorofyl-a, het voorkomen van ondergedoken waterplanten en nutriëntengehalten in brakke wateren ?;
- Wat betekent dit voor de normafleiding van stikstof en fosfaat in brakke wateren ?

TABEL 13 VARIABELEN DIE EEN SIGNIFICANTE SAMENHANG ($P < 0.05$) VERTONEN MET DE VARIATIE IN SOORTSAMENSTELLING VAN DE WATERPLANTEN IN DE 4 UITGEVOERDE ORDINATIES (1-4)

Variabele/CCA ordinatie	1	2	3	4
Waterbeheerder	X	X		
N soorten	X	X	X	x
jaar	x	x	x	x
Cl gem	x	x	X	x
Cl max	X	x	X	x
Chl-a gem	X	X		x
Chl-a max	X	X	x	
S04 gem		X		x
S04 max		X		x
pH gem	x	x	X	x
pH max	X	x	x	x
jaar	X			
P04 gem	X			
P04 max	X		x	
Ntot gem	X			
Ntot max	x			
NH4 max		x		

Om deze vragen te beantwoorden, is een multivariate analysetechniek gebruikt (CANOCO). Via deze methodiek kan inzicht verkregen worden in de sturende variabelen in brakke wateren. Ook zijn correlaties onderzocht tussen de verschillende vormen van stikstof en fosfaat in het oppervlaktewater en de Chlorofyl-a gehalten. Uit zowel de analyse met CANOCO als de correlaties tussen nutriënten in het oppervlaktewater en Chlorofyl-a komt naar voren dat er geen één op één relatie aanwezig is tussen Chlorofyl-a en nutriënten in het oppervlaktewater en tussen het voorkomen van brak-waterplanten en Chlorofyl-a en nutriënten in het oppervlaktewater. Er spelen dus meerdere sturende variabelen een rol in brakke wateren. De consequentie hiervan was dat we geen eenduidige normen voor nutriënten in het oppervlaktewater hebben kunnen adviseren aan Waterschap Scheldestromen ter opname in hun volgende generatie stroomgebiedbeheerplannen.

Tabel 13 geeft een samenvatting van de milieuvariabelen die als significant uit de verschillende CANOCO-analyses naar voren komen en dus beschouwd kunnen worden als een set aan variabelen van belang in brakke wateren.

Één van de variabelen, die duidelijk uit de CANOCO-analyses naar voren komt, is sulfaat (SO_4) (Tabel 13). Sulfaat kwam naar voren in de analyses met de kleinere dataset, omdat deze variabele niet in alle wateren gemeten was. Het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard kan worden door het CANOCO model (adjusted explained variation) neemt toe in het model waarin ook SO_4 en P-totaal als verklarende variabele meegenomen worden (maar in deze modellen is het aantal meetpunten geringer). Ook zonder het meenemen van de soorten *Enteromorpha intestinalis* en *Enteromorpha* sp. is SO_4 een van de meest verklarende variabelen. Het meenemen van SO_4 als variabele is dus noodzakelijk om een goede verklaring te krijgen voor de variatie in de samenstelling van waterplanten in brakke wateren. Daarnaast blijkt dat het percentage variatie in de soortensamenstelling dat verklaard wordt door het model iets afneemt indien waterbeheerder als co-variabele in het model meegenomen wordt. Dit laatste kan duiden op typologische verschillen in de brak-water-systemen tussen de beheergebieden die mede de variatie in de samenstelling van de waterplanten verklaren. Deze typologische verschillen kunnen vervolgens weer verklaard worden uit o.a. het beheer, bijv. doorspoelen met zoet water ten behoeve van de landbouw.

De percentage verklaarde variantie is relatief laag. Dat is bij CCA van vegetatieopnamen meestal het geval. Er is vaak veel ruimtelijke en temporele variatie die maar gedeeltelijk voorspeld kan worden op basis van gemeten milieucondities; met name het voorkomen van zeldzame soorten is vaak slecht voorspelbaar (o.a. door dispersielimitatie). Voor de ecologische interpretatie van de resultaten van de ordinatie zijn vooral de relatieve verschillen tussen de variabelen interessant. Er zijn enkele variabelen met een significante samenhang met de variatie in soortensamenstelling (lage p-waarde), terwijl bij diverse andere variabelen de p-waarde een stuk groter is. De gepresenteerde tabellen laten zien welke variabelen een significante samenhang ($p < 0.05$) vertonen met de variatie in soortensamenstelling van de waterplanten.

