

**Data-analyse en
modelvalidatie van het
Volkerak-Zoommeer
ecosysteem**



Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem

Met focus op blauwalgen en Quaggamosselen

M.P. Weeber
L. Kramer
dr. M. Genseberger
M.C.H. Tiessen
dr.ir. T.A. Troost
drs. C.I. Eijsberg - Bak
drs. A.J. Nolte

11201168-000

Titel

Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	11201168-000	11201168-000-ZKS-0012	157

Trefwoorden

Volkerak-Zoommeer, systeemkennis,

Samenvatting

Rond 2008 heeft de quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) zich gevestigd in het Volkerak-Zoommeer. Aan de hand van meetgegevens uit voorgaande jaren was de verwachting dat de quaggamossel de blauwalgenbloei zou onderdrukken, omdat er in de jaren na introductie van de mossel minder (wijdverspreide) bloeien hebben plaatsgevonden. Volgens visuele waarnemingen neemt de overlast in recente jaren weer toe, maar is de reden onbekend. Om beter inzicht te krijgen op de invloeden en dynamiek van de blauwalgen en quaggamosselen is er een data-analyse uitgevoerd. Tevens is het 3D model voor hydrodynamica, waterkwaliteit en primaire productie, dat gekalibreerd is op de jaren 2011 t/m 2013, gevalideerd voor de jaren 2014 t/m 2016. De achterliggende vraag is of het model in staat is om de opgetreden ontwikkelingen te reproduceren.

De data-analyse geeft aan dat er over de periode 2004 – 2016 (volledige dataset) en de periode 2008-2016 (gelimiteerd vanaf de vestiging van de quaggamossel) niet gesproken kan worden van een statistische toename in de blauwalgenbloei. Mogelijk geven de monitoringspunten Steenberg en Oesterdam niet de benodigde ruimtelijke dekking om hiervan een goed beeld te vormen. Zowel uit de data-analyse als uit het model blijkt dat algenbloei niet nutriënt gelimiteerd is, maar wordt beperkt door de filtratiedruk van de quaggamosselen. Deze kan jaar op jaar variëren met de natuurlijke dynamiek van de populatie mosselen. *Microcystis spp. is het dominante geslacht van de blauwalgenbloeien* en diens aanwezigheid duidt erop dat het Volkerak-Zoommeer een voedselrijk systeem is. Het is onzeker in welke mate deze soort door quaggamosselen wordt gefilterd, terwijl dat wel in het model is aangenomen. De *Microcystis* groei komt in de recente jaren vooral in de maanden augustus en september voor.

Het model voorspelt de waterkwaliteit goed voor totaal stikstof, ammonium en nitraat, maar wijkt af voor totaal fosfor, fosfaat en silicium. Het model geeft een goede weergave van de chlorofyl-a niveaus en pieken. Het model berekent geen toename in blauwalgenbloei.

Het model kan mogelijk verbeterd worden door het effect van wind op de blauwalgenbloei nader te onderzoeken, nutriëntopname door waterplanten, quaggamossel specifieke eigenschappen mee te nemen en een ruimtelijk beeld van de blauwalgenbloei ter validatie te gebruiken. Om de ruimtelijke dekking voor het voorkomen van blauwalgen te beter kennen zou remote sensing een waardevolle aanvulling kunnen bieden. Daarnaast wordt aanbevolen om visuele waarnemingen beter te borgen en ontsluiten en eventueel systematisch uit te breiden, zodat deze beschikbaar en bruikbaar zijn voor data-analyse.

Titel




Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem

Opdrachtgever Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	Project 11201168-000	Kenmerk 11201168-000-ZKS-0012	Pagina's 157
---	--------------------------------	---	------------------------

Referenties

Weeber, M.P., A.J. Nolte, T.A. Troost, M. Genseberger, L. Kramer, M.C.H. Tiessen, 2018. Data-analyse en modelvalidatie van het Volkerak-Zoommeer ecosysteem: Met focus op blauwalgen en quaggamosselen. Deltares rapport 11201168-000-ZKS-0007-v3 in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.

Onderdeel van KPP 2017 WR10 BOA Zuidwestelijke Delta

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mrt. 2018	M.P. Weeber		M. Dionisio Pires		drs. F.M.J. Hoozemans	

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding en afbakening	1
1.2 Vraagstelling Rijkswaterstaat	2
1.3 Leeswijzer	2
1.4 Gebiedsoverzicht	3
2 Deel A: Data-analyse	5
2.1 Blauwalgen	5
2.1.1 Kennis	5
2.1.2 Meetwaarden	5
2.1.3 Abundantie en chlorofyl-a	6
2.1.4 Soortensamenstelling	10
2.1.5 Andere waarnemingen	14
2.2 Quaggamosselen	15
2.2.1 Kennis	15
2.2.2 Meetwaarden	16
2.2.3 Trends	17
2.2.4 Filtratiecapaciteit	18
2.2.5 Predatie	19
2.2.6 Habitatcondities	21
2.3 Overige factoren	22
2.3.1 Waterbalans	22
2.3.2 Nutriënten	23
2.3.3 Doorzicht	24
2.3.4 Waterplanten	25
2.3.5 Wind en watertemperatuur	26
2.3.6 Stratificatie	28
2.4 Samenvattend systeemoverzicht op basis van data-analyse	29
3 Deel B: Modelvalidatie	33
3.1 Modeluitbreiding 2014-2016	33
3.2 Modelvalidatie 3D hydrodynamica	34
3.3 Modelvalidatie 3D waterkwaliteit, primaire productie en schelpdieren	36
3.3.1 Nitraat	36
3.3.2 Ammonium	37
3.3.3 Fosfaat	37
3.3.4 Silicaat	37
3.3.5 Zuurstof	37
3.3.6 Chlorofyl-a	37
3.3.7 Uitdoving van licht (extinctie)	39
3.4 Mosselen	46
3.5 Samenvattend systeemoverzicht op basis van modelresultaten	46
4 Deel C: Kennisbijeekomst data-analyse en modelresultaten	47
4.1 Aanleiding	47
4.2 Discussie	47
4.3 Enkele conclusies	48

5 Deel D: Samenbrengende discussie, conclusies en aanbevelingen	49
5.1 Antwoorden op de vragen	49
5.2 Discussie en aanbevelingen	52
5.2.1 Blauwalgen	52
5.2.2 Mosselen	52
5.2.3 Nutriënten	53
5.2.4 Doorzicht	53
5.2.5 Hydrodynamica	53
5.3 Reflectie op het proces van data en kennis	53
6 Referenties	55
Bijlage(n)	
A Algen abundantie absoluut en relatief	A-1
B Cyanochlorofyl meetpaal	B-1
C Inlaatdata	C-1
D MWTL blauwalg metingen	D-1
E Mosseldata	E-1
F VTSO metingen	F-1
G Memo quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer	G-1
G.1 Inleiding	G-1
G.1.1 Eutrofiëring	G-1
G.1.2 Benthische macrofauna in het Volkerak-Zoommeer	G-1
G.2 Doel van deze memo	G-2
G.3 Quagga mossel (<i>Dreissena rostriformis bugensis</i>)	G-2
G.4 Quaggamossel in Volkerak-Zoommeer	G-3
G.4.1 Monitoring	G-3
G.4.2 Resultaten	G-3
G.5 Literatuur	G-11
H Nutriënten en chlorofyl-a	H-1
I Metingen en simulatie temperatuur 2014	I-1
J Metingen en simulatie zout 2014	J-1
K Metingen en simulatie temperatuur 2015	K-1
L Metingen en simulatie zout 2015	L-1
M Metingen en simulatie temperatuur 2016	M-1

N Metingen en simulatie zout 2016

N-1

O Kennisbijeenkomst 8 februari 2018

O-1

1 Inleiding

Voor de achtergrond van de (waterkwaliteits)problematiek in het Volkerak-Zoommeer en een overzicht van de uitgevoerde studies en onderzoeken verwijzen we naar documenten in het kader van de ontwerp-Rijkstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer en de bijbehorende natuureffectstudie en milieueffectrapportage (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014; RoyalHaskoningDHV, 2017). In 2000 is de laatste integrale analyse van het Volkerak-Zoommeer uitgevoerd (Tosserams, Lammens & Platteeuw, 2000). Sindsdien is onder andere door de intrede van de quaggamossel in 2008 het systeem veranderd (de Vries & Postma, 2013). Aanvankelijk werd gedacht dat de quaggamossel de blauwalgbloei zou limiteren. Sinds 2011 wordt de verspreiding van de quaggamossel systematisch in kaart gebracht en deze aanvullende informatie maakt een deze analyse zeer waardevol.

1.1 Aanleiding en afbakening

Als beheerder van het Volkerak-Zoommeer is Rijkswaterstaat (o.a.) verantwoordelijk voor de waterkwaliteit, ecologie en het ecosysteem in relatie tot gebruiksfuncties zoals zoetwatervoorziening, scheepvaart en recreatie. Om deze rol verantwoord te kunnen uitvoeren is actuele systeemkennis van het Volkerak-Zoommeer onontbeerlijk. Zonder actuele systeem- en veldkennis wordt beheer en beleid, zoals besluitvorming over beheermaatregelen, monitoring, m.e.r.-studies, etc. gehinderd. Data en modellen zijn twee middelen om over systeemkennis te beschikken. Veldkennis wordt opgedaan door de periodieke inventarisaties en ook de signalen van gebruikers.

Twee aspecten vormen de directe aanleiding voor het onderzoek dat in dit rapport is beschreven:

- Rijkswaterstaat geeft aan dat in recente jaren weer blauwalgenplagen zijn geconstateerd in het Volkerak-Zoommeer (pers. comm. Roy Schrijver en René Boeters). Eerder was de verwachting dat dit met de komst van de quaggamossel was opgelost (Van Hoorn & Visser, 2012). Onduidelijk is of er sprake is van een trend en zo ja, wat de oorzaak of oorzaken van de trend kan zijn.
- In 2016 zijn een nieuw hydrodynamisch model en een nieuw waterkwaliteitsmodel opgezet voor het Volkerak-Zoommeer en gekalibreerd voor de jaren 2011-2013 (Deltares, 2016A). Rijkswaterstaat heeft gevraagd om een modelvalidatie voor de jaren 2014-2016. De overkoepelende vraag is of de modellen in staat zijn de opgetreden ontwikkelingen in het Volkerak-Zoommeer te reproduceren.
- In de afgelopen vijf tot tien jaren is veel data verzameld in het Volkerak-Zoommeer; deels als onderdeel van de reguliere monitoring, deels als projectmonitoring. Van dat laatste zijn de opnames van quaggamosselen een voorbeeld (bijvoorbeeld Bij de Vaate, 2016). Een integrale analyse van de data is niet recentelijk uitgevoerd.

Om met de modellen “de ontwikkelingen in het Volkerak-Zoommeer” te kunnen reproduceren, is het eerst nodig om die ontwikkelingen door middel van data-analyse te identificeren en de oorzakelijke verbanden te begrijpen en/of als hypothesen te formuleren. Kennis en begrip worden immers als oorzaak-effectrelaties in de modellen geformuleerd. Als de data niet begrepen wordt, kan er geen hypothese geformuleerd worden. Er kan dan niet van een

model verwacht worden, dat het de data reproduceert laat staan verklaard. Daarnaast is het van belang om de ontwikkelde waterkwaliteitsmodellen te valideren met de beschikbare meetgegevens teneinde te toetsen of het model goed kan voorspellen.

In dit rapport komen daarom een beknopte data-analyse en de modelvalidatie samen. De focus ligt op de ontwikkeling en het voorkomen van blauwalgen en van quaggamosselen en de verklarende factoren.

Het onderzoek heeft de vorm van een verkenning of eerste stap. Waar mogelijk wordt antwoord op de door Rijkswaterstaat geformuleerde vragen gegeven (zie §1.2). Waar een (volledig) antwoord nog niet mogelijk is, wordt aangegeven welke delen wel duidelijk zijn en wat data- en/of kennisleemtes zijn. Deze geven aanleiding tot aanbevelingen die in volgende stappen meegenomen kunnen worden.

1.2 Vraagstelling Rijkswaterstaat

Bij de start van het onderzoek in juni 2017 is door Rijkswaterstaat een aantal vragen geformuleerd. Om onderscheid te maken tussen data-analyse en modelvalidatie zijn de vragen als volgt gestructureerd:

Data-analyse:

1. Is de blauwalgenbloei in het Volkerak-Zoommeer in recente jaren toegenomen?
2. Is er een verschuiving in soortensamenstelling van algenbloei waar te nemen? Is er een verschuiving in de seizoenen en/of jaren? Zo ja, hoe zijn deze verschuivingen te verklaren?
3. Is er een relatie tussen de nutriëntenaanvoer naar het Volkerak-Zoommeer en de mate van algenbloei?
4. Is er na doorspoeling in 2016 een verandering zichtbaar in de metingen?

Modelvalidatie:

5. Kunnen de blauwalgenbloei en de ontwikkeling van quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer met het waterkwaliteitsmodel worden gereproduceerd?
6. Welke monitoringsgegevens ontbreken nog voor een optimaal model?
(optimaal : een systeem verklarend model voor blauwalgenbloeien toegespits op het Volkerak-Zoommeer)

1.3 Leeswijzer

De aanpak is terug te zien in de structuur van het rapport. Deel A (hoofdstuk 2) bevat de data-analyse en eindigt met conclusies die richting of beperking geven aan de modelopzet en de modelvalidatie. Aan de data-analyse van de quaggamosselen is bijgedragen door Wageningen Marine Research (Bijlage G).

Deel B (hoofdstuk 3) beschrijft kort de modelopzet en vervolgens de resultaten van het hydrodynamisch- en waterkwaliteitsmodel voor de jaren 2014-2016. Dit hoofdstuk eindigt met een korte reflectie op de modeluitvoering.

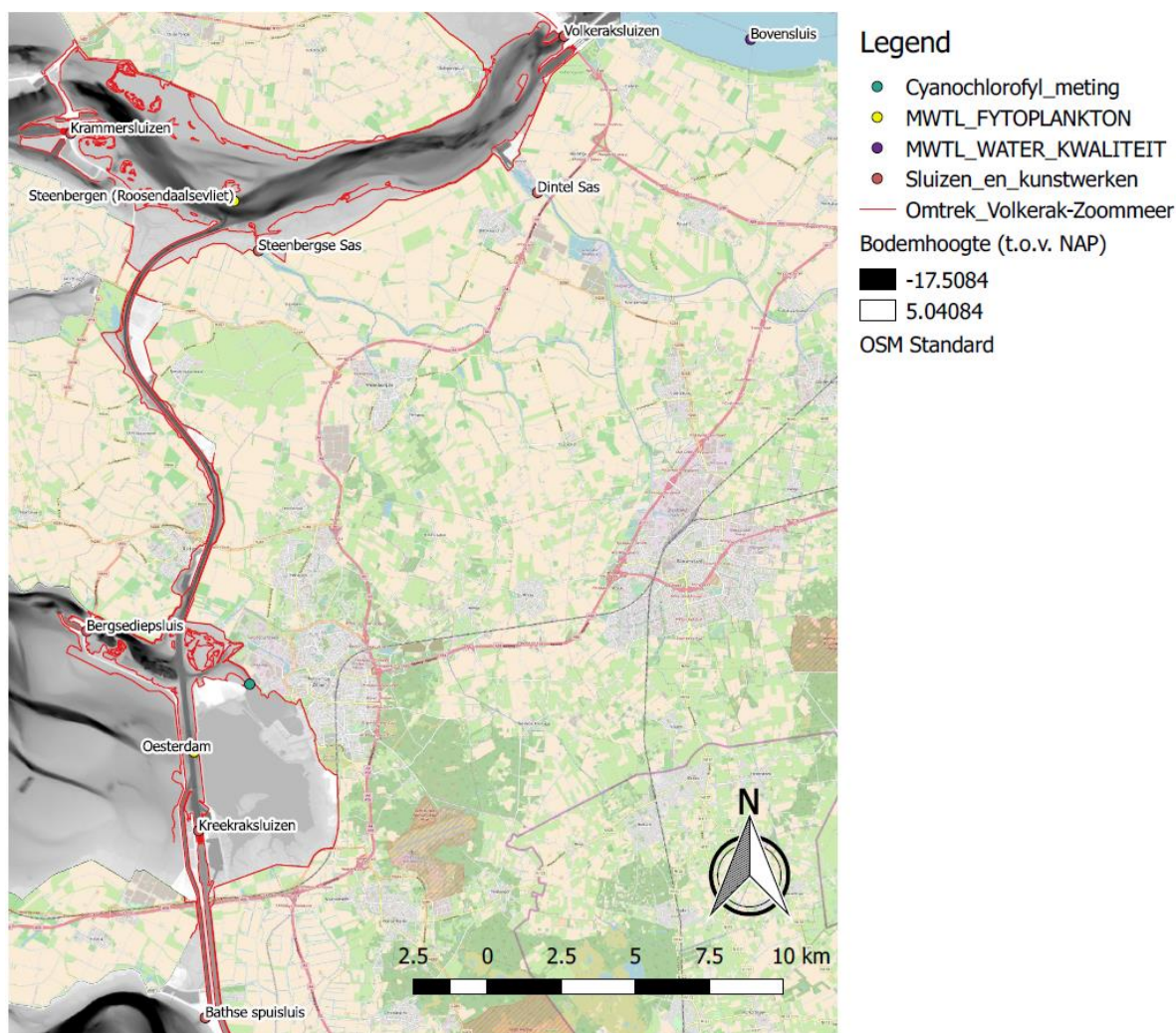
De data-analyse en modelvalidatie zijn gepresenteerd en bediscussieerd tijdens een kennisbijeenkomst op 8 februari 2018, waaraan deelnemers van Rijkswaterstaat, Deltares, WMR en Staatsbosbeheer deelnamen (bijlage O). Een beknopte beschrijving van ingebrachte kennis is opgenomen in Deel C (hoofdstuk 4). Andere genodigden die niet aanwezig konden zijn, hadden de gelegenheid om schriftelijk hun kennis aan te dragen. Hier is geen aanvullende informatie uit naar voren gekomen.

De kennis en inzichten uit de data-analyse en de modelvalidatie worden gecombineerd in Deel D (hoofdstuk 5) ter beantwoording van de vraagstelling en ter formulering van aanbevelingen voor vervolgstappen.

In de bijlagen A tot en met O wordt een grote hoeveelheid (achtergrond)informatie gepresenteerd van zowel de verzamelde en geanalyseerde data als modelresultaten. Dit rapport dient daarmee ook als overzicht en vastlegging van de beschikbare databronnen en beschikbare modelresultaten. De mogelijkheid om deze informatie te kunnen delen middels kenniswiki's wordt het komend jaar onderzocht en uitgewerkt.

1.4 Gebiedsoverzicht

Het Volkerak-Zoommeer beslaat de gebieden Krammer-Volkerak, Schelde-Rijnkanaal en Zoommeer (Figuur 1.1). Het Schelde-Rijnkanaal vormt hierbij een belangrijke hoofdvaarweg, die Antwerpen met Rotterdam en Duitsland verbindt.



Figuur 1.1 Overzicht van het Volkerak-Zoommeer met sluizen en inlaten, de MWTL-meetlocaties en de cyanochlorofyl meetlocatie

2 Deel A: Data-analyse

2.1 Blauwalgen

2.1.1 Kennis

Blauwalgen, ook wel Cyanobacteriën genoemd, zijn een groep van fotosynthetische bacteriën. Ze staan erom bekend dat ze drijflagen kunnen vormen en toxisch zijn voor mensen en dieren wanneer zij in contact komen met de huid of (per ongeluk) worden ingenomen. Daarnaast hebben blauwalgen bij hoge concentraties een negatief effect op het watersysteem doordat ze concurreren met andere algen, zoöplankton afneemt en waterplanten om nutriënten en licht en ze over het algemeen minder eetbaar zijn voor grazers en bovendien ook van minder voedselkwaliteit. Blauwalgen zijn in bepaalde mate elk groeiseizoen aanwezig, maar kunnen sterk in dominantie toenemen en bij drijfslagvorming tot overlast zorgen. Hierdoor komt er minder voedsel en energie beschikbaar voor het verdere voedselweb. Ook kunnen ze leiden tot verkleuring van het water en produceren ze een sterke geur (geosmine), wat nadelig is voor het recreatieve watergebruik, de leefomgeving en het toerisme. Wanneer de blauwalgen afsterven, kan dat leiden tot zuurstofloosheid in het water.

Veel voorkomende soorten blauwalgen in Nederland zijn *Dolichospermum* sp. (voorheen *Anabaena* spp.), *Aphanizomenon* spp., *Microcystis* spp. en *Planktothrix* spp. Bij een plaag kan de samenstelling van de soorten tussen jaren en per seizoen sterk verschillen. In het IJsselmeergebied zijn de soorten *Cyanodictyon* spp., *Aphanothece* spp. en *Aphanocapsa* spp. de laatste jaren sterk opkomend en zorgen voor sterke algenbloeien, terwijl hier vroeger vooral *Microcystis* spp. en *Aphanizomenon* spp. de bloeien veroorzaakten. Deze opkomende soorten komen zijn gebonden aan een voedselarme situatie, en zijn waarschijnlijk in mindere mate in het Volkerak-Zoommeer aanwezig.

Blauwalgen worden vooral aangetroffen in traag tot niet stromende wateren (meren, plassen, traag stromende beken). Daarnaast vindt de blauwalgenbloei voornamelijk plaatst wanneer het water warmer is en rijk aan de nutriënten fosfor of stikstof. Als er aan deze condities voldaan wordt kunnen de blauwalgen snel in aantallen toenemen en drijflagen gaan vormen (webpagina 1).

2.1.2 Meetwaarden

In het Volkerak-Zoommeer zijn er twee monitoringsprogramma's die blauwalgen meten, te weten het MWTL (RWS monitoring) en de cyanochlorofyl-metingen vanaf een meetpaal nabij de Binnenschelde (Waterschap Brabantse Delta). Daarnaast zijn er door Rijkswaterstaat Zee en Delta periodieke luchtfoto's gearchiveerd van voorgekomen blauwalgen. Tenslotte zijn de innamestops van zoetwater door het waterschap uit het Volkerak-Zoommeer geregistreerd (IenM, 2014). Dit is niet systematisch geanalyseerd. In Tabel 2.1 wordt een overzicht van de beschikbare data rond blauw- en groenalgen in het Volkerak-Zoommeer getoond.

Tabel 2.1 Dataoverzicht van het voorkomen van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer.

Data	Beheerder	Jaren	Frequentie
MWTL fytoplankton	Rijkswaterstaat	2002 – 2015	Maandelijks < 2006 – jaarrond 2006 – 2010 – maart – oktober ≥ 2011 -- april – september
MWTL chlorofyl-a metingen	Rijkswaterstaat	Oesterdam (1978 – 1992 & 2010 – 2016) Steenbergen (1978 – 2016)	Maandelijks - Jaarrond
Cyanochlorofyl incl. metadata	Waterschap Brabantse Delta	2013 -2016	Kwartier
Foto's	Rijkswaterstaat	2012 - 2016	Tijdens plaag, frequentie en intensiteit niet vastgesteld

2.1.3 Abundantie en chlorofyl-a

Alleen de data van de MWTL fytoplanktonmetingen, de MWTL chlorofyl-a metingen en de innamestops kunnen met betrouwbaarheid worden gebruikt om het voorkomen van (blauw)algen te bepalen en hiermee plagen te identificeren.

Vanuit Rijkswaterstaat is er cyanochlorofyl-data aangeleverd afkomstig van Waterschap Brabantse Delta. Hier is een oppervlakkige analyse op uitgevoerd om de validiteit en hiermee bruikbaarheid van deze data tegen het licht te houden. Aan de hand van deze analyse en naderhand aanvullende informatie rond de metadata (NORTEK, 2017) is er voorgekozen om deze data niet toe te passen. Uit de analyse bleek er in enkele jaren geen autocorrelatie tussen opvolgende en voorgaande meetmomenten en in enkele gevallen is aanslag op het meetinstrument gemeten in plaats van cyanochlorofyl (bijlage B). Een uitgebreidere analyse waarbij ook de gemiddelde uurwaarden en gemiddelde (half)dag waarden worden berekend en deze worden gerelateerd aan processen (debiet, tijdstip van de dag, getij etc.) kan een beter inzicht geven in de validiteit van de data. Binnen deze studie is dit echter niet de focus.

De monitoringsfoto's van Rijkswaterstaat bieden een goed overzicht van wanneer en waar er plagen zijn voorgekomen, maar sluiten niet uit dat er op overige locaties ook plagen plaatsvonden en ze geven geen informatie over hoelang de plaag aanhield. Dit komt doordat er geen protocol is rond hoe en wanneer deze foto's genomen moeten worden en welke locaties daarbij dienen te worden bezocht. Deze foto's zouden ter verificatie van de modelresultaten kunnen worden gebruikt, op basis van de locatie en of er een bloei plaatsvindt, maar de kleur in de deze foto's is niet te vertalen naar een cyanochlorofylgehalte. Omdat het model het laatste voorspeld en het model een relatief homogeen resultaat geeft voor het Volkerak-Zoommeer is dit achterwege gelaten.

Vanuit de innamestops (bijlage C) zien we dat de plagen zich in de jaren 2003 tot en met 2011 in het Volkerak, Schelde-Rijn kanaal, Zoommeer en nabij de Kreekraksluizen voorkomen. Er is nog geen overzicht beschikbaar tot 2017, zodat over recente jaren geen uitspraak gedaan kan worden. Voor de jaren 2003, 2004, 2005 en 2010 is dit niet met zekerheid te zeggen voor het Schelde-Rijnkanaal, doordat hier gegevens missen.

In de jaren 2007 en 2008 kan er geen uitspraak worden gedaan over het Volkerak, Zoommeer en de Kreekraksluizen. Er is voor deze locaties geen water ingelaten, omdat er voldoende zoetwater in de polder aanwezig was vanuit neerslag. Uit de data blijkt dat de blauwalgplagen het meest frequent plaatsvinden van midden juli tot en met september. Mogelijk vinden de plagen nog in latere maanden plaats, maar wordt dit niet weergegeven in de tabellen, omdat er in deze maanden geen behoefte meer is om water in te laten. Met uitzondering beginnen de blauwalgplagen al vanaf midden juni of pas in midden augustus. Een kanttekening bij deze data is dat het onbekend is of de criteria voor innamestops door de jaren zijn veranderd. Verder wordt de data niet beïnvloed door de manier waarop het water wordt ingelaten (pomp, vrij verval of het openen van de inlaat).

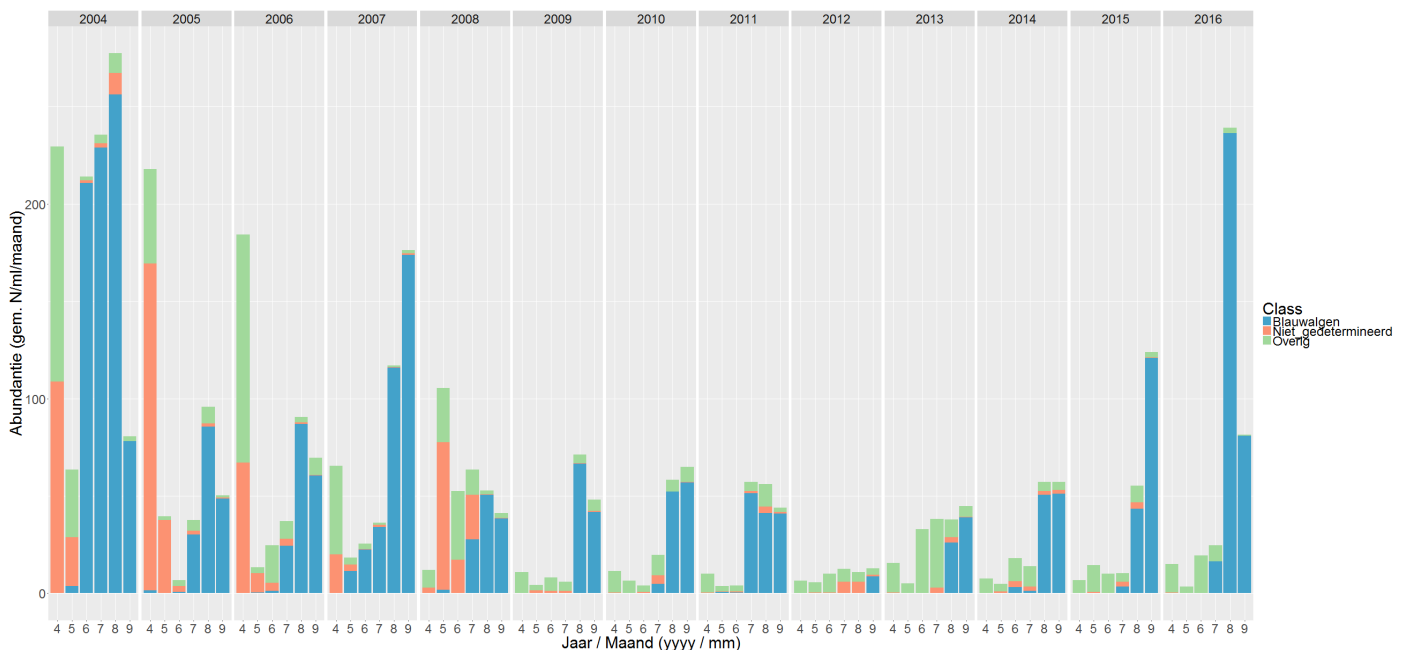
De MWTL Fytoplanktonmetingen kunnen gebruikt worden om aan de hand van absolute abundanties een indicatie te krijgen van algenbloeien. Deze data worden onder andere geïnventariseerd voor de KRW rapportage. De data suggereren dat er steeds beter gedetermineerd wordt. Dit is vooral te zien doordat het aandeel *Plantae* (ongedetermineerd) afneemt. Het is bij Deltares niet bekend of er een andere reden mee kan spelen dat *Plantae* minder vaak voorkomt. Mogelijke oorzaken zouden kunnen zijn: a) een wisseling tussen determinatie-instanties en/of -technieken, b) doordat er bepaalde groepen gemeten zijn die slecht te determineren zijn, c) dat dit gekoppeld is aan het meetvolume waardoor er te weinig tijd overblijft om exact te determineren. Daarnaast zijn de maanden waarop de algendata wordt opgenomen afgenomen van jaarrond tot alleen de zomermaanden (april-september). Beide veranderingen maken het lastiger om conclusies te baseren op deze dataset.

Bij de analyse van deze cel tellingen zijn alleen de maanden april-september gebruikt die constant zijn bemeten om vertekening door andere datadichtheid te voorkomen (Figuur 2.1 en Figuur 2.2; NB: De figuren waarin ook de overige maanden zijn opgenomen zijn te vinden in bijlage A). Hieruit blijkt dat de absolute abundanties van algen binnen 2004 t/m 2007 hoger zijn dan daarna. Vanaf 2013 lijkt de absolute abundantie weer op te lopen. Visueel duidt dit beeld op een toenemende trend als men alleen de metingen na de introductie van de quaggamossel beschouwd (2008 en later). Hier dient echter wel opgemerkt te worden dat dit beeld wordt beïnvloed door de jaren 2012 en 2016 bij Steenberg. Als deze twee jaren als anomalie worden beschouwd, lijkt het jaarlijkse beeld van 2008 tot 2015 visueel op een zekere variatie rondom een gemiddelde. Dit geeft aan dat er relatief weinig metingen zijn om een trend op te bepalen en het beeld sterk gestuurd kan worden door enkele jaren. Bij Oesterdam treedt een lichte variatie in de jaren op en bij Steenberg is de algenabundantie relatief laag. Statistisch wordt geen trend aangetoond, noch voor de complete meetreeks van 2004-2016 (Seasonal Mann-Kendall test; Steenberg : $\tau = -0.156$, $p\text{-value} = 0.030$; Oesterdam : $\tau = -0.164$, $p\text{-value} = 0.053$), noch voor een gelimiteerde meetreeks van 2008-2016 (Seasonal Mann-Kendall test; Steenberg : $\tau = -0.148$, $p\text{-value} = 0.260$; Oesterdam : $\tau = 0.157$, $p\text{-value} = 0.175$). In bijlage D zijn de cel tellingen van de meest voorkomende soorten van blauwalgen weergegeven. Ook hier is visueel (nog) geen sprake van een lineaire trend, maar is wel te zien dat *Microcystis spp.* en *Aphanothece spp.* sinds 2011 weer zijn toegenomen. Aan de hand van de data van deze twee meetstations is dus niet met zekerheid te stellen dat de blauwalgenbloei in de laatste jaren is toegenomen.

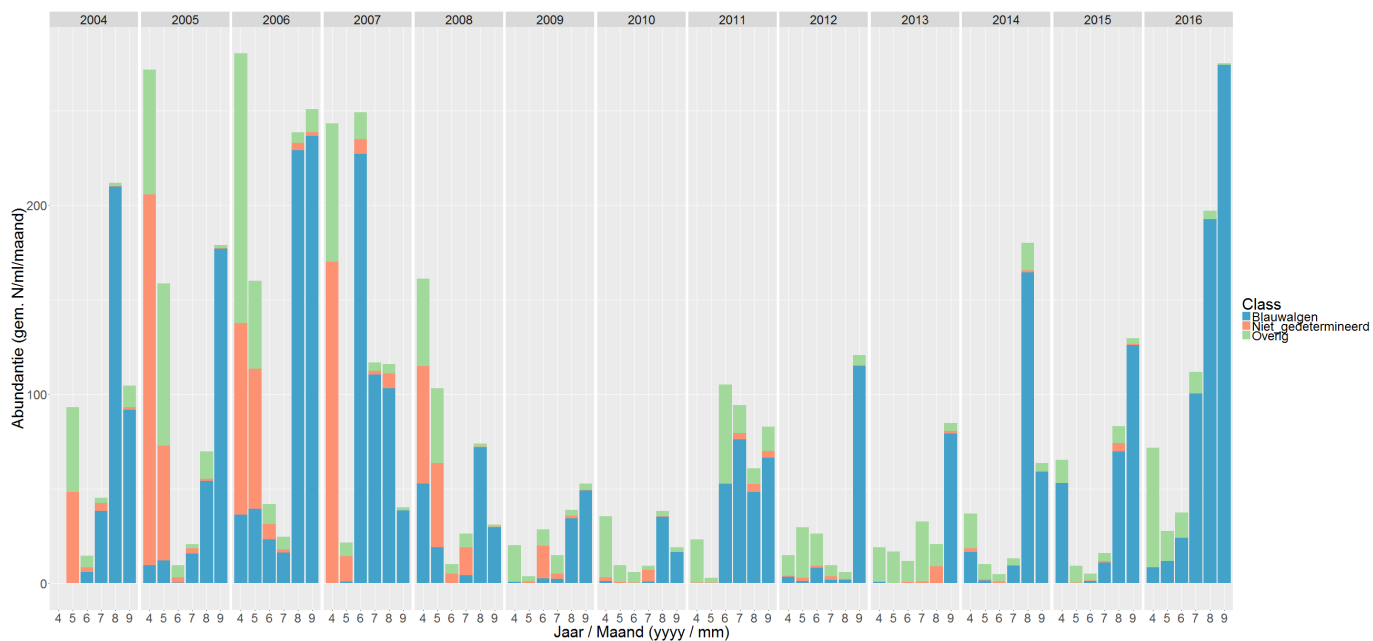
Een andere constatering is dat piekgroeimomenten van blauwalgen steeds minder vaak in april tot en met juni lijken voor te komen, maar dat de pieggroei vooral voorkomt in augustus en september. Echter dient opgemerkt te worden dat er abundanties (cel tellingen) worden gemeten in plaats van biomassa's of biovolumes. De abundantie is geen goede indicatie voor de totale algenbiomassa, aangezien het verschil in grootte tussen algensoorten sterk is.

Dit maakt het lastig om metingen met verschillende soortensamenstellingen onderling te vergelijken.

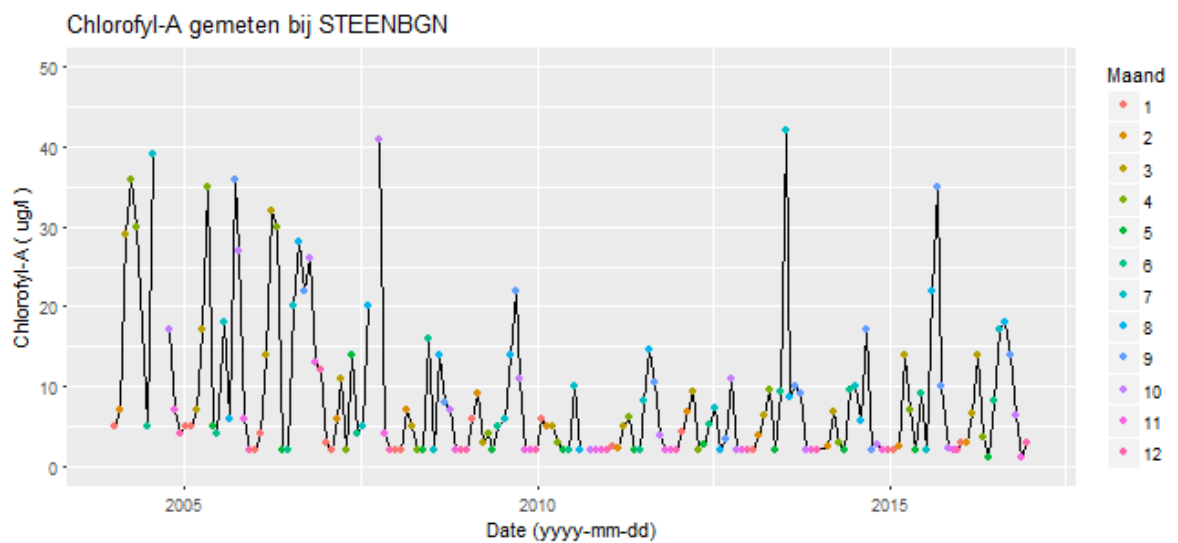
Overigens, bij het analyseren van de chlorofylmetingen in het Volkerak-Zoommeer op de meetstations Oesterdam en Steenberg is er geen duidelijke trend in de periode 2010-2016 waar te nemen (Figuur 2.3 en Figuur 2.4). Hier wordt geen onderscheid gemaakt tussen cyanochlorofyl-a en overig chlorofyl-a. Totaal chlorofyl-a geeft geen veranderingen met betrekking tot blauwalgenbloei in die periode weer. Dit komt doordat blauwalgen over het algemeen een lagere Chlorofyl:Koolstof ratio hebben en minder chlorofyl-a bevatten per biomassa- of volume-eenheid. Een blauwalgenbloei piek hoeft hierdoor niet tot een chlorofylpiek te leiden.



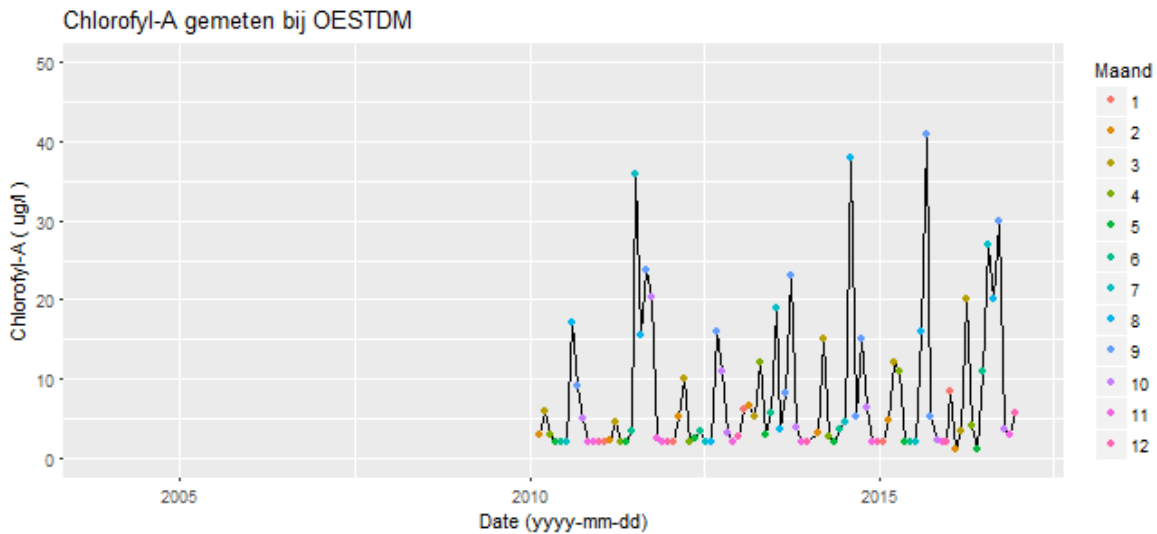
Figuur 2.1 Cel tellingen van algen (abundantie) bemeaten bij Steenberg over de maanden april t/m september.



Figuur 2.2 Cel tellingen van algen (abundantie) bemeaten bij Oesterdam over de maanden april t/m september.



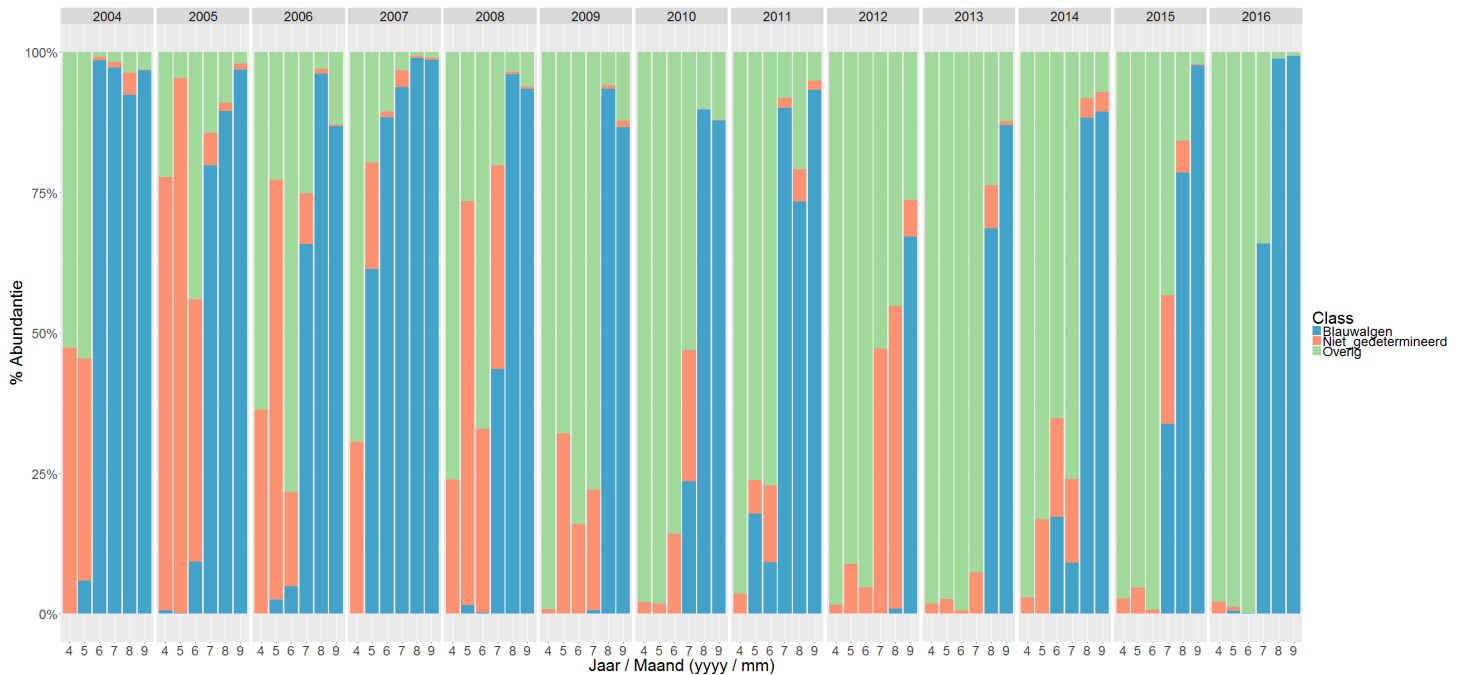
Figuur 2.3 Totaal chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Steenberg (hierbij worden allen algen bemeaten en dus niet alleen de blauwalgen). Hier is een verschuiving te zien in de piek maanden van maart t/m oktober voor 2008 naar juni t/m september. In de periode van 2010 t/m 2012 blijven de chlorofyl-a concentraties relatief laag, zelfs tijdens de piekmaanden.



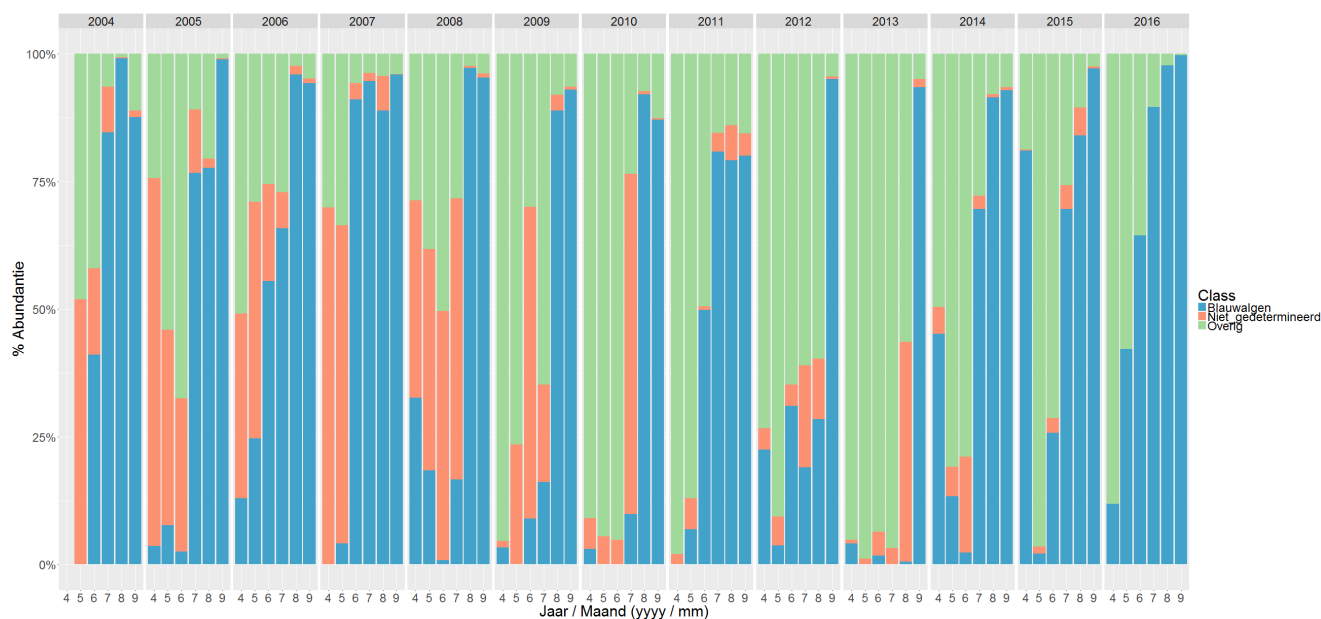
Figuur 2.4 Totaal chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam (hierbij worden allen algen bemeaten en dus niet alleen de blauwalgen). Tussen 1992 en 2010 is hier geen Chlorofyl-a gemeten.

2.1.4 Soortensamenstelling

Tevens kan op basis van de MWTL Fytoplanktondata de soortensamenstelling door de jaren heen achterhaald worden. Ook hierin zien we een verschuiving bij Steenbergens waarbij het blauwalgenaandeel vanaf 2012 in april tot en met juni minder vaak voorkomt. In Oesterdam zien we dit terug in het jaar 2013 maar niet in de andere jaren.

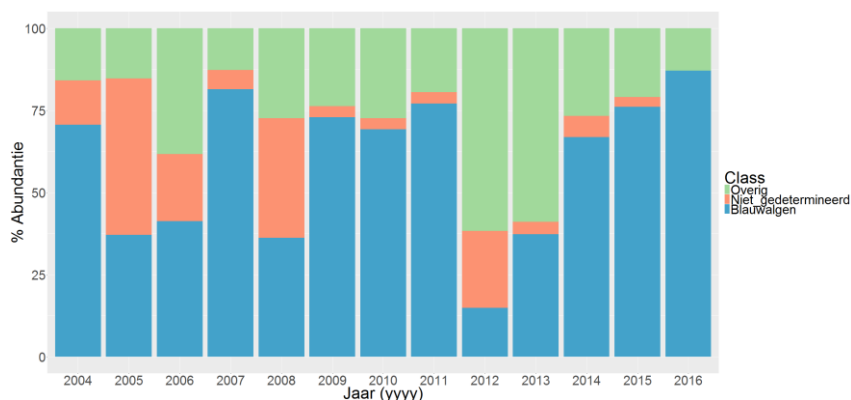


Figuur 2.5 Algensamenstelling over de jaren 2002 t/m 2016 bij de locatie Steenbergens.

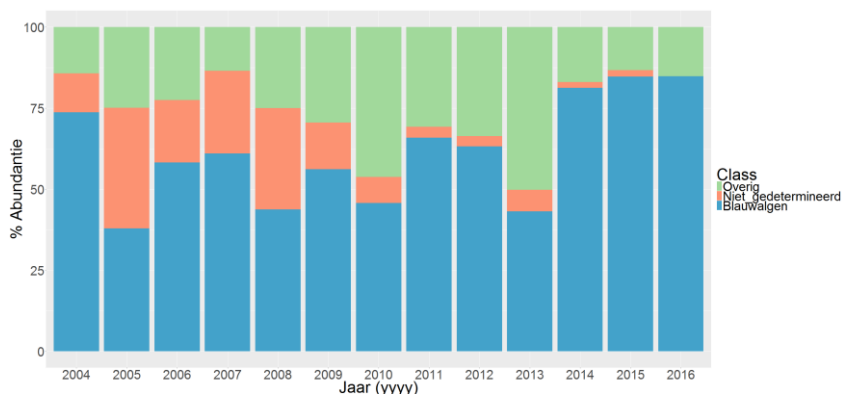


Figuur 2.6 Algensamenstelling over de jaren 2002 t/m 2016 bij de locatie Oesterdam.

Wanneer per jaar wordt geaggregeerd is niet te zeggen of de algensamenstelling over de jaren daadwerkelijk is veranderd (Figuur 2.7 en Figuur 2.8). Dit wordt vooral bemoeilijkt door het aandeel *Plantae*. Wel valt bij beide locaties het jaar 2013 op door de verandering in de samenstelling. Bij Steenberg is ook voor het jaar 2012 en 2016 een sterke verandering waar te nemen.