Voor de analyse zijn de gegevens verzameld bij waterbeheerders die brakke wateren in hun beheergebied hebben. Wateren in beheer bij natuurbeheerders (bijv. Staatsbosbeheer, de landshappen; zie Arts *et al.*, 2007; 2008a,b) zijn in de analyses in de onderhavige studie niet meegenomen. Dit kan een verklaring zijn voor het feit dat de verschillende plantengemeenschappen (karakteristieke soortencombinaties) van brakke wateren niet duidelijk uit de CCA diagrammen naar voren komen. In het algemeen lijkt het om vrij soortenarme waterplantengroeiingen te gaan. We zouden kunnen stellen dat we te maken hebben met verarmde waterplantengemeenschappen, terwijl monsterpunten van beter ontwikkelde vegetaties ontbreken.

Van de chemie zijn alleen de abiotische gegevens van het groeiseizoen (april tot en met september) en dan de zomerwaarden (gemiddelde, maximum, minimum) meegenomen omdat de zomerwaarden de waterkwaliteit in het groeiseizoen weergeven en deze naar verwachting beter de milieucondities van de vegetatie weergeven. Echter, mogelijk zeggen winterwaarden meer over het voorkomen van ondergedoken waterplanten in de zomer. Dit is ook in andere onderzoeken gevonden (Arts *et al.* (2007)).

Wat in de analyses niet is meegenomen en waarvan op dit moment de informatie bij de onderzoekers ontbreekt, is het waterbeheer en de invloed die deze heeft op o.a. het chloridegehalte.

Tijdens de vergadering van de begeleidingscommissie bleek dat beheerders die brakke wateren in hun beheergebied hebben, deze in een aantal gevallen doorspoelen met zoet water. Dit kan verstrekende gevolgen hebben op (de wisselingen in) het chloridegehalte en daarmee op de waterplanten die in deze wateren voorkomen.

De hoeveelheid algen (gemeten als chlorofyl-a) en de abundantie en samenstelling van de waterplantenvegetaties in de uitgevoerde ordinaties lijken in min of meer een rechte hoek ten opzichte van elkaar te staan (Figuren 2 t/m 5). In de richting waarin de pijl van chlorofyl-a wijst op een maximale verandering in deze milieuvariabele, lijkt in een rechte hoek te staan ten opzichte van de pijl waarin het chloridegehalte wijst op een maximale verandering in deze variabele. De pijl waarin het aantal soorten waterplanten wijst op een maximale verandering hierin, is tegengesteld aan de pijl die wijst op een maximale verandering in het chloridegehalte. Dit wijst op een afname in de soortenrijkdom aan waterplanten bij hoger chloridegehalten. Bovenstaande betekent dat hogere chloridegehalten niet altijd gecorreleerd zijn met een hoger chlorofylgehalte, maar wel met een kleiner aantal waterplanten. Sulfaat en chloride zijn aan elkaar gecorreleerd (Fig. 3 en Fig. 5) hetgeen ook door andere auteurs wordt gevonden (Van Dijk *et al.*, 2017).

Uit de figuren waarin de correlatie wordt weergegeven van Chlorofyl-a met verschillende nutriënten, blijkt dat dit verband niet rechtlijnig is. Blijkbaar hebben meer variabelen invloed op het Chlorofyl-a gehalte. Dit bleek eigenlijk ook al uit de verschillende CANOCO-diagrammen. In het vervolgproject zullen correlaties worden onderzocht tussen Chlorofyl-a en nutriënten bij verschillende ranges in het chloridegehalte. Behalve nutriënten kan ook sulfaat een rol spelen in brakke wateren. Indien naast stikstof en fosfaat ook sulfaat van belang is, vormen de nutriënten een secundaire sturingsparameter. Ook is het mogelijk dat in de verschillende ranges van het Chloride-gehalte, correlaties anders zijn en daar dus een ander beeld ontstaat. In het vervolgproject zal hier nader aandacht aan worden besteed.

In de huidige analyse gaat het om een verkennende analyse van de samenhang tussen omgevingsvariabelen en de variatie in soortensamenstelling. Bij een uitgebreider project zijn diverse aanvullende tests mogelijk (met een serie van complexere modellen waarin specifieke hypothesen getest worden), maar dit vergt meer tijd en is vooral zinvol op basis van een wat grotere dataset. Het kan hierbij dan ook interessant zijn om een selectie van interactie-effecten te testen.

Vervolg

In de “Kennisimpuls voor de Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoetwater” is één van de projectvoorstellen gericht op brakke wateren. In dit brakwater projectvoorstel zal vooral gewerkt worden aan het bijeenbrengen van systeemkennis van brakke wateren. Het beantwoorden van vragen, zoals: Hoe werken brakke ecosystemen? Wat zijn de sturende factoren in brakke wateren? Wanneer kan een brak watersysteem als goed worden beoordeeld? zijn cruciaal bij het bepalen van doelstellingen en maatregelen voor brakke wateren door waterbeheerders. Dit project zal voortbouwen op het onderhavige onderzoek zoals gerapporteerd in dit rapport. Daartoe zullen meer gegevens verzameld en geanalyseerd worden. De uitwerking van ecosystemtoestanden, de bepaling van relevante milieufactoren (inclusief drempelwaarden) en de uitwerking van causale netwerken in brakke wateren zullen in dit vervolgproject centraal staan.

6

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit de totale analyse (vier ordinatiediagrammen) komt een aantal variabelen naar voren die het meest bepalend zijn voor de waterplanten. Dat zijn:

- Chlorofyl-a (maximum en gemiddelde);
- Chloride (maximum en gemiddelde);
- Sulfaat (maximum en gemiddelde);
- pH (maximum en gemiddelde).

Wanneer sulfaat wordt meegenomen in de analyse, blijken de nutriënten niet meer bepalend te zijn voor de variatie in de soortensamenstelling van de waterplanten. Sulfaat dient dan ook altijd te worden meegenomen als verklarende variabele voor waterplantenvegetaties in brakke wateren.

Voor de Stroomgebiedsbeheerplannen bevelen we dan ook aan om de volgende variabelen mee te nemen als het gaat om ecologische sleutelfactoren, analyse- en beoordelingsmethoden:

- Sulfaat;
- Chloride (maximum, gemiddelde en de variatie in chloridegehalten);
- Chlorofyl-a.
- Stikstof (ammonium en totaal stikstof) en fosfaat (PO_4) niet noodzakelijkerwijs op basis van de onderhavige studie gebaseerd op nutriënten in het oppervlaktewater in het zomerseizoen; voor nutriënten in het winterseizoen en nutriënten in de bodem kunnen deze relaties anders liggen;

Waterbeheerder en jaar zijn ook significant verklarende variabelen. De waterbeheerders als co-variabele kan een proxy zijn voor variatie in ecologische, methodische of brak-water-systeemverschillen of verschillen in het beheer van brakke wateren (bijv. het inlaten of doorspoelen met zoet water). Om te achterhalen waar de verschillen precies vandaan komen, zijn nadere analyses nodig met verschillende sub-datasets. We bevelen dit aan voor een volgende fase van het onderzoek. De beheergebieden kunnen dan gegroepeerd worden in noord, midden en delta en in duinen en polder. Mogelijke verschillen in regio's kunnen dan uit een dergelijke analyse naar voren komen. Verschillen in jaar kunnen samenhangen met het feit dat niet in alle jaren alle brakke wateren in een beheergebied bemonsterd zijn. We bevelen aan om in een vervolgfase van het onderzoek jaar als co-variabele mee te nemen. Gegevens uit de vorige eeuw zullen ook meegenomen worden. Speciale aandacht zal uitgaan naar trendbreuken en veranderingen in wijze van monitoring en beheer.

We bevelen ook aan om in een vervolgfase van het onderzoek de dimensies van de wateren mee te nemen (oppervlakte en diepte) en of wateren droog vallen. Ook is een nadere analyse nodig van welk nutriënt (N of P) in welke periode van het jaar limiterend is.

7

DANKWOORD

Wij danken alle betrokken waterbeheerders voor het aanleveren van de gevraagde gegevens. Wij danken Dick Belgers voor het aanvragen van de gegevens bij de betrokken waterbeheerders. Wij danken Ralf Verdonschot en Gerben van Geest voor het geven van commentaar op het concept-rapport en de discussies.

8

REFERENTIES

Amesz, M. & A. Barendregt 1996. IMRAM: een voorspellingsmodel voor aquatische macrofauna in Noord-Holland. Vakgroep Milieukunde Universiteit Utrecht, Provincie Noord-Holland, Dienst water en Milieu en Dienst Ruimte en Groen.

Arts, G.H.P., A.J.P. Smolders & J.D.M. Belgers, 2007. Kwaliteit van oppervlaktewater, poriewater en sediment in relatie tot de vegetatiekundige samenstelling van 60 aquatische referentiepunten: een statistische analyse. Alterra/Onderzoekcentrum B-Ware, Alterra-rapport 1479. 78 pp.

Arts, G.H.P. & A.J.P. Smolders, 2008a. Selectie van referentiepunten voor aquatische vegetatietypen voor het Staatsbosbeheer-project terreincondities. Fase 1 aquatisch: resultaten inventarisatie 2005. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1802. 90 blz., 2 Bijlagen.