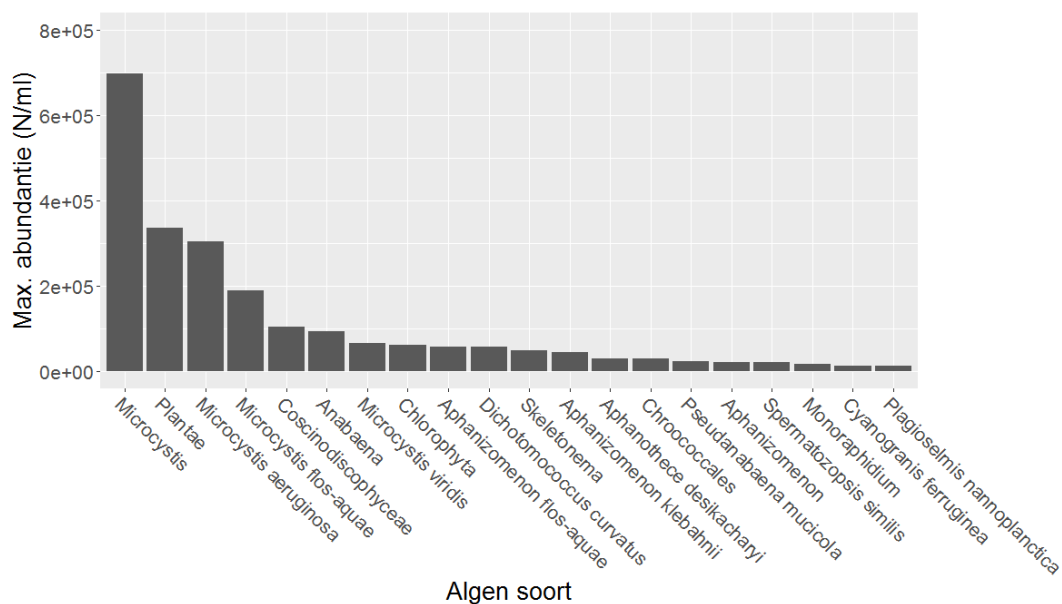
Figuur 2.7 Aandeel bemeten blauwalgen van de totale algengemeenschap over de jaren in de maanden april t/m september, zoals bemeten bij Steenberg.



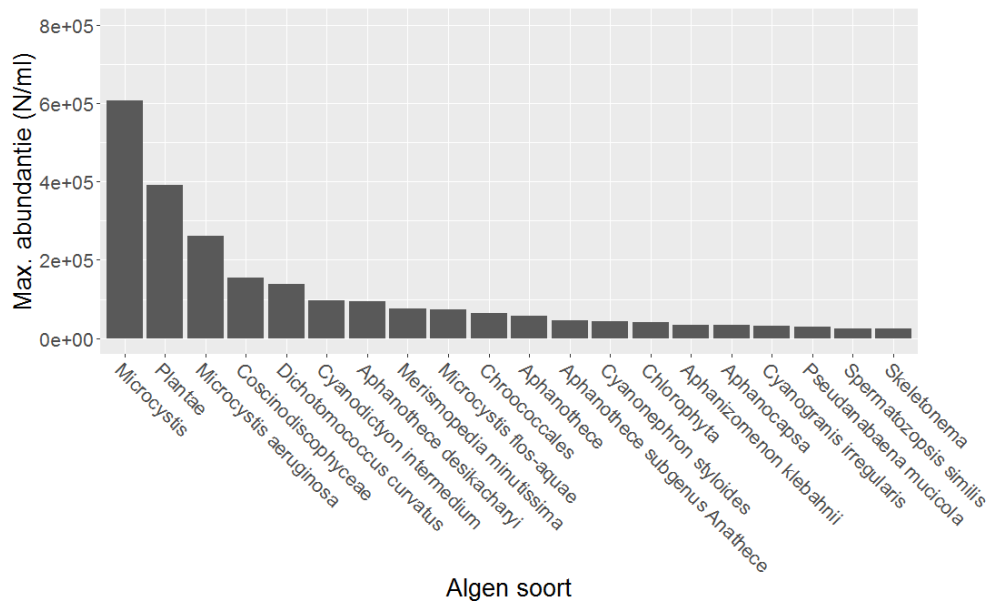
Figuur 2.8 Aandeel gemeten blauwalgen van de totale algengemeenschap over de jaren in de maanden april t/m september, zoals gemeten bij Oesterdam.

Om te bepalen welke algensoorten er verantwoordelijk zijn voor de (blauw)algenbloei is er gekeken van welke algensoorten de hoogste abundantie is gemeten. Wederom dient hier de kanttekening geplaatst te worden dat dit geen biomassa's zijn, maar cel tellingen (abundantie). Dit maakt dat een algenbloei van een soort niet direct tot een plaag hoeft te leiden. Op beide locaties vertonen de *Microcystis spp.* de hoogste abundanties, gevolgd door *Plantae* (ongedetermineerd) en de diatomee *Coscinodiscophyceae spp.*

De nieuwe opkomende blauwalgensoorten (*Cyanodictyon sp.*, *Aphanothece sp.* en *Aphanocapsa sp.*) die veel in het IJsselmeergebied voorkomen worden ook in het Volkerak-Zoommeer waargenomen. Echter hebben deze niet de overhand op *Microcystis spp.* (Figuur 2.10 en Figuur 2.9). Uit bijlage D blijkt dat alleen *Aphanocapsa sp.* van de opkomende soorten in enige mate toe te nemen na 2010. De andere soorten nemen af en zijn na 2010 niet of in lagere abundanties waargenomen. Ook de blauwalgensoorten *Merismopedia spp.*, *Dolichospermum spp.* (voorheen *Anabaena spp.*) en *Aphanizomenon spp.* zijn voor 2011 in wat hogere abundanties bij de locaties waargenomen, echter ook hiervan blijkt uit bijlage D dat deze na 2011 niet meer in hoge abundanties worden aangetroffen.

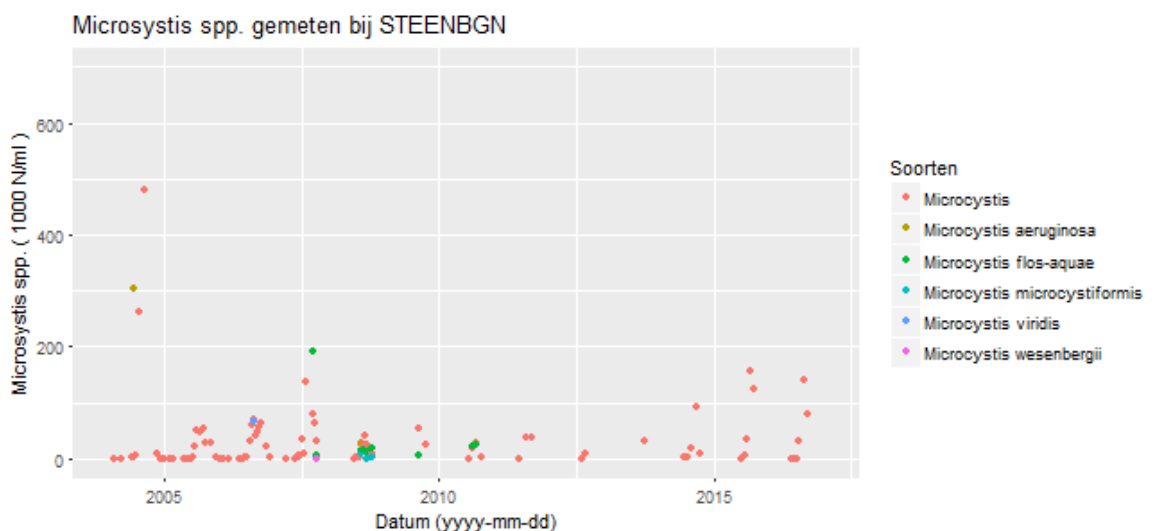


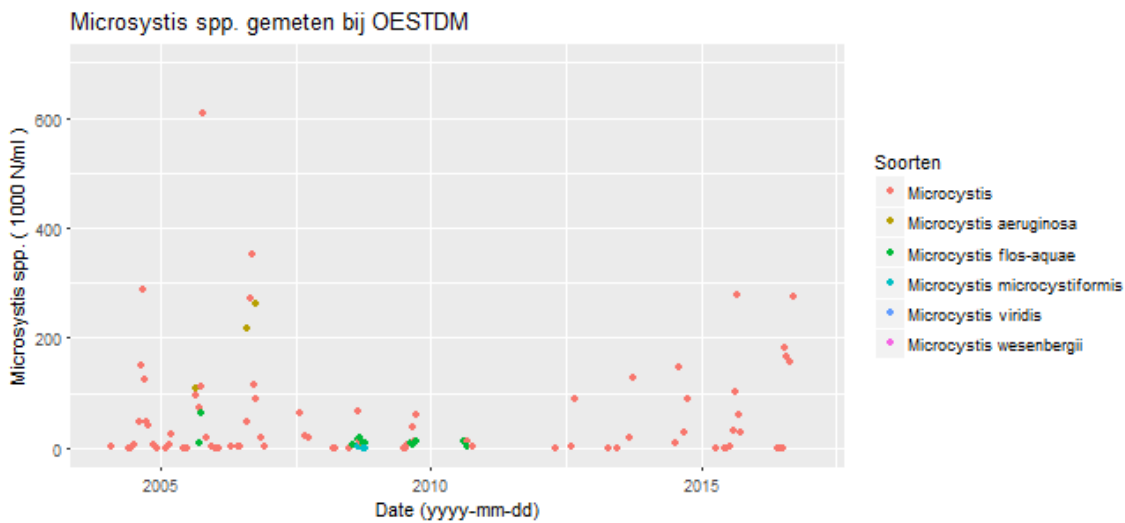
Figuur 2.9 Maximum abundantie van fytoplanktonsoorten (bovenste 20 getoond) in metingen in het Volkerak-Zoommeer voor de locatie Steenberg over de jaren 2004 t/m 2016.



Figuur 2.10 Maximum abundantie van fytoplanktonsoorten (bovenste 20 getoond) in metingen in het Volkerak-Zoommeer voor de locatie Oesterdam over de jaren 2004 t/m 2016.

Wanneer we de *Microcystis* spp. proberen te splitsen in de bijdrage van de verschillende soortengroepen zien we dat dit niet mogelijk is doordat er in de laatste jaren waarin een toename plaatsvindt niet gedetermineerd is op soortniveau (Figuur 2.11). Wel zien we dat voor zowel Oesterdam als voor Steenberg lagere piek abundanties van *Microcystis* spp. worden bemeten in de jaren 2008 tot en met 2012 in vergelijking tot de andere jaren.





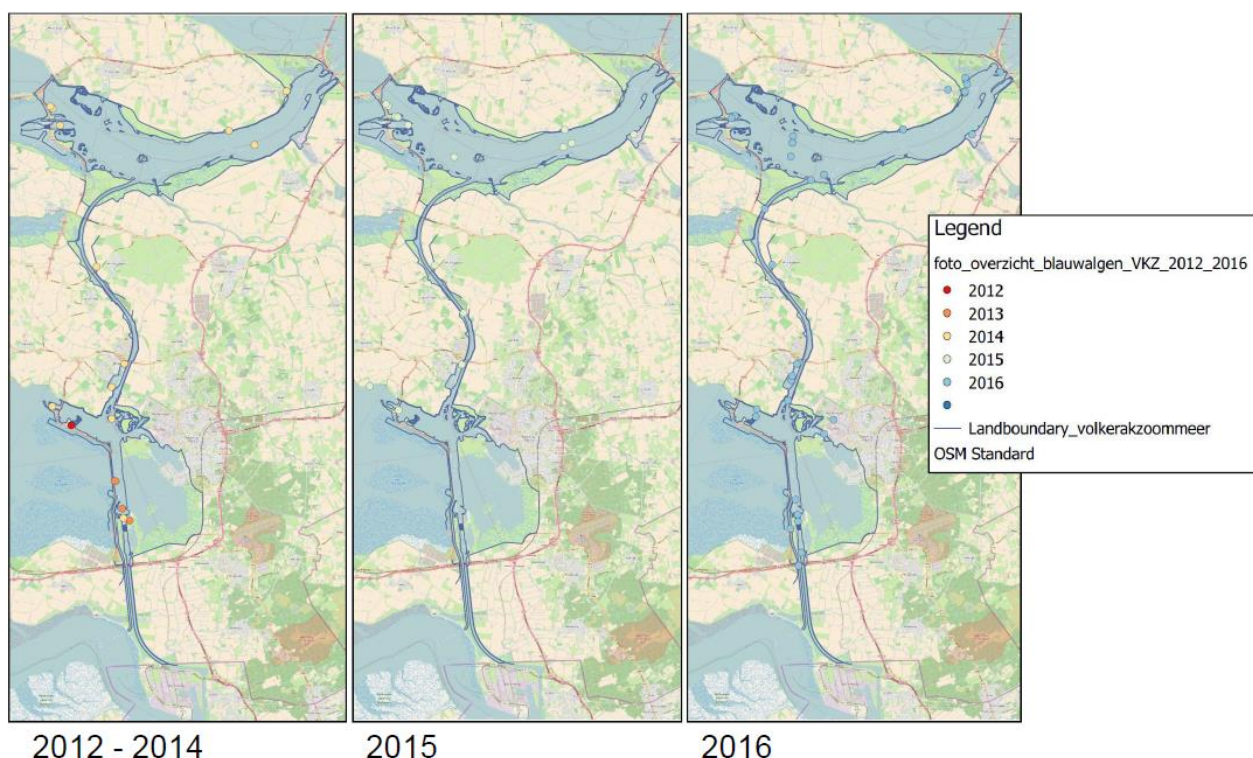
Figuur 2.11 Abundantie van *Microcystis* spp. gesplitst over de soorten en bemeaten bij STEENBGN en OESTDM over de jaren 2004 t/m 2016.

2.1.5 Andere waarnemingen

Ondanks dat de foto-opname van blauwalgenbloeien niet systematisch is uitgevoerd (Tabel 2.2) zijn de foto's enigszins te herleiden naar locatie en datum, wat een ruimtelijk inzicht geeft in waar de blauwalgen bloeien over de jaren plaatsvonden. Dit is zowel het geval in beschutte gebieden (langs randen, in sluizen en havens) als in open water.

Tabel 2.2 Weergave van de meta-informatie achter de foto-opnames van blauwalgenbloeien door Rijkswaterstaat

Jaar	Foto's	Land-waarnemingen	Patrouilleboot (Rijkswaterstaat22)	Inspectievlucht	Blauwalgen
2012	2	V			Rand bij Speelmansplaat
2013	9		V	V	Randen en bloom in Schelde-Rijn kanaal rond Kreekraksluis
2014	42		V	V	Randen en blooms in de sluizen en havens
2015	28		V		Randen, sluizen en havens en open water
2016	90	V	V	V	Randen, sluizen en havens en open water



Figuur 2.12 Ruimtelijk overzicht van blauwalgenplagen aan de hand van de foto's genomen door Rijkswaterstaat.

2.2 Quaggamosselen

2.2.1 Kennis

Sinds 2008 zijn de quaggamosselen (*Dreissena rostriformis bugensis*) in het Volkerak-Zoommeer aangetroffen en sinds 2012 lijkt de populatie zich te hebben gestabiliseerd, met een terugval in 2014 en 2016. Deze soort heeft hiermee de populatie van de hiervoor aanwezige Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) zo goed als verdrongen (Bij de Vaate et al., 2016).

Uit vergelijking van Amerikaans en Europees onderzoek (de Bruin et al, 2016) blijkt dat de invloed van de quaggamossel op het watersysteem afhangt van de bathymetrie, stratificatie, substraatbeschikbaarheid, voedselbeschikbaarheid (trofische staat) en de aanwezigheid van predatoren en competitie. Aangezien de meeste Nederlandse meren eutroof en ondiep zijn en het licht vaak tot de bodem rijkt, zijn deze geschikt voor de quaggamosselen en kan er een negatief effect op het aanwezige fytoplankton verwacht worden en een positief effect op het doorzicht. In Amerika bleek ook dat de quaggamosselen de blauwalgenplagen versterken door zich selectief te voeden met niet toxische soorten en hierdoor de blauwalgen een competitief voordeel te geven. Wel wordt gesteld dat het moeilijk is om het Amerikaanse systeem met het Nederlandse systeem te vergelijken door het verschil in typen meren.

Zoals beschreven in Bijlage G door Ysebaert & Walles van Wageningen Marine Research kunnen de Quaggas effect hebben op het ecosysteem: *“De quaggamossel is een ecosystem engineer (biobouwer) die door autogene en allogene processen zijn leefomgeving beïnvloedt. Daardoor heeft de quaggamossel ook een invloed op andere soorten en soortgroepen en kan het (in)direct bijdragen aan wijzigingen in ecosystemefuncties, zoals de modificatie van nutriëntencycli, de helderheid van het water en verandering in voedselketens (Matthews et*

al., 2012, de Hoop et al. 2015). Veel van deze effecten zijn afhankelijk van de dichtheden en biomassa's van de mosselen in een watersysteem. Als filtreerder, de quaggamossel filtert seston uit het water om aan zijn voedsel (fytoplankton) te komen, heeft de soort bij hoge dichtheden significante effecten op de zwevende stof concentraties. Dit kan invloed hebben op biotische factoren (bijv. afname algenbiomassa), maar ook op abiotische factoren (bijv. toename van helderheid en doorzicht van het water en accumulatie van organisch materiaal en nutriënten op de bodem door het uitscheiden van faeces en pseudofaeces). Een volwassen mossel filtert ongeveer een liter water per dag (o.a. Reeders et al. 1989), en bij dichtheden van enkele honderden mosselen per vierkante meter wordt een zodanig deel van het watersysteem gefilterd dat dit een sterk effect op de helderheid van het water kan hebben (o.a. Noordhuis et al. 1992)."

De voedselbeschikbaarheid bepaalt sterk wat de mosselen tot zich nemen en aan nutriënten en algen uitscheiden. Bijvoorbeeld, onder condities waar voedsel afwezig was bleken Driehoeksmosselen minder fosfor uit te scheiden, maar door te gaan met het uitscheiden van stikstof doordat ze hun eigen eiwitrijke spierweefsel afbreken (Vanderploeg et al., 2017). Deze relaties zijn inherent aan hun fysiologie en zullen ook opgaan voor de quaggamosselen.

In Waajen *et al.* (2016) wordt beschreven in welke mate de quaggamosselen ingezet zouden kunnen worden om schadelijke algenplagen te bestrijden. Uit dit onderzoek bleek dat de mosselen binnen de testopstelling een reducerend effect hadden op het totaal chlorofyl-a, cyanobacteriaal chlorofyl-a en totaal fosfor. Daarnaast hadden de mosselen een positief effect op het doorzicht. De concentratie van *Microcystis spp.* bleek niet beïnvloed. Dat de quaggamossel afhankelijk van de omstandigheden *Microcystis spp.* niet als voedselbron tot zich neemt blijkt ook uit Vanderploeg et al., 2013 (Dionisio Pires *et al.*, 2010) hoewel men binnen dit onderzoek geen grip kreeg op hoe de externe en interne omstandigheid van de mossel de voedselinname beïnvloedt. Zoals Ysebaert en Walles stellen : *"Het effect van quaggamosselen op algenconcentraties, algensamenstelling, en daarmee op eutrofiëring en andere ecosysteemkenmerken dat in de literatuur beschreven staat is zeer wisselend en zowel de filtercapaciteit als de algenselectiviteit vertoont grote variaties, afhankelijk van het type watersysteem maar ook afhankelijk van de gehanteerde onderzoeksmethoden (bijv. de Hoop et al. 2015). Dit maakt het lastig om éénduidig het effect van quaggamosselen op specifiek het Volkerak-Zoommeer ecosysteem te duiden (Smith et al. 2016)."*

Momenteel vindt er in Boxtel een proef plaats om te bepalen in welke mate de quaggamosselen kunnen helpen met blauwalgenbestrijding. Dit lijkt binnen de daar geldende situatie niet gewenst uit te pakken (webpagina 1). Eerder onderzoek vanuit Waajen et al. (2016) laat zien dat quaggamosselen in de Linievijver in Breda wel het totale cyanochlorofyl-a reduceerde, maar niet het cyanochlorofyl-a van *Microcystis spp.*

2.2.2 Meetwaarden

In het Volkerak-Zoommeer vindt sinds 2011 een meetcampagne plaats om de mosselen in kaart te brengen. Hierbij is vanaf 2011 op 122 locaties in het Volkerak gemeten en sinds 2013 ook op 22 locaties in het Schelde-Rijnkanaal en 24 locaties in het Zoommeer. Hierbij zijn de meetlocaties zo verspreid dat vrijwel alle voorkomende diepteklassen worden bemonsterd.

Hiervoor hebben ook meetcampagnes plaatsgevonden, waarvan de laatste in 1998, maar minder frequent. Omdat deze data buiten de scope valt van deze studie, en omdat deze data geen quaggamosselen maar Driehoeksmosselen betreft, is deze niet meegenomen (Tabel 2.3).

Tabel 2.3 Dataoverzicht van het voorkomen van quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer.

Data	Beheerder	Jaren	Frequentie
Mosselkarteringen	A. bij de Vaate / Rijkswaterstaat	2011 - 2016	Jaarlijks (oktober)

2.2.3 Trends

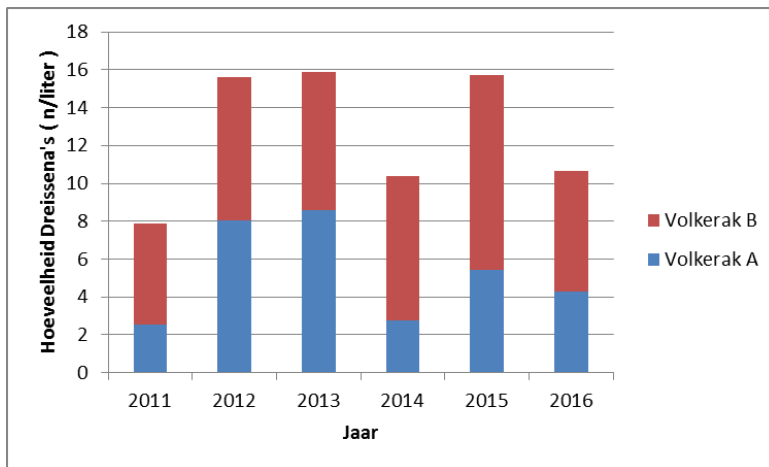
Ysebaert & Walles van WMR constateren dat, op basis van een vergelijking tussen jaren in mosselbedekking in het Volkerak-Zoommeer (bijlage E), zichtbaar is dat het volume van quaggamosselen in het Volkerak van 2012 ten opzichte van de eerdere jaren is toegenomen. Dit is gelijk aan de bevindingen van Bij de Vaate et al. 2016 2017.

Uit het onderzoek van Bij de Vaate, Jansen & Bij de Vaate (2016) blijkt dat in 2016 de conditie van de quaggamosselen in het Volkerak en het Schelde-Rijnkanaal weer afgenomen tot het niveau van 2013. In het Zoommeer is het asvrij droog vleesgewicht in relatie tot schelplengte in 2016 het laagst sinds het begin van het onderzoek in 2013. Ook zijn de maximaal aangetroffen hoeveelheid Quagga's lager in 2016 ten opzichte van 2015. Uit Figuur 2.13 blijkt dat vooral de jaren 2012, 2013 en 2015 de aantallen mosselen gevonden bij de monsterpunten in het Volkerak hoog waren. In Figuur 2.15 is een verschuiving te zien voor 2016 in Volkerak-B voor de schelplengteklasseverdeling van de quaggamosselen, dat aangeeft dat er in dit jaar een groot deel van de middelgrote mosselen (7 – 17 mm schelplengte) zijn weggevallen.

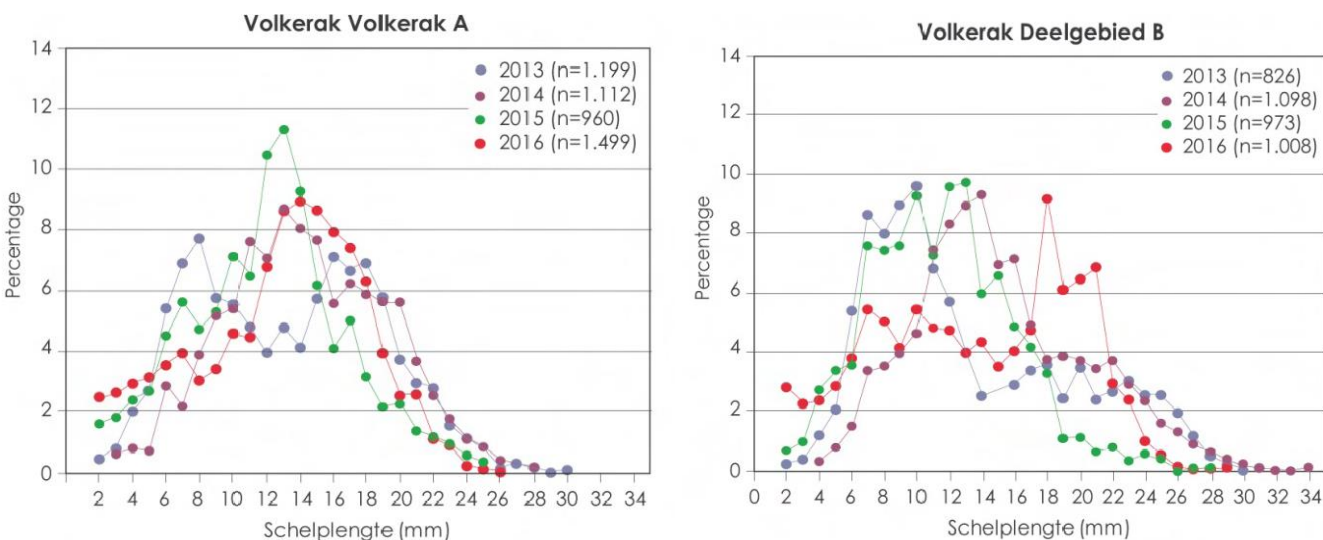
Er is voorsnog geen sprake van een trendmatige verandering in de mosselpopulatie. Er zijn ook geen aanwijzingen voor grote variaties in externe factoren zoals toegenomen predatiedruk of ziektes, en het is goed mogelijk dat de variaties in mosselbiomassa's toe te schrijven zijn aan de natuurlijke populatiedynamiek van de Quaggapopulatie (Tabel 2.4).

Tabel 2.4 Totale hoeveelheid (liter) Dreissena's aanwezig in de monsters per deelgebied (n = aantal bemonsterde locaties). De hoeveelheden aanwezig in 2016 zijn geëxtrapoleerd naar een bemonsteringsoppervlak van 1.900 cm² (Bij de Vaate et al. 2016).

Jaar	Hoeveelheid Dreissena's (liter)			
	Volkerak deelgebied A (n=61)	Volkerak deelgebied B (n=61)	Schelde- Rijnkanaal (n=22)	Zoommeer (n=24)
2011	2,54	5,35		
2012	8,06	7,57		
2013	8,58	7,28	1,39	3,49
2014	2,78	7,59	0,82	0,75
2015	5,43	10,27	1,32	2,66
2016 ¹	4,27	6,36	0,61	1,83



Figuur 2.13 Grafische weergave van het Volkerak voor het aandeel Dreissena's gevonden per liter over 122 monsterpunten (n = 61 Volkerak-A, n=61 Volkerak-B).



Figuur 2.14 Percentages van de gevonden mosselen verdeeld over de schelpenlengte klassen voor Volkerak-A en Volkerak-B.

2.2.4 Filtratiedcapaciteit

Op meerdere plaatsen worden de mosselvolumes hoger dan 1000 ml/m^2 , wat uit ervaring in het IJsselmeergebied gelijk staat aan dat de waterkolom binnen een korte omlooptijd wordt gefilterd. Hierbij dient er wel rekening mee gehouden te worden dat het IJsselmeergebied ondieper is en er daar geen sprake is van stratificatie. Dit maakt het verticale volume kleiner en tevens is het gehele volume te bereiken voor het filteren door mosselen. Als vuistregel voor een korte omlooptijd geldt hier dat wanneer de waterkolom binnen een periode kleiner dan twee dagen wordt gefilterd de algenbloei sterk gereguleerd wordt door de mosselen. Wanneer deze periode groter is dan een week kunnen de algen aan de predatie ontkomen en bloeien veroorzaken. In het IJsselmeergebied werd in de tijd van voedselrijkere omstandigheden het zuidelijke deel waar de mosselen zitten het water met omlooptijd korter was dan 2 dagen gefilterd. Hierdoor werd het water hier helder gehouden en worden sterke algenbloei in de zomermaanden voorkomen (pers. comm. Ruurd Noordhuis).

Om meer grip op deze getallen te krijgen hebben Ysebaert & Walles (Bijlage G) naar de filtratiecapaciteit van quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer gekeken. Hieruit blijkt dat de filtratiecapaciteit van de mosselen verschilt per jaar en dat er tevens een groot verschil is tussen de gebruikte berekeningsmethoden (Tabel 2.5).

Tabel 2.5 Filtratiedruk van quaggamosselen (omloop verticale waterkolom in dagen) in het Volkerak in aantal dagen om het volledige Volkerak te filteren door de aanwezige quaggamosselen (Ysebaert & Walles, 2017).

Jaar	Kryger & Riisgård (1988)	Reeders et al. (1989)	Reeders et al. (1989) – Var 1	Reeders et al. (1989) – Var 2	Reeders et al. (1989) – Var 3
2011	4,2	12,9	4,1	4,6	10,9
2012	1,9	5,8	1,9	2,1	4,9
2013	2,0	6,0	1,9	2,1	5,0
2014	3,7	11,1	3,6	3,9	9,3
2015	1,5	4,9	1,6	1,7	4,1
2016	4,5	12,4	3,9	4,4	10,4

De resultaten van de omloop van de verticale waterkolom in dagen verschillen een factor 3 tussen de methode Kryger & Riisgård (1988) en Reeders et al. (1989). Dit kan mogelijk herleid worden naar dat Kryger & Riisgård (1988) enkel de maximale filtraties uit zijn experiment rapporteert. Hierin is Reeders et al. (1989) dus behoudender. Voor de Reeders methode is gevarieerd met het zwevende stofgehalte aan de hand van een correctiefactor op basis van de gemiddelde zomermaanden van 2011, correctie factor zoals aangenomen door Bureau Waardenburg en een worst case situatie (resp. : Var 1 : 4,92 mg/l, Var 2 : 7.6 mg/L, Var 3 : 31 mg/L). Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende formule:

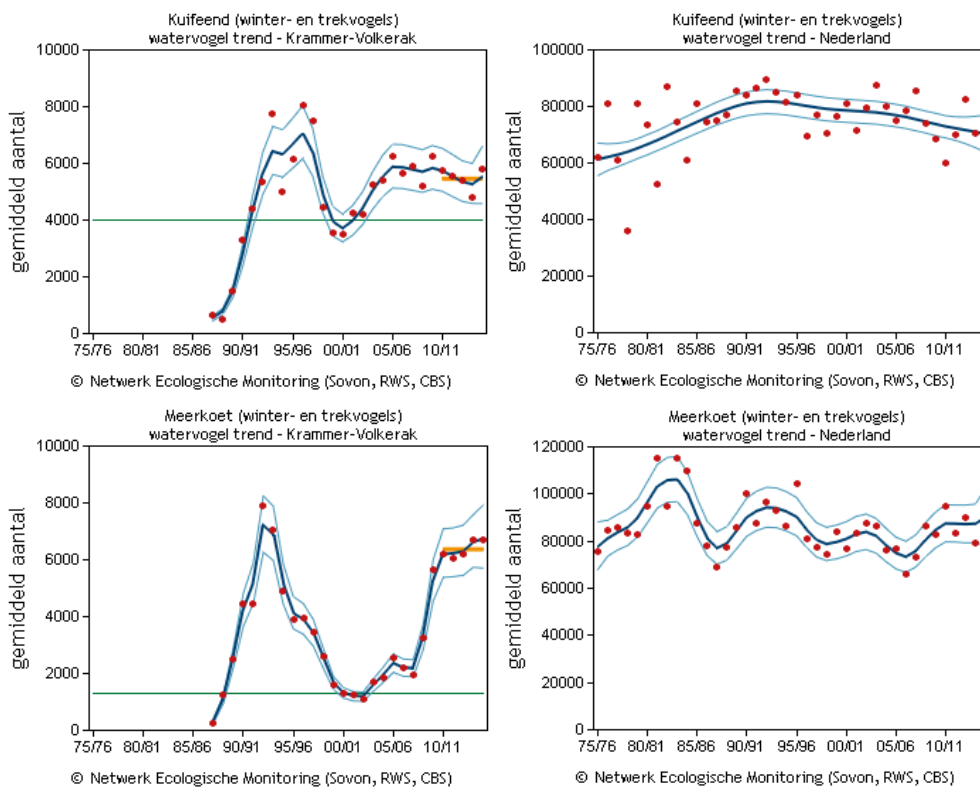
Filter capaciteit = $187,1 * \exp(-0,037 * \text{Zwevend stofgehalte})$

Aan de hand van deze resultaten zijn de filtratie snelheden in de jaren 2011, 2014 en 2016 te laag om de blauwalgengroei te onderdrukken. In de overige jaren (2012, 2013, en 2015) zijn de filtratiesnelheden wel voldoende groot. Bij deze berekening is er echter een versimpeling toegepast door geen rekening te houden met stratificatie en de ruimtelijke verdeling van de mosselen door het meer. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat bepaalde watervolumes niet door de mosselen gefilterd kunnen worden. Bovendien is deze berekening gebaseerd op rekenregels die ontworpen zijn voor de Driehoeksmossel en nu toegepast zijn voor de quaggamossel. Daarnaast is de gekozen grenswaarde een relatief arbitrair getal.

2.2.5 Predatie

Uit het werk van Matthews et al., 2012 blijkt dat predatie van Quaggas vooral te verwachten valt van duikeenden en in enige mate door vis vanuit invasieve grondelsoorten, invasieve rivierkreeften en in enige mate door ruisvoorn.

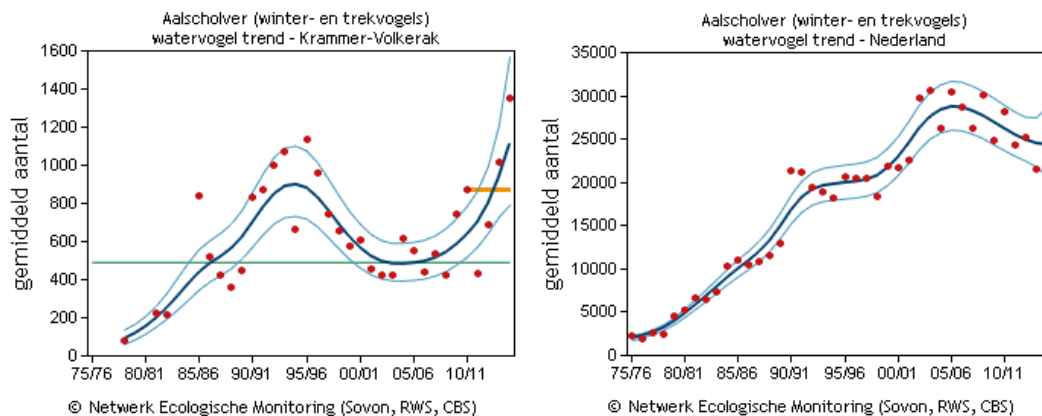
De kuifeend (*Aythya fuligula*), de toppereend (*A. marila*) en in lichte mate de meerkoet (*Fulica atra*) eten de quaggamossel als voedsel. Zij kunnen de mosselen tot op een maximum diepte van 6 meter bereiken (Matthews et al., 2012).



Figuur 2.15 SOVON waarnemingen van de Kuifeend (*Aythya fuligula*) en de Meerkoet (*Fulica atra*) in het Volkerak-Zoommeer en Nederland breed (webpagina 2).

Aan de hand van de SOVON data (webpagina 2) blijkt dat de kuifeend en de meerkoet in het Volkerak-Zoommeer worden aangetroffen. Van de toppereend is dit niet bekend. Uit deze data (Figuur 2.15) blijkt dat de kuifeend is waargenomen na het verzoeten van het Volkerak-Zoommeer (1987) en dat er van 1996 t/m 2005 een terugval was in de aanwezigheid van Kuifeenden in het Volkerak-Zoommeer. Het voorkomen van de quaggamossel na 2008 lijkt geen verandering in de abundantie van Kuifeenden tot gevolg te hebben gehad. In het IJsselmeergebied is er ook geen verandering in de abundantie van Kuifeenden ondanks de hoge aantallen quaggamosselen. Dit komt doordat de quaggamossel geen hoge voedselkwaliteit heeft in verhouding tot de energie die de Kuifeend besteed (duiken en openbreken) waardoor de quaggamossel niet aantrekkelijk is als voedselbron.

Meerkoeten zijn echter mogelijk wel door het toenemen van de quaggamosselen beïnvloed. Ook zij zijn pas waargenomen na het verzoeten van het Volkerak-Zoommeer (1987) en hadden een terugval vanaf 1993. Vanaf 2001 t/m 2005 vond er al enige toename van de populatie plaats, maar de echte toename lijkt vanaf 2008 te gebeuren, waarop de populatie terugkomt op de aantallen in 1993 en zich lijkt te stabiliseren. Echter kan het toenemen van de meerkoeten ook een indirect effect zijn geweest. Waarschijnlijk is de toename niet te wijten aan de quaggamossel als voedsel aanbod, maar aan het toenemen van waterplanten in het Volkerak-Zoommeer. Deze zelfde trend is te zien in de data van de Aalscholver (*Phalacrocorax carbo*, Figuur 2.16), die zover bekend zich niet met quaggamosselen voeden, maar wel sterk profiteren van helder water en een toename van kleine vis door waterplanten. Aalscholvers zijn namelijk zichtjagers.



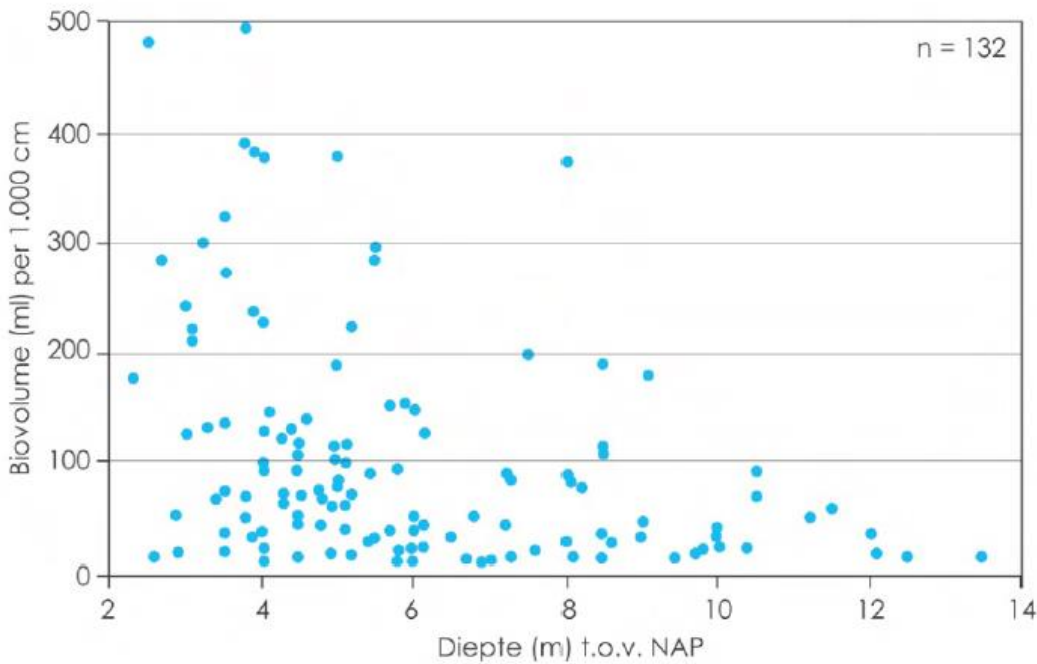
Figuur 2.16 SOVON waarnemingen van de Aalscholver (*Phalacrocorax carbo*) in het Volkerak-Zoommeer en Nederland breed (webpagina 2).

In Nederland bleek in een studie (Schiphouwer, 2011) dat *Dreissena* een belangrijke voedselbron vormen voor invasieve grondels, waaronder de Zwartbekgrondel (*Neogobius melanostomus*). In het Volkerak-Zoommeer is te weinig onderzoek gedaan rond de visstand waardoor er geen harde uitspraak gedaan kan worden of de Zwartbekgrondel populatie met het voorkomen van de quaggamossel is toegenomen. De soort is sinds 2004 al in Nederland waargenomen en is sinds 2008 met elektro vissen in het Hollands Diep aangetroffen. Dit maakt het moeilijk om de opmars van de soort te scheiden van de invloed die de aanwezigheid van quaggamosselen als voedselbron in het Volkerak-Zoommeer mogelijk uitoefent. Als we naar de data kijken zijn de Zwartbekgrondels pas aangetroffen in 2011 en niet in 2008, terwijl de quaggamosselen zich in 2008 gevestigd hadden, ondanks dat deze soort al in 2008 (al hoewel in kleine mate) was aangetroffen in het Hollands Diep.

2.2.6 Habitatcondities

In Bij de Vaate *et al.* (2016) wordt notie van gemaakt van dichtheidsafname in het Volkerak op een aantal plekken waar in voorgaande jaren relatief veel *Dreissena*'s zijn aangetroffen en dat dit direct te herleiden is tot de sedimentatie van slib op deze locaties.

Daarnaast kan het aanhechtingssubstraat een beperkende rol spelen bij het voorkomen van de mosselen. In Figuur 2.17 wordt de relatie tussen de diepte en het biovolume van de mosselen getoond voor het Volkerak. Hier wordt verondersteld door Bij de Vaate *et al.*, 2016 dat het primaire aanhechtingssubstraat een beperkende factor is voor de dichtheidsontwikkeling van de mosselen in de diepere zones. Een andere mogelijke verklaring is dat de zuurstofstratificatie de ontwikkeling van de mosselen hier beperkt. Deze stratificatie komt in het Volkerak voor tussen de 7 en 10 meter en heeft vooral zijn effect in juni t/m augustus (zie bijlage F en sectie 5.3.5).

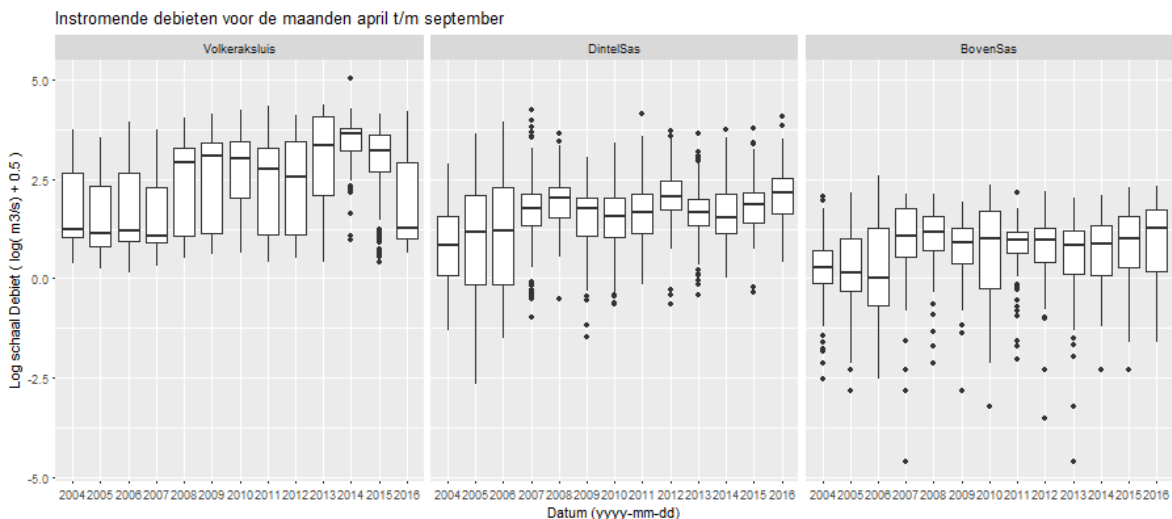


Figuur 2.17 De relatie tussen waterdiepte en biovolume van de *Dreissena*'s op waterbodems bestaande uit zware zavel of klei voor het Volkerak (Bij de Vaate et al., 2016).

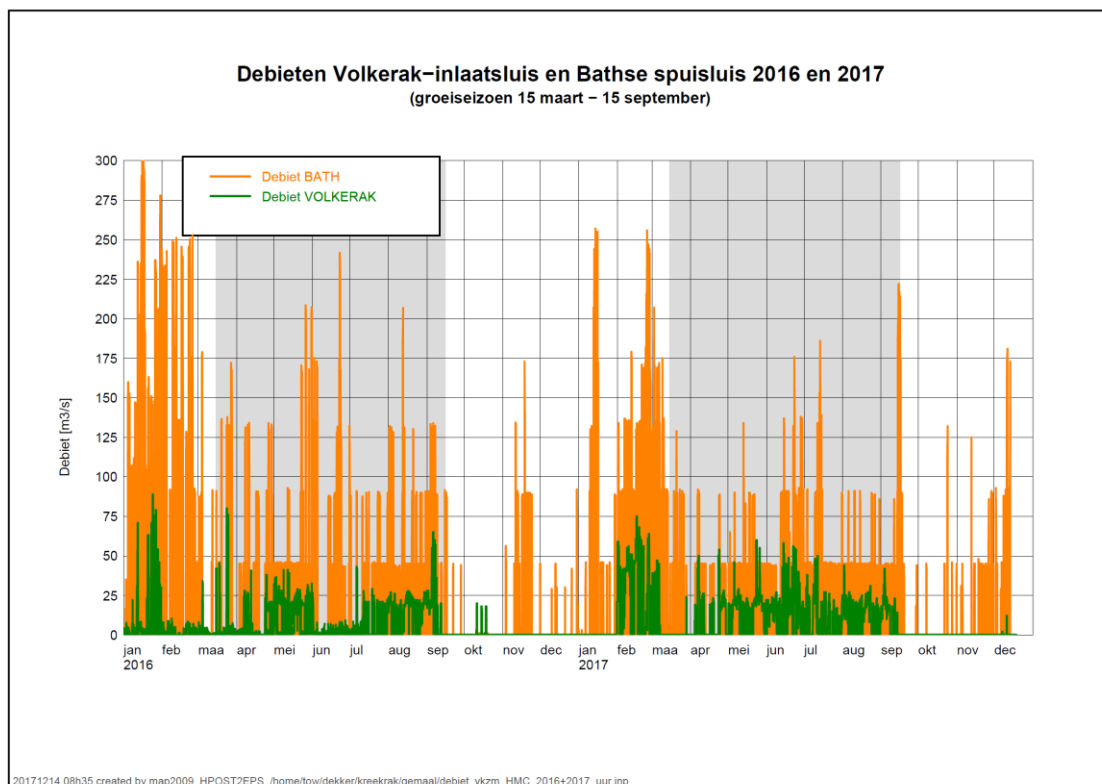
2.3 Overige factoren

2.3.1 Waterbalans

Aan de hand van de instromende bronnen is geen zichtbare trend of verandering zichtbaar tussen de jaren. (Figuur 2.18). In 2016 is er een duidelijke lagere instroom vanuit de Volkeraksluizen te zien. Dit komt door een verminderde inlaat in 2016 in de periode april t/m september doordat er in de maand januari t/m februari extra is door gespoeld met zoetwater vanuit de Volkerak-inlaatsluis om de saliniteit in beide meren omlaag te brengen (Figuur 2.18).



Figuur 2.18 Instroom in het Volkerak-Zoommeer vanuit de Volkeraksluizen, de DintelSas en de BovenSas.



Figuur 2.19 Instromend debiet vanaf de Volkerak-sluizen (VOLKERAK) en uitspoel debiet bij de Bathse spuisluizen (BATH). Hierin is van januari tot februari een verhoogd instroomdebiet zichtbaar.

2.3.2 Nutriënten

Aan de hand van de nutriëntenfracties is te zien dat nitraat en naar verwachting hierdoor ook totaal stikstof door de jaren heen relatief constant is gebleven (Bijlage H). Kjeldahl stikstof varieert sterker en wordt gebruikt om organisch gebonden stikstof te bepalen. Hierin zien we een sterke piek in april in 2016 bij Oesterdam wat waarschijnlijk samenhangt met de grote abundantie van niet-blauwalgen die op dit moment gemeten wordt. Opvallend is dat de daarop volgende blauwalgenbloei niet leidt tot een toename in Kjeldahl-N.

Voor totaal fosfor zien we dat sinds 2011 de concentratie van totaal fosfor minder variabel wordt en relatief constant blijft. In de Vries & Postma (2013) is de totaal fosfor meting geanalyseerd en worden deze metingen tot 2012 als onbetrouwbaar beschouwd omdat er meer organisch fosfaat gemeten wordt dan dat er volgens de chlorofylgehalten aanwezig zou moeten zijn. De ortho-fosfaat en stikstof metingen worden wel als betrouwbaar beschouwd. Bij zowel Steenberg en Oesterdam is een lichte piek van ortho-fosfaat te zien in het jaar 2016. Ortho-fosfaat is de anorganische fractie die beschikbaar is voor planten.

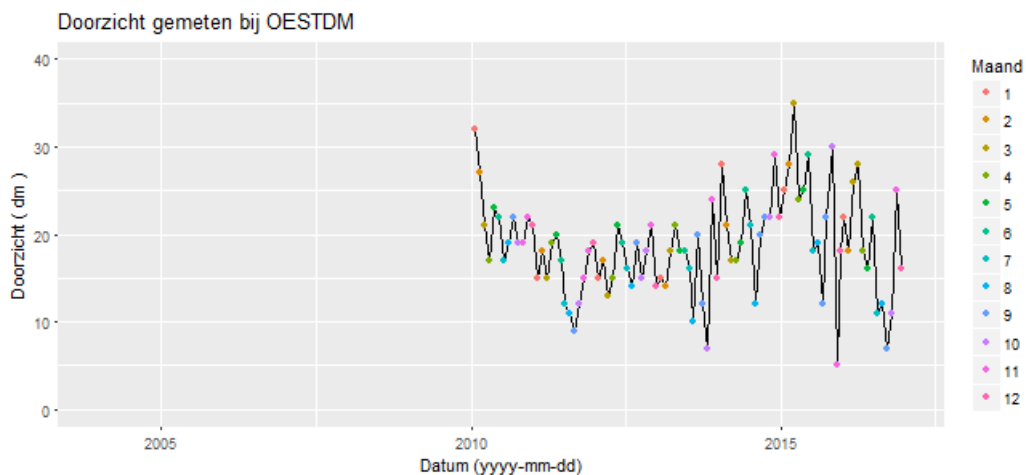
Zowel de gemeten stikstof- als fosfaatconcentraties in het Volkerak-Zoommeer lijken op de MWTL meetlocaties niet limiterend te zijn: de gemeten concentraties gaan niet naar nul. Mogelijk is er op andere vooral ondiepe locaties wel sprake van nutriëntenlimitatie.

Vanuit De Vries & Postma (2013) is bekend dat er een nalevering van fosfaat vanuit de waterbodem plaatsvindt. In het groeiseizoen blijkt deze bron te overheersen op de externe belasting. Het fosfaat in de bodem is gebonden aan ijzeroxide.

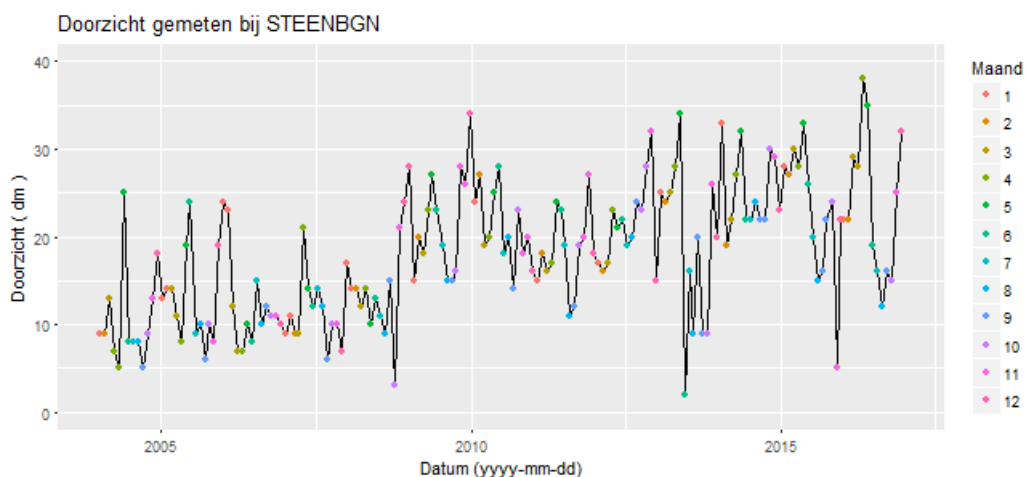
Wanneer een groter deel van het waterkolom anoxisch wordt door stratificatie en nitraat niet meer voor handen is als oxidator, zal deze verbinding zich opheffen en kan de nalevering sterker gaan optreden.