Arts, G.H.P. & A.J.P. Smolders, 2008b. Selectie van referentiepunten voor aquatische vegetatietypen voor het Staatsbosbeheer-project terreincondities. Fase 2 aquatisch: resultaten inventarisatie 2006. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1803. 80 blz., 2 Bijlagen.

Barendregt, A. & M. Wassen 1989. Het hydro-ecologisch model ICHORS (versies 2.0 en 3.0). De relaties tussen water- en moerasplanten en milieufactoren in Noord-Holland. Rapport Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, R.U. Utrecht.

Beers, P. W.M. van en Verdonchot, P.F.M., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 4, Brakke binnenwateren. Achtergronddocument bij het "Handboek natuurdoeltypen in Nederland". Aquatisch Supplement-04. Rapport Alterra in opdracht van EC-LNV. 80 pp.

STOWA, 2014. Ecologische sleutelfactoren. STOWA rapport 19. 44 pp.

Ter Braak C.J.F. en Milauer P., 2012. Canoco reference manual and user's guide: software for ordination, version 5.0. Microcomputer Power, Ithaca, USA, 496 pp.

Van Dam, H., 2002. Ecologische beoordeling van brakke binnenwateren. STOWA rapport 2002-01. 123 pp.

Van der Hammen, H. 1992. De macrofauna van Noord-Holland. Een aquatisch ecologische studie: inventarisatie, verspreidingspatronen, tijdreeksen, classificatie van wateren. Provincie Noord-Holland, Haarlem. Universiteit van Nijmegen. Dissertatie.

Van Ee, G & A. Houdijk 2006. Referentiewaarden voor Aquatische Systemen in Noord-Holland. Provincie Noord-Holland, Haarlem. 176p.

Van Dijk, G., F. Smolders, E. Verbaarschot en J. Postma, 2017. Onderzoek naar de invloed van biogeochemische waterbodemsamenstelling op de vegetatieontwikkeling in (brakke) wateren in Zeeland. Rapport Onderzoekcentrum B-Ware en Ecofide. In opdracht van Waterschap Scheldestromen. Rapport-16.106.16.64

Wessels, Y 1998. Brak bekeken. Onderzoek naar optimalisatiemogelijkheden voor brakke watertypen. Stageverslag Provincie Noord-Holland, Afd. Water en Groen en Universiteit Utrecht, Vakgr. Milieukunde.

BIJLAGE 1

GEGEVENS SELECTIE

Vegetatie	Afkorting
AZOLFILI	Azolla filiculoides
CATR	Callitriche
CATROBTU	Callitriche obtusangula
CATRPLAT	Callitriche platycarpa
CEHYDEME	Ceratophyllum demersum
CEHYSUBM	Ceratophyllum submersum
CHAR	Chara
CHARASPE	Chara aspera
CHARCONN	Chara connivens
CHARHISP	Chara hispida
CHARVIRG	Chara virgata
CHARVULG	Chara vulgaris
CHARGLOB	Chara globularis
ELODNUTT	Elodea nuttallii
ENTEINTE	Enteromorpha intestinalis
LEMNGIBB	Lemna gibba
LEMMMINO	Lemna minor
LEMMMINT	Lemna minuta
LEMNTRIS	Lemna trisulca
LEMNTURI	Lemna turionifera
ENTE	Enteromorpha
HIPPVULG	Hippuris vulgaris
MYIOSPIC	Myriophyllum spicatum
NUPHLUTE	Nuphar lutea
NYMPALBA	Nymphaea alba
NYHOPELT	Nymphoides peltata
POTACOLO	Potamogeton coloratus
POTACRIS	Potamogeton crispus
POTAGRAM	Potamogeton filiformis
POTALUCE	Potamogeton lucens
POTANATA	Potamogeton natans
POTAPERF	Potamogeton perfoliatus
POTAPECT	Potamogeton pectinatus
POTAPUSI	Potamogeton pusillus
POTATRIC	Potamogeton trichoides
RANCAQAU	Ranunculus aquatilis var. aquatilis
RANCAUD	Ranunculus baudotii
RANCCIRC	Ranunculus circinatus
RICCFLUI	Riccia fluitans
RUPP	Ruppia
RUPPMARI	Ruppia maritima

RUPPCIRR	Ruppia cirrhosa
SPROPOLY	Spirodela polyrhiza
STRAALOI	Stratiotes aloides
TOLYGLOM	Thelypteris palustris
VAUC	Vaucheria
WOLFARRH	Wolffia arrhiza
ZANNPALU	Zannichellia palustris
ZANNPALT	Zannichellia palustris [1]
ZANNPAPD	Zannichellia palustris ssp. pedicellata

Bedekking	Groeivormen
BDKDRA	"BDKDRA"
BDKDRY	"BDKDRY"
BDKEME	"BDKEME"
BDKFLB	"BDKFLB"
BDKKRS	"BDKKRS"
BDKSUB	"BDKSUB"
ZICHT	"ZICHT"
Fys/chem.	
HCO ₃	"HCO ₃ "
CHLfa	"CHLfa"
NH ₄	"NH ₄ "
NH ₃	"NH ₃ "
sNO ₃ NO ₂	"sNO ₃ NO ₂ "
PO ₄	"PO ₄ "
Ptot	"Ptot"
Cl	"Cl"
SO ₄	"SO ₄ "
Ntot	"Ntot"
pH	"pH"

BIJLAGE 2

OVERZICHT VAN GEBRUIKTE GEGEVENS VAN WATERBEHEERDERS (IN GROEN)

Waterbeheerder	Afkorting	Stroomgebied	Aantal regels data	Chemie	Vegetatie	Bedekking groeivormen
Hoogheemraad van Rijnland	HRR	Haarlemmerpolder	^a	x	x	x
		Houtrak	^b	x	x	x
		Mooie Nel	^c	x	x	x
		Polder Noordplas	^d	x	x	x
		STOWA	10 ^e	x	x	x
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	HHNH		169 ^f	x	x	x
Waterschap Scheldestromen	SS		303 ^g	x	x	x
Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard	SK		^h	x	x	x
Vlaamse Milieumaatschappij (België)	VL		31 ^k	x	x	x
Waterschap Hollandse Delta	WSD	nvt	117 ^l	x	x	x
Wetterskip Fryslân	WSF	nvt	13 ^m	x	x	x
Waterschap Noorderzijlvest	WSNSV	kustpolder 1309	ⁿ	x	x	
		kustpolder 1312	^o	x	x	
		Lauwersmeer 2229	^p	x	x	

^a: Locaties in abiotiek en vegetatie komen niet overeen (tè ver uiteen).

^b: Locaties in abiotiek en vegetatie komen niet overeen.

^c: Chloride niet hoger dan 1000 dus niet meegenomen.

^d: Locaties in abiotiek en vegetatie komen niet overeen.

^e: Opname datum van chemie komt niet overeen met opnamedatum vegetatie. Datums stonden ook niet in hetzelfde format dus deze zijn omgeschreven. De opnamedatum van chemie is uitgewerkt naar seizoensgemiddelde waarin een vegetatieopname is gedaan. Bedekkingsgegevens zijn niet volledig.

^f: Bedekkingsgegevens niet bekend

^g: Meetlocaties gelijk gemaakt in beide datasets zodat deze in beide sets overeenkomen.

^h: Beperkte gegevens beschikbaar. Voor vegetatie is er maar 1 geschikte locatie en die bestaat uit 4 deelgebieden. De andere locatie bestaat uit KRW beoordelingen en niet % bedekking. Voor chemie zijn de locaties niet precies gelijk maar zijn wel hetzelfde waterlichaam.

^k: Chemie en vegetatie data vanaf 2007. Per chemisch meetpunt zijn er tot 3 meetpunten stroomopwaarts genomen voor vegetatie. Besloten is dat de data van het dichtstbijzijnde meetpunt wordt genomen.

^l: Voor vegetatie twee verschillende methoden gebruikt (STOWA en KRW) dit is vergelijkbaar omdat zoekcriteria gebaseerd is op het voorkomen van specifieke genoemde soorten. Doorzicht was niet dezelfde eenheid dus veranderd naar meter.

^m: Bestanden gesplitst en gesorteerd op unieke codes voor chemie en vegetatie. De variabele zicht wordt in sommige records aangegeven als groter en kleiner dan. Deze zijn niet meegenomen omdat de absolute waarde niet bekend is.

ⁿ: Vegetatie data voor dit punt niet aanwezig, dus kan niet worden meegenomen in analyse.

^o: Dataset is compleet en monsterpunten komen overeen, echter data werden helaas te laat aangeleverd.

^p: Er zijn op verscheidene punten vegetatie-opnamen gemaakt, maar er is voor chemie maar 1 punt genomen. De vegetatie was niet goed te koppelen aan de chemie.

In totaal zijn er 6 complete datasets van 6 verschillende waterbeheerders die vegetatie met bijbehorende chemie bevatten, in de analyse meegenomen.