2.3.3 Doorzicht

De doorzichtmetingen (Figuur 2.20 & Figuur 2.21) tonen dat in 2008 een sterke verbetering in het doorzicht plaatsvond bij het meetpunt Steenberg, wat hierna heeft standgehouden, met uitzondering van het jaar 2013. Deze verbetering van het doorzicht lijkt samen te hangen met de opkomst van de quaggamosselen. Bij Oesterdam zijn vanaf 2010 metingen beschikbaar en zien we deze terugval in doorzicht in 2013 niet. Na 2008 lijkt het doorzicht met name hoger te zijn in februari, april en maart en lager in de maanden augustus, september, oktober en november.

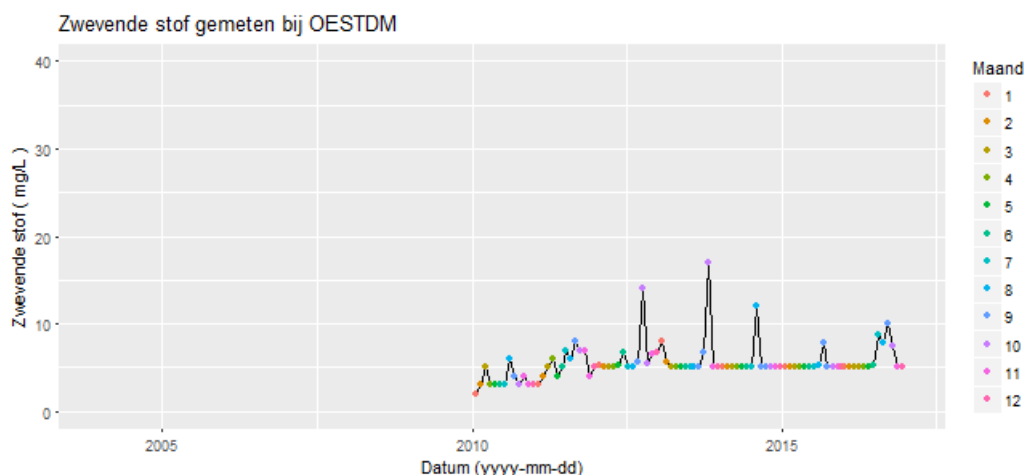


Figuur 2.20 Doorzicht zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 zijn hier geen metingen verricht.

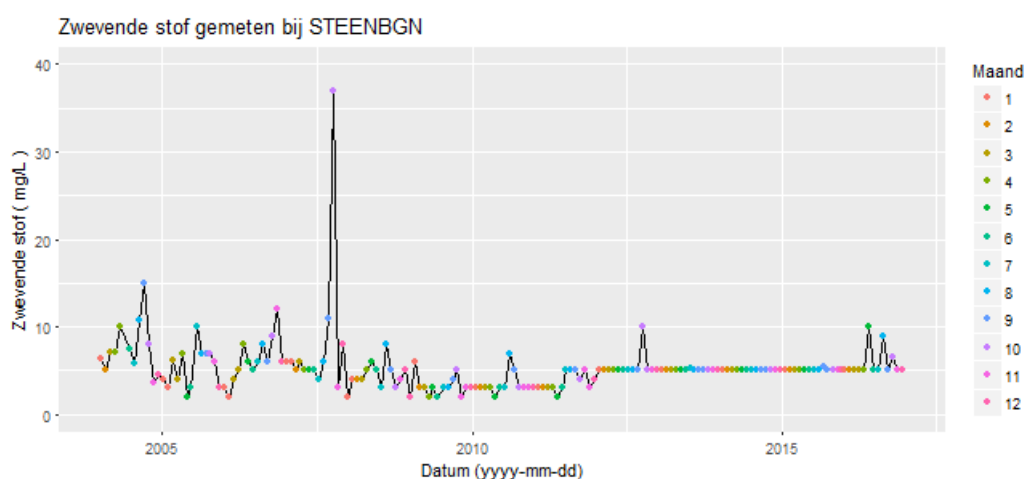


Figuur 2.21 Doorzicht zoals bemeaten bij Steenberg.

De zwevend stof bepalingen voor deze locaties (Figuur 2.22 & Figuur 2.23) zijn een indicatie of het doorzicht voornamelijk wordt beïnvloed door organische stof of sedimentdeeltjes. Aangezien zwevende stof voor het merendeel van de tijd onder de detectielimiet zit, is de verwachting dat het doorzicht voornamelijk door organische bestanddelen zoals algen wordt beïnvloed.



Figuur 2.22 Zwevende stof gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Hier is een verspringing van meetlimieten te zien van 3 mg/l voor 2011, naar 5 mg/L na 2011. Tussen 2012 en 2014 waren er enkele pieken maar die kwamen hiervoor en hierna niet meer voor.

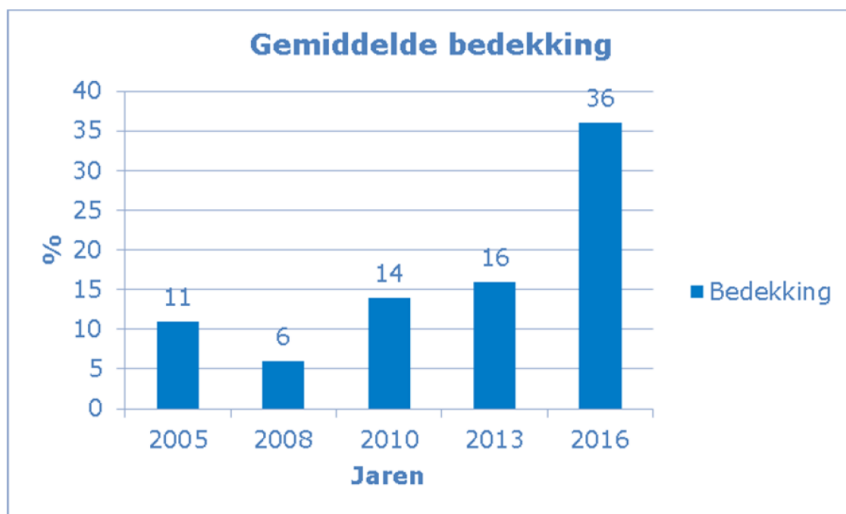


Figuur 2.23 Zwevende stof gehalte zoals bemeaten bij Steenberg. Hier is een duidelijke verspringing van meetlimieten te zien tussen 2005 t/m 2008, waarna een limiet van 3 mg/l voor 2011 is ingesteld, wat naar 5 mg/L is gegaan na 2011. Na 2011 komt de zwevende stof meting amper boven de detectie grens.

In combinatie met de doorzichtwaarnemingen en de eerder getoonde abundantiegrafieken (Figuur 2.2 & Figuur 2.1) geeft dit een aanleiding dat het doorzicht beïnvloedt wordt door de (blauw)algenbloeien.

2.3.4 Waterplanten

Vanuit Rijkswaterstaat 2016 blijkt dat de waterplanten bedekking in het Volkerak-Zoommeer sinds 2008 is toegenomen (Figuur 2.24). Of deze toename al voor 2005 ingezet was is onbekend. Deze toename lijkt sterk samen te hangen met de verbetering van het doorzicht.



Figuur 2.24 Gemiddelde waterplanten bedekking zoals gerapporteerd in Rijkswaterstaat 2016

2.3.5 Wind en watertemperatuur

Vanuit de meteorologie zijn er enkele factoren die het voorkomen van blauwalgen en quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer direct en indirect kunnen beïnvloeden. Hierbij moet er gedacht worden aan turbulentie door golfwerking, instraling van licht en de watertemperatuur. Turbulentie heeft effect op het voorkomen van de quaggamosselen doordat deze bedekt kunnen raken onder slib, zand of organisch materiaal. Verder hangt (blauw)algenbloei sterk samen met de watertemperatuur en lichtintensiteit.

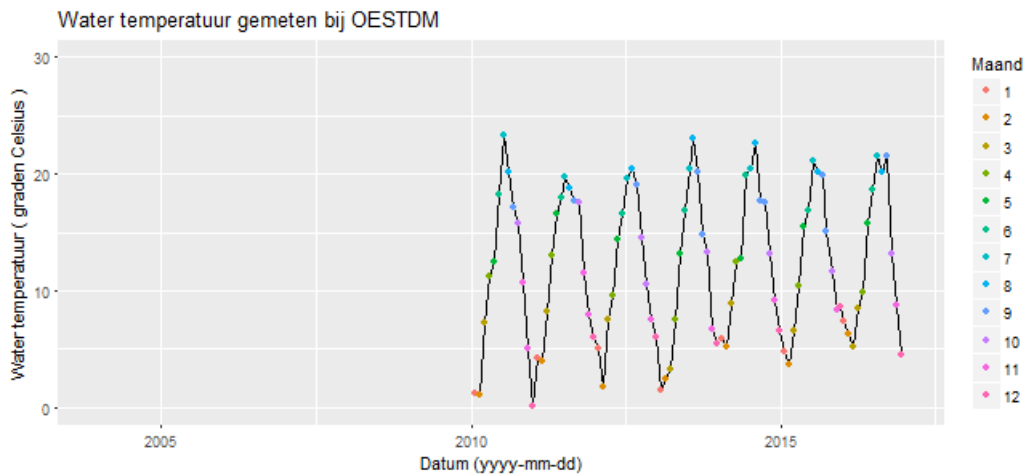
Voor turbulentie door wind wordt er voornamelijk een effect verwacht in het Krammer-Volkerak. In het Zoommeer wordt de langst mogelijke strijklengte te kort geacht (~4 km) en de bodem te diep (gemiddeld ~7m diep) om voor sterke opwerveling te zorgen. Daarnaast vormen de Speelmansplaten een blokkade voor de wind. In het Krammer-Volkerak wordt een langst mogelijke strijklengte van ~25 km behaald, is de bodemdiepte relatief ondiep (gemiddeld ~5m diep) met veel aanliggende ondiepe zandplaten. Daarnaast is de langste strijklengte in zuidwestelijke richting en dit is de meest overheersende windrichting.



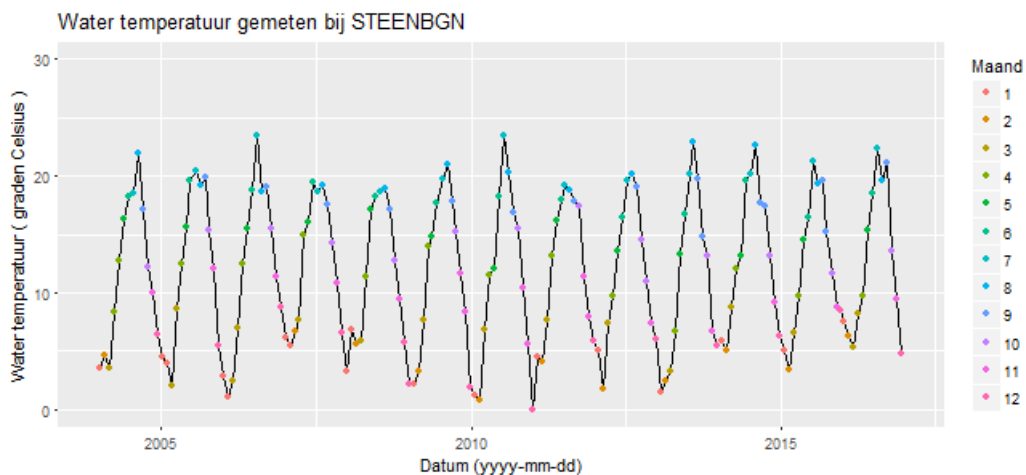
Figuur 2.25 Langste strijklengte benadering voor het Zoommeer en het Volkerakmeer. Deze strijklengte wordt aangegeven met de zwarte pijl. Tevens is de bodemdpte (BASELINE) en de fractie lutum in de mosselmetingen van het jaar 2013 weergegeven.

Wanneer we naar de ruimtelijke verdeling van de lutummetingen kijken zien we dat deze voornamelijk voorkomen in de diepere gedeelten. Hierdoor lijkt het erop dat het slib wordt afgevangen in de diepe delen en hier waarschijnlijk niet of in mindere mate wordt opgewerveld. Mogelijk wordt dit slib toch nog opgewerveld door scheepsbewegingen en het effect van de sloopschroef, echter worden hierbij geen sterke jaar op jaar verschillen verwacht en blijft de vaarroute op een vaste plek liggen.

In de watertemperatuur zijn geen sterke jaar op jaar variaties te zien. Wel is op te merken dat de temperatuur in de winter van de jaren 2013 t/m 2016 niet meer sterk is uitgezakt onder de 4 graden Celsius grens wat mogelijk duidt op mildere winters, die hun effect kunnen hebben gehad op het metabolisme en het recruitmentsucces van de schelpdieren (Figuur 2.26 & Figuur 2.27). Voor driehoeksmosselen is het bekend dat bij 4 graden of hoger de mosselen blijven filteren, ongeacht of er voedselaanbod is of niet. Hier kan dit leiden tot vermagering van de mosselen en een toename in sterfte en een verminderde groei en reproductie tot gevolg hebben (Reeders & Bij de Vaate, 1990).



Figuur 2.26 Watertemperatuur zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 zijn er geen metingen verricht.



Figuur 2.27 Watertemperatuur zoals bemeaten bij Steenbergem.

2.3.6 Stratificatie

In het kader van de TSO metingen is ook het Volkerak-Zoommeer meegenomen. Hieruit zijn de jaren 2014 t/m 2016 geanalyseerd. Deze TSO metingen worden maandelijks (en soms tweemaal per maand) genomen vanaf een schip door het diepte profiel. In bijlage F zijn de eerste maandelijks metingen weergegeven. Zoals te zien is wordt overal maandelijks de saliniteit bemeaten. De temperatuur is alleen weergegeven daar waar de saliniteit duidt op stratificatie. En opvolgend is ook het zuurstofgehalte alleen weergegeven waar stratificatie te zien is.

Uit deze gegevens blijkt dat er tussen 7 en 10 meter diepte stratificatie optreed door saliniteit in het Volkerak en tussen 7 en 18 meter diepte voor het Zoommeer. Dit is in enige mate terug te zien in het temperatuurverschil over de diepte in het Volkerak, maar in sterke mate in het Zoommeer, voornamelijk in de maanden juni t/m september. Ook is dit terug te zien in het zuurstofgehalte dat in het Volkerak tijdens de zomermaanden (juni t/m september) de kritische waarde van 4 mg/l kan onderschrijven. Voor het westen van het Volkerak is dit moeilijk te bepalen omdat hier alleen zuurstofmetingen hebben plaatsgevonden in het jaar 2016 tijdens de maand juli.

In het Zoommeer en specifiek het Bergse Diep vindt deze zuurstofloosheid sterker plaats. Daar is een constante onderschreiding van 4 mg/l gemeten van juli tot oktober. In 2016 hield dit zelfs aan tot in december.

2.4 Samenvattend systeemoverzicht op basis van data-analyse

De statistische analyse van de blauwalgendata van het meetpunt Steenberg en Oesterdam toont geen toenemende trend aan. Visueel geeft de data wel de indruk van een oplopende trend, vooral wanneer alleen de data na de introductie van de quaggamossel wordt bekeken, maar dit hoeft niet terecht te zijn. Mogelijk zijn de jaren 2012 en 2016 uitschieters. Toekomstige metingen zullen hier bepalend zijn. Dit wordt ondersteund door de *chlorofyl-a* metingen waarin geen toe- of afname te zien is. De cyano-chlorofyl metingen, die zijn uitgevoerd nabij de inlaat van de Binnenschelde, konden niet voor deze data-analyse worden gebruikt.

De soortensamenstelling van de algen lijkt in eerste opzicht gelijk gebleven wanneer de relatieve verhouding van de groepen blauwalgen ten opzichte van niet-blauwalgen en ongeïdentificeerde algen wordt beschouwd. Wanneer naar specifieke blauwalgsoorten wordt gekeken is te zien dat waar voor 2011 de blauwalgensamenstelling divers was met soorten uit het genus *Dolichospermum* (voorheen *Anabaena*) spp., *Aphanizomenon* spp., *Aphanocapsa* spp., *Cyanodictyon* spp. en *Merismopedia* spp., na 2011 alleen *Microcystis* spp. en *Aphanothece* spp. worden teruggevonden in het Volkerak-Zoommeer. Hiervan overheerst *Microcystis* spp. sterk in abundantie. Ook zijn de blauwalgenpieken in de tijd opgeschoven: waar deze eerder ook nog in april t/m juni voorkwamen zijn deze bij de meetpunten Steenberg en Oesterdam verdwenen. De groeipieken lijken na 2008 vooral verplaatst naar de maanden juli, augustus en september.

De filtratie van mosselen lijkt een sterk effect gehad te hebben op de algenabundantie. Na de introductie van de quaggamosselen is zowel bij de meetpunten Steenberg en Oesterdam de algenabundantie afgenomen en komen groenalgenpieken nagenoeg niet meer voor. Uit berekeningen van Ysebaert & Walles (2017) blijkt dat de mosselen voldoende filtercapaciteit kunnen hebben om in ieder geval het Krammer-Volkerak frequent genoeg te filteren om de algen te onderdrukken. In 2011, 2012 en 2015 zijn de mosselabundanties in het Volkerak relatief hoog. Echter in de jaren 2010, 2014 en 2016 is de abundantie lager en neemt de filtratie druk af. In 2016 is er ook een verschuiving in de lengteklassen te zien, waaruit het blijkt dat vooral jongere mosselen (6 mm-18 mm) zijn afgenomen. Deze effecten zijn terug te zien in de gemeten chlorofyl-a-concentratie en doorzicht bij Steenberg, maar dit is niet te relateren aan de absolute abundantie van algen.

Er is geen aanwijzing dat er predatie plaats vindt op de quaggamosselen door vogels of vissen en dat dit heeft geleid tot een trendmatige afname. Wel zijn er vanuit Bij de Vaate e.a. (2016) aanwijzingen dat slib een negatief effect uitoefent op het voorkomen van de mosselen. Waar dit slib vandaan komt is onduidelijk, in het Volkerak is dit mogelijk opgewerveld vanaf de waterbodem door windwerking aangezien de strijklengte op de overheersende windrichting relatief lang is voor de diepte van de waterbodem. Andere mogelijkheden zijn dat dit slib vanuit de aanvoer komt en uitzakt in het Volkerak-Zoommeer, dat dit wordt opgewerveld door scheepsschroeven of afkomstig is vanaf de slikken en schorren. Overigens neemt het relatieve aandeel mosselen sterk af met de diepte, terwijl de mossel veel dieper kan voorkomen. Dit kan samenhangen met het voedselaanbod vanuit algen door een beperkte fotosynthetische zone vanwege het doorzicht (ongeveer 6 meter) in combinatie met de stratificatie die op deze diepte op enkele maanden op kan treden.

Naast voedseltekort kan de stratificatie ook tot zuurstofloosheid leiden (ongeveer 7 meter). Doordat de waterplanten pas na het verbeteren van het doorzicht zijn gaan toenemen is het zeer waarschijnlijk dat de Quagga de waterplanten hierdoor positief heeft beïnvloed. Het is onbekend of deze waterplanten competitie hebben van de algen voor nutriënten of van de mosselen voor habitat.

Voor de nutriënten geldt dat de gemeten concentraties vrijwel nooit zo laag zijn dat deze als limiterend kunnen worden beschouwd. Op basis van de metingen is het echter niet te zeggen of er op andere locaties ook geen sprake is van nutriëntenlimitatie. Metingen duiden op een interne bron van ortho-fosfaat, welke eerder is geïdentificeerd als nalevering vanuit de bodem.

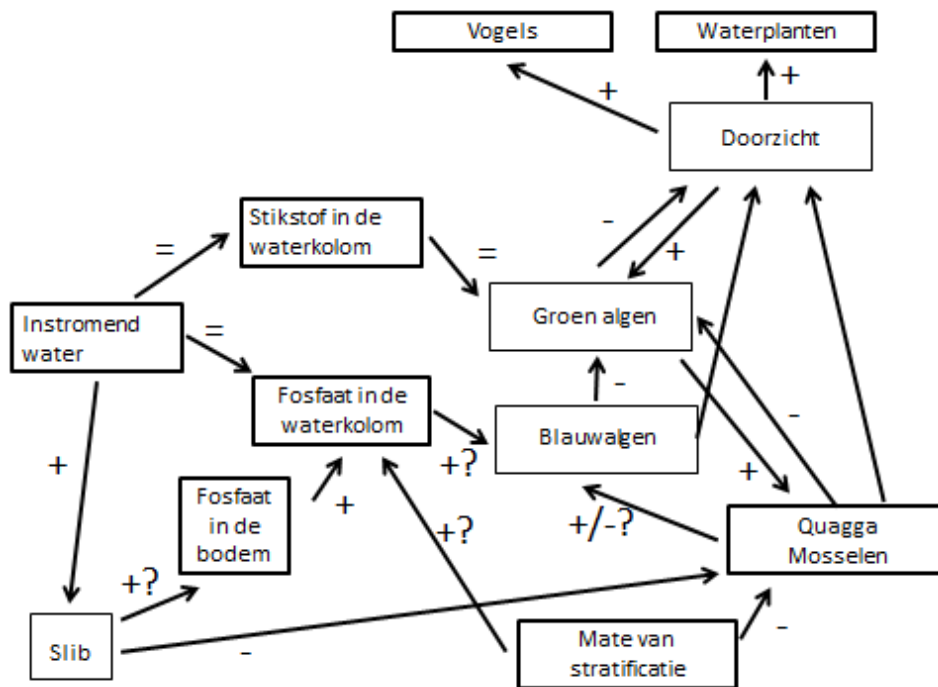
Het is opvallend dat in de overgang van de jaren waarin volgens de abundantiemetingen geen sterke blauwalgenbloei plaatsvond (2008 t/m 2013) naar de jaren waarin deze weer lijkt toe te nemen (2014 t/m 2016) tevens de wintertemperatuur is veranderd. Deze is sinds de winter van 2013 - 2014 boven de 4 graden gebleven. Echter is het onbekend hoe dit een effect zou kunnen hebben op de blauwalgenbloei.

Er zijn meerdere theorieën die de abundantiepieken van blauwalgen kunnen ondersteunen.:

1. *De relatieve abundantie van Microcystis* is toegenomen. Blauwalgen hebben in vergelijking met andere fytoplanktonsoorten een hoge groeisnelheid onder lage lichtintensiteiten en kan hierdoor vaker dan de andere soorten aan de mosselgraas ontsnappen (i.e. sneller groeien dan dat deze door de mosselen uit het water gefilterd worden).
2. Een mogelijke verklaring van de relatieve toename van *Microcystis* zou kunnen liggen aan de soortspecifieke selectie van de mosselen. Zoals Amerikaans onderzoek ook al eerder aantoonde vertonen Quagga's een (tot op zekere mate) negatieve selectie voor de *Microcystis* soorten en hierdoor kunnen deze aan de filtratie ontsnappen. Voor de Nederlandse quaggamosselen is nog niet bewezen dat deze selectie inderdaad plaatsvindt.
3. Doordat er veranderingen in de populatie van de quaggamosselen plaatsvinden (zowel in abundantie als in lengteklassen) varieert de filtratiecapaciteit van de mosselen over de jaren en hiermee de mate waarop algen gefilterd worden. De variatie in mosselpopulatie is dus mogelijk een verklaring voor de variatie in blauwalgenbloeien. De filtratiecapaciteit is op dit moment echter lastig te bepalen en onzeker doordat soortspecifieke informatie ontbreekt. Vooralsnog lijken de veranderingen in de mosselpopulatie te variëren rond een gemiddelde en is er geen op- of neerwaardse trend te ontdekken..
4. Door het afsterven van waterplanten in het najaar (eind augustus – september) komen er nutriënten beschikbaar die door de (blauw)algen gebruikt worden om een snelle groei te veroorzaken. Voorwaarde hiervoor is echter dat de algen nutriëntengelimiteerd zijn, waarvoor de data geen aanleiding geven.

Er vindt een fosfaalnalevering uit de waterbodem plaats en deze nalevering wordt versterkt door stratificatie. Dit proces is ook omschreven in De Vries & Postma (2013) waar wordt gesteld dat deze nalevering mogelijk wordt versterkt door een afname van de geoxideerde bodemlaag. Een hoge aanwezigheid van nitraat in de bodem kan dit tegen gaan. Echter is de nalevering met $0,5 \text{ g P/m}^2/\text{jaar}$ relatief laag n verhouding tot de externe belasting van P geschat op $0,8 \text{ g/m}^2/\text{jaar}$. De gestratificeerde waterkolom zou er echter voor kunnen zorgen dat deze nalevering zich ophoopt in het hypolimnion en pas nadat de stratificatie zich opheft beschikbaar komt voor de algen.

Deze hypothesen leiden tot het volgende systeem-overzicht voor de interactie van blauwalgen, quaggamosselen en overige factoren (Figuur 2.28). Aan de hand van deze hypothesen kan gevalideerd worden of het model het systeem kan beschrijven en waar mogelijk verder onderzoek benodigd is om beter inzicht te krijgen in de invloeden op de de blauwalg- en de quaggamossel populaties.



Figuur 2.28 Systeemoverzicht dat de (potentiele) effecten op de blauwalgen en quaggamosselen populatie voor het Volkerak-Zoommeer beschrijft. Hierbij staat de +) voor een positief effect, -) voor een negatief effect, =) voor dat dit effect niet sterk meespeelt en ?) voor de onzekerheid waarmee dit effect geassocieerd is.

3 Deel B: Modelvalidatie

3.1 Modeluitbreiding 2014-2016

In 2016 is er een nieuw hydrodynamisch- en waterkwaliteitsmodel opgezet voor het Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2016 A). In dit nieuwe model is in het kader van beheer, onderhoud en ontwikkeling van waterkwaliteitsmodelschematisaties van Rijkswaterstaat het verouderde, bestaande 2D waterkwaliteitsmodel uitgebreid tot een 3D waterkwaliteitsmodel dat primaire productie en graas door mosselen beschrijft. Een belangrijke aanleiding hiervoor was dat mosselen in de afgelopen jaren tot een belangrijke factor in het Volkerak-Zoommeer zijn uitgegroeid.

In dit nieuwe model zijn de jaren 2011 t/m 2013 gemodelleerd en heeft de kalibratie plaatsgevonden (Deltares, 2016 A). Hierbij is er voor het hydrodynamische model gekalibreerd op saliniteit en temperatuur en voor het waterkwaliteitsmodel is het effect van graas door mosselen op de algenmassabalans geanalyseerd en de mate waarin het model nitraat, ammonium, fosfaat, silicaat, zuurstof, chlorofyl-*a* en extinctie voorspelt.

Het doel van de modelvalidatie is om het bestaande model uit te breiden naar recentere jaren (2014-2016) en om vervolgens te beoordelen in hoeverre het model in staat is en/of geschikt is om de door Rijkswaterstaat geformuleerde vragen uit §1.2 te kunnen beantwoorden.

In Deltares (2016 A) is een vergelijking gemaakt tussen het model met en zonder mosselen. In deze validatie ligt de focus op de blauwalgenbloei en is enkel het model gedraaid inclusief mosselen.

Voor de modeluitbreiding naar de jaren 2014 t/m 2016 zijn de meteorologie, debieten, watertemperatuur, saliniteit en lozingen aangepast. De overige modelinstellingen en parameters zijn identiek gehouden aan de modelopzet. Een uitgebreide modelbeschrijving kan worden gevonden in Deltares (2016 A). Als initiële condities zijn de eindwaarden gebruikt van de modelrun van 2013.

De in de vorige studie gedane aanbevelingen voor verbeteringen zijn nog niet meegenomen in de huidige modeluitbreiding. Er heeft geen (her)kalibratie plaatsgevonden. Wel worden de modelresultaten opnieuw gevalideerd. Doordat de meetgegevens voor de nieuwe jaren niet zijn gebruikt voor kalibratie, is dit een onafhankelijke validatie.

Voor de volledigheid worden de aanbevolen modelverbeteringen hier vermeld :

- de meteorologie in plaats van meetstation Vlissingen naar meetstation Woensdrecht voornamelijk vanwege de wind;
- het toevoegen van een zoutlek via Bath of de Bergsche diepsluis;
- het soort specifiek maken van de mosselgraasmodule voor de quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer;
- verder onderzoeken van de afwijking van silicium en nitraat in het model ten opzichte van metingen en
- het verbeteren van de fosfaatnalevering door ofwel gemeten waarden op te drukken of verder onderzoek te doen naar de nalevering van fosfaat.

De mosselen in het model worden gemodelleerd als homogene mosselpopulatie en hierin wordt geen onderscheid gemaakt in leeftijdsklassen en schelpgroottes. Tevens zijn de filtratie, groei en mortaliteit van de mosselpopulatie ontleent aan de Driehoeksmossel.

3.2 Modelvalidatie 3D hydrodynamica

De validatie van de resultaten wordt zoveel mogelijk op dezelfde manier ingestoken als in de eerdere studie. De aanpak en achterliggende argumenten zijn beschreven in Deltares (2016 A) en worden hier slechts deels herhaald.

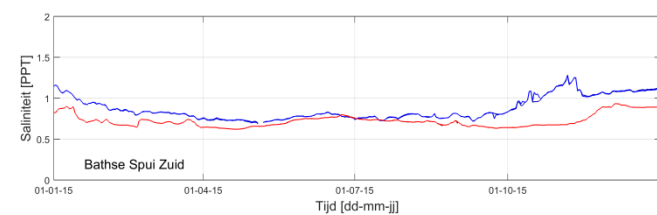
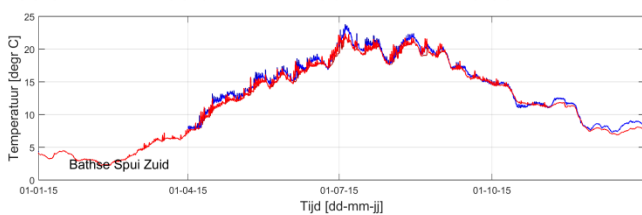
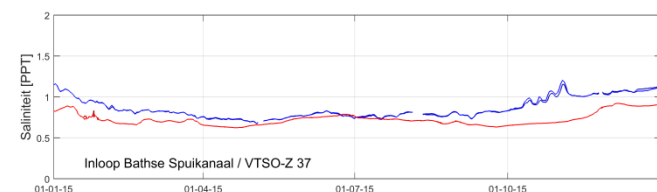
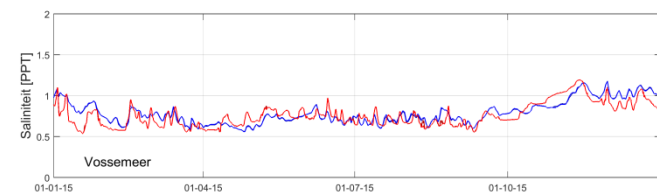
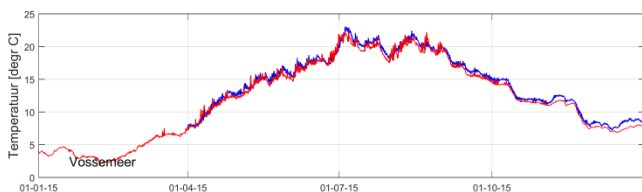
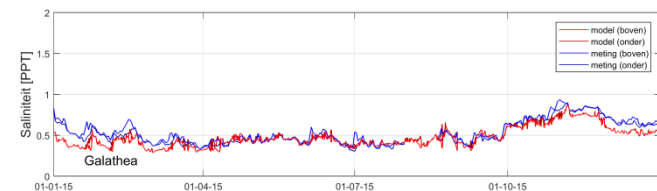
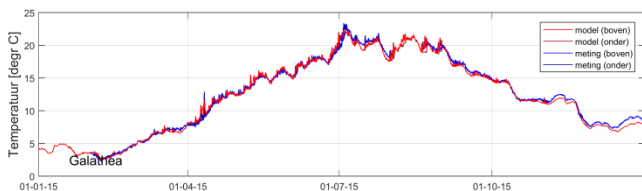
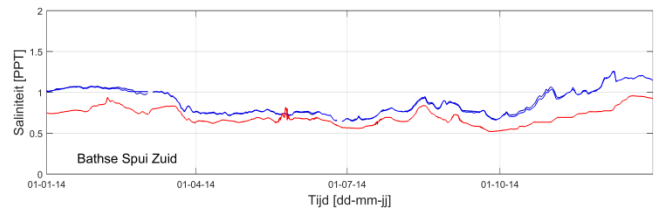
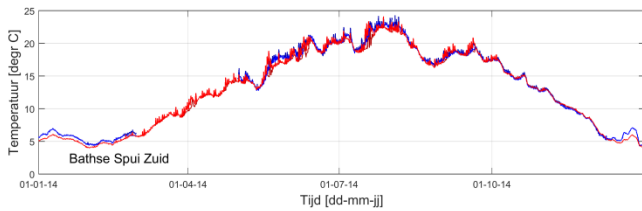
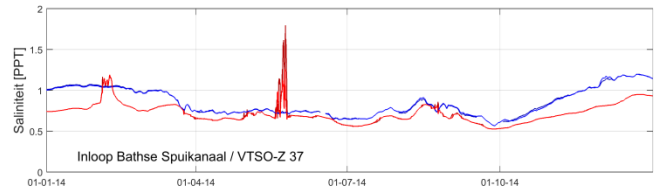
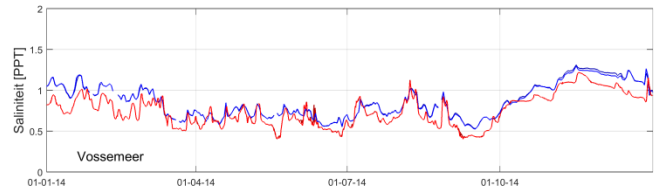
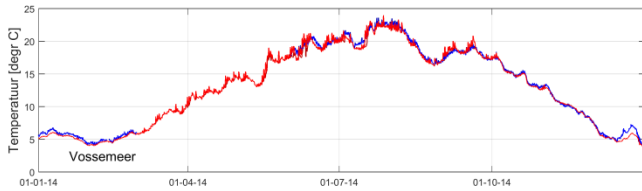
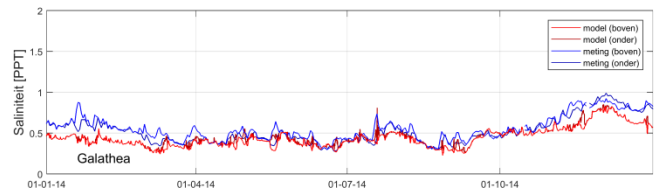
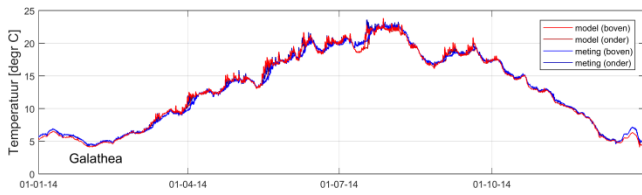
De validatie van het hydrodynamisch model is gebaseerd op chlorideconcentratie en watertemperatuur. Beide variabelen samen bepalen de mate van stratificatie en daarom is temperatuur als hulpvariabele geïdentificeerd. De gemodelleerde temperatuur wordt ook gebruikt bij de aansturing van alle biologische processen die worden gemodelleerd.

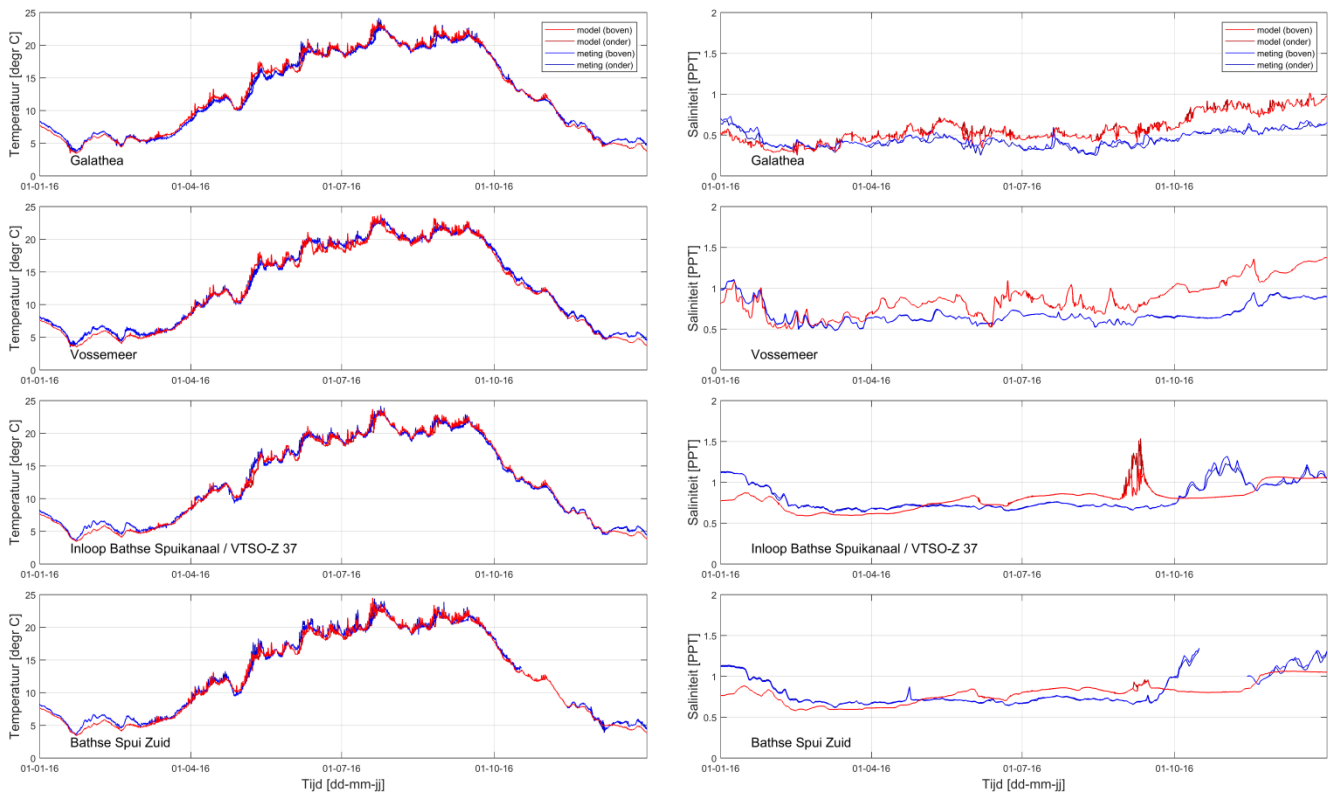
Voor de validatie van watertemperatuur en chloridegehalte (zout, saliniteit) zijn twee datasets gebruikt:

- Tijdsreeks voor Galathea, Vossemeer en Bathse brug
- VTSO-metingen Krammer-Volkerak (diepte-profielen)

De vergelijking van het model en de metingen voor de tijdsreeks zijn weergegeven in Figuur 3.1. De overeenkomst van de berekende en de gemeten temperatuur is goed, de overeenkomst voor de saliniteit is redelijk tot goed in het Krammer-Volkerak en Vossemeer maar het model onderschat de metingen in het zuidelijk deel van het model bij Bath. Dit is overeenkomstig met de resultaten voor de periode 2011-2013. De onderschatting in het zuidelijke deel werd gewijd aan het ontbreken van een zoutbron die niet kan worden gecompenseerd door het (verder) verhogen van de zoutlek bij de Krammersluizen. Het advies, om een in volgende versie van het model de zoutflux op twee plaatsen in het model in te brengen, blijft dus nog steeds staan.

Met de resultaten van het hydrodynamisch model is ook een vergelijking gemaakt voor temperatuur en chloride met de gemeten waarden op de overeenkomstige VTSO meetlocaties. Dit geeft een indruk van de verspreiding van zout en temperatuur in de diepte langs de twee hoofdassen van het systeem (Oost-West: VTSO 1-16 en Noord-Zuid: VTSO 27-38). Gedurende de jaren 2014, 2015 en 2016 is er niet altijd voor elke VTSO meetlocatie data voorhanden. In dat geval worden wel de simulatieresultaten getoond. In Appendices I t/m N staan achtereenvolgens de temperatuur- en chloridefiguren per jaar.





Figuur 3.1 Jaarlijkse tijdserie van berekende en gemeten watertemperatuur (links) en zoutgehalte (rechts) in de bovenlaag voor drie jaren (van boven naar beneden resp. 2014-2015-2016) voor vier stations in het Volkerak - Zoommeer (Galathea, Vossemeer, Bathse Spuikanaal en Bathse Spuisluis)

3.3 Modelvalidatie 3D waterkwaliteit, primaire productie en schelpdieren

De metingen die gebruikt zijn om de modelresultaten op het gebied van waterkwaliteit mee te vergelijken zijn (net als in de vorige studie) afkomstig van de MWTL meetpunten Oesterdam en Steenberg. De beschikbare data voor de concentraties van nitraat, ammonium, totaal stikstof, fosfaat, totaal fosfaat, silicaat, chlorofyl-a en zuurstof en de achtergrondextinctie tussen 2013 en 2016 zijn afkomstig van live.waterbase.nl. Aangezien de metingen bij het wateroppervlak uitgevoerd worden, zijn de gemeten waarden vergeleken met de waarden in de bovenste waterlaag van het model. De resultaten worden gepresenteerd als tijdseries en targetdiagrammen.

Over het algemeen vertonen de modelresultaten van de recentere jaren (2014-2016) zeer vergelijkbare patronen met die van de vorige periode (2011-2013).

3.3.1 Nitraat

De gemodelleerde nitraatwaarden komen goed overeen met de gemeten waarden. Opvallend ten opzichte van de vorige periode (2011-2013) is dat het verschil tussen metingen en modelresultaten beduidend kleiner is geworden. In de vorige periode lagen de gemeten winterconcentraties hoger dan de gemodelleerde waarden. De oorzaak voor dit tekort aan nitraat in het model werd gewijd aan een te lage toelevering van NO_3 vanuit de rivieren, en niet aan biogeochemische processen. Mogelijk is de toelevering in het model voor de recente jaren meer in overeenstemming met de werkelijkheid.

3.3.2 Ammonium

Ammonium is een zeer dynamische stof en daardoor lastig te modelleren. Aangezien de invloed van deze stof op het systeem verwaarloosbaar is ten opzichte van de NO_3 concentratie is het afdoende wanneer de trend van deze stof redelijk overeenkomt met de metingen. Dit is ook in de recente jaren (2014-2016) het geval.

3.3.3 Fosfaat

De PO_4 concentraties in het najaar worden onderschat door het model. Dit komt overeen met de modelresultaten voor de voorgaande periode (2011-2013). De hoofdoorzaak van deze onderschatting is de PO_4 nalevering uit de bodem die niet in het model zit. Net als in de voorgaande periode is er voor gekozen om hier niet voor te compenseren. Dit is geen probleem voor het verdere systeemfunctioneren, aangezien het systeem niet of nauwelijks fosfaat gelimiteerd is. Dit is onder andere terug te zien in de gemodelleerde PO_4 concentraties, die vrijwel niet meer teruglopen tot nul, zelfs nog minder dan in de vorige jaren. De uitzonderingen hierop zijn de momenten waarop de algen tot een snelle bloei komen en gedurende een korte periode aan de mosselgraas weten te ontkomen (zie Figuur 3.4 en Figuur 3.5). Voor het huidige Volkerak-Zoommeer model betekent dit dat de fosfaathuishouding van het Volkerak-Zoommeer geen sturende factor is voor de aanwezigheid van de algen.

3.3.4 Silicaat

De silicaatgehaltes van het systeem volgen de groei en sterftemomenten van de diatomeeën: de bloei van diatomeeën gaat gelijk op met de daling van het in de waterkolom aanwezige silicaat. In de huidige (begrasde) modelsituatie is de hoeveelheid silicaat die is vastgelegd in de hoeveelheid algen klein en wordt de gemodelleerde hoeveelheid silicaat flink overschat. Bovendien neemt de silicaatconcentratie over de hele periode toe. Deze mismatch werd ook gevonden in de vorige periode (2011-2013) en is mogelijk te verklaren doordat de belasting van silicaat voor een aantal (Brabantse) bronnen ontbrak, en er voor die belastingen een (mogelijk foute) inschatting is gemaakt.

3.3.5 Zuurstof

De gemodelleerde waarden voor zuurstof bij de MWTL meetpunten komen goed overeen met de gemeten waarden. De verticale zuurstofprofielen laten zien dat de VTSO zuurstof metingen over het algemeen goed overeenkomen met de gemodelleerde waarden (zie Bijlage R, S en T). De berekende periodes van stratificatie zouden nog langer en intensiever mogen zijn om een nog betere fit met de metingen te krijgen. Daarvoor is een nog sterkere stratificatie nodig.

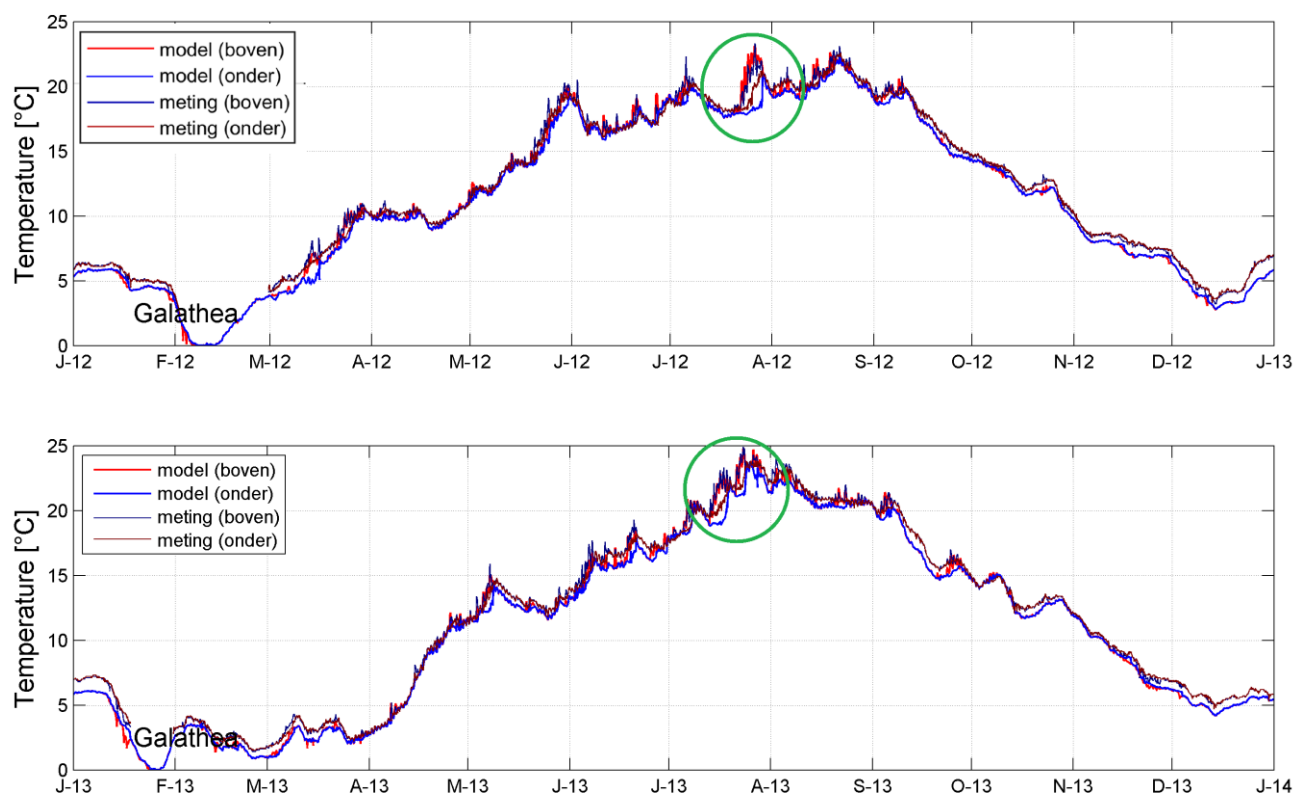
3.3.6 Chlorofyl-a

De chlorofyl-a gehalten van de recentere jaren (2014-2016) benaderen de metingen goed. Net als in de voorgaande periode (2011-2013) zijn de chlorofyl-a concentraties over het algemeen laag (~ 5 $\mu\text{g/L}$), en is er in de periode augustus tot en met oktober een kort moment waarin de algen in de begrasde modellen tot een bloei komen. Dit duidt erop dat de huidige situatie zich vlakbij een omslagpunt tussen algendominantie en mosseldominantie bevindt.

Zoals uitgebreid beschreven in Deltares (2016 A), is de timing van het moment waarop de gemodelleerde algen aan de grazers weten te ontsnappen gerelateerd aan momenten van stratificatie. De berekende chlorofyl-*a* pieken zijn iets lager ($\sim 20 \mu\text{g/L}$) dan in de voorgaande periode ($30\text{-}50 \mu\text{g/L}$), wat duidt op iets kortere of minder geprononceerde stratificatie momenten. Wel is er in de recentere jaren geen uitgesproken verschil tussen oppervlakte en bodemtemperatuur terug te vinden zoals dat wel duidelijk het geval was bijvoorbeeld in de zomers van 2012 en 2013 (Figuur 3.2).

Het model laat, net als in de voorgaande periode, een hoge diversiteit in algensoorten zien. Een hogere soortendiversiteit is kenmerkend voor systemen met een lage biomassa en hoge specifieke groeisnelheden. Een klein verschil is wel dat in de voorgaande periode de bloeipieken met name uit groenalgen bestonden, terwijl in de nieuwe periode de pieken voor ongeveer de helft ook uit *Microcystis* bestaan. Blijkbaar gaat de afname in piekconcentraties van chlorofyll-*a* samen met een verandering in soortensamenstelling. Het lijkt erop dat de hierboven beschreven verandering in stratificatie een voordeel biedt aan *Microcystis*.

In de limitatiegrafieken is terug te zien dat, vergelijkbaar met de voorgaande periode, de algen in het groeiseizoen vrijwel alleen groei-gelimiteerd zijn (worden weggegeten door de quaggamosselen), en in de winter licht-gelimiteerd. Een hele korte fosfaat limitatie komt enkel nog in 2014 voor, aan het einde van de algenpiek. Dit is dus nog minder dan in de voorgaande periode, omdat de piekconcentraties van de algen in de recente periode over het algemeen iets lager zijn.

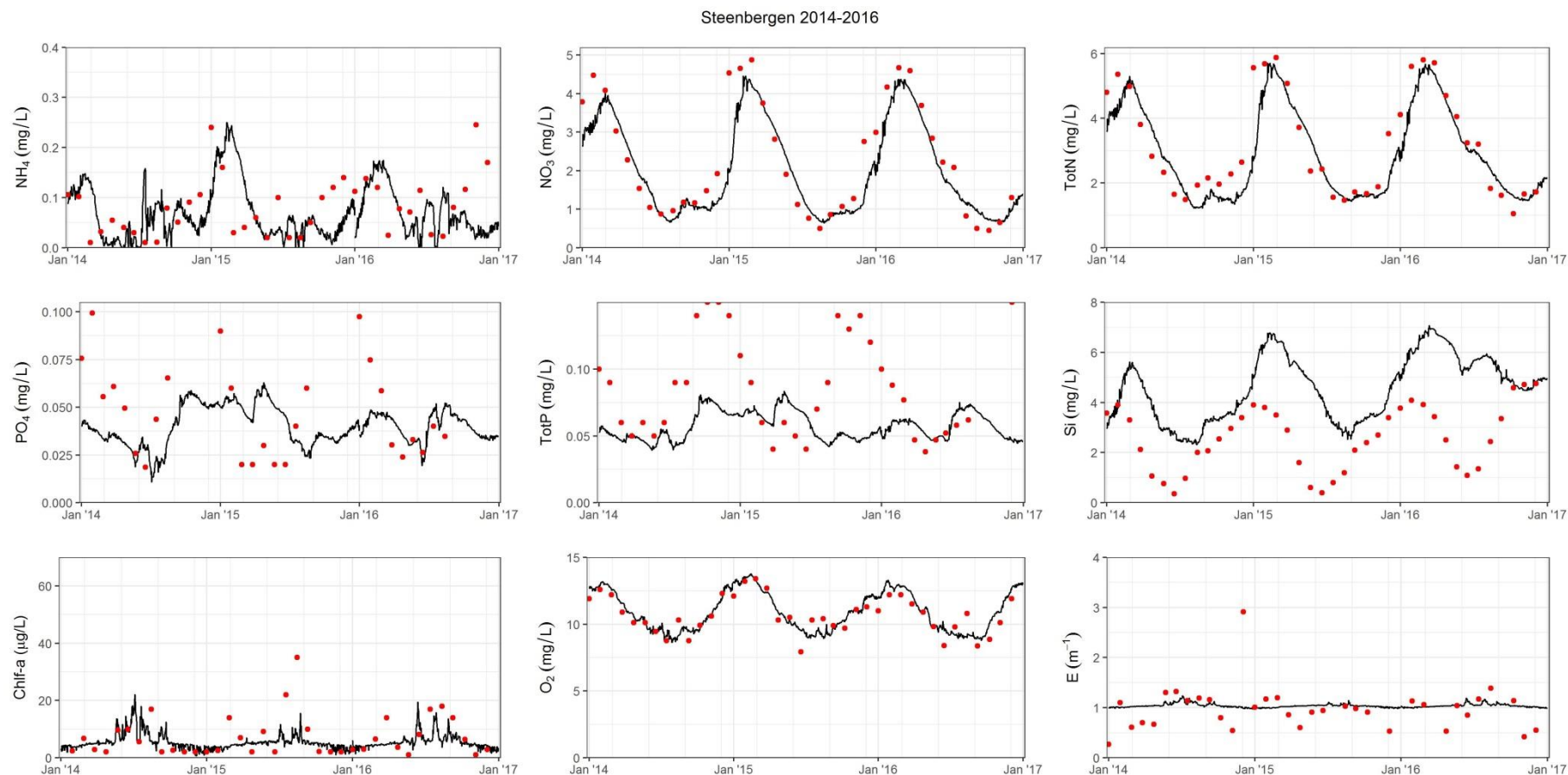


Figuur 3.2 Tijdsreeksen van berekende en gemeten watertemperatuur in de boven- en onderlaag voor Galathea in 2012 en 2013. In de groene cirkels vindt een uitgesproken stratificatiemoment plaats zowel in de metingen als in de modelresultaten, wat zich uit in een verschillende temperatuur in de onder- en bovenlaag. Een dergelijk uitgesproken stratificatiemoment is niet terug te vinden in de recentere jaren (2014-2016). Let op dat de legenda is gecorrigeerd ten opzichte van de oorspronkelijke figuren.

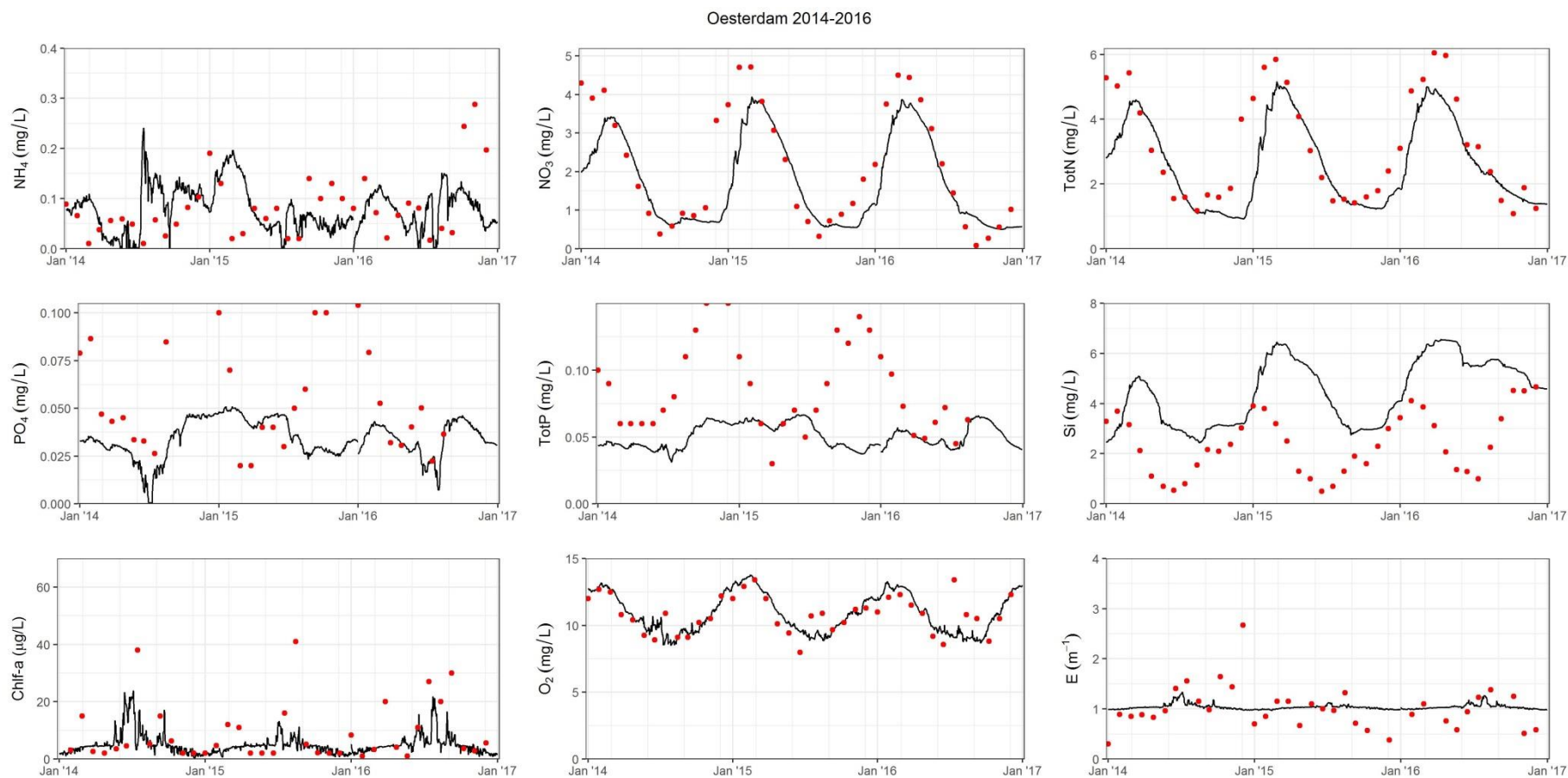
3.3.7 Uitdoving van licht (extinctie)

De totale extinctie hangt van verschillende componenten af zoals de aanwezigheid van zwevend stof, fytoplankton, overig organisch materiaal etc. Uit de metingen blijkt dat de bijdrage van niet aan algen gebonden componenten in het Volkerak-Zoommeer weinig seizoensdynamiek vertoont, al lijken de metingen uit de recente jaren (2014-2016) iets meer dynamiek te vertonen dan die uit voorgaande jaren (2011-2013). Voor de modellering is voor een eenvoudige opzet gekozen waarbij zwevend stof en overig organisch materiaal (humus) niet expliciet worden meegenomen. In plaats daarvan is de achtergrond extinctie gekalibreerd op 0.9 m⁻¹. Hiermee komt de gemodelleerde totale extinctie goed overeen met de gemeten waarden, met name tijdens de zomermaanden waarin algenbloeien optreden.

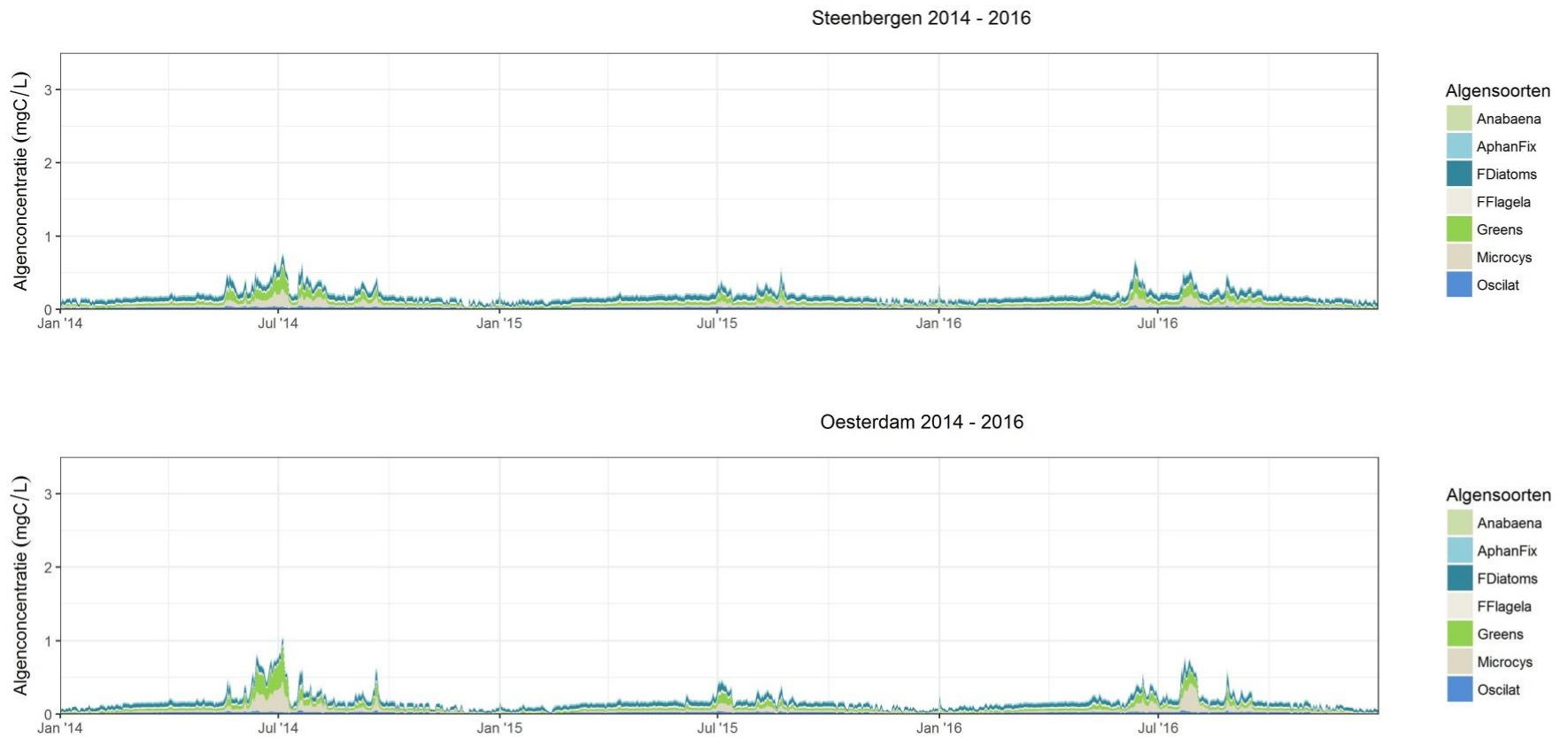
Hieronder komen heel veel grafieken waar in de tekst niet naar verwezen is. Figuren en tabellen moeten in de tekst altijd een verwijzing hebben, liefst in de tekst voordat je bij de figuur op tabel aankomt.



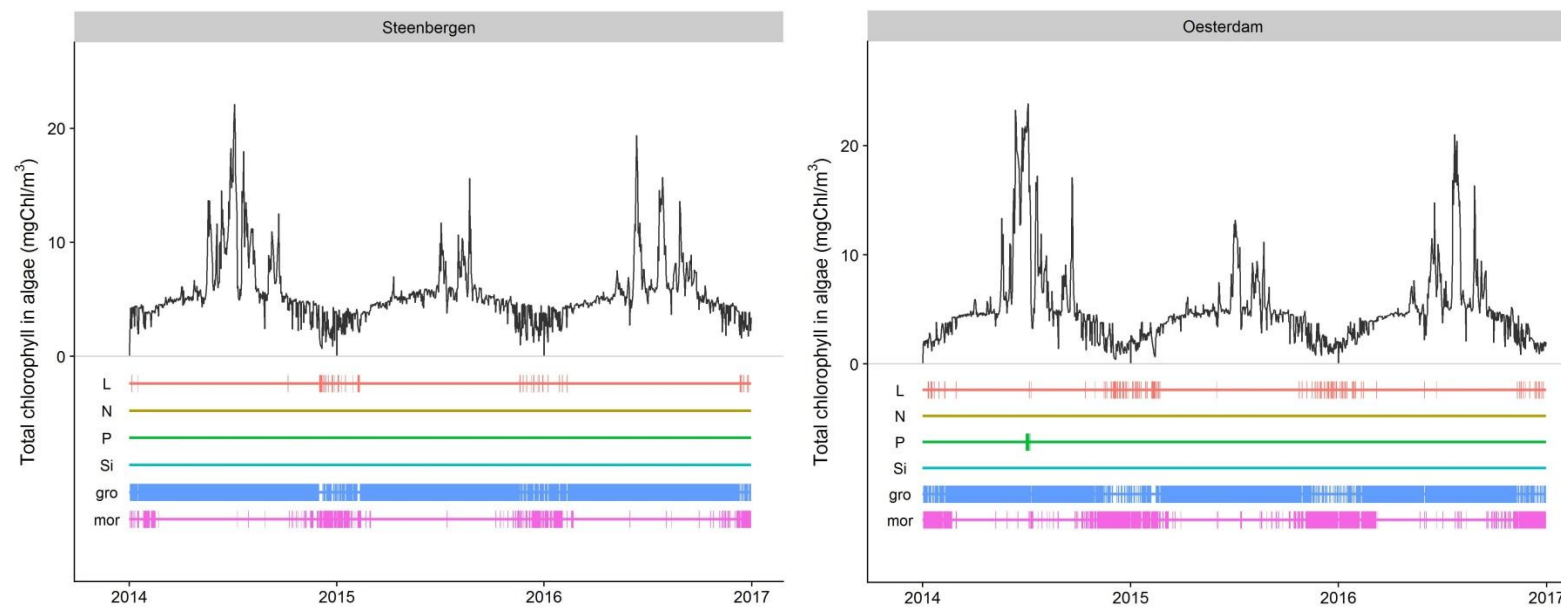
Figuur 3.3 Gemeten en gemodelleerde stoffenconcentraties bij het meetpunt Steenberg in 2014, 2015 en 2016. Van links naar rechts en van boven naar onder: NH_4 , NO_3 , Totaal N, PO_4 , Totaal P, Si, chlorofyl-a, O_2 en E. De zwarte lijnen zijn de model resultaten met mosselen en de rode stippen geven de gemeten waarden weer.



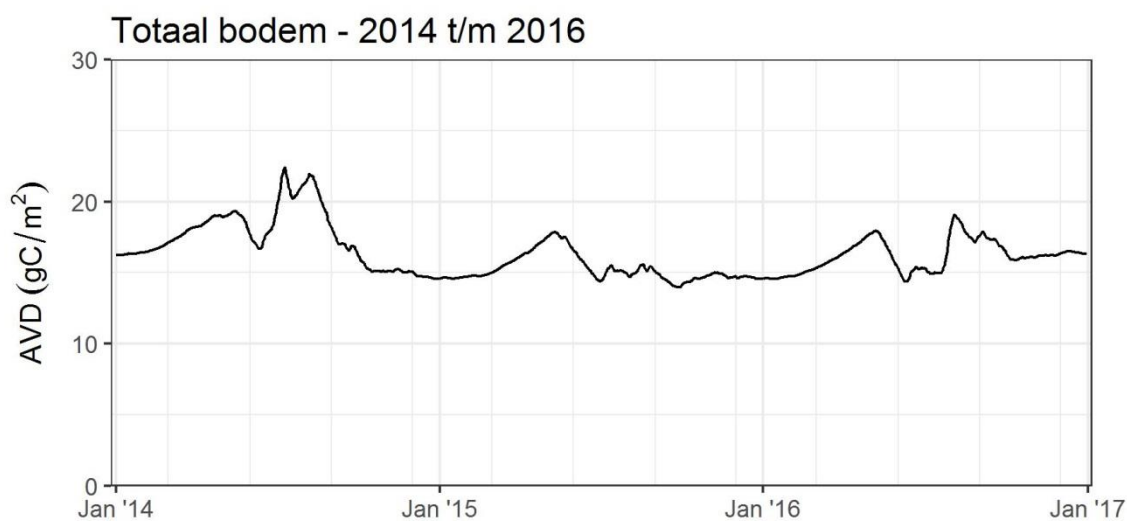
Figuur 3.4 Gemeten en gemodelleerde stoffenconcentraties bij het meetpunt Oesterdam in 2014, 2015 en 2016. Van links naar rechts en van boven naar onder: NH_4 , NO_3 , Totaal N, PO_4 , Totaal P, Si, chlorofyl-a, O_2 en E. De zwarte lijnen zijn de model resultaten met mosselen en de rode stippen geven de gemeten waarden weer.



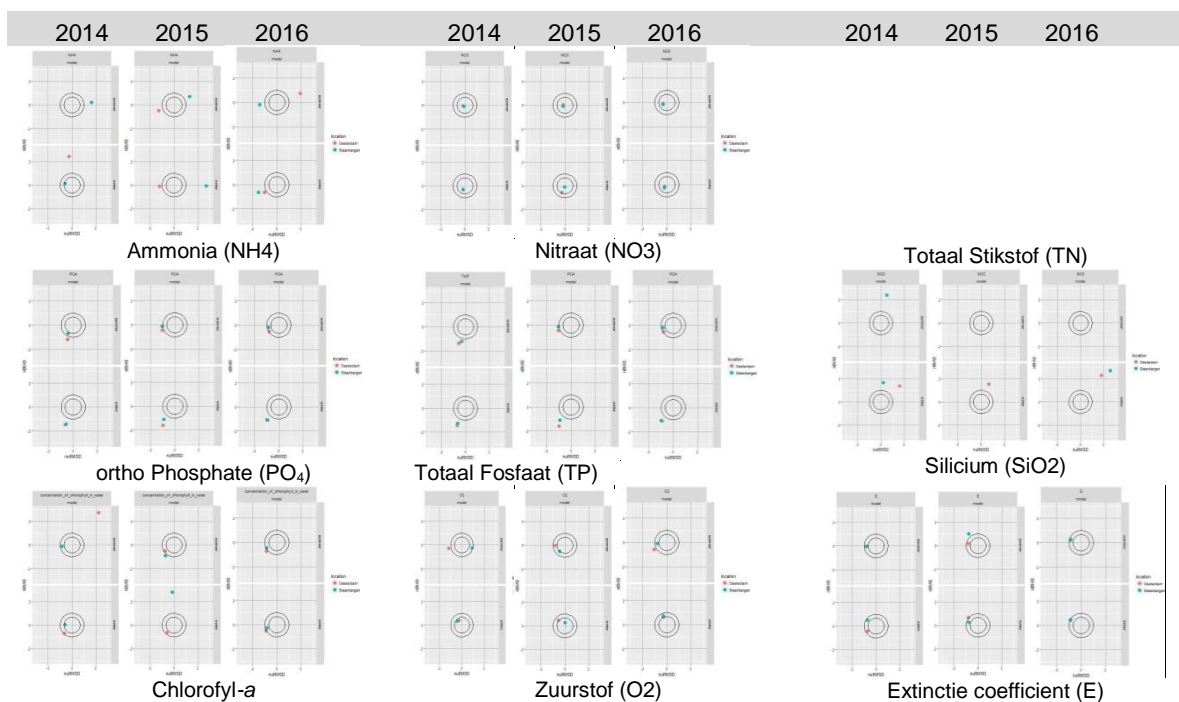
Figuur 3.5 Algensamenstelling per soort in mgC/l voor de algengroei voor het model met begrazing voor de meetpunten Steenbergen en Oesterdam in 2014, 2015 en 2016.



Figuur 3.6 Limiterende factoren voor de algengroei in de meetpunten Steenberg en Oesterdam in 2014, 2015 en 2016. De lijn toont de chlorofyl-a concentratie van alle algen in mg/m₃) met daaronder de limiterende factoren (L = Licht, N = stikstof, P = fosfor, Si = silicium, gro = groei, mor = mortaliteit).



Figuur 3.7 Gemiddelde gemodelleerde asvrijdrooggewichten(AVD) van quaggamosselen in gC/m² van de totale bodem tussen 1 januari 2014 en 1 januari 2017.



Figuur 3.8 Target diagrammen (Los en Blaas, 2009) van de vergelijking tussen model en gemeten stoffenconcentraties bij meetpunten Steenberg (rood) en Oesterdam (blauw) in zomer (bovenste) en winter (onderste) van 2014, 2015 en 2016. Van links naar rechts en van boven naar onder: NH₄, NO₃, Totaal N, PO₄, Totaal P, Si, chlorofyl-a, O₂ en E. Punten binnen de binnenste cirkel kwalificeren als goed, binnen de buitenste cirkel als redelijk en buiten de buitenste cirkel als matig.

3.4 Mosselen

De gemodelleerde mosselen (Figuur 3.7) blijven in de recente jaren (2014-2016) hetzelfde seizoenspatroon volgen als in voorgaande jaren (2011-2013). Wel is de (gemiddelde en piek) biomassa iets lager dan in de voorgaande periode. Dit is een direct gevolg van de lagere gemodelleerde algenconcentraties.

3.5 Samenvattend systeemoverzicht op basis van modelresultaten

Uit de modelresultaten (Figuur 3.3, Figuur 3.4, Figuur 3.5, Figuur 3.6, Figuur 3.7, Figuur 3.8) blijkt dat het model voor de recente jaren (2014-2016) zich zeer vergelijkbaar gedraagt als in de voorgaande jaren (2011-2013). De validatie laat zien dat de ook de modelfit grotendeels vergelijkbaar is met die periode (Figuur 3.3, Figuur 3.4, Figuur 3.8). Dit betekent dat er in de modelresultaten geen grote verschillen te zien zijn tussen de twee periodes.

Een klein verschil is wel dat de piekconcentraties van chlorofyl-*a* in de recente jaren iets lager uitvallen (Figuur 3.5, Figuur 3.6). Een verklaring hiervoor zou kunnen liggen in de iets kortere of minder geprononceerde stratificatiemomenten. De afname in piekconcentraties van chlorofyl-*a* gaat in het model samen met een andere soortensamenstelling tijdens de piekbloei (meer *Microcystis*) en een iets lagere mosselbiomassa.

Modelresultaten laten verder zien dat mosselgraas, net als in de voorgaande jaren, verreweg de meest bepalende factor is voor de gemodelleerde algengroei (Figuur 3.6). De gemodelleerde algen zijn vrijwel nooit nutriëntengelimiteerd. In de winter zijn er ook korte periodes dat licht limiterend is, echter wordt er op dit moment gezien het seizoen geen groei verwacht. Dit is niet alleen het geval in de twee meetlocaties (Steenbergen en Oesterdam), maar ook in de rest van het model (dit is gecheckt op basis van de ruimtelijke modeluitvoer).

4 Deel C: Kennisbijeenkomst data-analyse en modelresultaten

4.1 Aanleiding

Op 8 februari 2018 heeft een kennisbijeenkomst plaatsgevonden waarbij de resultaten van de data-analyse en de modellering zijn besproken. De bijeenkomst had tot doel om met een bredere groep aan experts naar de data-analyse en modelresultaten te kijken en deze te spiegelen aan kennis en veldwaarnemingen. Bij deze bijeenkomst waren deelnemers RWS, Deltares, WMR en Staatsbosbeheer aanwezig. Andere deelnemers die niet aanwezig konden zijn, konden schriftelijk op de presentaties reageren. Een presentielijst en aantekeningen van deze workshop zijn opgenomen in bijlage O.

4.2 Discussie

De volgende punten werden bediscussieerd:

- De visuele waarnemingen uit het veld geven aan dat de laatste twee jaren meer blauwalgen zijn gezien, dan in de jaren daarvoor. De haven van Ooltgensplaat wordt als indicatie gezien. Een verklaring voor de toename de laatste jaren is er nog niet.
- De meetpunten Steenberg en Oesterdam zijn niet representatief voor het Volkerak-Zoommeer doordat ze blauwalgenbloeien in de ruimte en tijd niet goed kunnen waarnemen. De maandelijkse meetfrequentie kan pieken missen.
- Momenteel worden er vluchten en patrouilles uitgevoerd om blauwalgenbloeien waar te nemen. Hiervoor is geen consistente manier om deze informatie op te nemen. Ook de klachten die binnen komen rond blauwalgen zijn moeilijk interpreteerbaar en worden nog niet op een consistente manier genoteerd. Ook is de vraag hoe de intensiteit van blauwalgen die gefotografeerd worden te vertalen is naar kwantitatieve informatie.
- De opkomende blauwalgen die in het IJsselmeergebied gevonden worden zijn kenmerkend voor voedselarme systemen. *Microcystis* is kenmerkend voor een voedselrijk systeem. De nutriëntenconcentraties in het Volkerak-Zoommeer liggen ongeveer een factor 3 hoger dan in het IJsselmeer. Nutriëntenlimitatie is dus niet waarschijnlijk. Mogelijk kan er wel op plekken waar veel waterplanten voorkomen competitie voor nutriënten met de (blauw)algen plaatsvinden. Dit kan door de vaste meetlocaties Steenberg en Oesterdam niet bemeten worden. Interessant zou zijn om te analyseren hoever de nutriënten teruggebracht moeten worden om de blauwalgen te limiteren.
- Blauwalgendrijflagen worden vooral waargenomen bij Ooltgensplaat en laatste tijd ook weer bij Tholen. De last hiervan is in de recente jaren weer toegenomen. De drijflagen vormen plakkaten tegen de oever bij aanlandige wind. Hier is het vermoeden dat er eerst een luwe periode moet zijn om de blauwalgen te laten drijven en hierna enige wind om de blauwalgen op te stuwen en richting land te transporteren. Bij een heftige wind is de verwachting dat de blauwalgen weer mengen met de waterkolom.

Deze relaties zijn ook beschreven in het drijfslagvoorspellingsmodel EWACS (Ibelings et al., 2003). Hiervoor zou het interessant zijn om de windstatistiek te vergelijken met de blauwalg jaren.

- Er is meer soort specifieke informatie nodig rond de quaggamossel. Hierdoor zouden filtratieschattingen aannemelijker zijn en kan de mosselpopulatie beter meegenomen worden in het waterkwaliteitsmodel. Hiermee kan mogelijk ook antwoord gegeven worden op de vraag of quaggamosselen Microcystis uit het water filtreren. Bij voorkeur worden deze proeven specifiek ingericht op de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer.
- Mogelijk wordt het instromende debiet in het huidige waterkwaliteitsmodel verkeerd meegenomen doordat slechts van twee van de vier buizen in de Volkeraksluis het debiet wordt bemeaten.
- Mogelijk is het Volkerak-Zoommeer toch minder goed gemengd dan altijd is aangenomen (Deltares, 2016B). Dit zou effect kunnen hebben op de bereikbaarheid van algen voor de quaggamosselen en de ruimtelijke waterkwaliteit.

4.3 Enkele conclusies

Vanuit de kennisbijeenkomst kwamen de volgende conclusies naar voren:

- Er is interesse om te kijken hoe satellietdata en slimmere monitoringstechnieken kunnen bijdragen in een beter ruimtelijk overzicht op blauwalgenbloei binnen het Volkerak-Zoommeer.
- Er dienen metingen aan groei, filteratiecapaciteit en invloed van externe variabelen verricht te worden om de soortspecifieke eigenschappen van de quaggamossel te achterhalen. Bij voorkeur toegepast op het Volkerak-Zoommeer.
- De data-analyse kan uitgebreid worden door:
 - o de windstatistiek en het effect op de blauwalgenbloei te analyseren;
 - o de quaggamossel filtratiecapaciteit analyse te herhalen met soortspecifieke informatie.
- Het waterkwaliteitsmodel kan potentieel verbeterd worden door:
 - o het effect van wind op de blauwalgenbloei verder uit te werken;
 - o de opname van nutriënten door waterplanten mee te nemen;
 - o soortspecifieke informatie van quaggamosselen (groei, filteratie en habitat) in het model op te nemen.
 - o er dient een tracerstudie uitgevoerd te worden om de heterogeniteit van het Volkerak-Zoommeer te bepalen. Hiervoor kan de studie Deltares (2016 B) een basis vormen. In de Sloterplas is met behulp van een tracerstudie onderzocht of de algen door de mosselen konden worden gefilterd (pers. comm. L.M. Dionisio Pires).

5 Deel D: Samenbrengende discussie, conclusies en aanbevelingen

5.1 Antwoorden op de vragen

Op basis van de data- en modelanalyse beantwoorden we hier de vragen gesteld in de inleiding.

1. Is de blauwalgenbloei in het Volkerak-Zoommeer in de recente jaren is toegenomen?

De geanalyseerde meetpuntdata geeft geen statistisch bewijs voor een toenemende trend in de periode 2008-2016. In Steenberg en Oesterdam lijkt door een lager dan gemiddelde meting in 2012 en een hoger dan gemiddelde meting in 2016 deze toename wel visueel aanwezig te zijn. Statistisch wordt dit niet als een trend geïnterpreteerd. Het meest aannemelijke wat op basis van de beschikbare data gezegd kan worden is dat de hoeveelheid blauwalgen over de periode 2008-2016 stabiel is met een variatie soms naar beneden (2012) en soms naar boven (2016). De reden voor dergelijke afwijkingen is niet duidelijk.

De chlorofyl-*a* concentratie op de meetlocaties Steenberg en Oesterdam is eveneens stabiel en relatief laag (5 mg/m³). Het aandeel van de blauwalgen in de chlorofyl-*a* –metingen is onbekend, omdat blauwalgen over het algemeen een lagere chlorofyl:koolstof ratio hebben dan bijvoorbeeld groenalgen.

Het model berekent in de validatieperiode 2014-2016 wel meer blauwalgen dan in de kalibratieperiode 2011-2013 (zie ook volgende vraag). Het model laat een kleine afname van de piekconcentraties van totaal chlorofyl-*a* zien in de recentere jaren.

In de kennisbijeenkomst komt naar voren dat de waarnemingen in het veld wel duiden op een toename van blauwalgen in de laatste twee jaren 2016 en 2017. Mogelijk wordt deze toename niet gemeten doordat de twee meetstations niet genoeg ruimtelijke spreiding en metingen in de tijd verzorgen.

2a. Is er een verschuiving in soortensamenstelling van algenbloei waar te nemen? Zo ja, zijn deze verschuivingen te verklaren?

De algensoortensamenstelling lijkt gelijk gebleven wanneer de relatieve verhouding van de groepen blauwalgen ten opzichte van niet-blauwalgen en niet-geïdentificeerde algen wordt beschouwd. In 2012 en 2013 is het aandeel blauwalgen lager dan gemiddeld. De reden is niet bekend. *Microcystis* is de dominante blauwalgensoort gedurende de periode 2004-2016. Andere soorten vertonen enige verschuivingen. Voor 2011 worden soorten uit het genus *Dolichospermum spp.*, *Aphanizomenon spp.*, *Aphanocapsa spp.*, *Cyanodictyon spp.* en *Merismopedia spp.* gevonden. De opkomende blauwalgensoorten in het IJsselmeergebied (*Cyanodictyon sp.*, *Aphanothece sp.* en *Aphanocapsa sp.*) worden ook in het Volkerak-Zoommeer waargenomen, maar niet in grote hoeveelheden.

Microcystis spp. is kenmerkend voor voedselrijke systemen en de overige benoemde soorten worden vooral gevonden in voedselarme systemen. Op basis van de gemeten nutriëntenconcentraties is het Volkerak-Zoommeer gedurende de hele periode voedselrijk geweest, wat de dominantie van *Microcystis* kan verklaren.

Ook in het model is sprake van een (zij het kleine) verandering in relatieve soortensamenstelling: tijdens de piekbloei is er in de recente jaren meer *Microcystis* aanwezig dan in voorgaande jaren. Dit lijkt samen te hangen met een (eveneens kleine) verandering in stratificatiegedrag. Blijkbaar kan het model een relatieve toename van *Microcystis* voorspellen op basis van hydrodynamische en meteorologische verschillen en zijn hier niet per se andere mechanismen voor nodig.

2b. Is er een verschuiving in de seizoenen en jaren? Zo ja, zijn deze verschuivingen te verklaren?

Uit de data blijkt dat de blauwalgenpieken in de tijd zijn opgeschoven: waar deze voor 2008 nog in april t/m juni voorkwamen zijn deze perioden bij de meetpunten Steenberg en Oesterdam verdwenen. De groeipieken lijken vooral verplaatst naar de maanden juli, augustus en september. Een verklaring voor de verschuiving is nog niet voorhanden, maar uit bijlage D lijkt dit niet alleen te wijten aan een verschuiving in soortensamenstelling.

Het model laat geen verschuivingen van de algenbloei in de tijd zien. Ook suggereren de modelresultaten dat er geen sprake is van nutriëntenlimitatie. In de workshop wordt ook geconcludeerd aan de hand van de metingen bij Steenberg en Oesterdam dat de algen niet nutriëntgelimiteerd zijn. Mogelijk kan er echter lokaal wel nutriënt limitatie optreden door concurrentie met waterplanten. Dit wordt momenteel nog niet in het model meegenomen. Aan de hand van deze informatie is de theorie dat de sterfte van waterplanten of nalevering vanuit de ondergrond als mogelijke oorzaak van de blauwalgenbloei minder aannemelijk.

3. Is er een relatie tussen de nutriëntenaanvoer naar het Volkerak-Zoommeer en de mate van algenbloei?

Voor de nutriënten geldt dat de gemeten concentraties vrijwel nooit zo laag zijn dat deze als limiterend kunnen worden beschouwd. Op basis van de metingen is het echter niet te zeggen of er op andere locaties ook geen sprake is van nutriëntenlimitatie.

Het model geeft, net als de data, geen aanleiding om te veronderstellen dat de algen nutriëntengelimiteerd zijn. Niet in de gemeten locaties, maar ook niet in de rest van het systeem. Hiermee vervalt in principe de nutriëntenaanvoer als mogelijke oorzaak van de blauwalgenbloei.

4. Is er na doorspoeling in 2016 een verandering zichtbaar in de metingen?

Door de hogere doorspoeling in januari en februari is er minder water doorgespoeld in de zomermaanden. In 2016 is er enige toename in het ortho-fosfaat te zien en dit hangt mogelijk samen met de verminderde aanvoer van nutriëntarm water in de winter. Hoewel 2016 afwijkt naar hogere abundantiewaarden van blauwalgen, is het niet waarschijnlijk dat dit te wijten is aan de extra doorspoeling (en minder doorspoeling in de zomerperiode) doordat nutriënten niet limiterend zijn voor de algengroei. Het effect dat de extra doorspoeling op de quaggamosselen heeft is onbekend. De populatie is te variabel en het effect van een jaar te klein om deze effecten te scheiden.

5. Kan de blauwalgenbloei in het Volkerak-Zoommeer in de recente jaren aan de hand van berekeningen met het verbeterde waterkwaliteitsmodel worden verklaard, rekening houdend met de via tellingen verkregen biomassa's van quaggamosselen?

Het hydrodynamica model reproduceert de temperatuur- en chloridemetingen. Bij het Bathse Spuikanaal wijkt chloride af door een waarschijnlijk zoutwaterlek dat momenteel niet is opgenomen in het model. Het waterkwaliteitsmodel geeft goede resultaten voor totaal stikstof, nitraat en ammonium. Voor totaal fosfaat en silicium wijkt het model af. Voor totaal fosfaat is er een overschatting in de zomer. Voor silicaat is er een continue overschatting. Omdat het Volkerak-Zoommeer niet nutriënt gelimiteerd is, blijft de voorspellende waarde van het model voor primaire productie goed. Chlorofyl-a pieken worden door het model goed gereproduceerd. Het model laat geen significante toename in blauwalgen zien in de gemodelleerde jaren. Doordat het model geen algenabundantie berekent, is het modelresultaat niet direct te vergelijken met de metingen. Beide kunnen aan de hand van literatuur naar koolstof vertaald worden, maar dit valt buiten de mogelijkheid van deze studie.

Data suggereren dat de filtratie van mosselen een sterk effect heeft op de algendynamiek. Na de introductie van de mosselen rond 2008 is bij de meetpunten Steenberg en Oesterdam zowel de chlorofyl-a concentratie als de algenabundantie afgenomen en komen groenalgenpieken nagenoeg niet meer voor.

Uit berekeningen van Ysebaert & Walles (bijlage E) op basis van mosseltellingen blijkt dat de mosselen inderdaad voldoende filtercapaciteit kunnen hebben om in ieder geval het Volkerak frequent genoeg te filteren om de algen te onderdrukken. De mosseldichtheden in het Volkerak variëren echter per jaar en ook is er in 2016 een verschuiving in de lengte klassen te zien, waaruit het blijkt dat vooral jongere mosselen (6 mm-18 mm) zijn afgenomen. Van een duidelijke trend in mosselbiomassa is vooralsnog echter geen sprake. Wel is duidelijk dat variaties in filtercapaciteit van invloed kunnen zijn op de algendynamiek. Het is niet duidelijk wat de variaties in de mosselpopulatie veroorzaakt. Dit kunnen variaties in predatiedruk zijn, maar kan eventueel ook te maken hebben met ziektes, parasieten of lokale verstikking door slib. Het is van belang om deze factoren beter in kaart te brengen, en om te onderzoeken hoe groot hun invloed is op de algendynamiek.

De modelresultaten laten in de recentere jaren (2014-2016) een iets lagere mosselbiomassa zien dan in voorgaande periode (2011-2013). Dit wordt veroorzaakt door de afname van de piekconcentraties van chlorofyl-a ten opzichte van eerdere jaren. De afname in mosselbiomassa in het model is hier het gevolg, en niet de oorzaak, van de verandering in algenbloei. De gemodelleerde mosseldynamiek komt nog niet overeen met de mosseldynamiek in de metingen. Een toename van mosselen zoals gemeten in 2015 is niet terug te zien in de modelresultaten. Om dit beter in het model te reproduceren kan de invloed van extern-gedreven variaties in mosselmortaliteit en recruitment succes worden getest door deze te variëren in het model. Daarbij lijkt ook de populatie opbouw van belang, en zou het aan te bevelen zijn dit verder te verkennen door de gemodelleerde homogene mosselpopulatie te vervangen door verschillende leeftijdsklassen. Het is echter aan te raden om de mosselmodellering eerst op andere fronten te verbeteren. Zo zouden de parameterwaarden eerst soortspecifiek moeten worden gemaakt en de gemodelleerde biomassa meer overeenkomstig met gemeten biomassa's. Ook kan een ruimtelijke vergelijking van de gemodelleerde mosseldichtheden met de gemeten dichtheden inzicht geven in de habitatfactoren die van belang zijn.

6. Welke monitoringsgegevens ontbreken nog voor een optimale modelkalibratie?

De grootste beperking van de huidige modelkalibratie en -validatie is de beperkte ruimtelijke en temporele resolutie van de metingen. Er zijn twee meetpunten waarop nutriënten, slib, en chlorofyl-a worden gemeten. Dit maakt het bijvoorbeeld lastig om hard te maken dat er ook in de rest van het systeem geen sprake is van nutriëntenlimitatie. Ook vinden de metingen slechts 1x per maand plaats. Dit is onvoldoende om grip te krijgen op hoogdynamische variabelen zoals slib, chlorofyl-a en de aanwezigheid van blauwalgen.

5.2 Discussie en aanbevelingen

5.2.1 Blauwalgen

Om vast te stellen of er echt sprake is van een trendmatige toename van blauwalgen moeten de blauwalgentellingen worden gecontinueerd in de komende jaren. Aangezien de blauwalgenbloeien zich lijken te verschuiven naar het eind van de zomer, is het aan te bevelen de tellingen ook in de nazomermaanden weer op te pakken. Daarnaast moeten de cel tellingen (abundanties) worden omgezet naar biomassa (koolstof, chlorofyl-a of AFDW). Dit is een betere indicator voor blauwalgenbloeien of -plagen, en maakt de data beter vergelijkbaar met de modelresultaten.

Voor de verbetering van het model is het van belang dat er metingen met een hogere ruimtelijke en temporele resolutie worden gedaan. In discussie met RWS lijkt dit niet haalbaar door middel van meerdere meetlocaties en de vraag is of dit de ruimtelijke spreiding biedt die gezocht wordt. Mogelijk kunnen moderne monitoringstechnieken zoals remote sensing (satelliet data, drones en spectrale camera's) hier een oplossing bieden.

5.2.2 Mosselen

Er is nog steeds veel onbekend over de quaggamossel. De belangrijkste hiervan is de vraag in hoeverre Quaggas selectief kunnen filteren om *Microcystis spp* en *Aphanothece spp* te vermijden. Het is aan te bevelen hier nader (experimenteel) onderzoek naar te doen. Parallel daaraan kan er een verkennend onderzoek worden gedaan naar het effect van selectieve graas op blauwalgen om de blauwalgenbloeien te begrijpen.

Daarnaast is het van belang om inzicht te krijgen wat de variaties in mosselpopulatie veroorzaakt, met name als het gaat om extern-gedreven variaties in mosselmortaliteit (predatie, ziekte, verstikking, etc.) en recruitment succes (overleving, settling, wintertemperatuur, etc.). De invloed van deze extern-gedreven variaties kan worden getest in het model. Daarbij lijkt ook de populatie opbouw ook van belang, en zou het aan te bevelen zijn dit verder te verkennen door de gemodelleerde homogene mosselpopulatie te vervangen door verschillende leeftijdsklassen. Het is echter aan te raden om de mosselmodellering eerst op andere fronten te verbeteren. Zo zouden de parameterwaarden eerst soortspecifiek moeten worden gemaakt en de gemodelleerde biomassa meer overeenkomstig met gemeten biomassa's. Ook kan een ruimtelijke vergelijking van de gemodelleerde mosseldichtheden met de gemeten dichtheden inzicht geven in de habitatfactoren die van belang zijn.

5.2.3 Nutriënten

Zowel data als model geeft geen aanleiding om te veronderstellen dat nutriënten limiterend zijn voor de algengroei. Het zou echter goed zijn om dit verder te verifiëren middels metingen op andere locaties dan de gebruikelijke meetpunten, bijvoorbeeld in ondieptes, rond waterplanten, of daar waar gewoon veel sprake is van blauwalgenbloeien. Een ruimtelijkbeeld verkregen uit satelliet data kan ook hierbij helpen.

Het model zelf kan worden verbeterd door verder onderzoek naar de afwijking van silicium en nitraat in het model ten opzichte van metingen en door het verbeteren van de fosfaatnalevering.

5.2.4 Doorzicht

Doordat de processen van het toenemen van waterplanten en enkele vogelsoorten (meerkoet, aalscholver) tegelijk plaatsvonden met de opkomst van de quaggamosselen is het moeilijk te bepalen wat oorzaak en gevolg is. Het is echter wel duidelijk dat de quaggamosselen voor helderder water gezorgd hebben wat zowel waterplanten als vogels positief heeft beïnvloed. Of waterplanten vervolgens een negatief effect hebben op de algenconcentraties (bijvoorbeeld door concurrentie om nutriënten en licht) is ook moeilijk te bepalen door de veelheid aan processen en interne feedbacks. Deze factoren kunnen worden onderzocht middels het model, maar daarvoor zouden eerst zowel waterplanten als de invloed van Quagga's op doorzicht moeten worden meegenomen.

5.2.5 Hydrodynamica

De hydrodynamica van het model kan worden verbeterd door de meteorologie te baseren op meetstation Woensdrecht, in plaats van op meetstation Vlissingen, voornamelijk vanwege de wind. Daarnaast zou het toevoegen van een zoutlek via Bath of de Bergsediepsluis de gemodelleerde zoutconcentraties in het zuidelijke deel van het model aanzienlijk verbeteren.

5.3 Reflectie op het proces van data en kennis

In de gerapporteerde studie zijn data, informatie uit beschikbare rapporten, modellering, systeemkennis van het Volkerak-Zoommeer en proceskennis van blauwalgen en quaggamosselen gecombineerd. Met kennis wordt hier bedoeld de impliciete kennis en ervaring die bij mensen gedurende jaren hebben opgebouwd, maar niet (per se) op papier is vastgelegd, en nu als expert judgement kunnen inzetten. Hieronder vallen bijvoorbeeld ook de visuele veldwaarnemingen en observaties die niet in standaard databases zoals het MWTL zijn te vinden.

Deze aanpak van het bijeenbrengen van data, informatie en kennis past in de recente initiatieven om kennismanagement van de watersystemen te organiseren. Wanneer alleen in individuele projecten gewerkt wordt, die door verschillende partijen worden uitgevoerd en waar soms de nodige tijd tussen zit, is een gedeelde kennisbasis niet vanzelfsprekend en is continuïteit beperkt. In het kader van Kennismanagement Zuidwestelijke Delta – een initiatief vanuit de regiegroep Onderzoek en Monitoring – wordt gewerkt aan het opzetten van kenniscommunities, waarin kennis gedeeld, geborgd en gezamenlijk afgestemd gaat worden.

De hier gerapporteerde studie is in dit licht als proef gezien. We willen tot slot van dit rapport graag een positieve ervaring en twee leerpunten benoemen:

- De interactie tussen mensen met verschillende kennis en achtergrond zoals tijdens de kennisbijeenkomst heeft veel meerwaarde. Aanbevolen wordt om zo'n bijeenkomst niet alleen aan het eind, maar ook aan het begin van een studie uit te voeren. De organisatie van dergelijke bijeenkomsten kan als relatief kostbaar gezien worden, zeker als deelnemers voor hun tijd vergoed moeten worden. De hoeveelheid kennis en informatie die zo ingebracht en verzameld wordt, is daarentegen groot. Via uitsluitend een literatuurstudie of internetzoektocht kan zo'n volledigheid niet gerealiseerd worden, waardoor de kwaliteit van de studie uiteindelijk minder zal zijn. Het verdient daarom aanbeveling om een kenniscommunity voor – in dit geval – het Volkerak-Zoommeer operationeel te hebben.
- Het verzamelen, controleren en verwerken van data en informatie kost relatief veel tijd. Deze tijd gaat af van de uiteindelijke data-analyse. Het is bekend dat iedere studie opnieuw met het probleem zit dat hiervoor relatief veel tijd nodig is. Om dit in de toekomst te voorkomen zou een vast format waarop de data wordt aangeleverd, een kwaliteitskeurmerk bij het uitleveren van de data en een beschrijving rond de onzekerheden van de data uitkomst bieden. Dit zou dan gestandaardiseerd kunnen worden bij dataleveranties, zodat kennis van de experts standaard bij de gebruiker terecht komt en niet afhankelijk is van te leggen connecties. Hiervoor zou grootschalige analyse van de data nog steeds noodzakelijk zijn, maar ingericht in hiervoor specifieke opgerichte projecten. Als dit beter op orde is, blijft structureel meer tijd over voor kennisvooruitgang en inzichtvergroting. Of voor het bijeenbrengen en onderhouden van een kenniscommunity.
- Visuele waarnemingen en ervaringen uit het veld zijn een waardevolle aanvulling op de metingen uit de standaard meetprogramma's zoals MWTL of projectmonitoring als de Quagga-opnames. Dergelijke waarnemingen worden niet structureel en systematisch opgeslagen en geborgd, waardoor de ontsluiting en het gebruik voor studies lastig is. Aanbevolen wordt om na te gaan welke visuele waarnemingen mogelijk zijn en hoe deze ontsloten en opgeslagen kunnen worden. Daarbij hoort ook de mogelijkheid van meten via smartphone apps of 'citizen science'. Een voorbeeld hiervan is dat de 'water gebruiker' hun waarneming van blauwalgen bloei in het Volkerak-Zoommeer gestandaardiseerd door kunnen geven

6 Referenties

webpagina 1 = http://www.waterforum.net/nederland-strijdt-weer-tegen-de-blauwalg/?utm_source=Waterforum+Nieuwsbrief&utm_campaign=02a73cab0-WaterForum+Nieuwsbrief+763&utm_medium=email&utm_term=0_92a303b9df-02a73cab0-54273901

webpagina 2 = <https://www.sovon.nl/nl/gebieden>

Dionisio Pires, L.M., B. W. Ibelings, E. Donk, 2010. Zebra Mussels as a potential tool in the restoration of eutrophic shallow lakes, dominated by toxic cyanobacteria. *In* The Zebra Mussel in Europe, ISBN 978-3-8236-1594-1

Bij de Vaate, A. , E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2016. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van het onderzoek in 2016. November 2016

De Bruin, T, M. Dionisio Pires, R. Noordhuis, J. Huisman, 2016. About Quagga mussels: Differences in impact between North American and European freshwater systems. University of Amsterdam, Literature Review

Deltares, 2016 A. 3D model van het Volkerak-Zoommeer voor waterkwaliteit en primaire productie: modelbeschrijving, kalibratie- en validatiedocument, auteurs L. Kramer, H.F.J. Los, T.A. Troost, M. Genseberger, M. Tiessen en P.M.A. Boderie, Rapport 1220070-000-0034, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, januari 2016.

Deltares, 2016 B. KPP tracers: het vaststellen van netto belasting poldergebied met behulp van tracer technieken. Rapport 1230038-003, in opdracht van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, november 2016

Van Hoorn, I., S. Visser, 2012. Zoetwater Rapportage 2012. Op weg naar een duurzame zoetwater voorziening in de Zuidwestelijke Delta. Deltaprogramma | Deelprogramma Zuidwestelijke Delta: Stuurgroep Zuidwestelijke Delta in samenwerking met het Afstemoverleg Zoetwater Zuidwestelijke Delta / Rijnmond-Drechtsteden (ZWD/RD).

Ibelings, B.W., M. Vonk, H.F.J. Los, D.T. Van der Model, W.M. Mooij, 2013. Fuzzy modelling of cyanobacterial surface waterblooms: validation with NOAA-AVHRR satellite images. *Ecological Applications*, 13(5), pp. 1456-1472

Matthews, J., G. Van der Velde, A. Bij de Vaate, R.S.E.W. Leuven, 2012. Key factors for spread, impact and management of Quagga mussels in the Netherlands. TRCPD/12010/3092

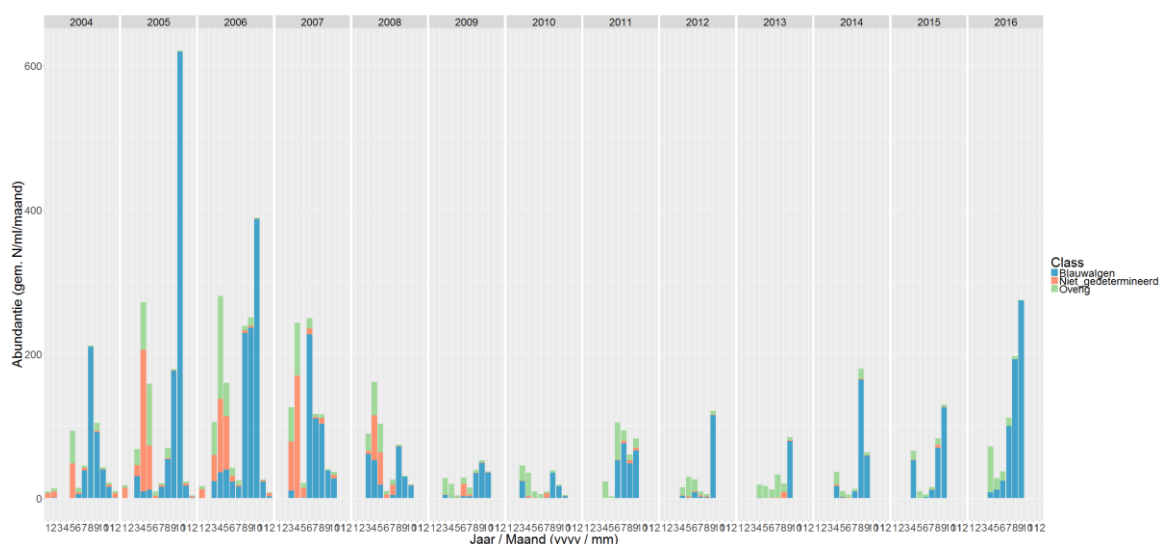
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014a: Ontwerp-rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, oktober 2014.

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2014b: Milieueffectrapport bij de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, oktober 2014.
- NORTEK, 2017. Notitie Data analyse meetboei 701. Volkerak-Zoommeer. P17020
- Reeders, H.H., A. Bij de Vaate, 1990. Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): a new perspective for water quality management. *Hydrobiologia* 200/201: 437-450
- RoyalHaskoningDHV, 2017: Aanvulling Natuureffectstudie en MER bij de Rijksstructuurvisie Grevelingen en Volkerak-Zoommeer, auteurs Bernadette Botman, Elise Koolmees, Saskia Mulder, Marjon Paas en Janneke Snijders, referentie WAT_E_BC5384_R001_F, 30 januari 2017.
- Rijkswaterstaat, 2016. Waterplanten Volkerak 2016 : Ontwikkelingen waterplanten in het Volkerak Periode 2005-2016.
- Tosserams, M., E.H.R.R. Lammens & M. Platteeuw, 2000. Het Volkerak-Zoommeer. De ecologische ontwikkeling van een afgesloten zeearm. RIZA rapport 2000.024.
- Ysebaerts, T., B. Walles, 2017. Quaggamosselen (*Dreissena rostriformis bugensis*) in het Volkerak-Zoommeer, Wageningen Marine Research
- Vanderploeg, H., O. Sarnelle, J.R. Liebig, N.R. Morehead, S.D. Robinson, T.H. Johengen, G.P. Horst, 2017. Seston quality drives feeding, stoichiometry and excretion of zebra mussels. *Freshwater Biology* doi:10.1111/fwb.12892
- De Vries, I., R. Postma, 2013. Quick scan waterkwaliteit en ecologie Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport 1207783-000-VEB-0005
- Waaijen, G.W.A.M., N.C.B. Van Bruggen, L.M. Dionisio Pires W. Lengkeek, M. Lurling, 2016. Biomanipulation with quagga mussels (*Dreissena rostriformis bugensis*) to control harmful algal blooms in eutrophic urban ponds. *Ecological Engineering* 90 (2016) 141-150

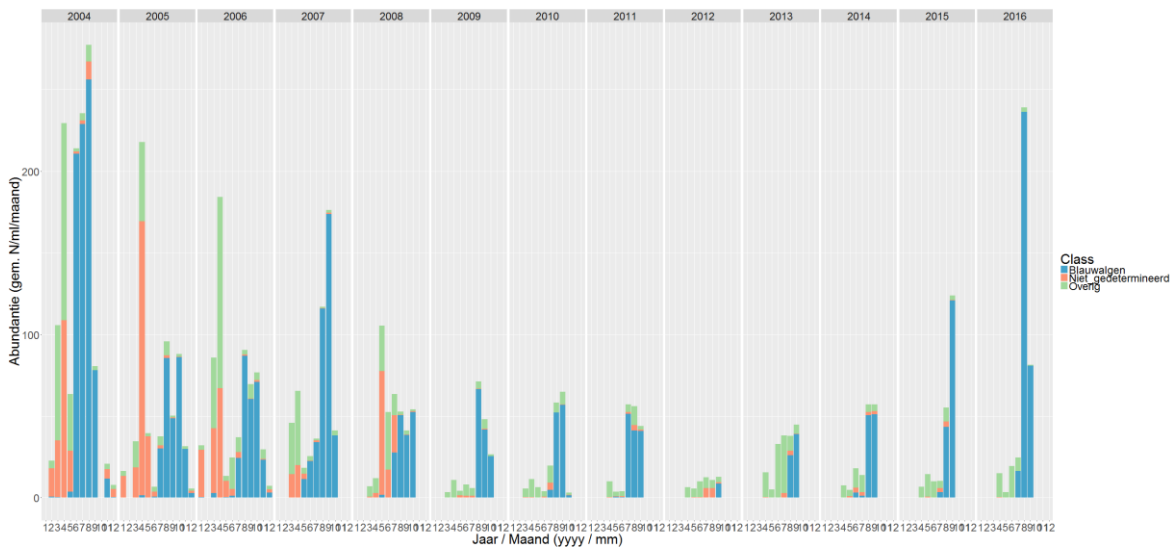
A Algen abundantie absoluut en relatief

Bij Steenberg is te zien dat de groeiperiode van algen door de jaren heen is opgeschoven. In de jaren 2004 t/m 2008 vindt er nog een sterke groei plaats van april t/m juni, waarbij mei en juni in elk jaar lagere abundantie kent. Na 2008 blijft de abundantie voor deze periode relatief laag. Let wel dat de maanden januari t/m maart hier niet zijn meegenomen. Echter vanaf 2012 lijken de maanden mei en juni weer afhankelijk van het jaar naar het oude niveau terug te komen, echter april blijft laag. Bij Oesterdam zien we het zelfde resultaat voor april, hoewel deze vanaf 2014 weer toeneemt. Hier zijn afwisselend de maanden mei, juni en juli laag in abundantie en na 2013 zijn in alle jaren mei en juni laag, juli varieert.

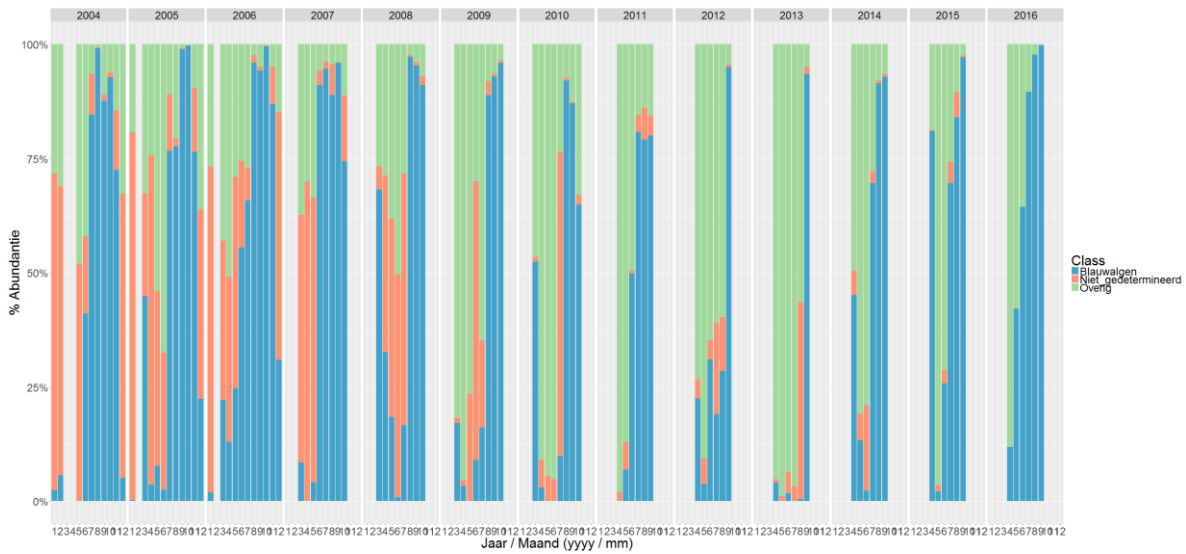
Bij Steenberg is de start van de groeiperiode van de blauwalgen verschoven van mei naar juli. Voor Oesterdam lijkt deze verschuiving niet sterk te hebben plaatsgevonden. Op beide locaties kennen de maanden augustus en september de sterkste groei van blauwalgen (en mogelijk later in het jaar, maar deze maanden worden niet meer bemeten).



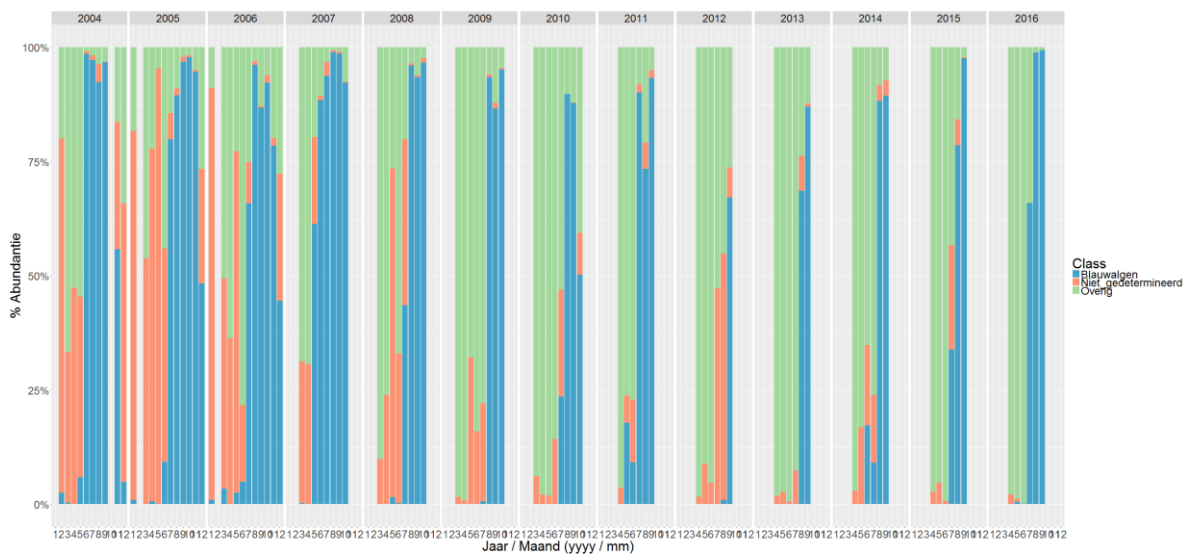
Figuur A.1 Absolute dichtheden van algen bemeten bij Oesterdam. Hierbij is er gecorrigeerd voor het aantal metingen in de maand.



Figuur A.2 Absolute dichtheden van algen bemeaten bij Steenberg. Hierbij is er gecorrigeerd voor het aantal metingen in de maand.



Figuur A.3 Relatieve dichtheden van algen bemeaten bij Oesterdam. Hierbij is er gecorrigeerd voor het aantal metingen in de maand.



Figuur A.4 Absolute dichtheden van algen bemeaten bij Steenberg. Hierbij is er gecorrigeerd voor het aantal metingen in de maand.

B Cyanochlorofyl meetpaal

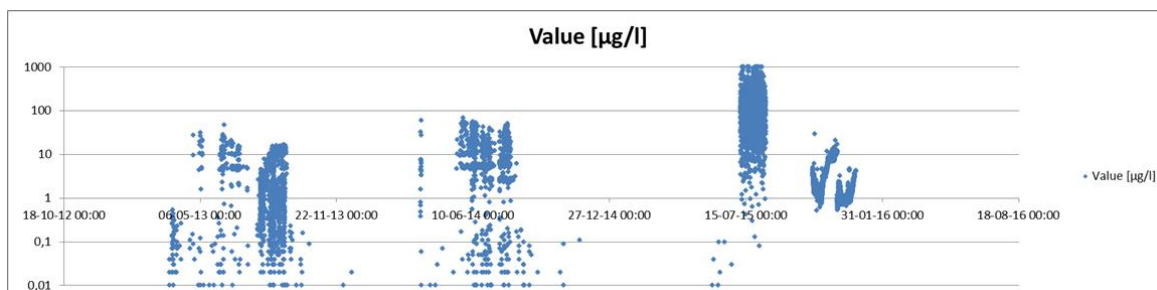
Meetdata

Voor de cyanochlorofyl-data zijn de jaren 2013 t/m 2016 tot beschikking. Hierbinnen zijn elk kwartier metingen verricht. Deze data is afkomstig en wordt beheerd door Waterschap Brabantse Delta.

Data-analyse

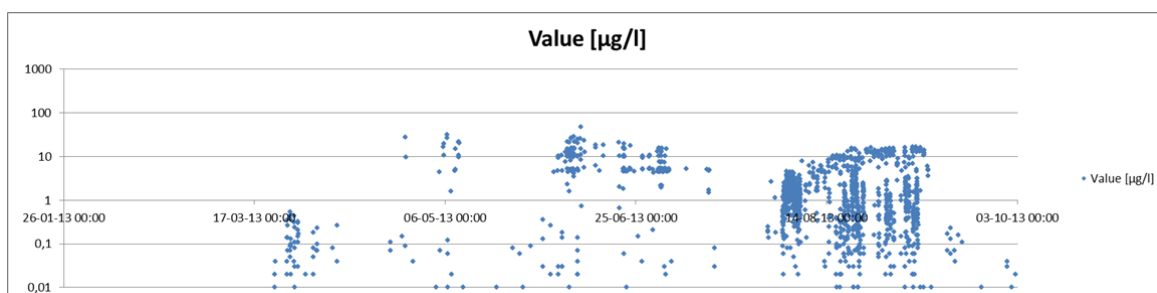
De analyse van de cyanochlorofyl data heeft plaatsgevonden om een snelle indruk te krijgen van de validiteit van de data voor deze studie. Uit deze analyse kwam als eerste inzicht dat de data niet geschikt is. Echter om een volledig overzicht te krijgen van validiteit van de data zou er ook een analyse gebaseerd op gemiddelde uurwaarden, gemiddelde (half)dagwaarden berekend kunnen worden en de waarnemingen geschaald aan processen (debiet, tijdstip van de dag, getij etc.). Hier lag echter de focus niet op binnen deze studie.

In de cynachlorofyl-data zijn er vier perioden met hogere meetwaarden (Figuur B.1). Hier tussen zijn er langere perioden met missing values. Dit betekent dat er niet te veel waarden gehecht moet worden aan deze perioden. Ook komen er nulwaarden voor in deze reeksen. Deze zijn verdacht doordat er naast deze nulwaarden ook negatieve waarden voorkomen. Deze negatieve waarden zijn waarschijnlijk de echte nulmetingen. Tussen de waarden die niet nul of negatief zijn zit een spreiding van een factor 1000



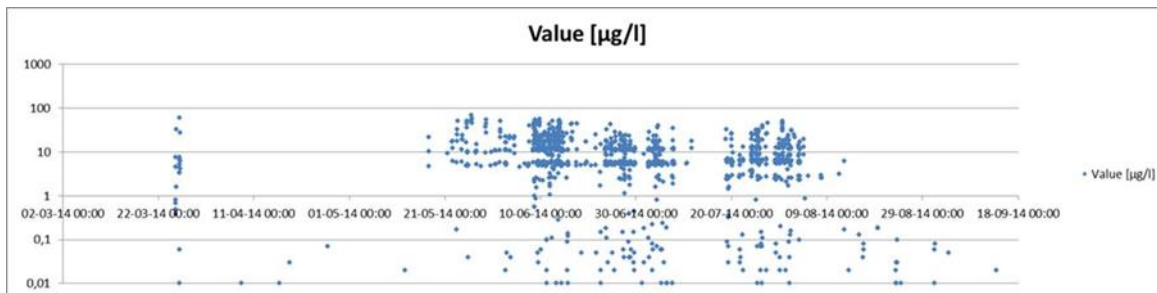
Figuur B.1 Meetwaarden cyanochlorofyl zoals bemeten voor de Binnen Schelde over de tijd.

Wanneer er naar de afzonderlijke perioden gekeken wordt zien we in de eerste periode van 2013 dat er enige opbouw in waarden plaatsvindt (Figuur B.2). Met opbouw wordt bedoeld dat de waarden van de meting van een kwartier later relateerbaar zijn naar de vorige meting.



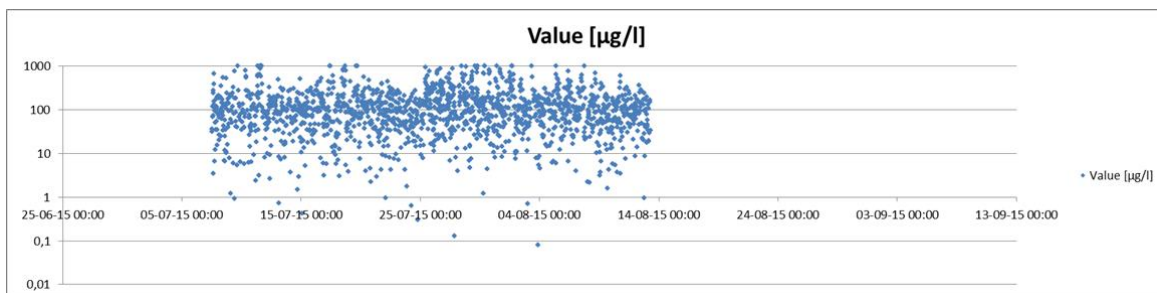
Figuur B.2 Meetwaarden cyanochlorofyl bemeten voor de Binnen Schelde voor de eerste periode van 2013.

In periode 2014 is deze opbouw in waarden niet sterk waarneembaar (Figuur B.3).



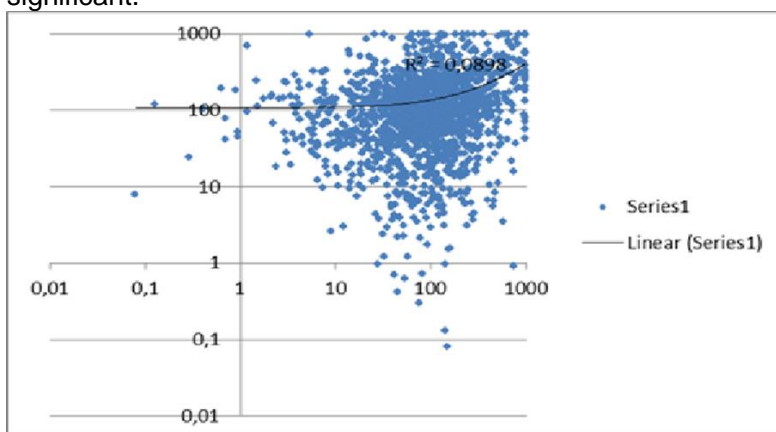
Figuur B.3 Meetwaarden cyanochlorofyl bemeten voor de Binnen Schelde voor de periode van 2014.

De eerste periode van 2015 (Figuur B.4) toont hoge waarden in een uniform blok zonder enig verloop en met een spreiding van een factor 1000. De waarden spreiden zich continu rond de waarde 100. Mogelijk is dit het gevolg van een ijkprobleem van de meetpaal. Dit blok begint met een missing value na een lange periode van negatieve waarden en het is waarschijnlijk dat er op dit moment iemand contact heeft gehad met het apparaat. Dit blok eindigt ook weer abrupt.



Figuur B.4 Meetwaarden cyanochlorofyl bemeten voor de Binnen Schelde voor de eerste periode van 2015.

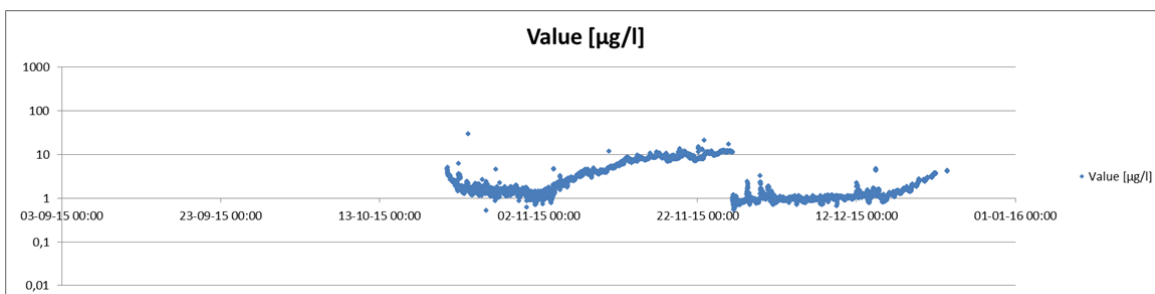
Wanneer de correlatie (Figuur B.5) tussen de meetwaarden en de meting van een kwartier eerder wordt bekeken (zonder de nulwaarden tijdens de piekperiode van 2015) is deze niet significant.



Figuur B.5 Correlatie tussen de meetwaarden en de meting van een kwartier eerder voor het jaar 2015. Hierbij zijn de nulwaarden buiten de correlatie gelaten.

Bij de laatste periode aan het eind van 2015 (Figuur B.6) lijkt er nette opbouwende metingen te worden verricht. Echter gaat op 26 november om 10:45 de waarde opeens abrupt van 11 naar 1.

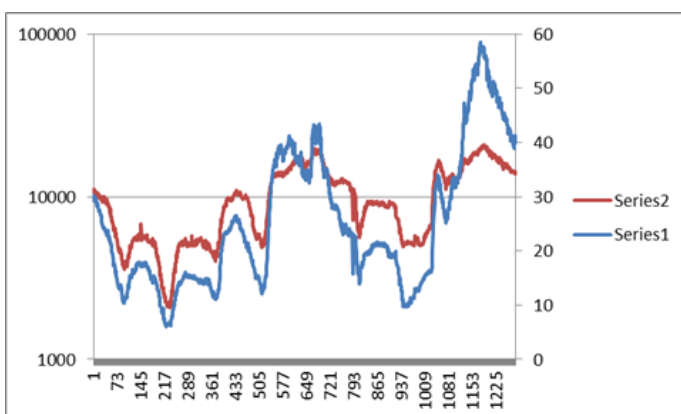
Op dit moment lijkt het apparaat schoongemaakt te zijn en dit betekent dat de toename van ervoor en in het tweede deel erna eigenlijk een toename van vervuiling op de meetappatuur weergeeft.



Figuur B.6 Meetwaarden cyanochlorofyl bemeaten voor de Binnen Schelde voor de tweede periode van 2015.

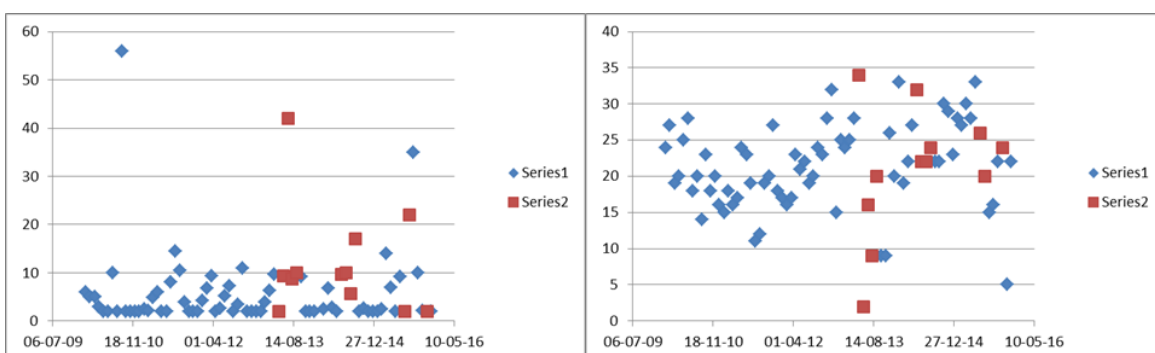
Conclusie

Wanneer we deze data vergelijken met de data van een meetpaal voor chlorofyl en blauwalgen in het IJsselmeer, is duidelijk wat voor een variatie er in de metingen verwacht kan worden. Hier voldoen de cyanochlorofyl metingen bij de Binnen Schelde niet aan.



Figuur B.7 Chlorofyl-a en abundantie blauwalgen bemeaten door een meetpaal in het IJsselmeer gebied.

Bij een vergelijking tussen de maandelijkse chlorofyl-a metingen als onderdeel van het MWTL en de metingen verricht door de cyanochlorofyl meetpaal geven deze twee zeer verschillende waarden (Figuur B.8). Hieruit leidt dat de algemene conclusie is dat de cyanochlorofyl meetpaal geen bruikbare informatie levert voor deze studie.



Figuur B.8 Chlorofyl-a en doorzicht als bemeaten binnen het MWTL. De rode punten vallen samen met de bemeaten periodes van de cyanochlorofyl meetpaal.

C Inlaatdata

	2003					2004					2005					2006					2007									
	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s
Nieuw Vossemeer	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	ox	xx	xx	xx	oo	oo	oo	ox	xx	xx
Auvergne polder	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	oo	xx	xx	xx	oo	oo	ox	xx	xx	xx
Prins Hendrikpolder	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	oo	xx	xx	xx	oo	oo	ox	xx	xx	xx
Oostflakkee	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Tholen	oo	oo	ox	xx	xx	xx	oo	oo	oo	ox	xx	xx	oo	ov	pp	pp	xx	xx	ov	pp	pp	px	xx	xx	vp	pp	pp	nn	nn	nn
St. Philipsland	oo	oo	ox	xx	xx	xx	oo	oo	oo	ox	xx	xx	oo	ov	pp	pp	xx	xx	ov	pp	pp	px	xx	xx	vp	pp	pp	nn	nn	nn
Reigersbergse polder	oo	oo	ox	xx	xx	xx	oo	oo	oo	ox	xx	xx	oo	ov	pp	pp	xx	xx	ov	pp	pp	px	xx	xx	vp	pp	pp	nn	nn	nn
	2008					2009					2010					2011														
	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s	a	m	j	j	a	s						
Nieuw Vossemeer	oo	oo	oo	oo	xx	xx	oo	oo	oo	oo	xx	xx	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	zz	zz	xx	xx						
Auvergne polder	oo	oo	oo	oo	xx	xx	oo	oo	oo	oo	xx	xx	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	oo	ox	xx	xx						
Prins Hendrikpolder	oo	oo	oo	ox	xx	xx	oo	oo	oo	oo	ox	xx	nd	nd	nd	nd	nd	nd	oo	oo	ox	xx	xx	xx						
Oostflakkee	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??						
Tholen	op	pp	pp	nn	nn	nn	w	w	w	w	x	oo	op	pp	pp	pp	px	xx	w	w	w	w	x	xx						
St. Philipsland	op	pp	pp	nn	nn	nn	w	w	w	w	x	oo	op	pp	pp	pp	px	xx	w	w	w	w	x	xx						
Reigersbergse polder	op	pp	pp	nn	nn	nn	w	w	w	w	x	oo	op	pp	pp	pp	px	xx	w	w	w	w	x	xx						

Legenda Tabel 3

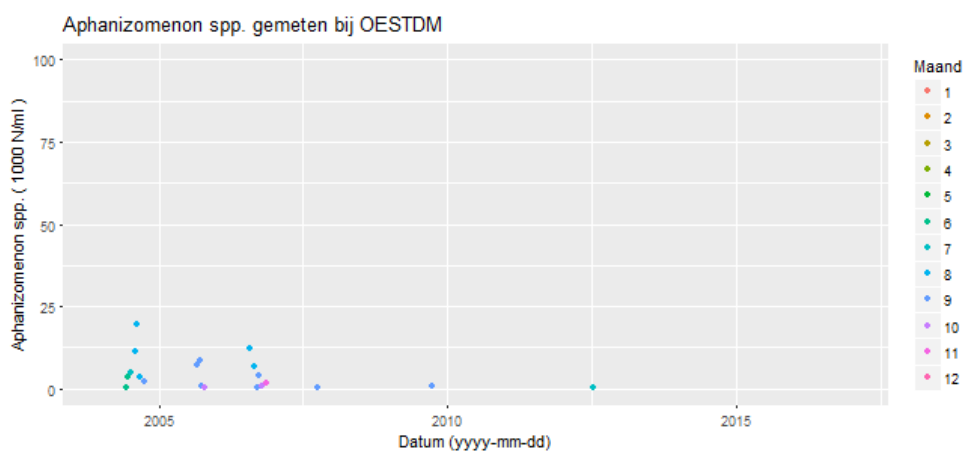
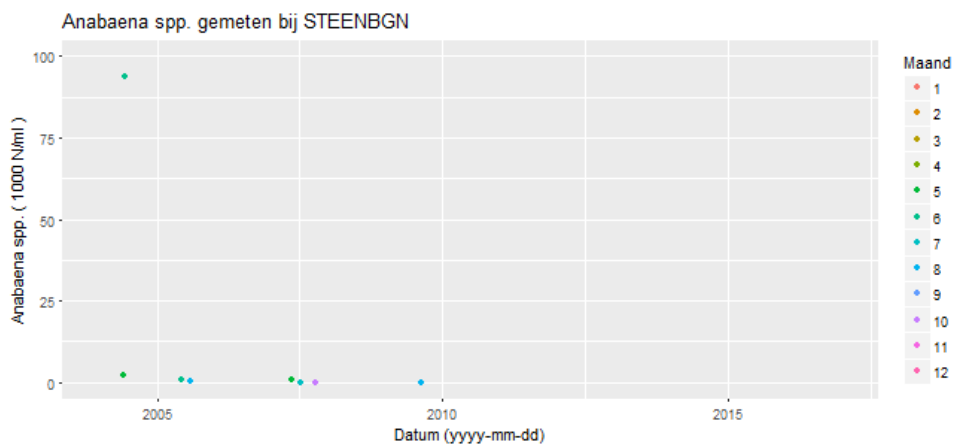
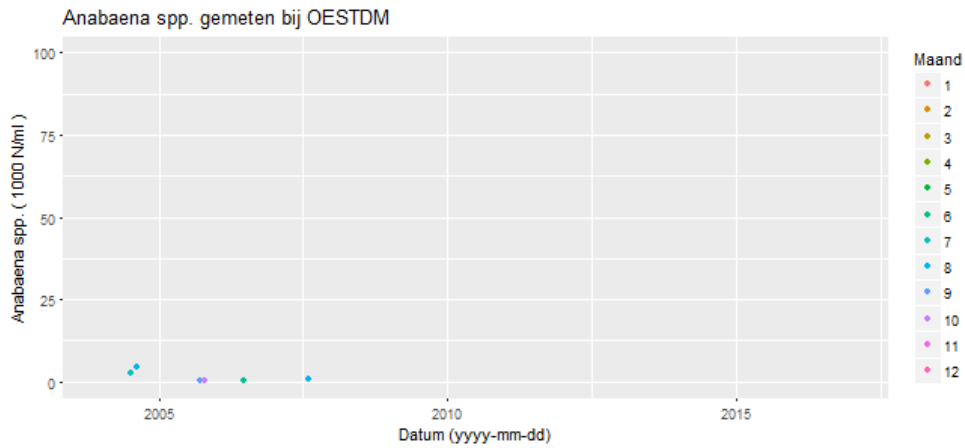
- nd geen gegevens aanwezig
- ?? geen gegevens ontvangen
- o inlaat is open, geen inlaatstop
- v inlaat via vrij verval
- p inlaat via pompemaal
- n geen waterinlaat wegens voldoende neerslag
- x inlaat gestopt wegens blauwalgen
- z inlaat gestopt wegens te hoog chloridegehalte

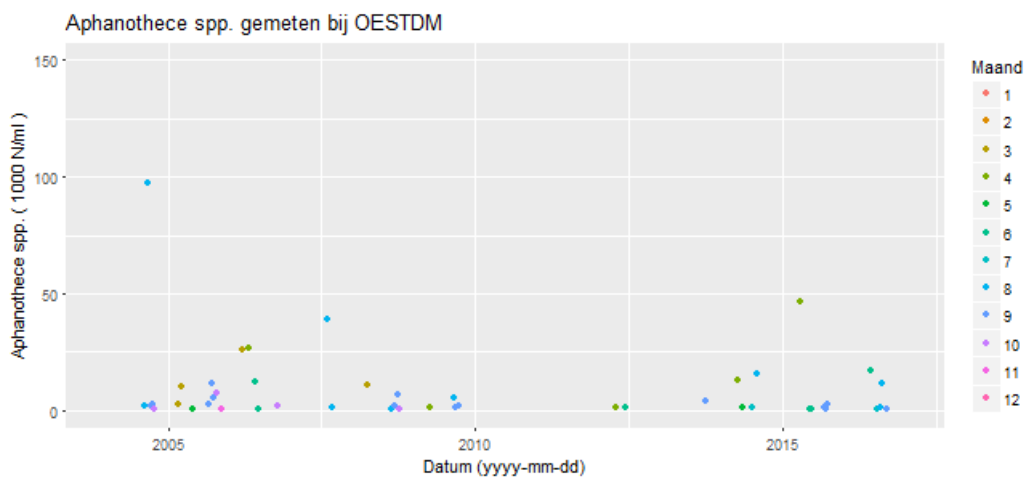
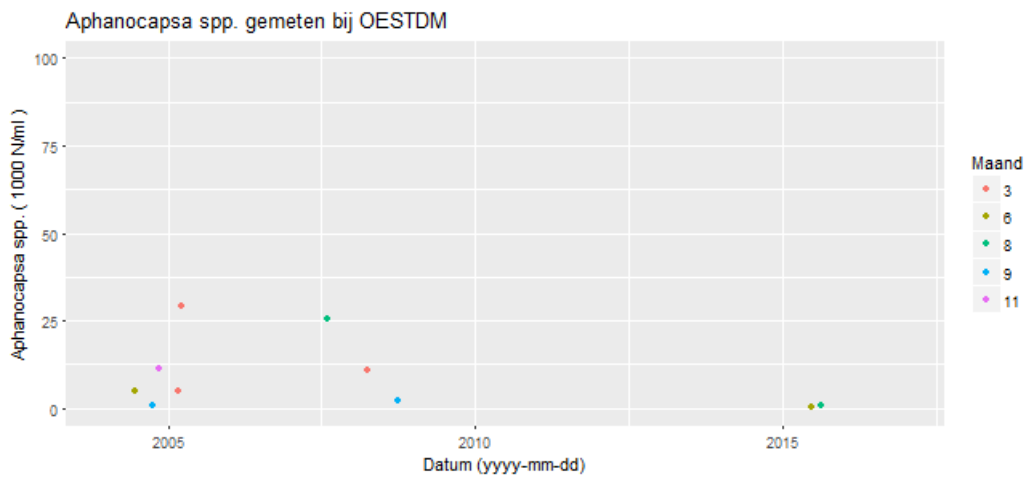
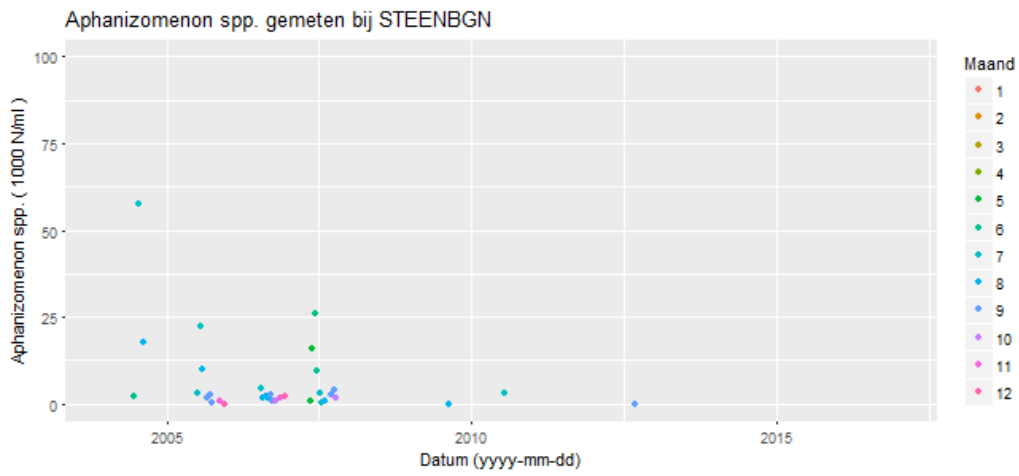
Figuur C.1 Inlaatdata zoals verkregen uit lenM (2014).

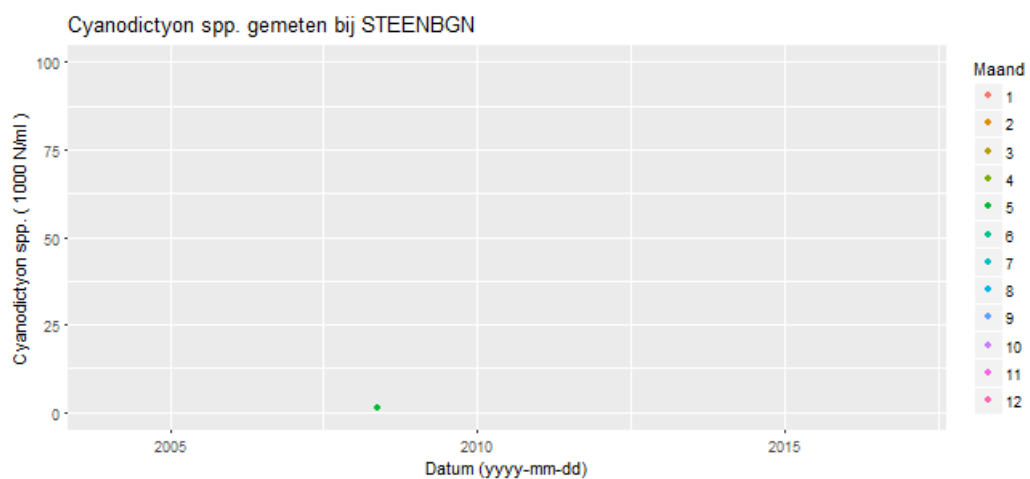
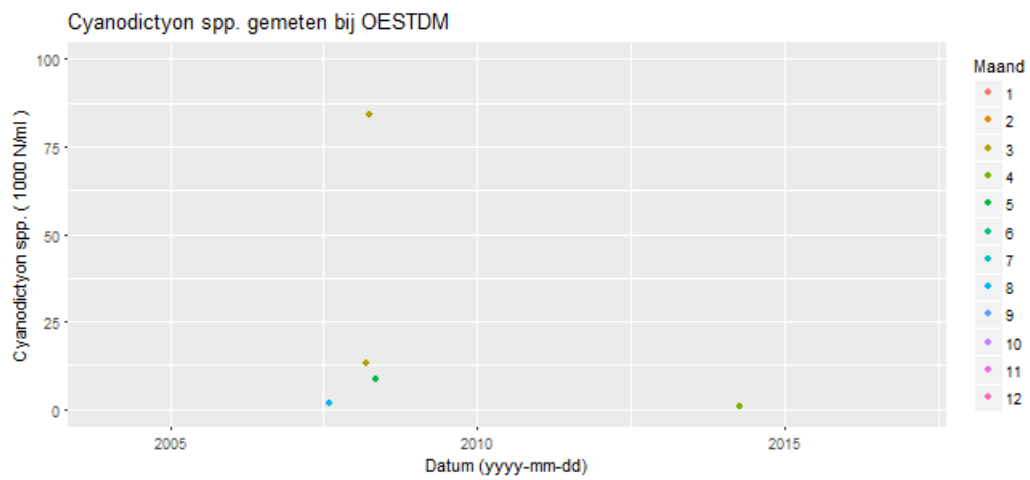
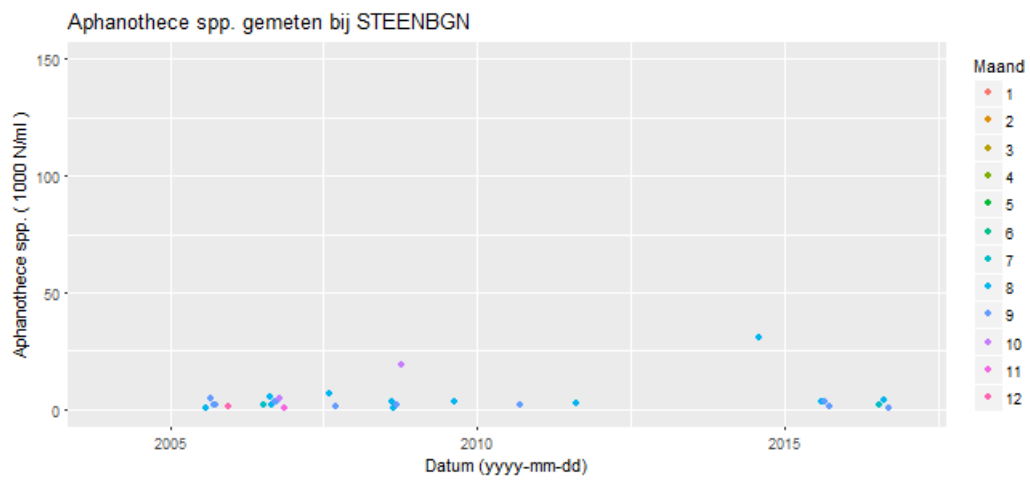


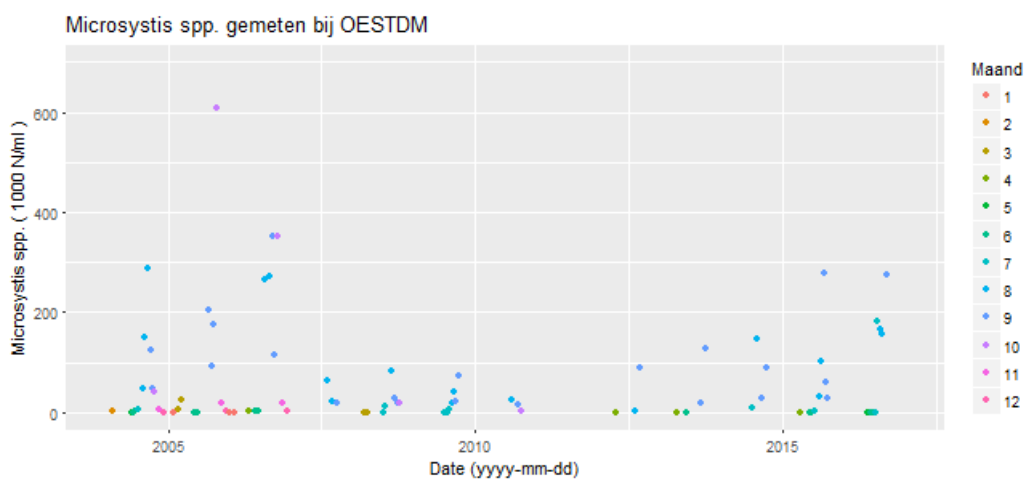
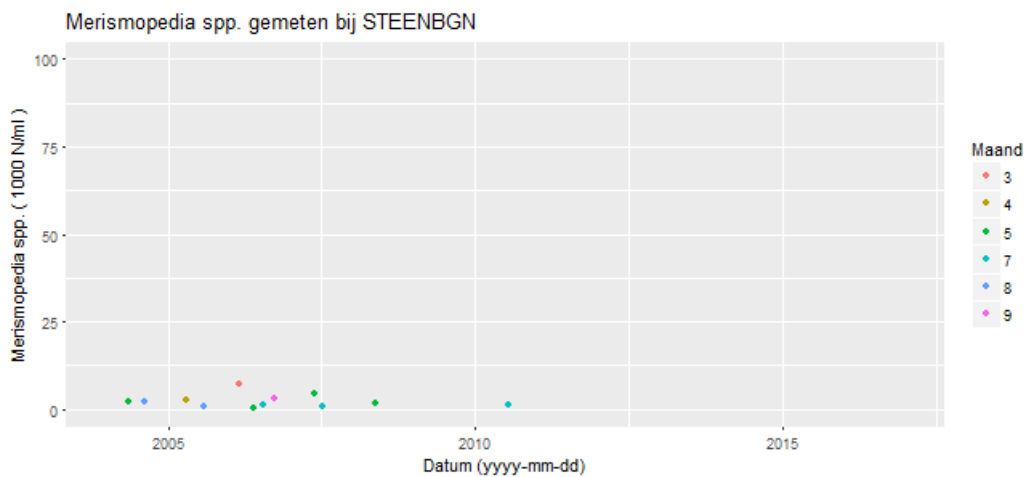
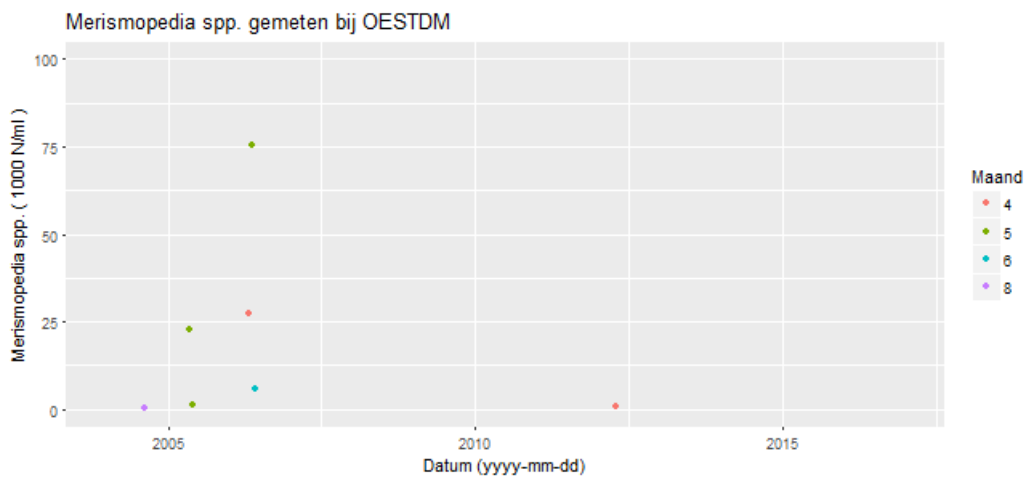
Figuur C.2 Inlaat locaties zoals weergegeven in de inlaatdata verkregen uit IenM (2014)

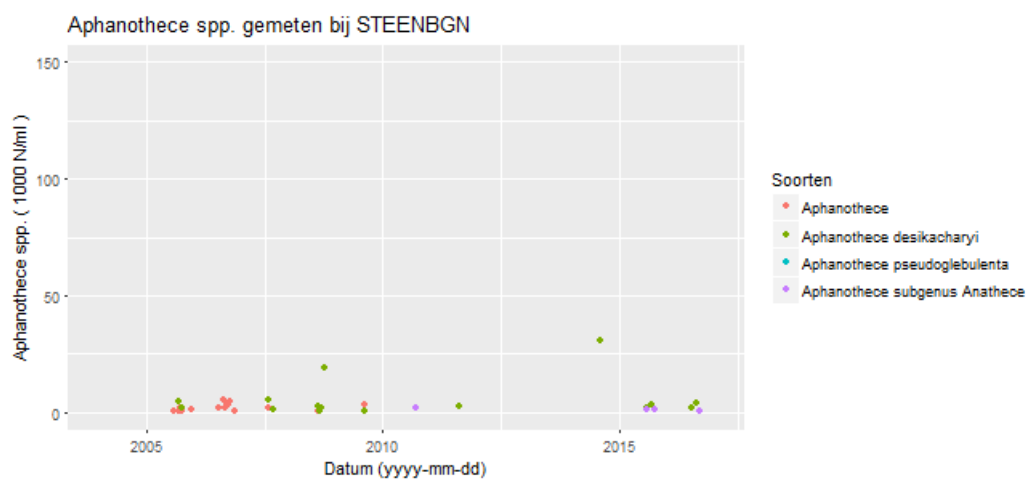
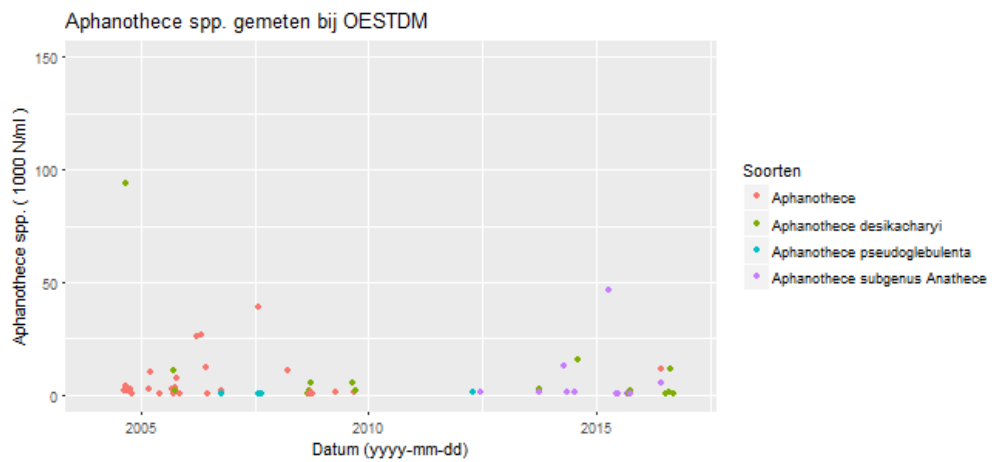
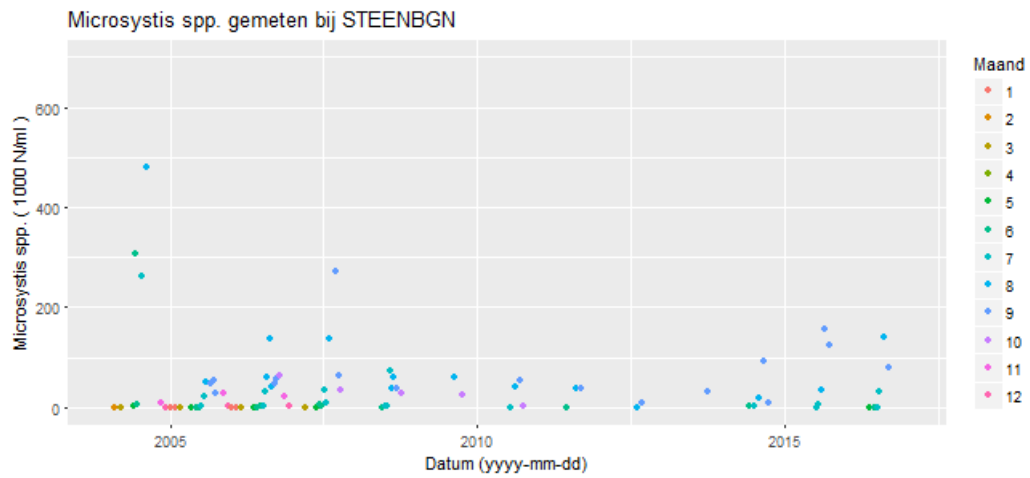
D MWTL blauwalg metingen



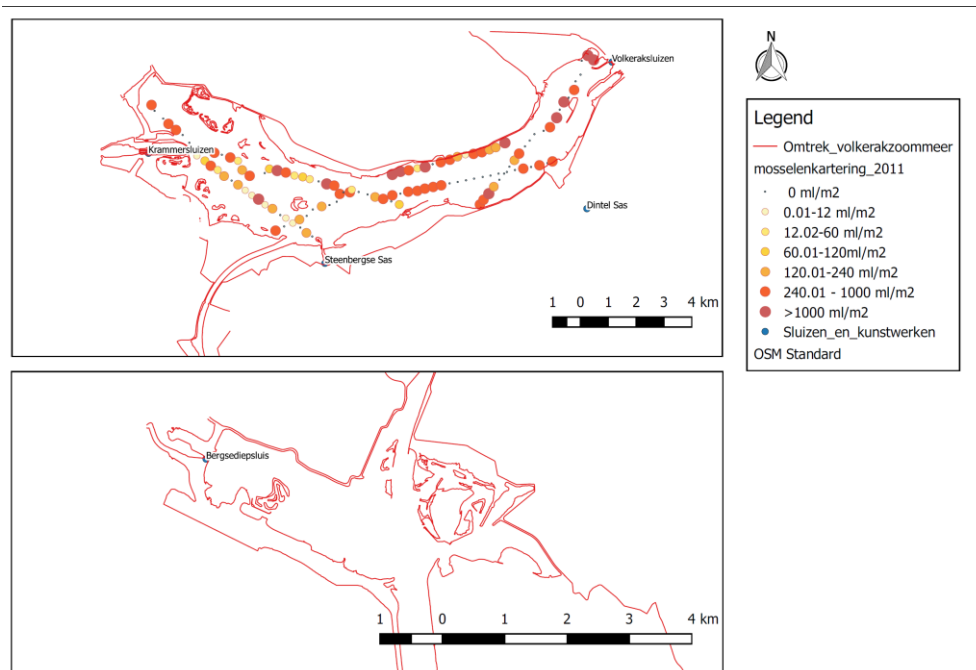




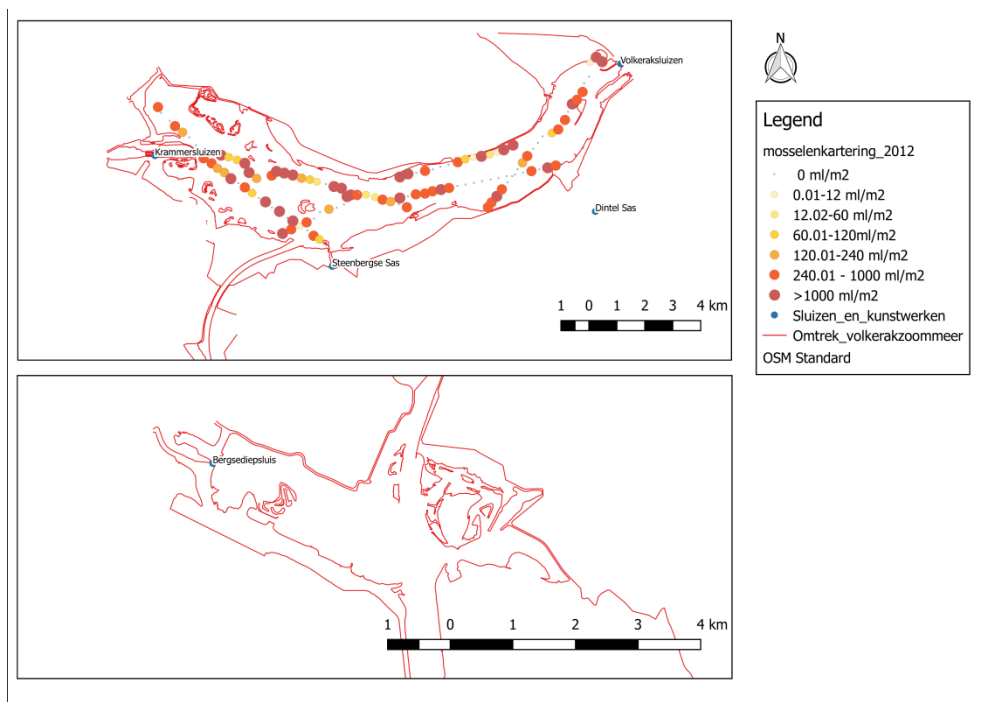




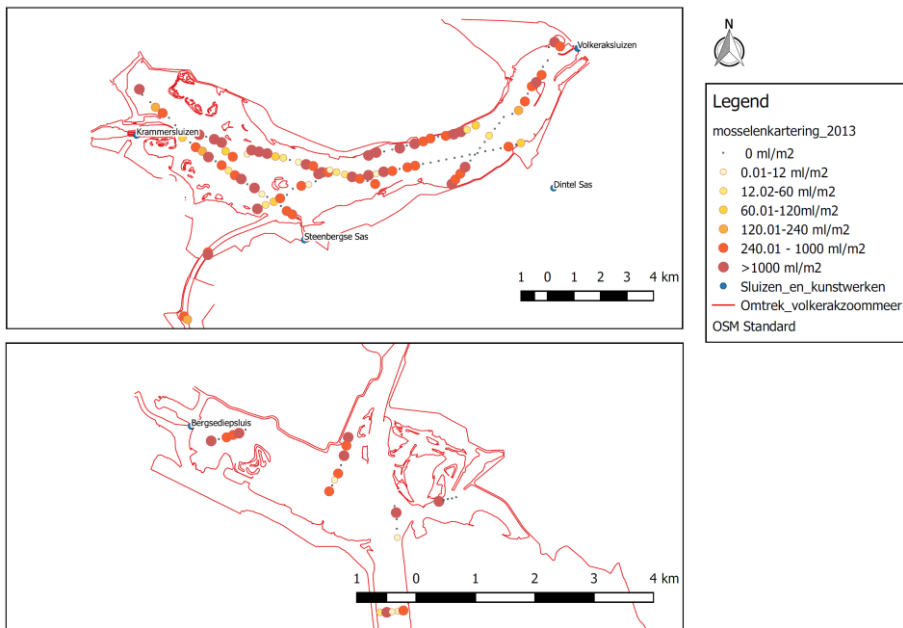
E Mosseldata



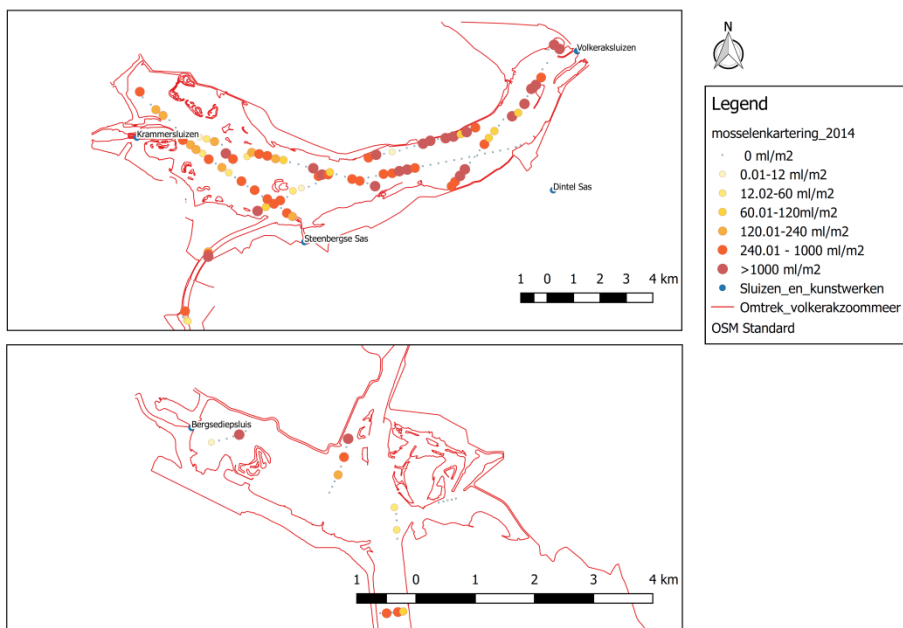
Figuur E.1 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2011.



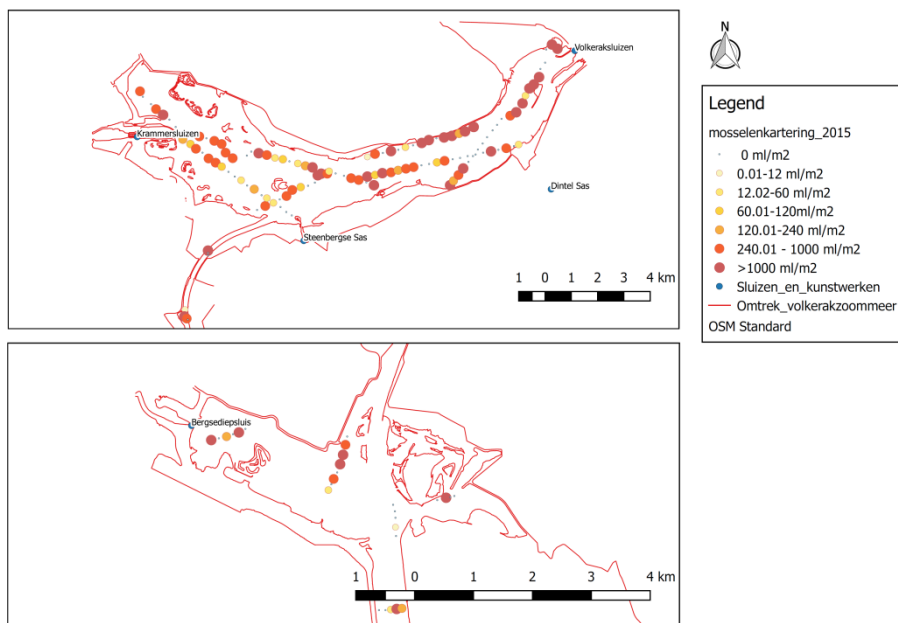
Figuur E.2 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2012.



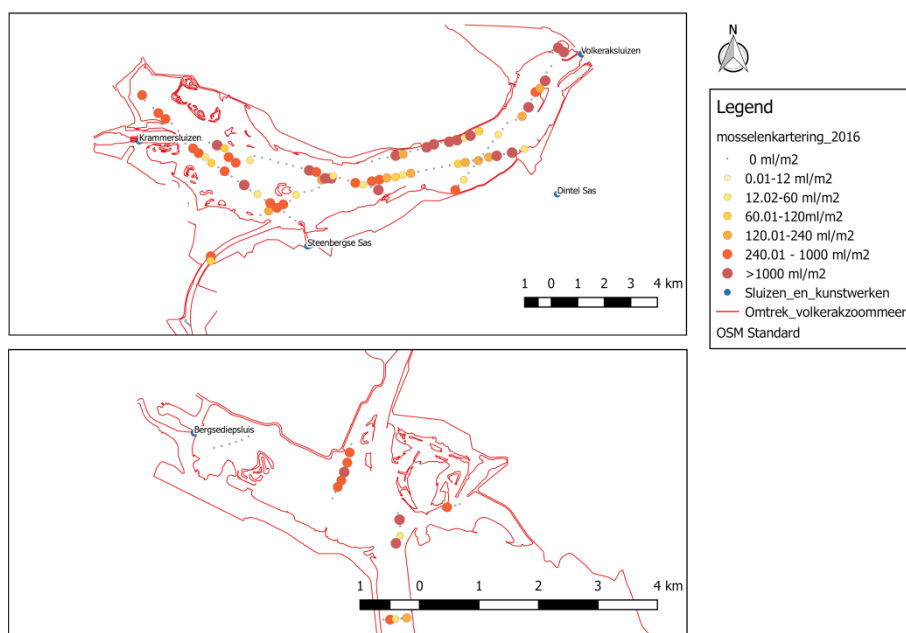
Figuur E.3 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2013.



Figuur E.4 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2014.

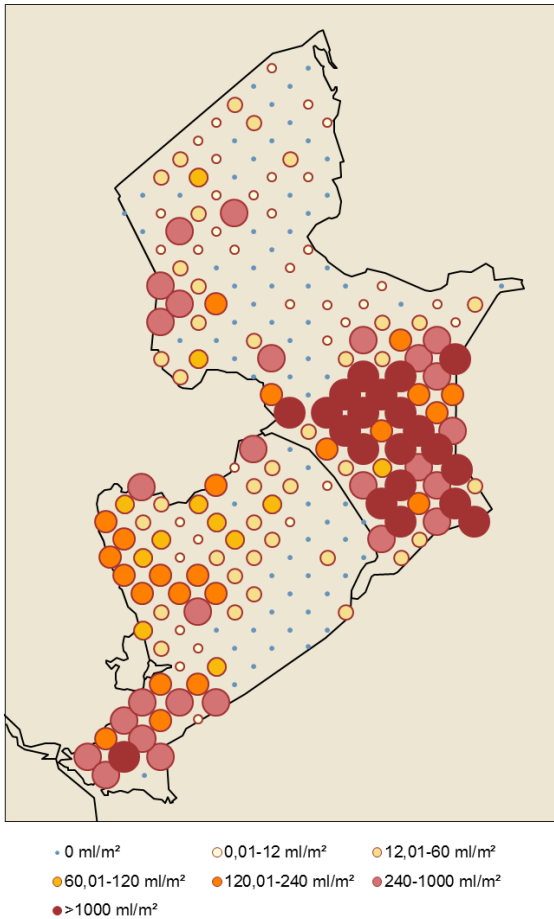


Figuur E.5 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2015.



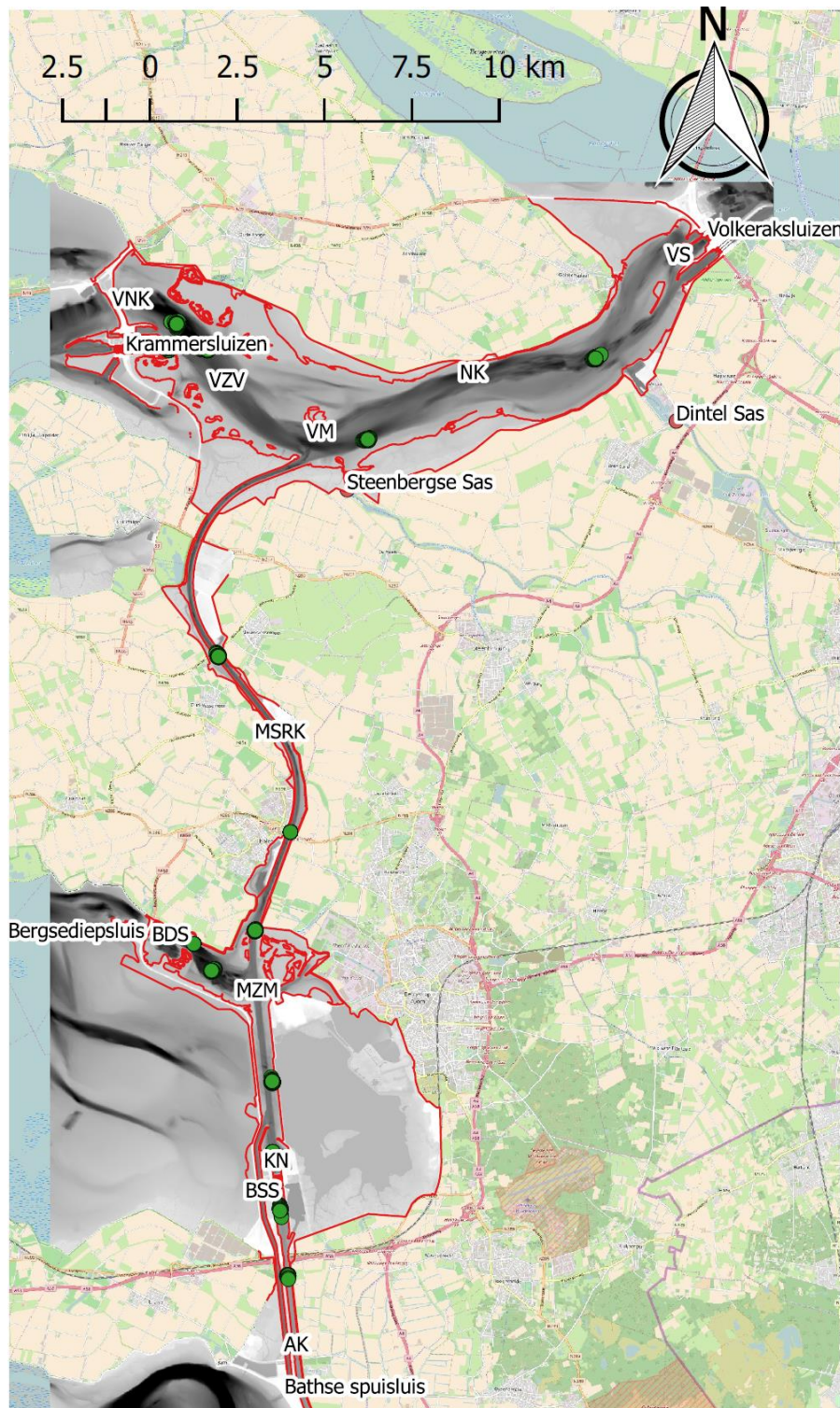
Figuur E.6 Mosselenopnamen weergegeven in volume per vierkante meter (ml/m²) voor het Volkerak en het Zoommeer in het jaar 2016.

2011/2012



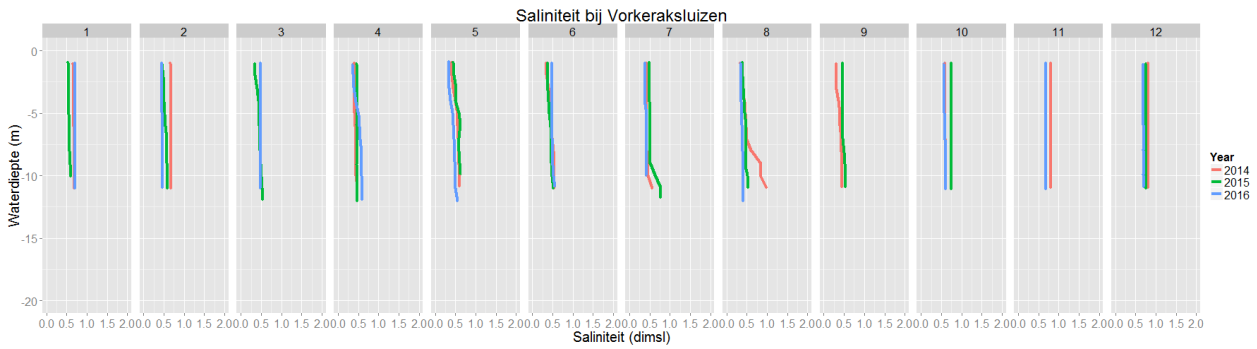
Figuur E.7 Mosselopnamen in het IJsselmeergebied in 2011/2012, een jaar waarbinnen het zuidelijke IJsselmeer en rond het IJmeer volledig helder werd gehouden door filtratie van quaggamosselen. Het volume is per vierkante meter (ml/m²) weergegeven.

F VTSO metingen

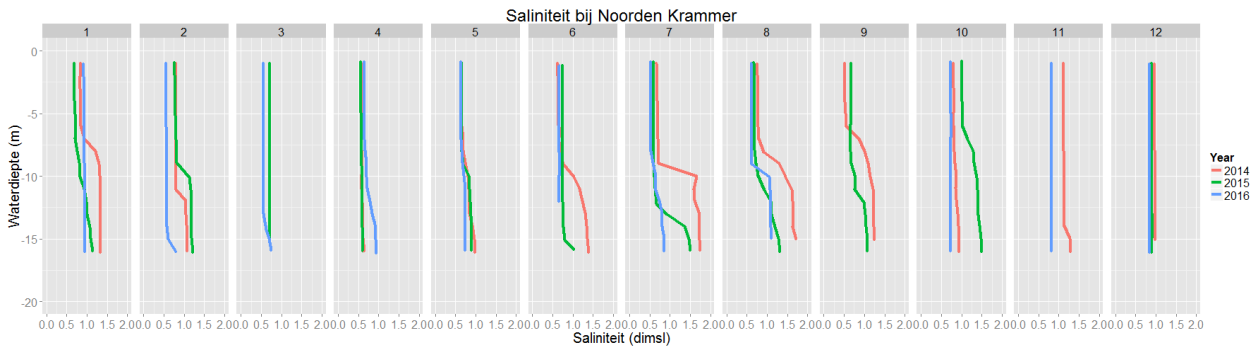


Saliniteit

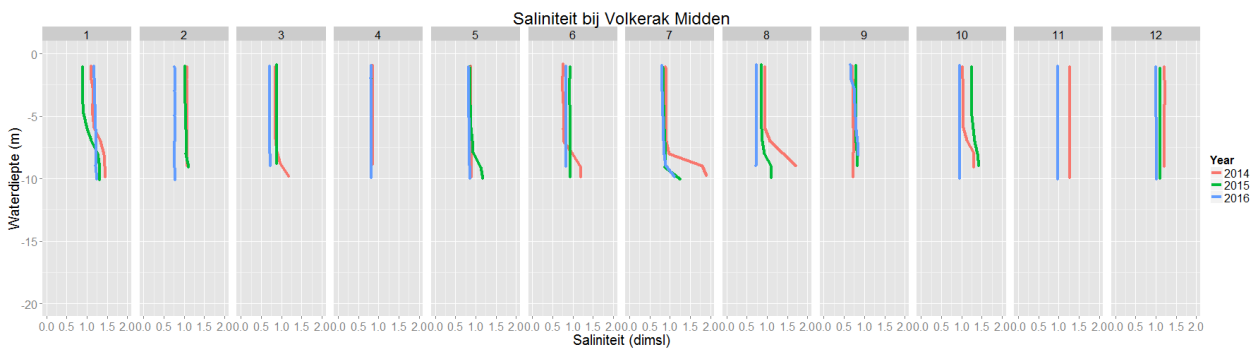
VS



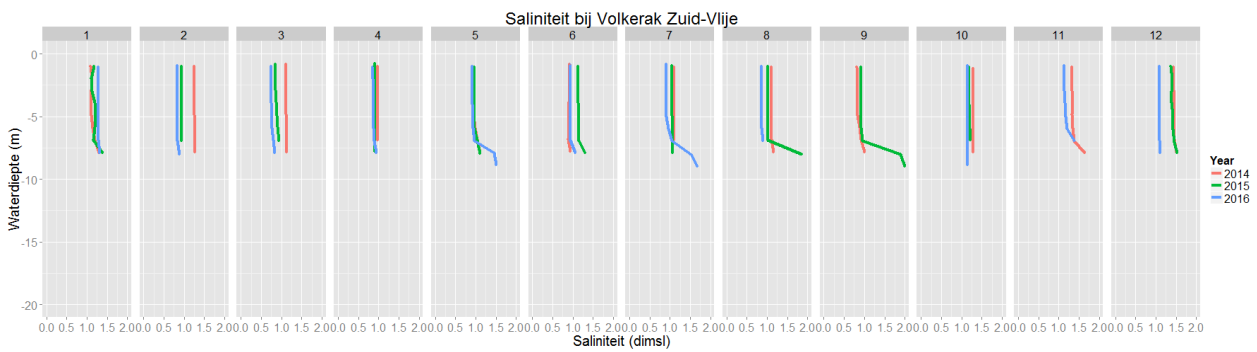
NK



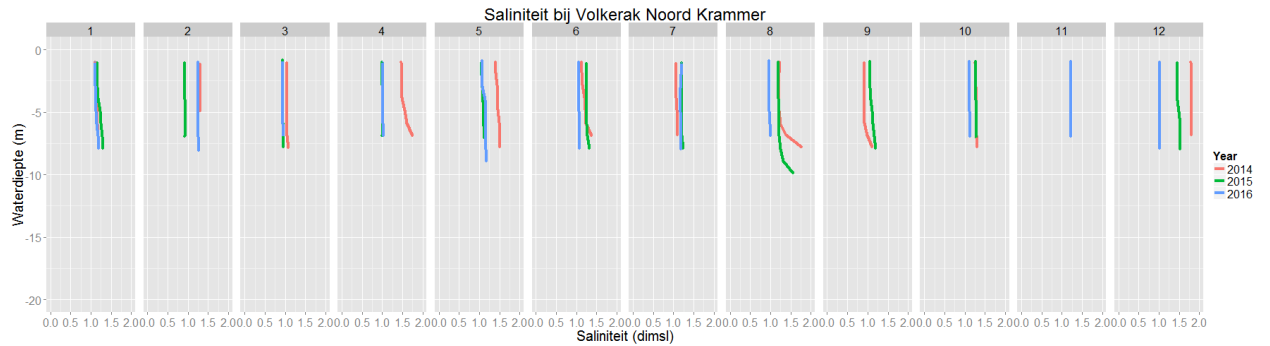
VM



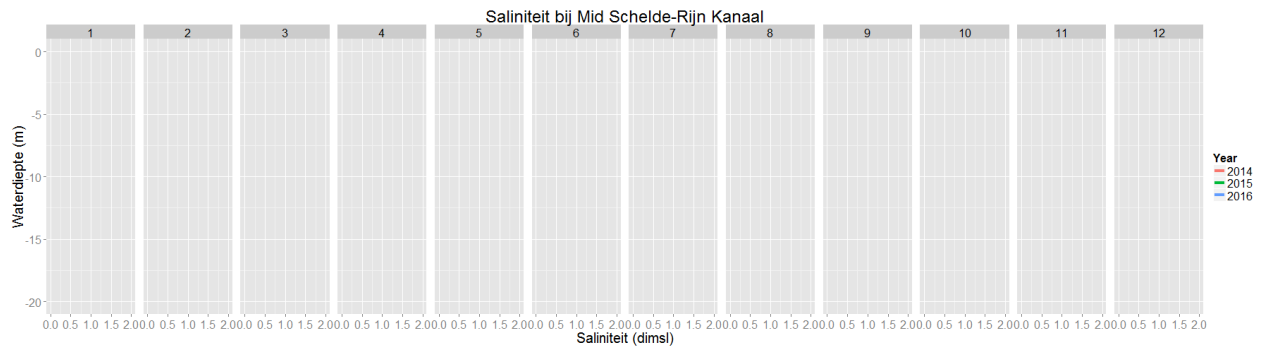
VZV



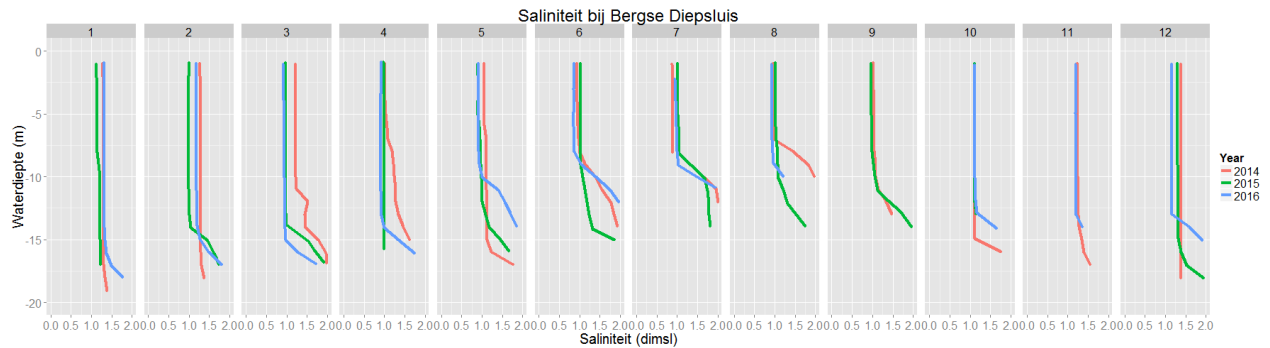
VNK



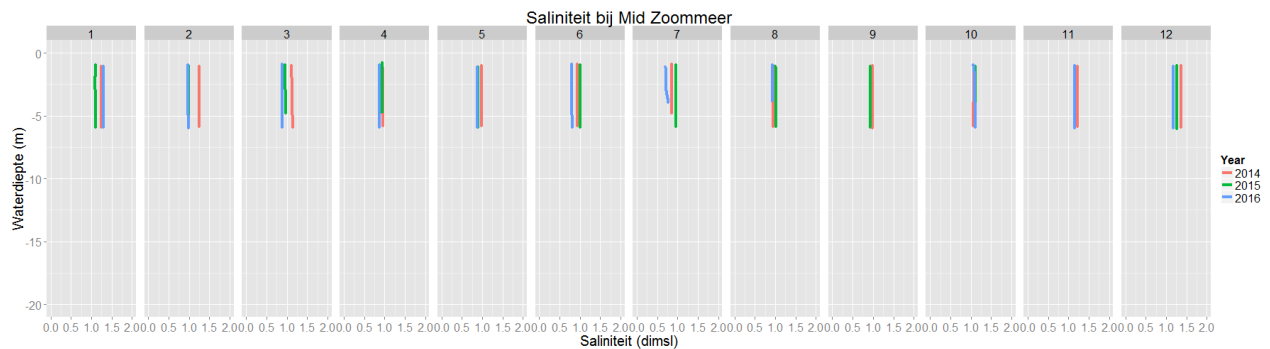
MSRK



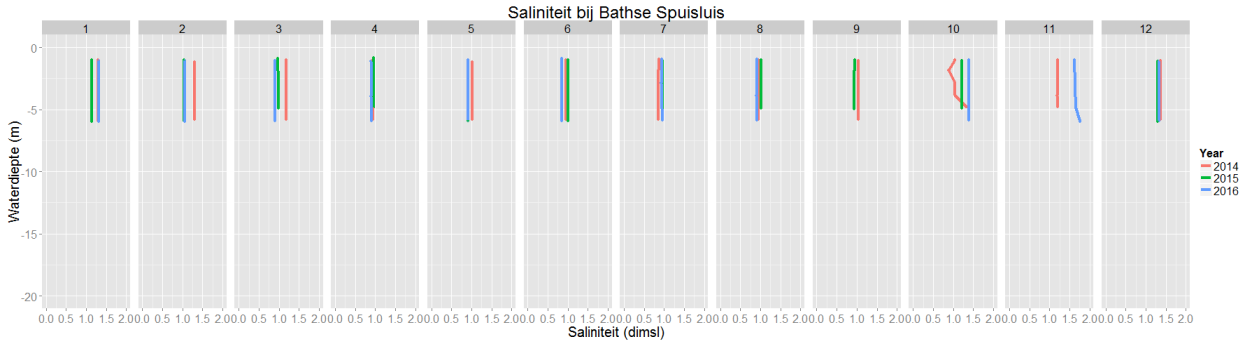
BDS



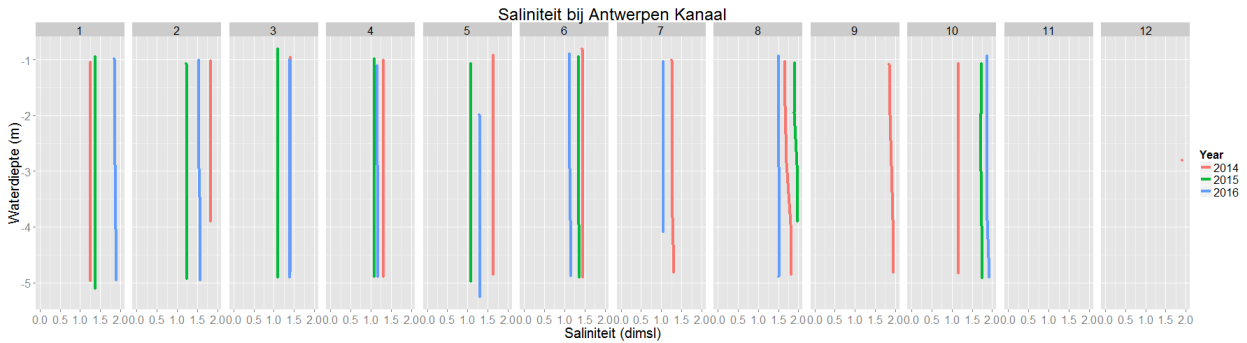
MZM



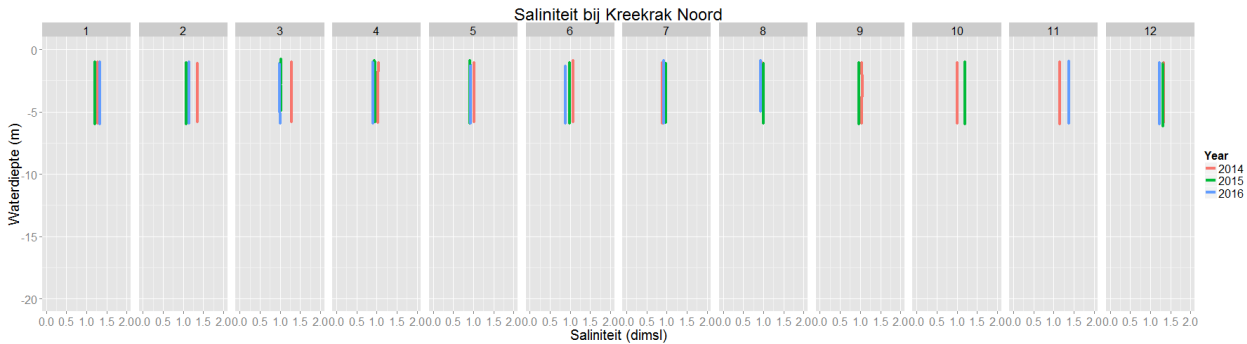
BSS



AK

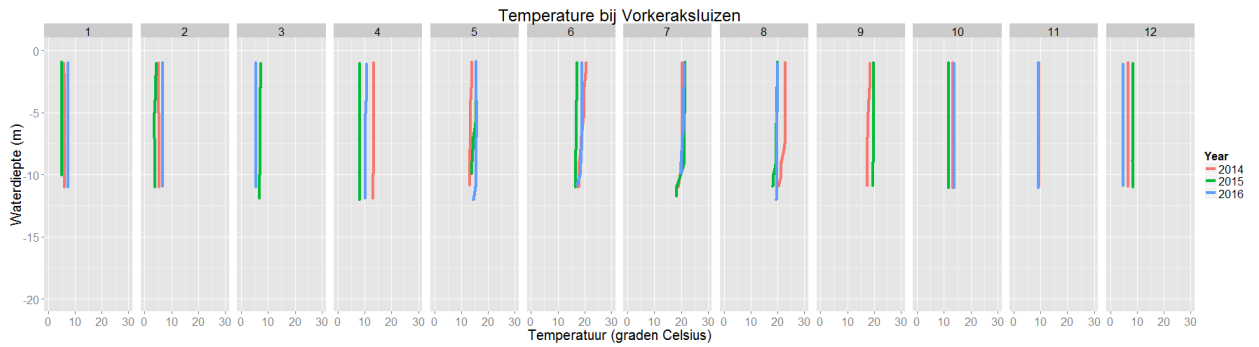


KN

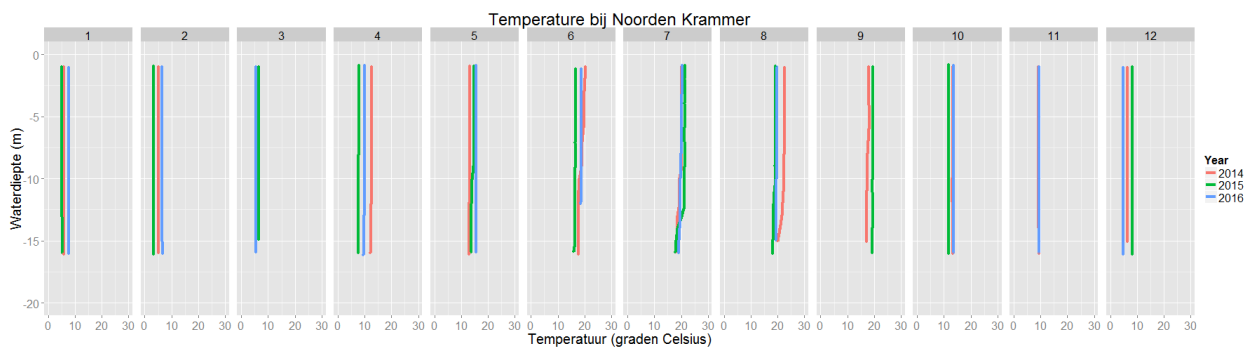


Temperatuur

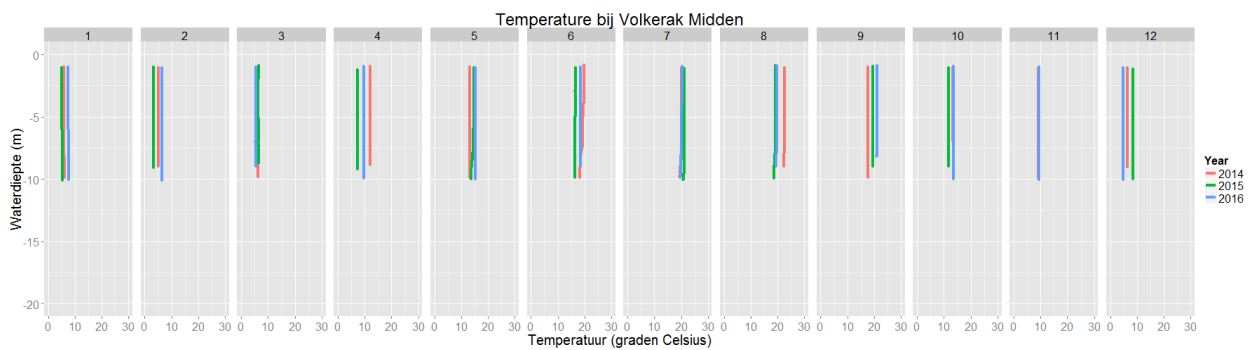
VS



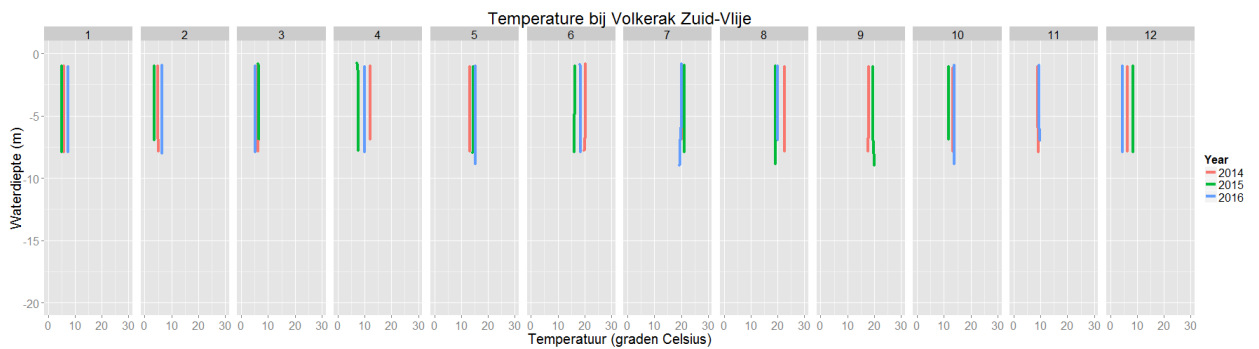
NK



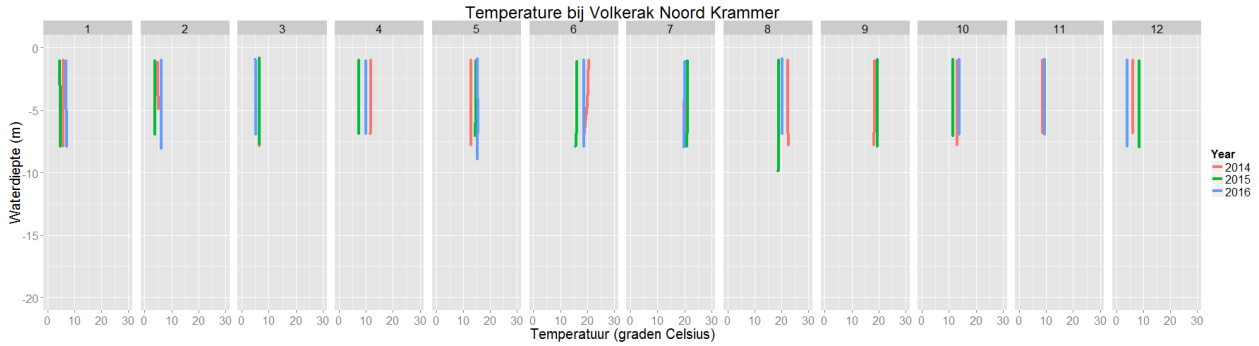
VM



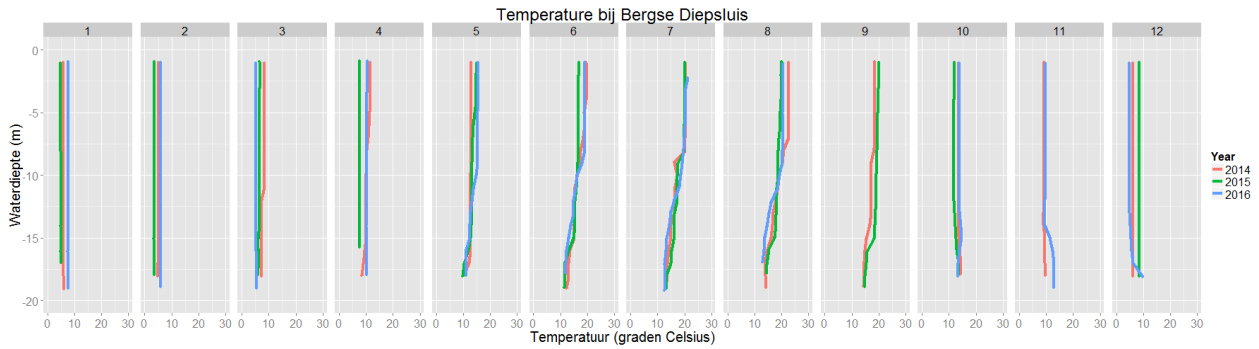
VZV



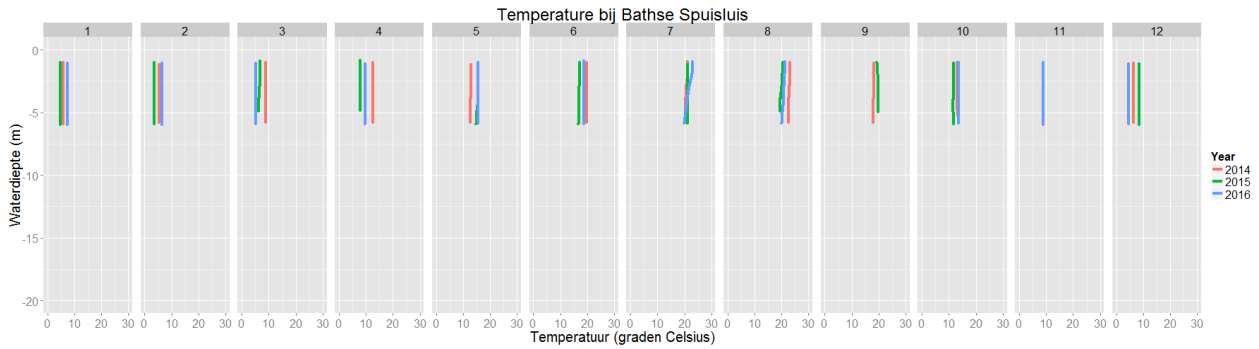
VNK



BDS

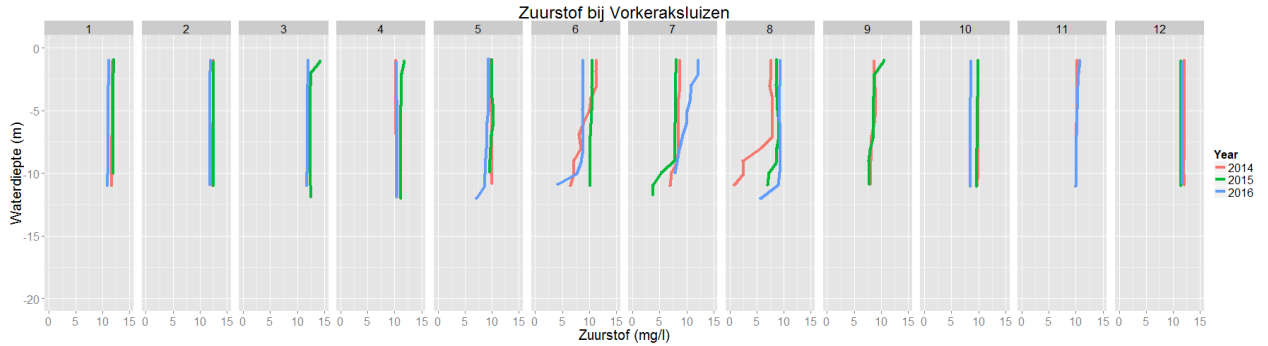


BSS

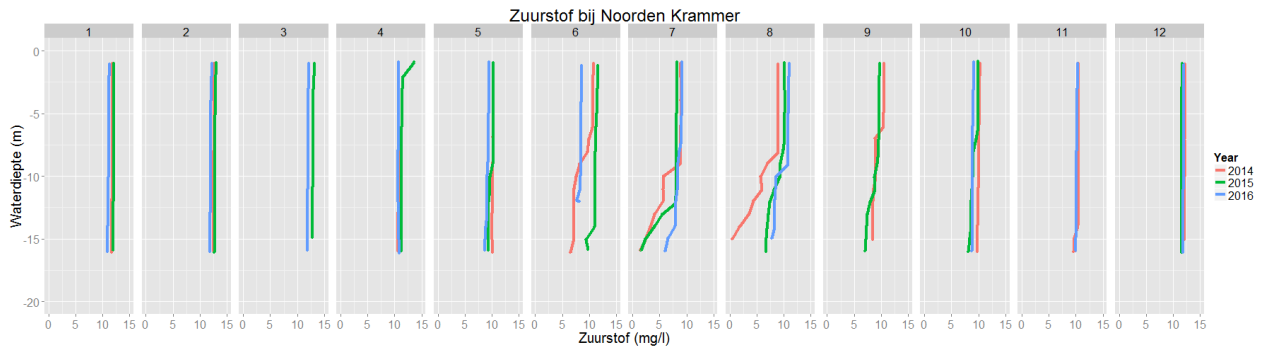


Zuurstof Percentage

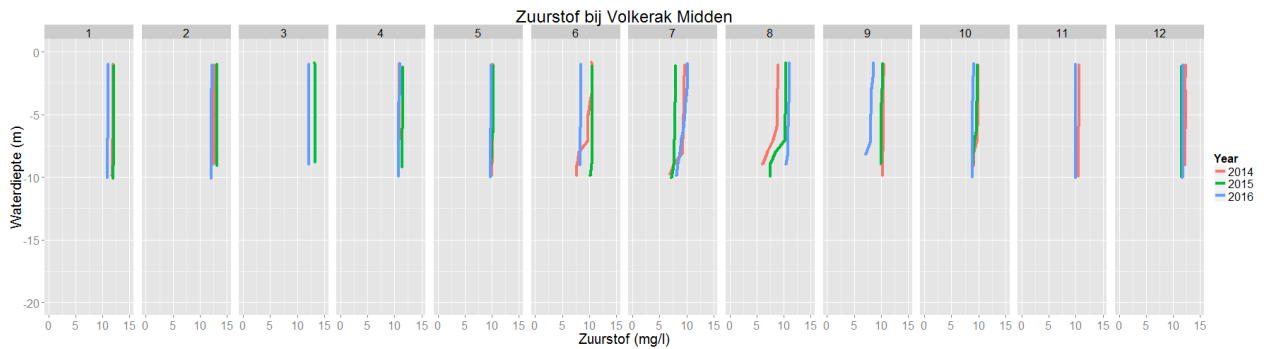
VS



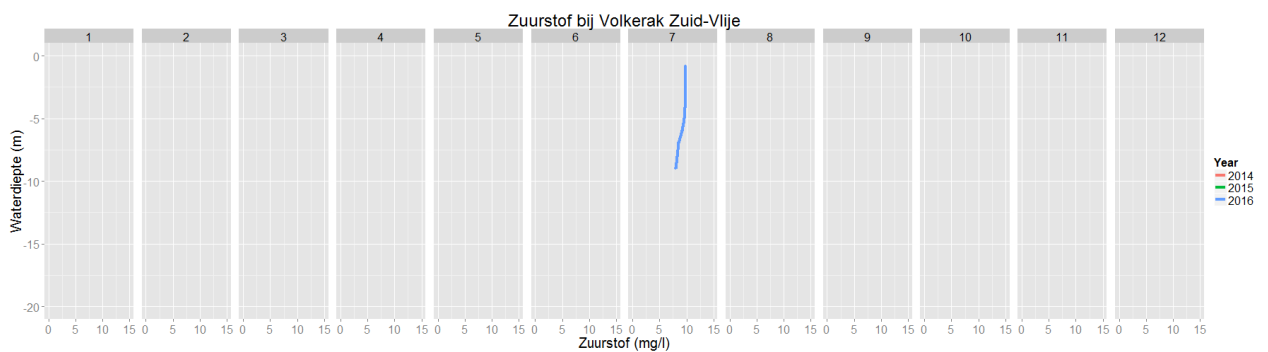
NK



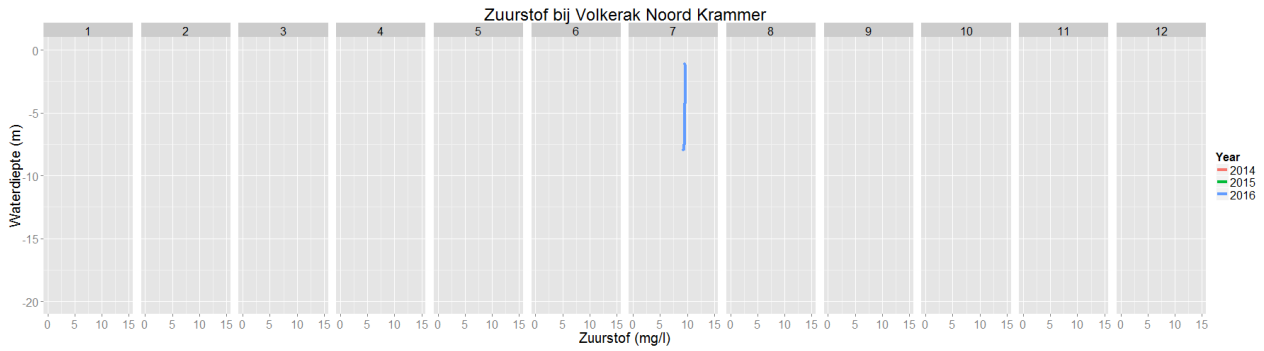
VM



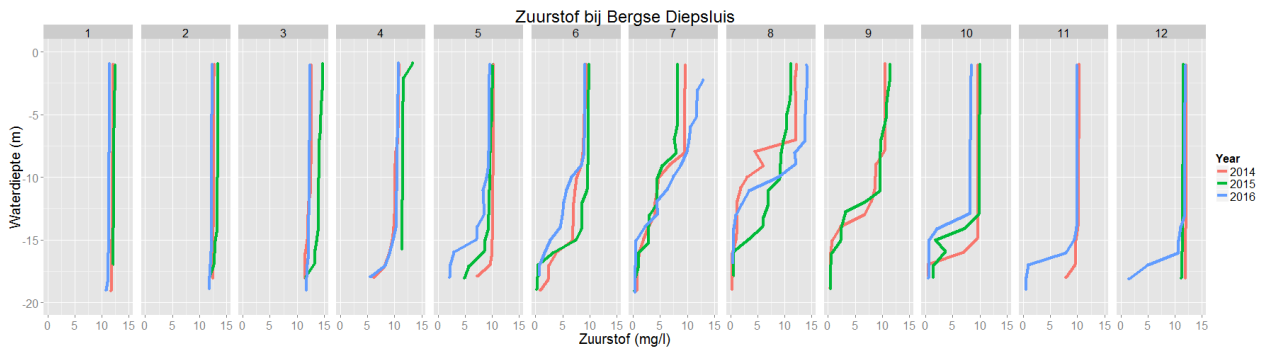
VZV



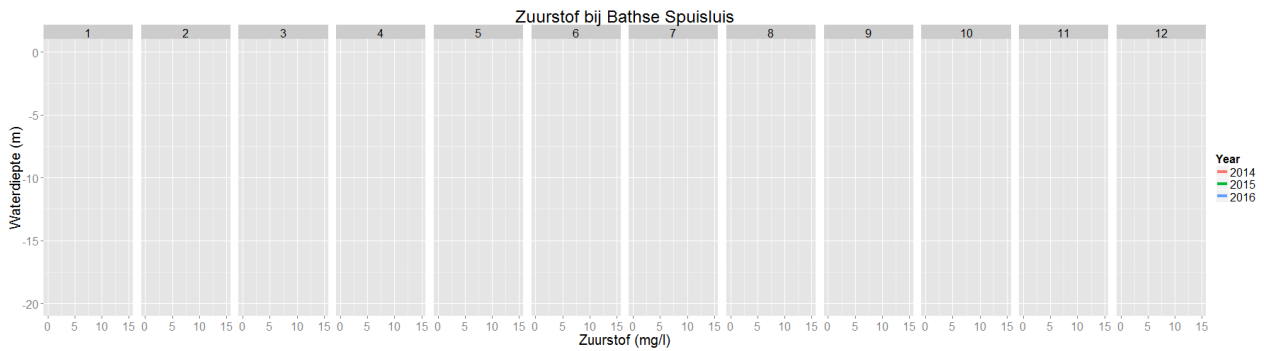
VNK



BDS



BSS



G Memo quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer

Quaggamosselen (*Dreissena rostriformis bugensis*) in het Volkerak-Zoommeer

Auteurs: Tom Ysebaert & Brenda Walles (Wageningen Marine Research)

G.1 Inleiding

Het Volkerak-Zoommeer staat sinds de Deltawerken (1987) niet meer onder invloed van het getij. Het is een zoetwatermeer geworden. Het Volkerak-Zoommeer omvat drie deelgebieden: Het Volkerak, de Schelde-Rijnverbinding en het Zoommeer. Het Zoommeer is ontstaan door de aanleg van de Oesterdam en de Markiezaatskade. Via het Schelde-Rijnkanaal staat het meer in rechtstreekse verbinding met het Volkerak.

G.1.1 Eutrofiëring

Sinds 1994 is er sprake van grote eutrofiëringsproblemen in het Volkerak-Zoommeer. Deze problemen doen zich met name voor in de zomer en het najaar wanneer er dikke drijfslagen van blauwalgen aanwezig zijn. De blauwalgenbloei zorgt voor overlast in de vorm van stinkende drijfslagen, zuurstofloze situaties en afgifte van giftige stoffen (toxinen) met negatieve gevolgen voor planten-, dierensoorten en watergebruikers. De aanwezigheid van blauwalgen heeft negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit waardoor het water onbruikbaar is voor de landbouw, ondrinkbaar voor vee, ongeschikt voor beregening en gevaarlijk als zwemwater (MER Waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer, 2012).

G.1.2 Benthische macrofauna in het Volkerak-Zoommeer

Door het zoet worden van het watersysteem zijn vrij snel alle zoutwatersoorten verdwenen. Geleidelijk kwamen er steeds meer zoetwatersoorten in de plaats. In het Volkerak-Zoommeer vormen larven van dansmuggen, wormen, weekdieren en kreeftachtigen het grootste deel van de macrofauna (Breukers et al. 1996). Larven van dansmuggen (*Chironomidae*) komen algemeen voor in zoete wateren en vormen daarin vaak de meest soortenrijke groep. Dit is ook het geval in het Volkerak-Zoommeer. Wormen vormen ook een soortenrijke groep, met in zoete wateren voornamelijk borstelarme wormen (*Oligochaeta*). De soortensamenstelling komt grotendeels overeen met het IJsselmeer en de Veluwerandmeren (Breukers et al. 1996).

Een belangrijke groep in het Volkerak-Zoommeer zijn tweekleppige schelpdieren, met name driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) en quaggamosselen (*Dreissena rostriformis bugensis*). Zij vormen niet alleen een belangrijke voedselbron voor bepaalde vissoorten en duikeenden, maar kunnen door hun filterende vermogen ook een aanzienlijke bijdrage leveren aan de helderheid van het water. De eerste volwassen driehoeksmosselen werden in het Volkerak aangetroffen in oktober 1987, een halfjaar na de voltooiing van de Philipsdam in april 1987 (Bak & Schouten 2004). In januari 1988 had de driehoeksmossel zich verspreid over het hele Volkerak meer en de Eendracht. Het Zoommeer dat een hoger zoutgehalte had dan het Volkerak, werd twee jaar later gekoloniseerd. Sinds 2006 heeft de exotische quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) zich gevestigd in het Volkerak-Zoommeer. Uit de bemonsteringen van zoetwatermosselen in de periode 2011 - 2016 (Bij de Vaate et al. 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 en 2016) blijkt dat de exotische mossel *Dreissena rostriformis bugensis* (quaggamossel) nu in een hoge dichtheden voorkomt in het Volkerak-Zoommeer.

De quaggamossel heeft hiermee de andere *Dreissena*-soort, de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*), vrijwel geheel verdreven uit het Volkerak-Zoommeer. Driehoeksmosselen spelen nog nauwelijks een rol; slechts 1% van de aangetroffen *Dreissena*'s bestaat uit deze soort.

G.2 Doel van deze memo

Sinds 2005 lijkt de waterkwaliteit te zijn verbeterd in het Volkerak-Zoommeer (de Vries & Postma 2013). Monitoring (2011-2012) bevestigen de trend naar minder algen en toegenomen helderheid. Begrazing van algen door quaggamosselen zou mogelijk de oorzaak zijn van de toegenomen helderheid (de Vries & Postma 2013). Deze memo presenteert en analyseert de resultaten van onderzoek en monitoring die zijn uitgevoerd in de periode 2011-2016 naar het voorkomen van quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer. Hiervoor wordt gebruikt gemaakt van de rapportages van Bij de Vaate et al. 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 en 2016, en data aangeleverd door Bram Bij de Vaate. Meer specifiek analyseert deze memo het voorkomen van de quaggamossel in relatie tot diepte en substraattypen, en berekent het de (potentiële) filtratiecapaciteit van de quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer.

Opmerking: De data die in deze rapportage gebruikt zijn wijken soms af van de data gerapporteerd in bovengenoemde monitoringsrapporten. Voor de biomassagegevens is gebruik gemaakt van een dataset aangeleverd door Bram bij de Vaate.

G.3 Quagga mossel (*Dreissena rostriformis bugensis*)

De quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) is een zoetwatermossel behorende tot het genus *Dreissena*, net als de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*). De soort is van oorsprong afkomstig uit het gebied rond de Zwarte en Kaspische Zee en werd in 2006 voor het eerst waargenomen in Nederland in het Hollandsch Diep. Sindsdien is de quaggamossel bezig aan een snelle opmars en komt in zo goed als alle grote rivieren en meren voor.

De quaggamossel is een *ecosystem engineer* (biobouwer) die door autogene en allogene processen zijn leefomgeving beïnvloedt. Daardoor heeft de quaggamossel ook een invloed op andere soorten en soortgroepen en kan het (in)direct bijdragen aan wijzigingen in ecosysteemfuncties, zoals de modificatie van nutriëntencycli, de helderheid van het water en verandering in voedselketens (Matthews *et al.*, 2012, de Hoop *et al.* 2015). Veel van deze effecten zijn afhankelijk van de dichtheden en biomassa's van de mosselen in een watersysteem. Als filtreerder, de quaggamossel filtert seston uit het water om aan zijn voedsel (fytoplankton) te komen, heeft de soort bij hoge dichtheden significante effecten op de zwevende stof concentraties. Dit kan invloed hebben op biotische factoren (bijv. afname algenbiomassa), maar ook op abiotische factoren (bijv. toename van helderheid en doorzicht van het water en accumulatie van organisch materiaal en nutriënten op de bodem door het uitscheiden van faeces en pseudofaeces). Een volwassen mossel filtert ongeveer een liter water per dag (o.a. Reeders *et al.* 1989), en bij dichtheden van enkele honderden mosselen per vierkante meter wordt een zodanig deel van het watersysteem gefilterd dat dit een sterk effect op de helderheid van het water kan hebben (o.a. Noordhuis *et al.* 1992).

In Nederland zijn meerdere effecten in het milieu waargenomen bij een toename van quaggamosselen, afhankelijk van de omgevingsfactoren, zoals de toename in helderheid van water, blauwalgenbloei, aanhechting op inheemse unioniden, wegdringen van de driehoeksmossel en een verschuiving in vissoorten (de Hoop *et al.* 2015). In andere gebieden zijn veranderingen in fytoplanktonsoortensamenstelling door selectief filtergedrag van quaggamosselen geobserveerd, alsmede voor- en nadelen voor macro-invertebraten en de vergiftiging van watervogels door het overbrengen van sporenvormende bacteriën (de Hoop *et al.* 2015).

Het effect van quaggamosselen op algenconcentraties, algensamenstelling, en daarmee op eutrofiëring en andere ecosysteemkenmerken dat in de literatuur beschreven staat is zeer

wisselend en zowel de filtercapaciteit als de algenselectiviteit vertoont grote variaties, afhankelijk van het type watersysteem maar ook afhankelijk van de gehanteerde onderzoeksmethoden (bijv. de Hoop et al. 2015). Dit maakt het lastig om éénduidig het effect van quaggamosselen op specifiek het Volkerak-Zoommeer ecosysteem te duiden (Smith et al. 2016).

Voor meer gedetailleerde informatie over leefwijze, habitateisen, tolerantie, effecten op ecosysteemfuncties en impact: zie van Emmerik (2014), de Hoop et al. (2015).

G.4 Quaggamossel in Volkerak-Zoommeer

G.4.1 Monitoring

Sinds 2011 worden Dreisenidae systematisch gemonitord in het Volkerak-Zoommeer (Bij de Vaate et al., 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016). Op 122 locaties in het Volkerak, en sinds 2013 ook op 22 locaties in het Schelde-Rijnkanaal en 24 locaties in het Zoommeer, wordt met een Van-Veen happer een bodemonmonster genomen in het najaar. Elk bodemonster is gespoeld op een zeef met een maaswijdte van 1 mm, waarna de Dreissena's uit het op de zeef achtergebleven materiaal zijn verzameld. Van de aangetroffen Dreissena's is vervolgens het biovolume bepaald. Tevens zijn van elke locatie de volgende gegevens vastgelegd:

- a. de locatie (X- en Y-coördinaat),
- b. de diepte,
- c. het geschatte percentage lutum van de toplaag van de bodem (Bijlage 4)
- d. het primaire aanhechtingssubstraat voor de Dreissena's,
- e. de aanwezigheid van Corbicula's (korfmosselen).

De bemonsterde locaties liggen zodanig in het gebied verspreid dat vrijwel alle voorkomende dieptes > 2m worden bemonsterd. Het aantal locaties per diepteklasse (2-4, 4-6, 6-8, 8-10, > 10 m) is vrijwel gelijk over de onderzoekjaren (bij de Vaate et al. 2016). De enkele locaties die een gemeten diepte < 2m hadden worden bij de diepteklasse 2-4 m gerekend.

Voor de quaggamosselen is in vier onderscheiden deelgebieden (westelijk (deelgebied A) en oostelijk deel (deelgebied B) van het Volkerak, het Schelde-Rijnkanaal en het Zoommeer) tevens de populatieopbouw bepaald en is de relatie bepaald tussen de schelplengte en biovolume (V) en asvrij drooggewicht (AFDW). Per lengteklasse en per (deel-)gebied zijn daartoe dieren van verschillende locaties samengevoegd om de bepalingen van biovolume en asvrij droog vleesgewicht met voldoende exemplaren per lengteklasse te kunnen uitvoeren. Om de hoeveelheid Dreissena's per monster, uitgedrukt in ml, te kunnen omrekenen naar hoeveelheid asvrij droog vleesgewicht is gebruik gemaakt van de relaties tussen:

- a. de schelplengte en het biovolume (V).
- b. de schelplengte en het asvrij droog vleesgewicht (AFDW).

Voor nadere details en de opgestelde relaties wordt verwezen naar de onderliggende rapportages van Bij de Vaate et al. (2011 – 2016). Data voor biomassa zijn door Bram bij de Vaate ter beschikking gesteld voor het Volkerak en deze data zijn verder in dit rapport gebruikt.

G.4.2 Resultaten

G.4.2.1 Voorkomen en biovolumes

In het Volkerak schommelt het voorkomen, dit is het aantal monsters waarin Dreissena's worden aangetroffen in de periode 2011 – 2016 tussen 50 en 64%, met de laagste waarde in 2016 (Tabel G.1). In het Schelde-Rijnkanaal bevatten 45 – 64 % van de locaties Dreissena's,

in het Zoommeer 29 – 54 %. Driehoeksmosselen komen bijna niet voor in het Volkerak-Zoommeer. In alle deelgebieden bedroeg hun aandeel <2% in de Dreissena gemeenschap (op basis van aantallen) (Bij de Vaate et al. 2016). De quaggamossel is dan ook de dominante Dreissena soort in het Volkerak-Zoommeer.

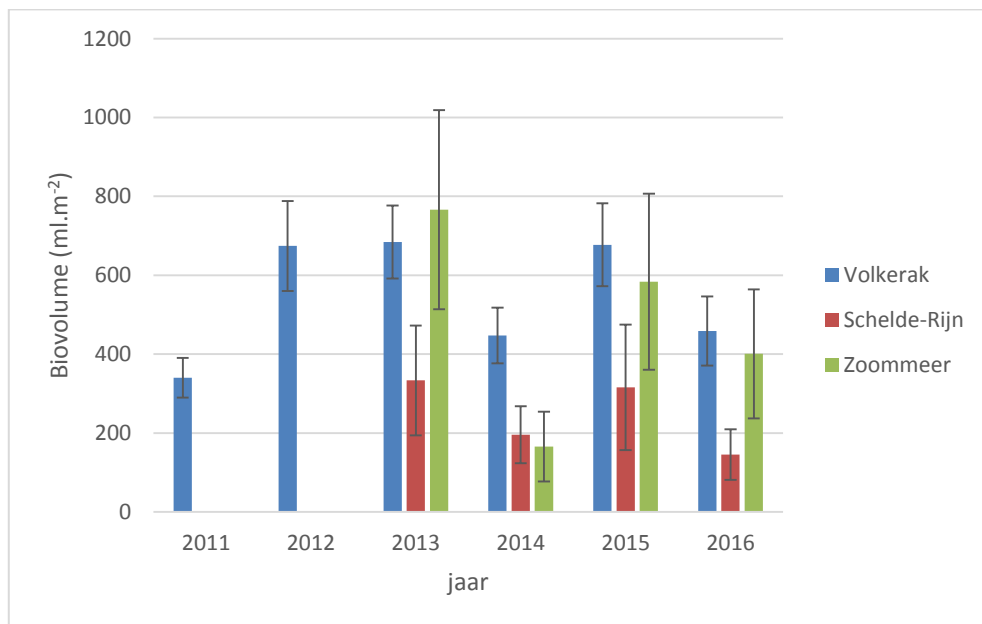
Tabel G.1. Percentage van het aantal locaties waarin quaggamosselen voorkomen in het Volkerak, Schelde-Rijnkanaal en Zoommeer in de periode 2011-2016.

	Volkerak (n = 122)	Schelde-Rijnkanaal (n=22)	Zoommeer (n=24)
2011	61 %		
2012	64 %		
2013	61 %	64 %	54%
2014	57 %	55 %	29%
2015	59 %	55 %	42 %
2016	50 %	45 %	38 %

Het biovolume toont sterke schommelingen tussen jaren (Tabel G.2, Figuur G.1). In de periode 2011 – 2013 is er een duidelijke toename waar te nemen, waarna het biovolume in de periode 2014 – 2016 schommelingen vertoont. Het jaar 2013 vertoont voor alle deelgebieden het hoogste gemiddelde biovolume. In het Schelde-Rijnkanaal is het gemiddelde biovolume duidelijk lager in vergelijking met het Volkerak, in het Zoommeer is het biovolume meer vergelijkbaar.

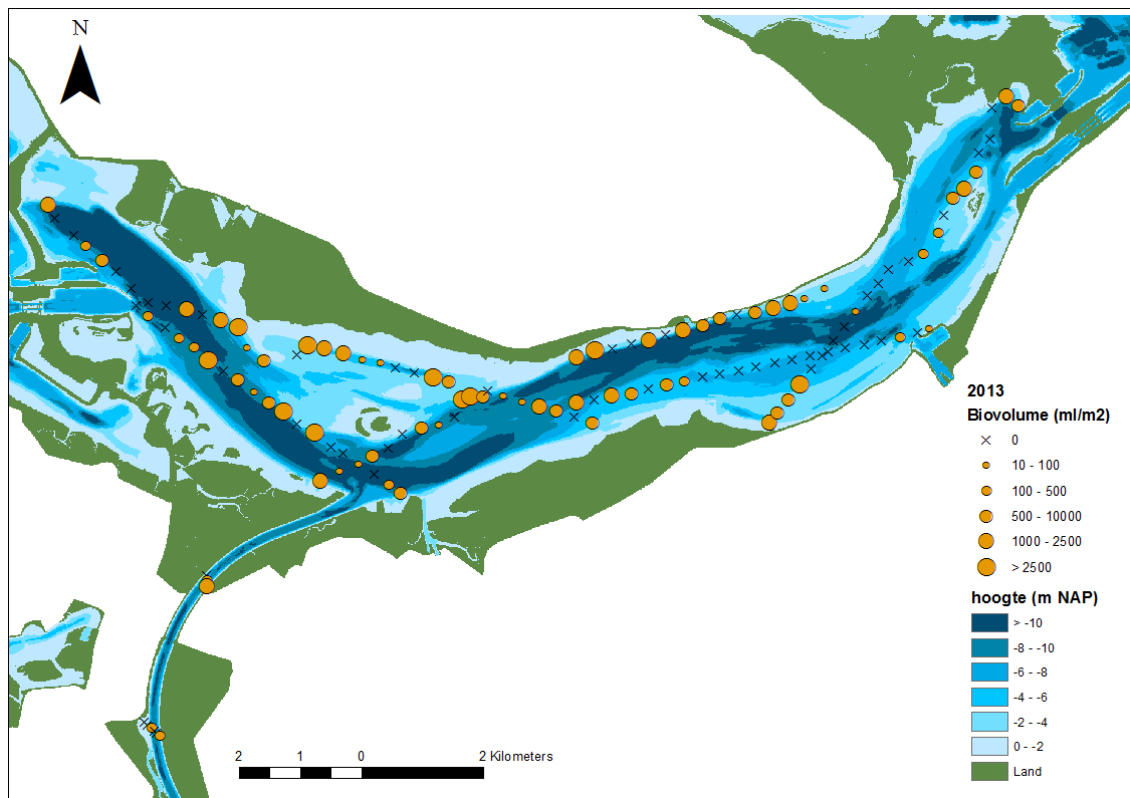
Tabel G.2. Gemiddeld Dreissena (quaggamosselen) biovolume (ml per 1 m² ± SE) in het Volkerak, Schelde-Rijnkanaal en Zoommeer in de periode 2011-2016.

Biovolume (ml per 1 m ²)	Volkerak (n = 122)	Schelde-Rijnkanaal (n=22)	Zoommeer (n=24)
2011	340 ± 50		
2012	674 ± 114		
2013	684 ± 93	334 ± 139	766 ± 252
2014	447 ± 71	195 ± 72	165 ± 89
2015	677 ± 105	316 ± 159	584 ± 223
2016	459 ± 88	145 ± 64	401 ± 164
Gemiddelde 2011 - 2016	547 ± 40	248 ± 58	479 ± 97



Figuur G.1. Gemiddeld *Dreissena* (quaggamosselen) biovolume (ml per 1 m² ± SE) in het Volkerak, Schelde-Rijnkanaal en Zoommeer in de periode 2011-2016.

Figuur G.2 geeft de verspreiding weer van quaggamosselen in 2013, het jaar met het hoogste gemiddelde biovolume. In appendix 1 staan de verspreidingskaarten voor alle jaren.



Figuur G.2. Verspreiding van *Dreissena* (quaggamosselen) in het Volkerak in 2013.

G.4.2.2 Biomassa

De gemiddelde biomassa in het Volkerak varieert tussen 5,2 en 13,2 g AFDW per m² (Tabel G.3) en volgt hetzelfde patroon als het biovolume.

Tabel G.3. Gemiddelde biomassa quaggamosselen (g AFDW per 1 m² ± SE) in het Volkerak in de periode 2011-2016.

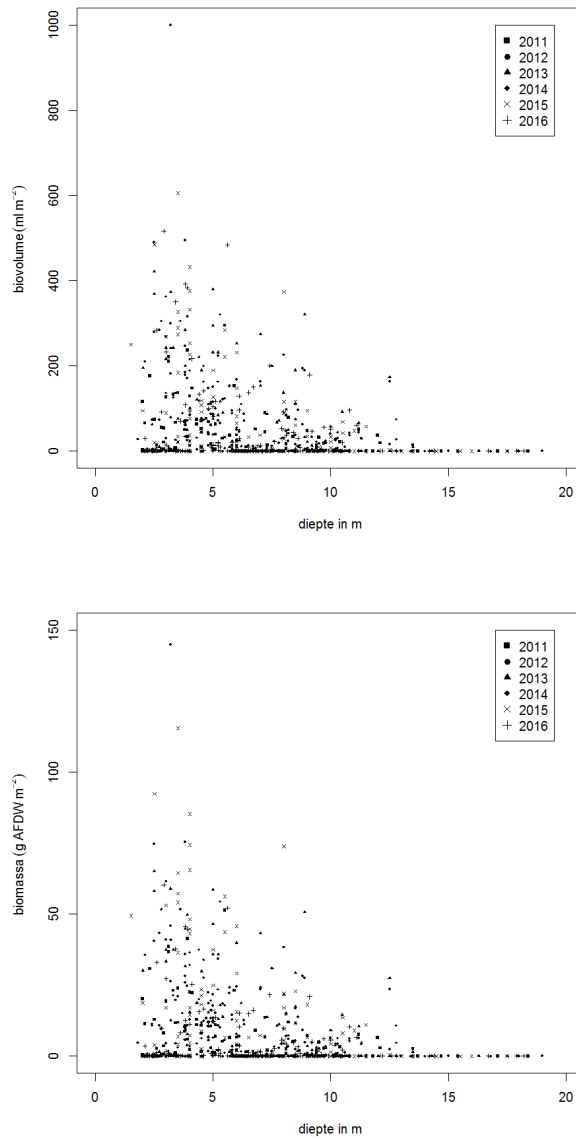
Biomassa (g AFDW per 1 m ²)	Volkerak (n = 122)
2011	5,7 ± 0,9
2012	10,0 ± 1,7
2013	10,7 ± 1,4
2014	7,3 ± 1,2
2015	13,2 ± 2,1
2016	5,2 ± 1,0
Gemiddelde 2011 - 2016	8,4 ± 0,6

G.4.2.3 Relatie met diepte en sediment

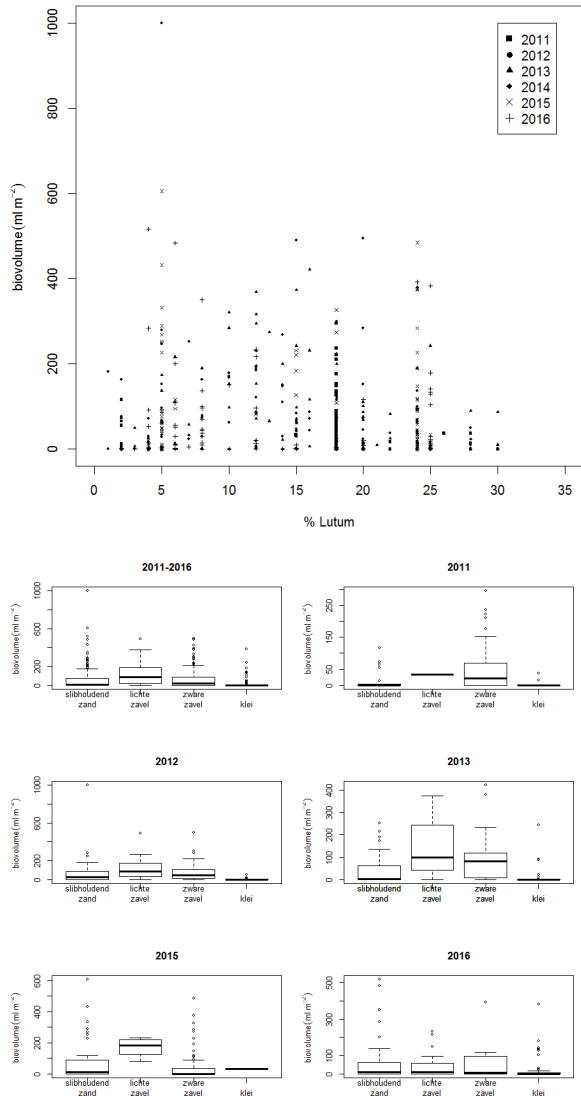
Quaggamosselen komen over de volledige diepte range voor, met een voorkeur voor locaties < 6 m (Figuur G.3, Tabel G.4). Dieper dan 10 meter wordt het waargenomen biovolume en biomassa beduidend lager en dieper dan 12 meter worden er nagenoeg geen quaggamosselen meer aangetroffen. Met betrekking tot het sediment lijkt lichte zavel de grootste voorkeur te hebben, maar quaggamosselen komen over de volledige range van lutumgehaltes voor (Figuur G.4).

Tabel G.4. Het voorkomen en gemiddeld biovolume (over de periode 2012 – 2016) van quaggamosselen per diepteklasse in het Volkerak-Zoommeer.

Diepteklasse	Voorkomen	Biovolume
2-4	67%	909 ± 97
4-6	75%	771 ± 68
6-8	41%	280 ± 45
8-10	60%	298 ± 47
>10	34%	133 ± 23



Figuur G.3. Relatie tussen diepte en biovolume (links) en biomassa (rechts) voor de volledige periode 2012 – 2016 in het Volkerak.



Figuur G.4. Relatie tussen lutum gehalte en biovolume (links) en boxplot met biovolume per sedimentklasse (rechts) voor de volledige periode 2011 – 2016. Voor 2014 zijn geen sedimentdata beschikbaar.

G.4.2.4 Filtratiecapaciteit

Om een beeld te krijgen van de hoeveelheid water door quaggamosselen per tijdseenheid gefilterd wordt is een berekening uitgevoerd naar de filtratiecapaciteit van quaggamosselen, gelinkt aan de hoeveelheid quaggamosselen (per diepteklasse) in het Volkerak. Deze berekening is dus enkel gedaan voor het Volkerak, waarbij wel rekening is gehouden met verschillen tussen deelgebieden Volkerak A en Volkerak B. Hierbij wordt tevens verondersteld dat de monitoring van de quaggamosselen representatief is voor het volledige Volkerak.

Om de filtratiecapaciteit van een mossel te kennen moet men weten hoeveel liter water een mossel filtert in een bepaalde duur (bijv. per uur). De filtratiecapaciteit is afhankelijk van meerdere factoren, waaronder temperatuur, stroomsnelheid van het water, de algenconcentratie, de algensamenstelling, de concentratie slibdeeltjes en de mosselgrootte (Baldwin et al. 2002; Ackerman 1999). De gerapporteerde of gepubliceerde filtratiesnelheden

van driehoeksmosselen en quaggamosselen variëren sterk, van 10 tot 400 ml per mossel per uur. Dit heeft onder meer te maken met verschillen in proefopzet/omstandigheden (Bij de Vaate, 2008). Uit onderzoek is gebleken dat de filtratiesnelheid, de snelheid waarmee één deeltje is gefiltreerd, erg weinig verschilt tussen de twee mosselsoorten. Een driehoeksmossel van 2 cm filtert in de zomer ongeveer een liter water per dag (Reeders & Bij de Vaate, 1992). Het gebied dat de Dreissena's beïnvloeden met filter-feeding is beperkt tot minder dan een meter afstand van de mosselen. Voor de mate van effect is dus menging van de waterkolom (bijvoorbeeld door windwerking) van belang (ref. in Matthews et al., 2012).

Om de potentiële filtratiecapaciteit (in L/h) van quaggamosselen in het Volkerak te schatten is gebruik gemaakt van de volgende relaties (opgesteld voor driehoeksmosselen):

- Kryger & Riisgård (1988): Filtratiecapaciteit = aDW^b waar $a = 6,82$ en $b = 0,88$ (DW = drooggewicht per lengteklasse, berekend door het AFDW te delen door 0,88);
- Reeders et al. (1989) / Noordhuis et al. (2016): Filtratiecapaciteit = $(15,43 / (0,293 + 52,38e^{-0,367L}))/1000$ waar L = schelpenlengte in mm.

Op basis van de relaties tussen schelpenlengte en biomassa, en rekening houdend met de populatieopbouw (afzonderlijk voor Volkerak A en Volkerak B), en de gemiddelde biomassa per diepteklasse, en de oppervlakte van elke diepteklasse (Appendix 2), is vervolgens voor elk jaar de filtratiecapaciteit berekend.

Bij de formule van Reeders et al. (1989) zijn drie varianten gebruikt om de filtratiecapaciteit van de quaggamosselen te berekenen (naar analogie met Nefs, 2012). De varianten worden gevarieerd aan de hand van het zwevend stofgehalte, omdat het zwevend stofgehalte invloed heeft op de filtratiesnelheid van de quaggamosselen. Hoe hoger het zwevend stof in de waterkolom, hoe langzamer de filtratiesnelheid van de Dreissenapopulatie. Hierbij is volgende formule toegepast:

$$FC = 187,1 * \exp^{-0,037 * ZS}$$

Als 1^e variant is het gemiddeld zwevend stofgehalte van de zomermaanden van het jaar 2011 (ZS=4,92 mg/L) ingebouwd in de formules. Als 2^e variant is gekozen om hetzelfde zwevend stofgehalte als Bureau Waardenburg (ZS= 7,6 mg/L) te hanteren (Bak et al., 2004), Om een "Worst Case Scenario" voor het Volkerak te bepalen is voor een zwevend stofgehalte van 31 mg/L gekozen (variant 3). Dit is één van de hogere gemeten zwevend stofgehalten in de jaren 2000 tot en met 2010 (Nefs, 2012). De correctiefactoren voor de 3 varianten zijn:

Variant 1: Correctiefactor gemiddelde zomermaanden 2011: 3,13

Variant 2: Correctiefactor aanname Bureau Waardenburg: 2,83

Variant 3: Correctiefactor Worst Case Scenario: 1,19

De filtratieberekeningen zijn enkel uitgevoerd voor het Volkerak. Het Volkerak heeft veruit het grootste wateroppervlak en volume van het Volkerak-Zoommeer (Appendix 2).

Vervolgens is berekend in hoeveel dagen het Volkerak gefiltreerd wordt, op basis van een volume van het Volkerak van 231709454 m³ (Appendix 2). De uitkomsten van deze filtratieberekeningen zijn samengevat in Tabel G.5. Hierbij dient vermeld te worden dat hier geen rekening is gehouden met de zone 0-2 meter en de daarin voorkomende quaggamosselen (niet bemonsterd).

Tabel G.5. Filtratiedruk van quaggamosselen in het Volkerak: aantal dagen om het volledige Volkerak te filteren door de aanwezige quaggamosselen.

Jaar	Kryger & Riisgård (1988)	Reeders et al. (1989)	Reeders et al. (1989) – Var 1	Reeders et al. (1989) – Var 2	Reeders et al. (1989) – Var 3
2011	4,2	12,9	4,1	4,6	10,9
2012	1,9	5,8	1,9	2,1	4,9
2013	2,0	6,0	1,9	2,1	5,0
2014	3,7	11,1	3,6	3,9	9,3
2015	1,5	4,9	1,6	1,7	4,1
2016	4,5	12,4	3,9	4,4	10,4

De berekende filtratiedruk verschilt naargelang de gehanteerde berekeningsmethode. De resultaten bekomen volgens de methode Kryger & Riisgård (1988) en Reeders et al. (1989) verschillen een factor 3. Corrigerend voor het zwevend stofgehalte in de berekeningsmethode volgens Reeders et al. (1989) worden met de correctiefactor variant 1 vergelijkbare resultaten als Kryger & Riisgård (1988) bekomen. Afhankelijk van het jaar filteren de quaggamosselen dan het hele Volkerak in 1,5 tot 4,2 dagen. Dit komt overeen met 73 tot 218 liter per uur per m². Bij een hoog zwevend stofgehalte (variant 3) neemt dit toe tot 4,9 – 10,9 dagen. Hiermee kunnen ze een effect hebben op de algenbloei (blauwalgen) en het doorzicht van het Volkerak, maar de resultaten moeten als indicatief beschouwd worden, gezien de vele onzekerheden (zie ook Smith et al., 2016).

G.5 Literatuur

- Bak A. & P. Schouten, 2004. Eutrofiëring en blauwalgen: stimulering van driehoeksmosselen in het Volkerak-Zoommeer. H2O 9 (2004): 19 - 22.
- Bak, A., Bouma, S., Poot, M., & Schouten, P. (2004). Waterzuivering door driehoeksmosselen (*Dreissena polymorpha*) in het Volkerak-Zoommeer. Culemborg: Bureau Waardenburg bv.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2011. Verkenning van de Dreissenadichtheid in het Volkerak. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2011/04.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2012. De Dreissenadichtheid in het Volkerak: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2012. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2012/04.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2013. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2013. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2013/03.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2014. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2014. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2014/01.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2015. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2015. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2015/01.
- Bij de Vaate, A., E.A. Jansen & S.J. bij de Vaate, 2016. De Dreissenadichtheid in het Volkerak-Zoommeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in 2016. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2016/02.
- Breukers, C.P.M., A.A. Storm, E.M. van Dam, M.C.M. van Oirschot, 1996. Biologische monitoring zoete rijkswateren: watersysteemrapportage Volkerak-Zoommeer 1987-1994. RIZA nota nr. 96.003.
- de Hoop L., M.C.M. Bruijs, F.P.L. Collas, L.M. Dionisio Pires, M. Dorenbosch, A. Gittenberger, J. Matthews, H.H. van Kleef, G. van der Velde, J.A. Vonk, R.S.E.W. Leuven. 2015. Risicobeoordeling en uitzetcriteria voor de uitheemse quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis*) in Nederland. Radboud Universiteit Nijmegen, RU/FNWI/FEZ-MK626460.
- de Vries, I., H. Postma, 2013. Quick scan waterkwaliteit en ecologie Volkerak-Zoommeer. 1207783-000-VEB-0005. Deltares 2013.
- Kryger, J. & Riisgård, H.U. 1988. Filtration rate capacities of 6 species of European freshwater bivalves. *Oecologia* 77:34–38.
- Matthews, J., Van der Velde, G., Bij de Vaate, A. & Leuven, R.S.E.W. (2012). Key factors for spread, impact and management of Quagga mussels in the Netherlands. Reports Environmental Science nr. 404. Radboud University Nijmegen, Institute for Water and Wetland Research, Department of Environmental Science & Department of Animal Ecology and Ecophysiology & Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, Nijmegen, the Netherlands, p. 123.
- MER, 2012. Milieueffectrapportage waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer. Planstudie Waterkwaliteit Volkerrak Zoommeer. April 2012.
- Nefs, a. 2012. Volkerak-Zoommeer: van helder naar troebel naar... : Mogelijke verklaring van de toename in het doorzicht in het Volkerak-Zoommeer op basis van een ecologische analyse en door het toepassen van een filtratieberekening op *Dreissena*'s. Stagerapport Hogeschool Rotterdam.
- Noordhuis R., H.H. Reeders & A. bij de Vaate 1992. Filtration rate and pseudofaeces production in Zebra Mussels and their application in water quality management. In: Neumann

& Jenner (red.), The Zebra Mussel *Dreissena polymorpha*. Limnology Aktuell, Band 4, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, pp. 101-114.

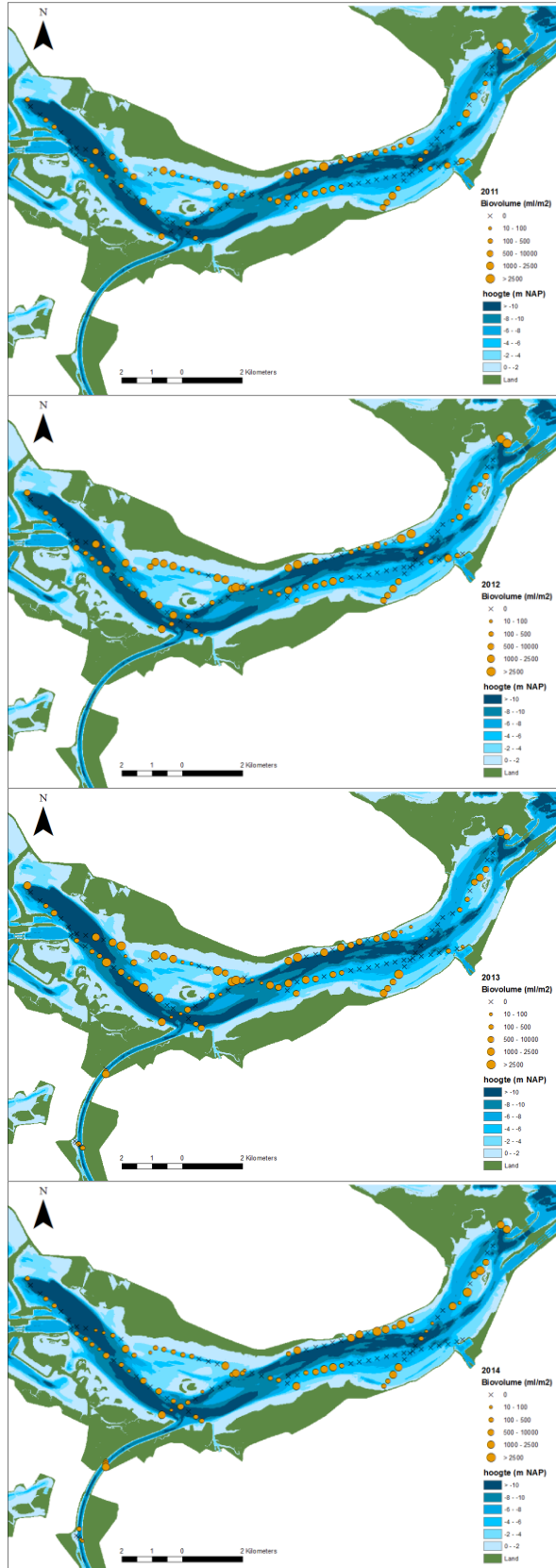
Noordhuis R., B.G. van Zuidam, E.T.H.M. Peeters, G.J. van Geest. 2016. Further improvements in water quality of the Dutch Borderlakes: two types of clear states at different nutrient levels. *Aquat. Ecol.* 50: 521–539

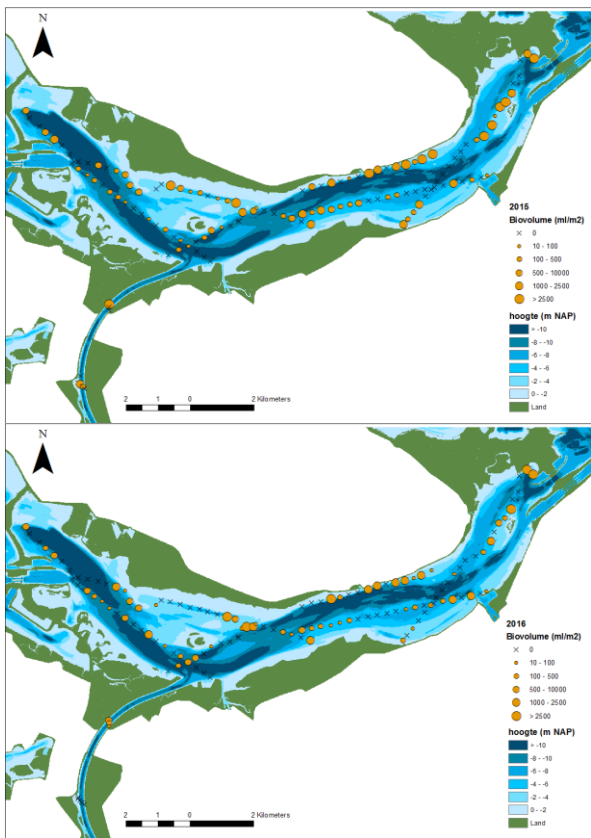
Reeders H.H., A. bij de Vaate & F.J. Slim 1989. The filtration rate of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia) in three Dutch lakes with reference to biological water quality management. *Freshwater Biology* 22: 133-141.

Smith S., M. Tangelder, M. Poelman, P. Kamermans, J. Veraart, M. de Lange. 2016. Inventarisatie onderzoek blauwalg Volkerak-Zoommeer. Memo WMR/WER, in opdracht van Ministerie van Economische Zaken.

van Emmerik W.A.M., 2014. Factsheet quaggamossel (*Dreissena rostriformis bugensis* Andrusov, 1897). Sportvisserij Nederland, Bilthoven.

APPENDIX 1. Verspreiding van Dreissena (quaggamosselen) in het Volkerak voor de jaren 2011 t/m 2016.





APPENDIX 2. Areaal (ha) van elke diepteklasse en volume (m3) in de verschillende deelgebieden in het Volkerak-Zoommeer.

Overzicht areaal diepte klassen in Ha

Deelgebied	0 – 2 m	2 – 4 m	4 – 6 m	6 – 8 m	8 – 10 m	>10 m
Volkerak A	593,67	396,91	170,04	229,84	332,80	430,83
Volkerak B	278,02	346,45	353,40	396,04	197,66	236,47
Zoommeer	152,37	71,88	43,38	51,36	23,40	143,77
Schelderijn Kanaal Noord	96,07	115,06	50,05	95,30	106,16	20,63
Schelderijn Kanaal Zuid	70,51	75,15	38,12	149,25	11,70	5,34

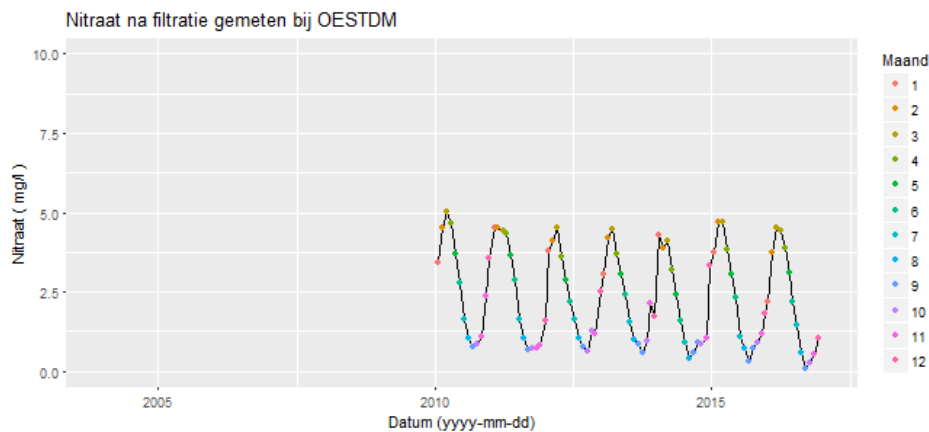
Voor de diepste zone is voor de filtratieberekeningen uitgegaan van een diepte 10 – 13,5 meter, omdat dieper nauwelijks quaggamosselen voorkomen in het Volkerak. De oppervlakte die hierbij gehanteerd is voor Volkerak A en B is 328,43 en 204,7 ha respectievelijk (uit Nefs, 2012).

Overzicht van volume in m3 (berekend bij een waterstand van 0 NAP)

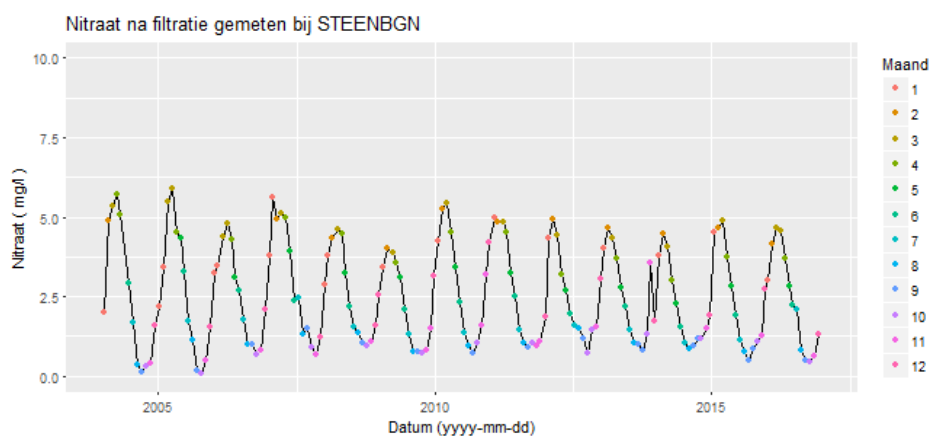
Deelgebied	Volume m3
Volkerak A	127.746.124
Volkerak B	103.963.330
Zoommeer	31.555.398
Schelderijn Kanaal Noord	24.982.492
Schelderijn Kanaal Zuid	17.148.879

H Nutriënten en chlorofyl-a

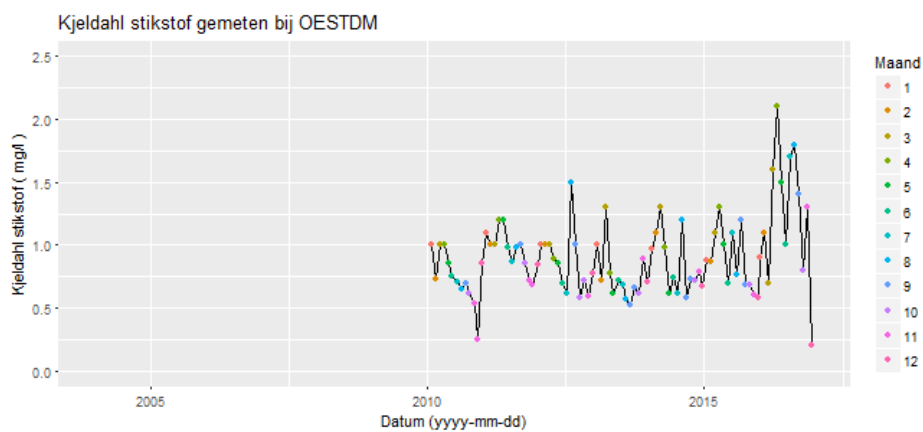
Stikstof fracties



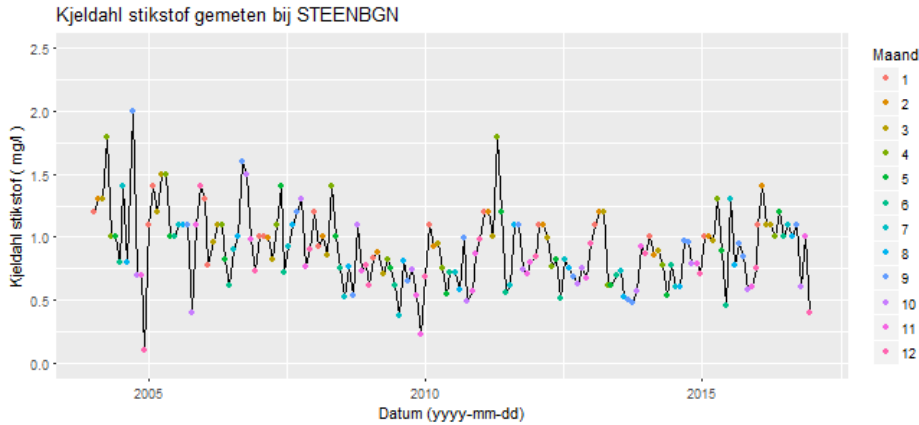
Figuur H.1 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



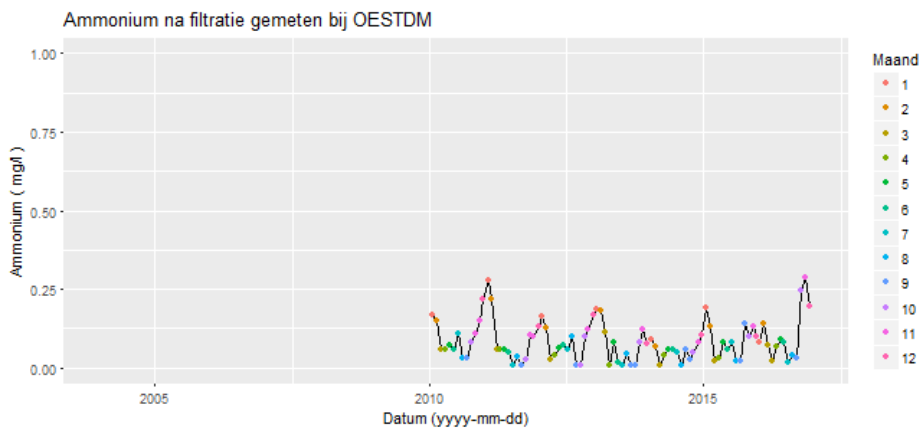
Figuur H.2 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



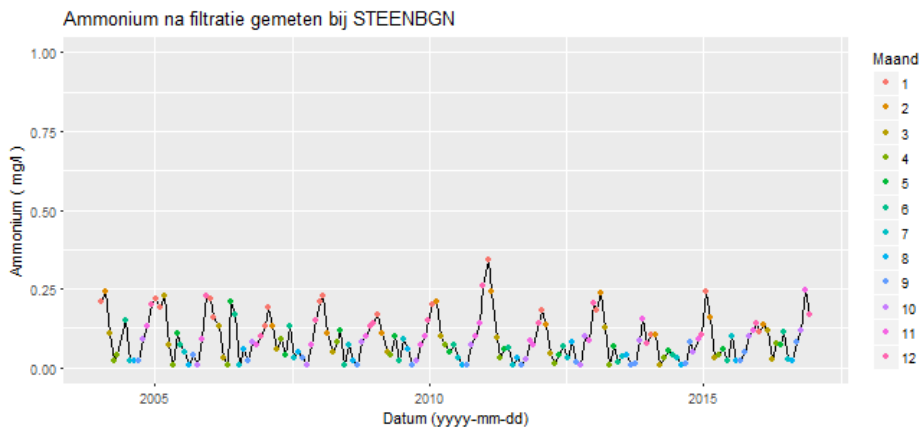
Figuur H.3 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



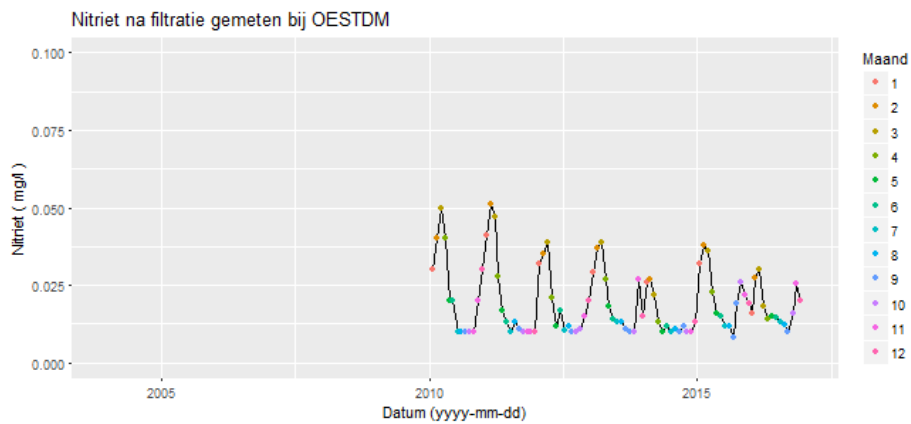
Figuur H.4 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



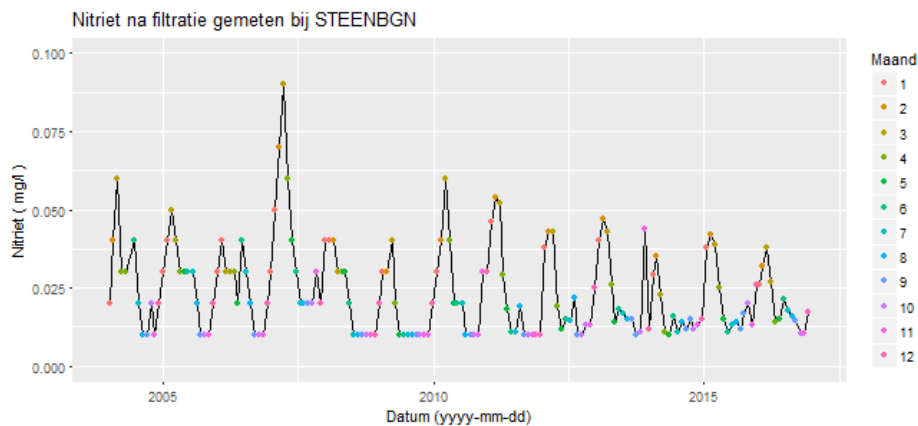
Figuur H.5 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



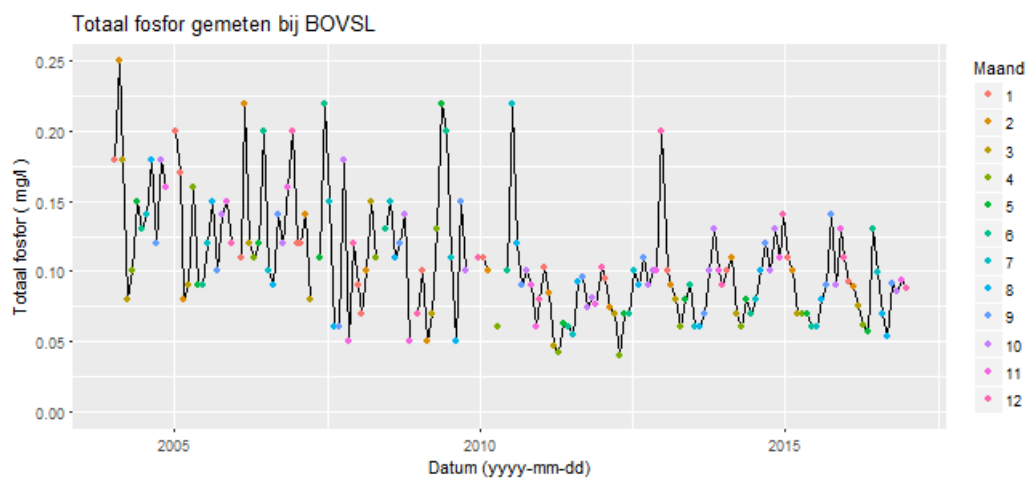
Figuur H.6 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



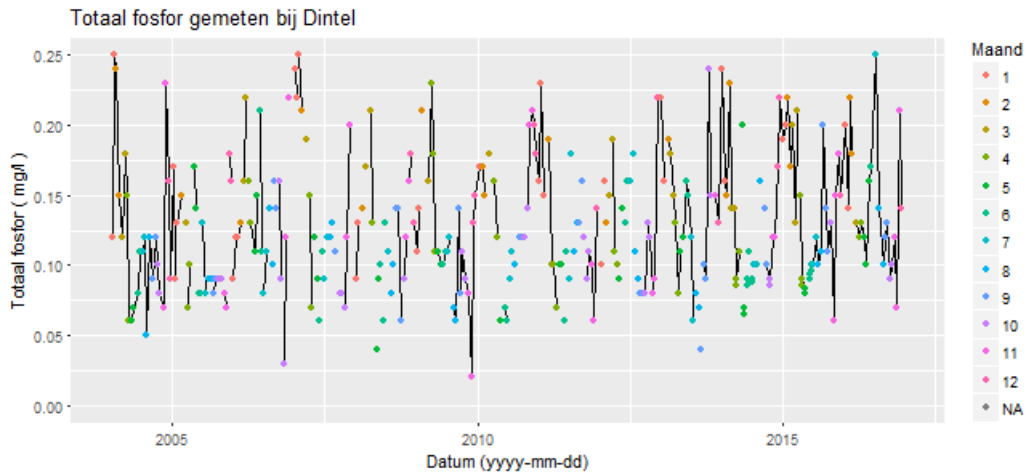
Figuur H.7 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



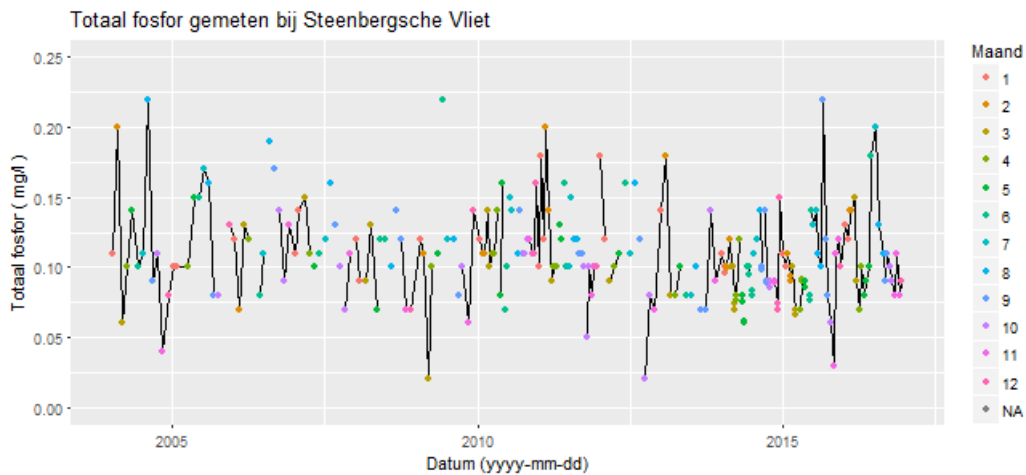
Figuur H.8 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Steenberg. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



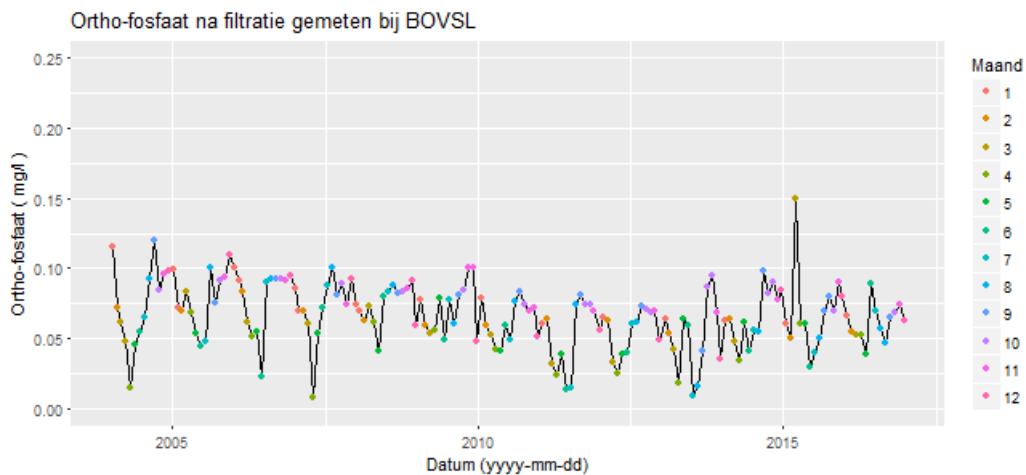
Figuur H.9 Totaal fosfor zoals gemeten bij Bovensluis (Hollandsch Diep). Deze locatie toont de kwaliteit van het inlaat water via de Volkeraksluis.



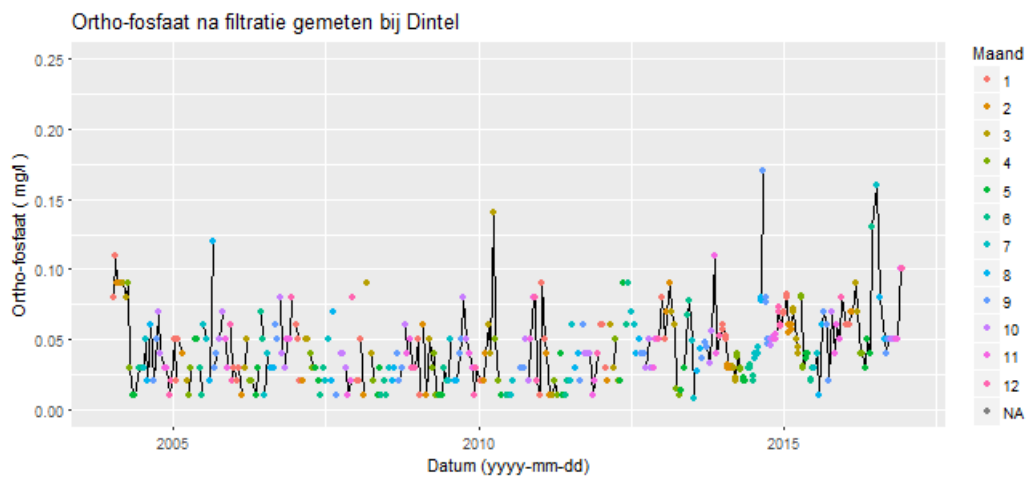
Figuur H.10 Totaal fosfor zoals gemeten bij de uitstroom van de Dintel



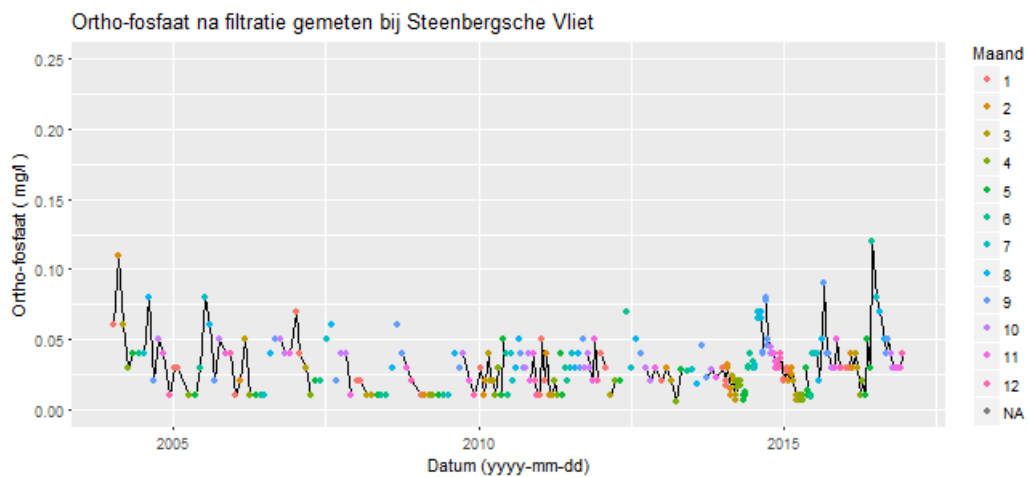
Figuur H.11 Totaal fosfor zoals gemeten bij de uitstroom van de Steenbergsche Vliet



Figuur H.12 Ortho-fosfaat zoals gemeten bij Bovensluis (Hollandsch Diep). Deze locatie toont de kwaliteit van het inlaat water via de Volkeraksluis.

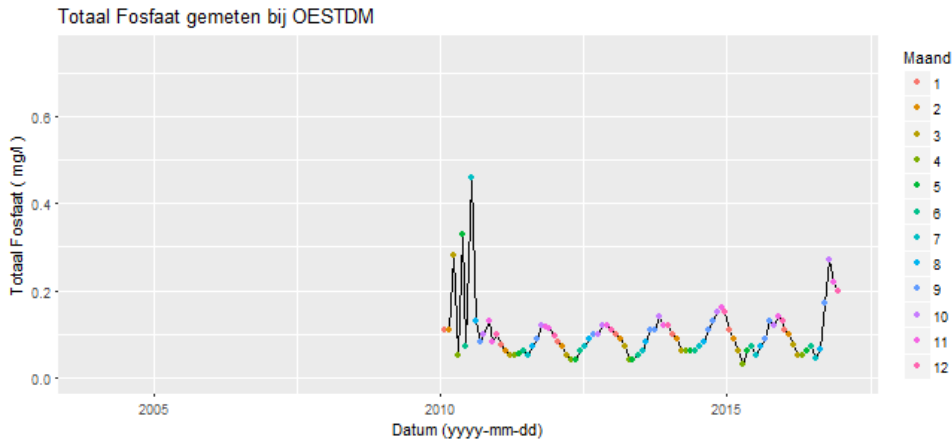


Figuur H.13 Ortho-fosfaat zoals gemeten bij de uitstroom van de Dintel

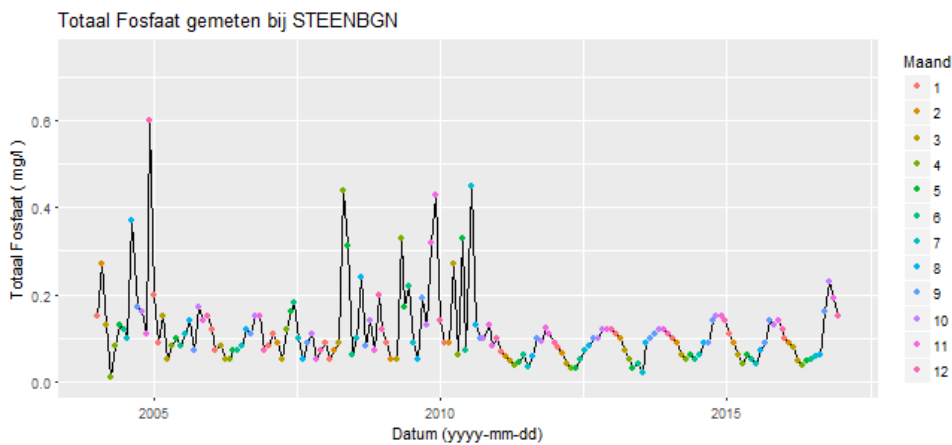


Figuur H.14 Ortho-fosfaat zoals gemeten bij de uitstroom van de Steenbergsche Vliet

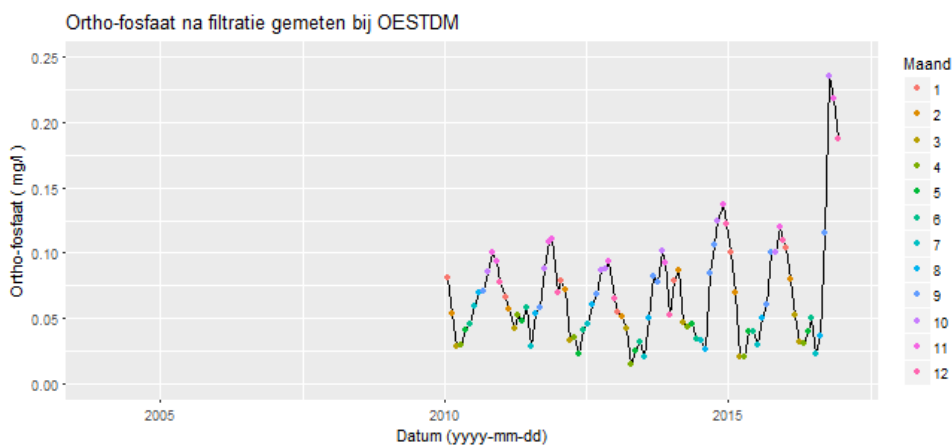
Fosfor fracties



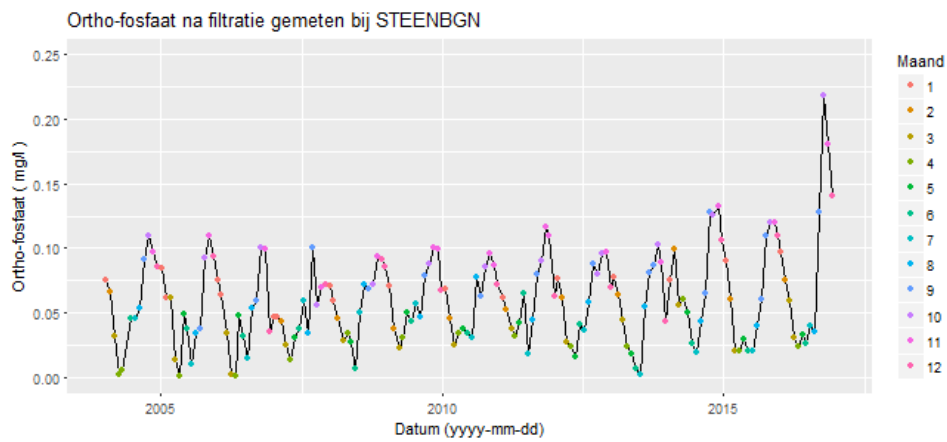
Figuur H.15 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.



Figuur H.16 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.

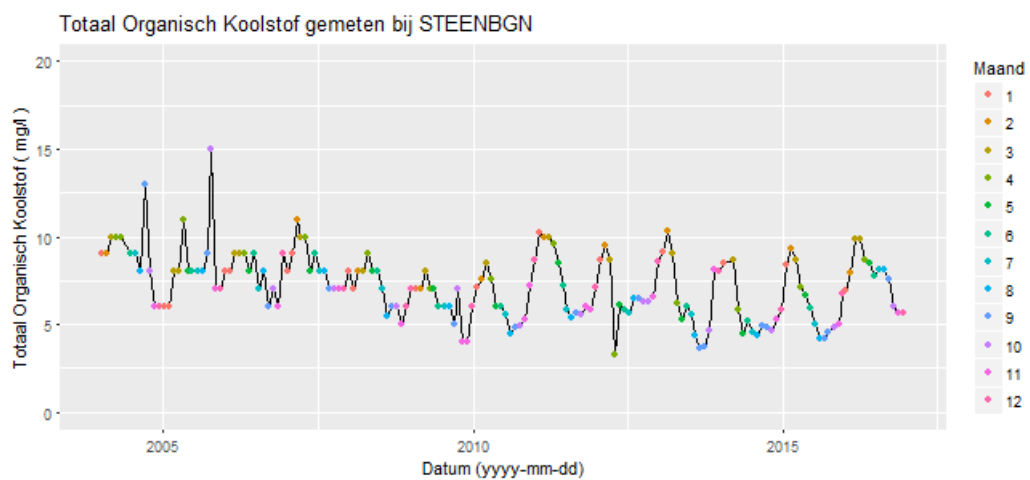
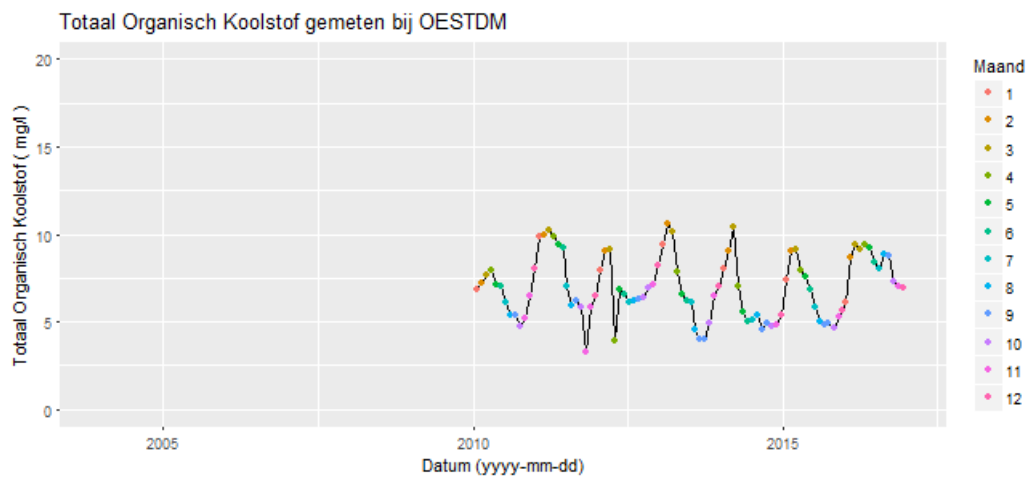


Figuur H.17 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.

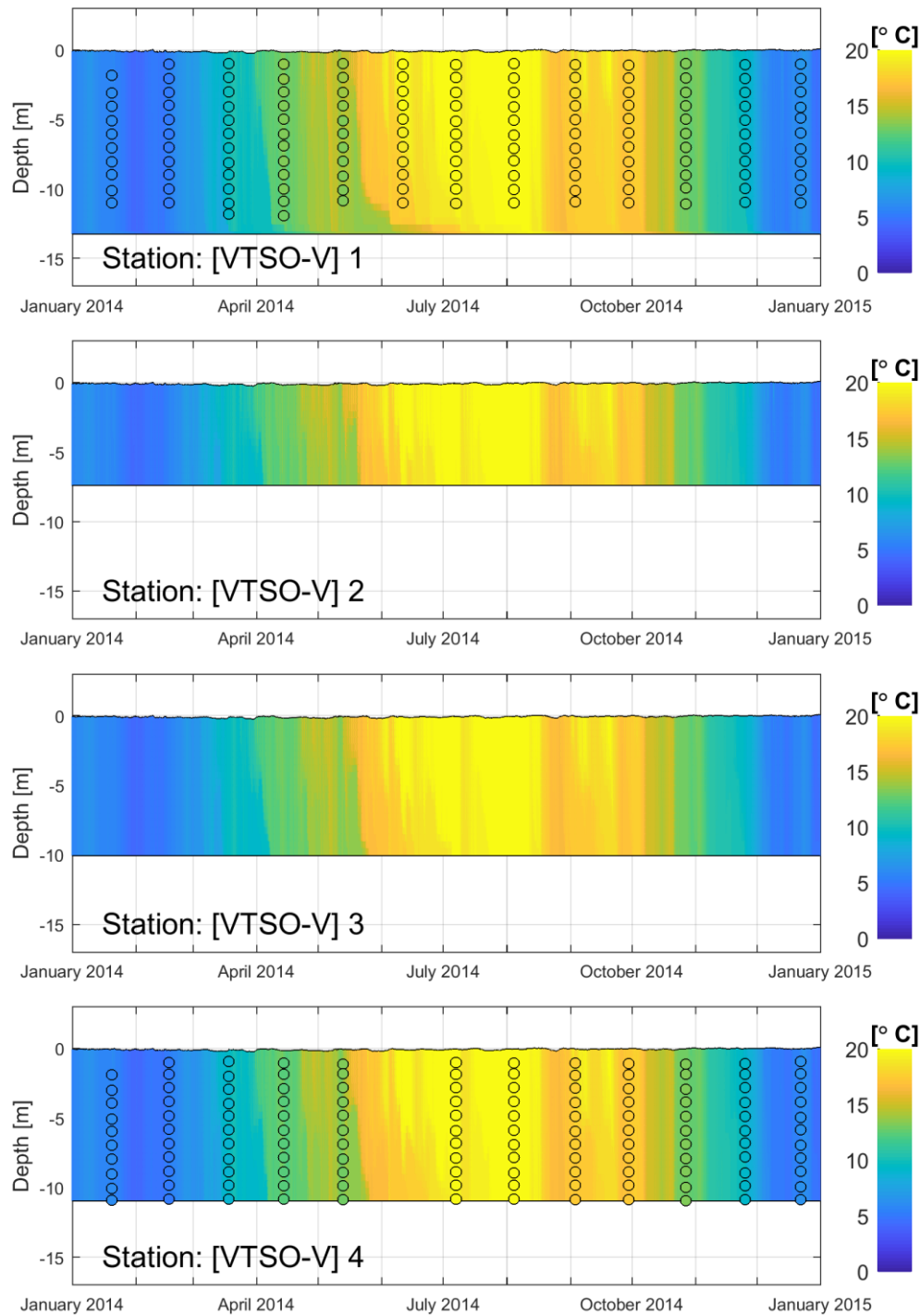


Figuur H.18 Chlorofyl-a gehalte zoals bemeaten bij Oesterdam. Tussen 1992 en 2010 is hier geen chlorofyl-a gemeten.

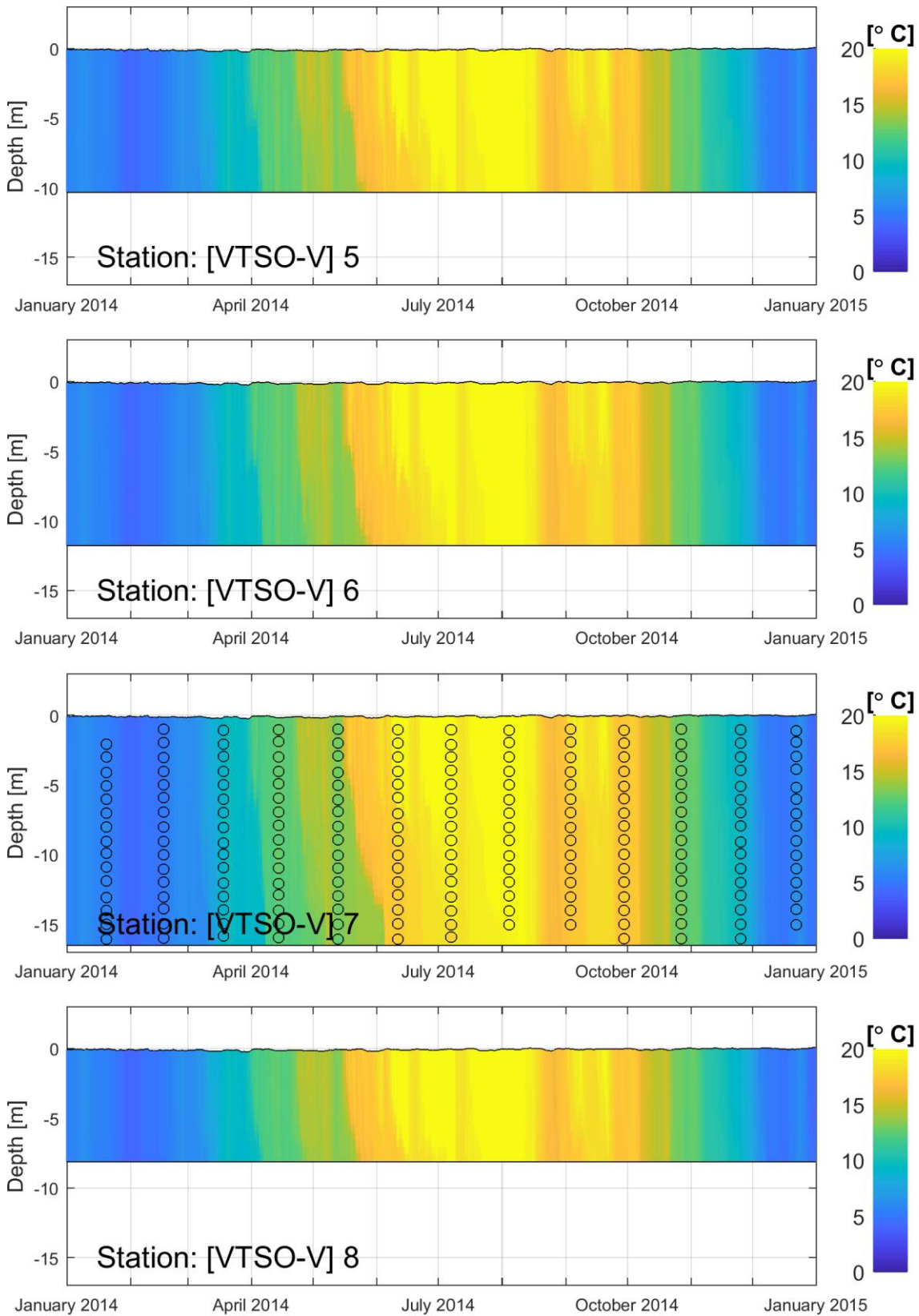
Koolstof fractie



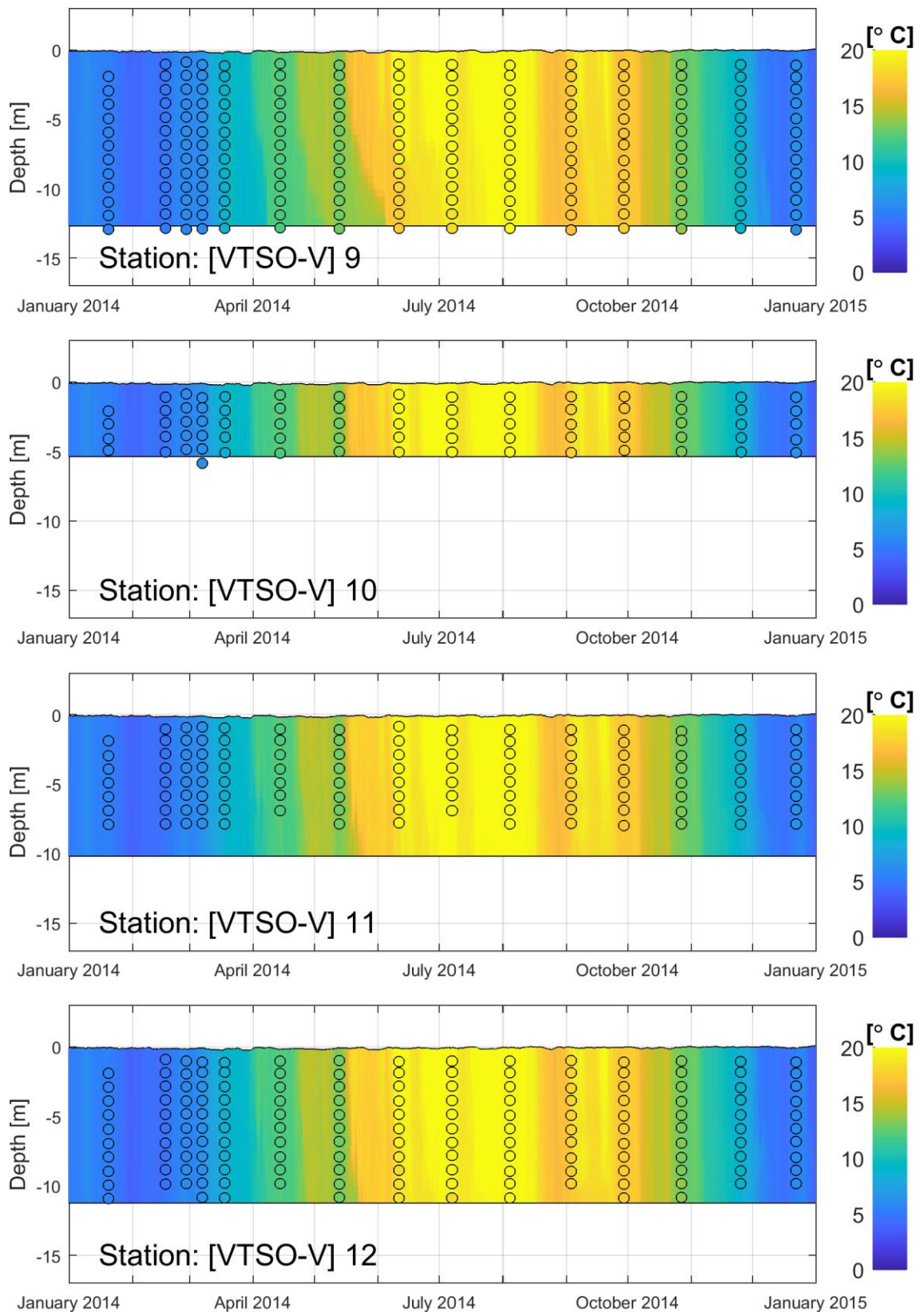
I Metingen en simulatie temperatuur 2014



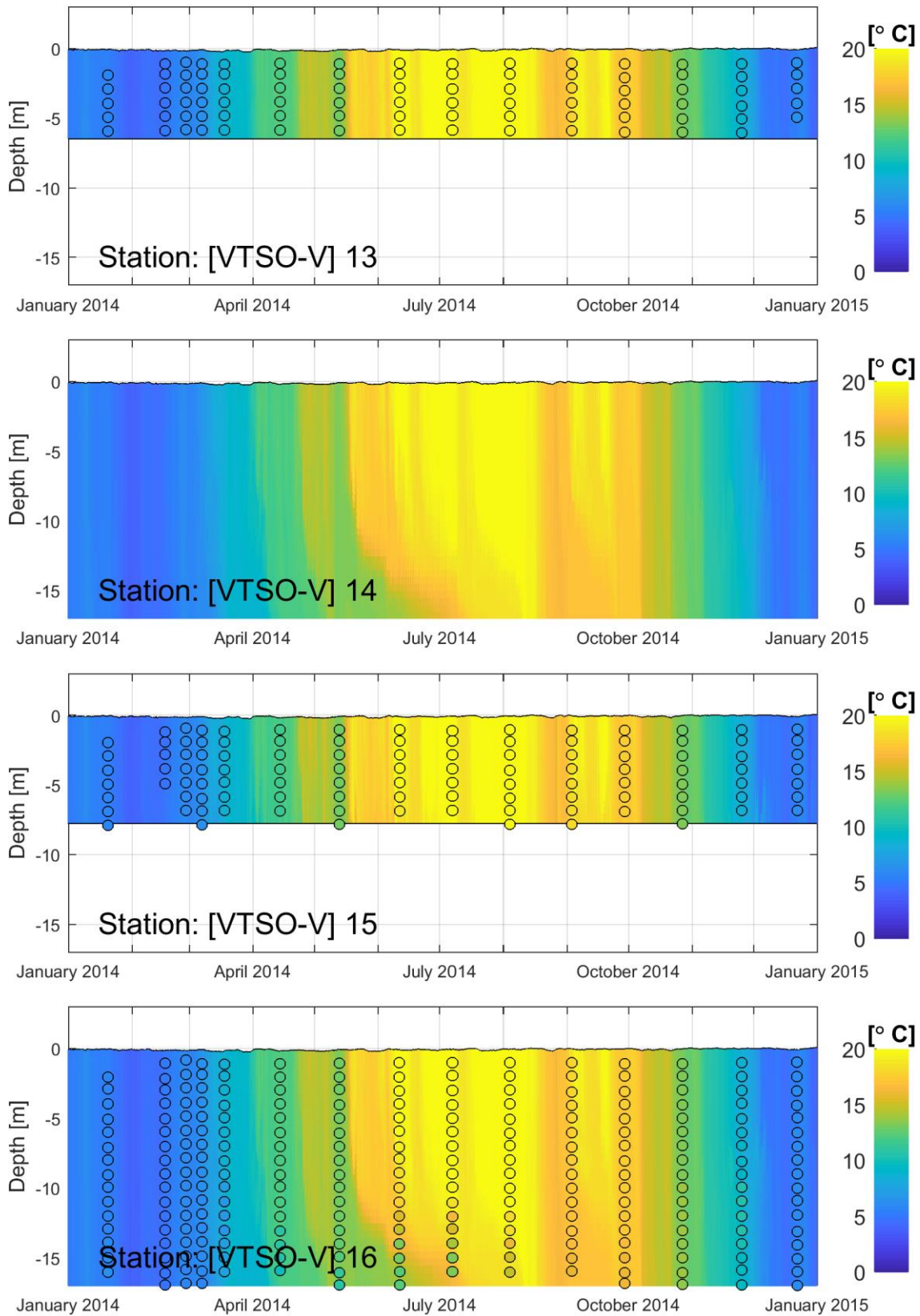
Figuur I.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



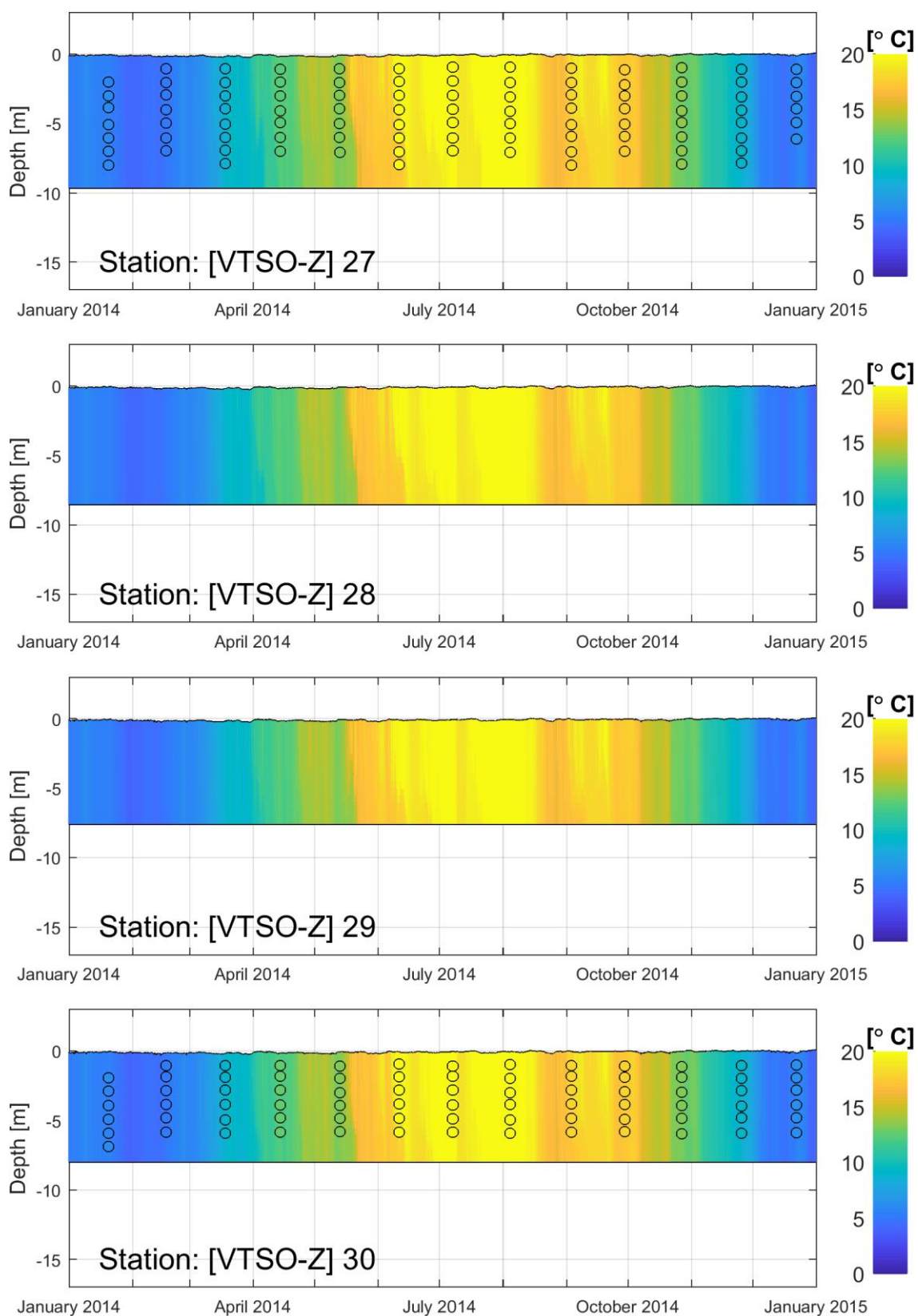
Figuur 1.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



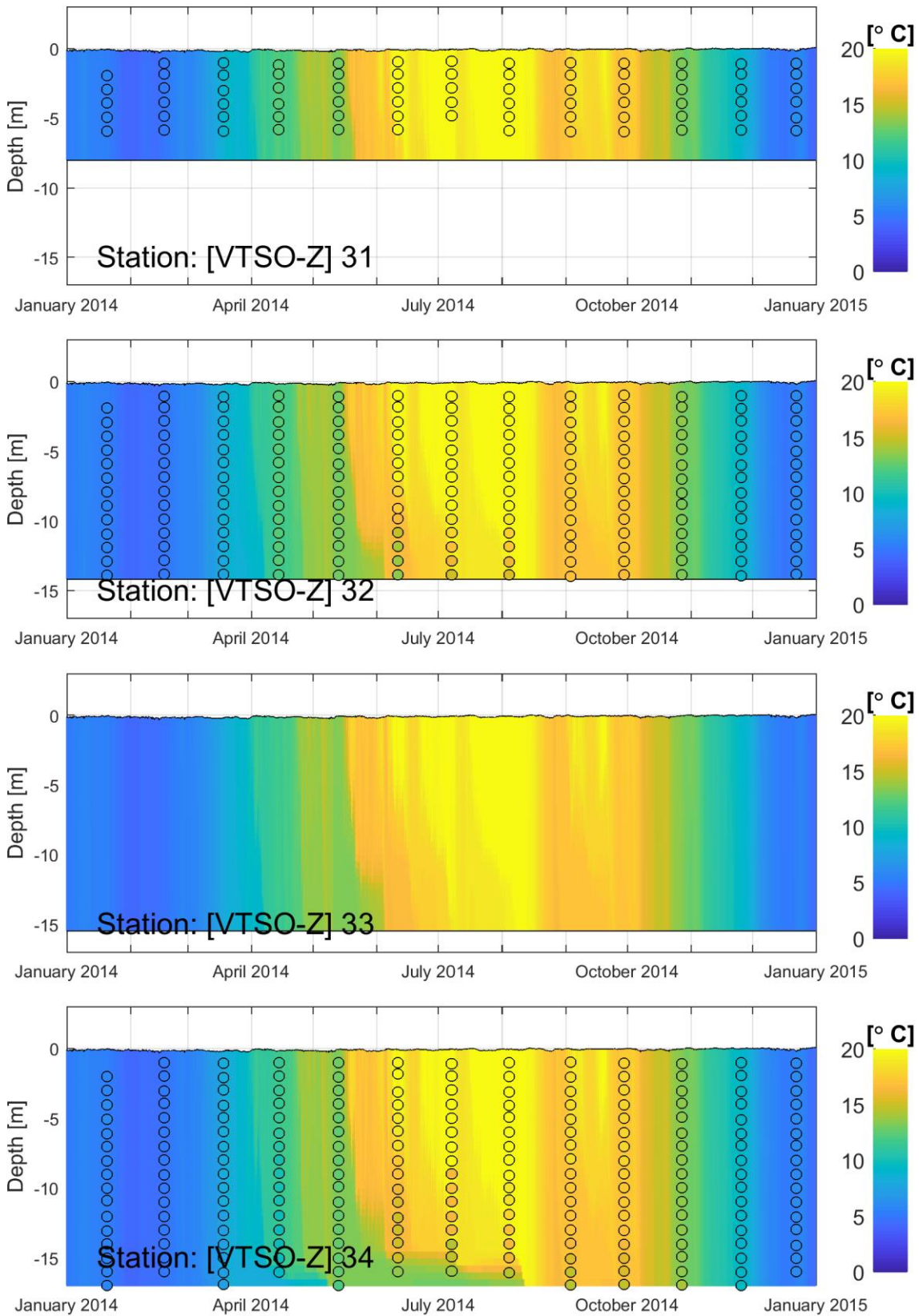
Figuur I.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



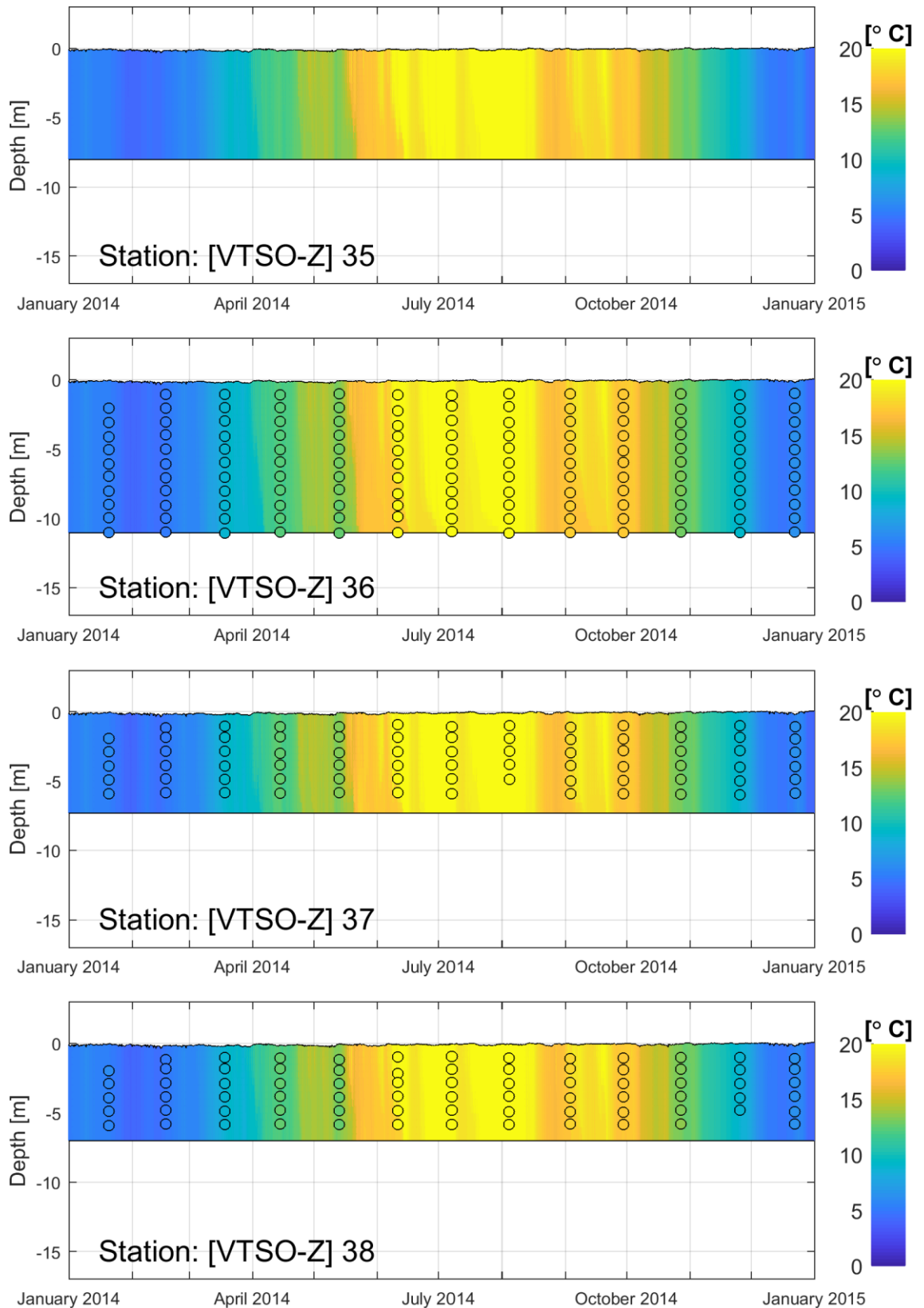
Figuur 1.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur 1.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.

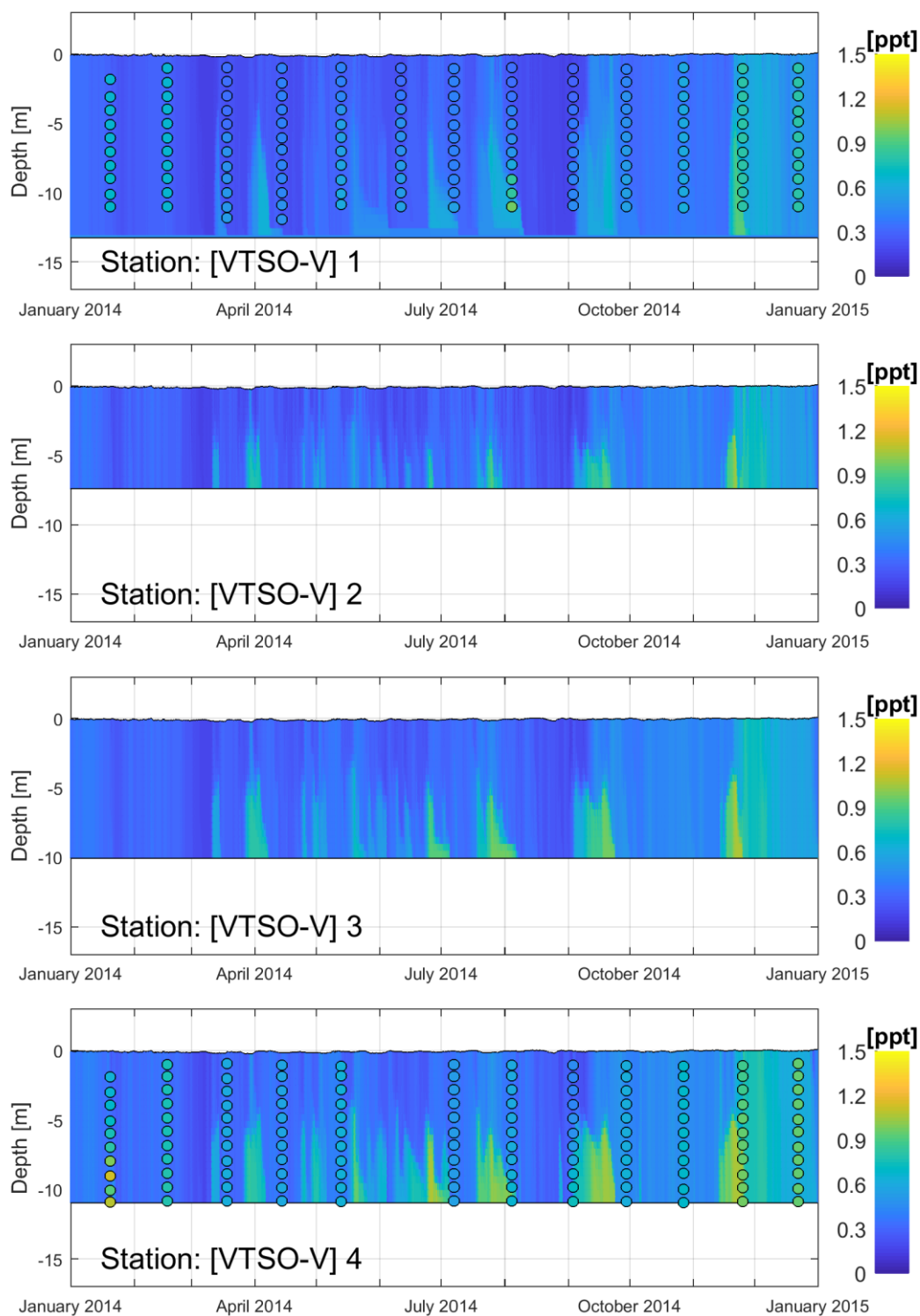


Figuur 1.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.

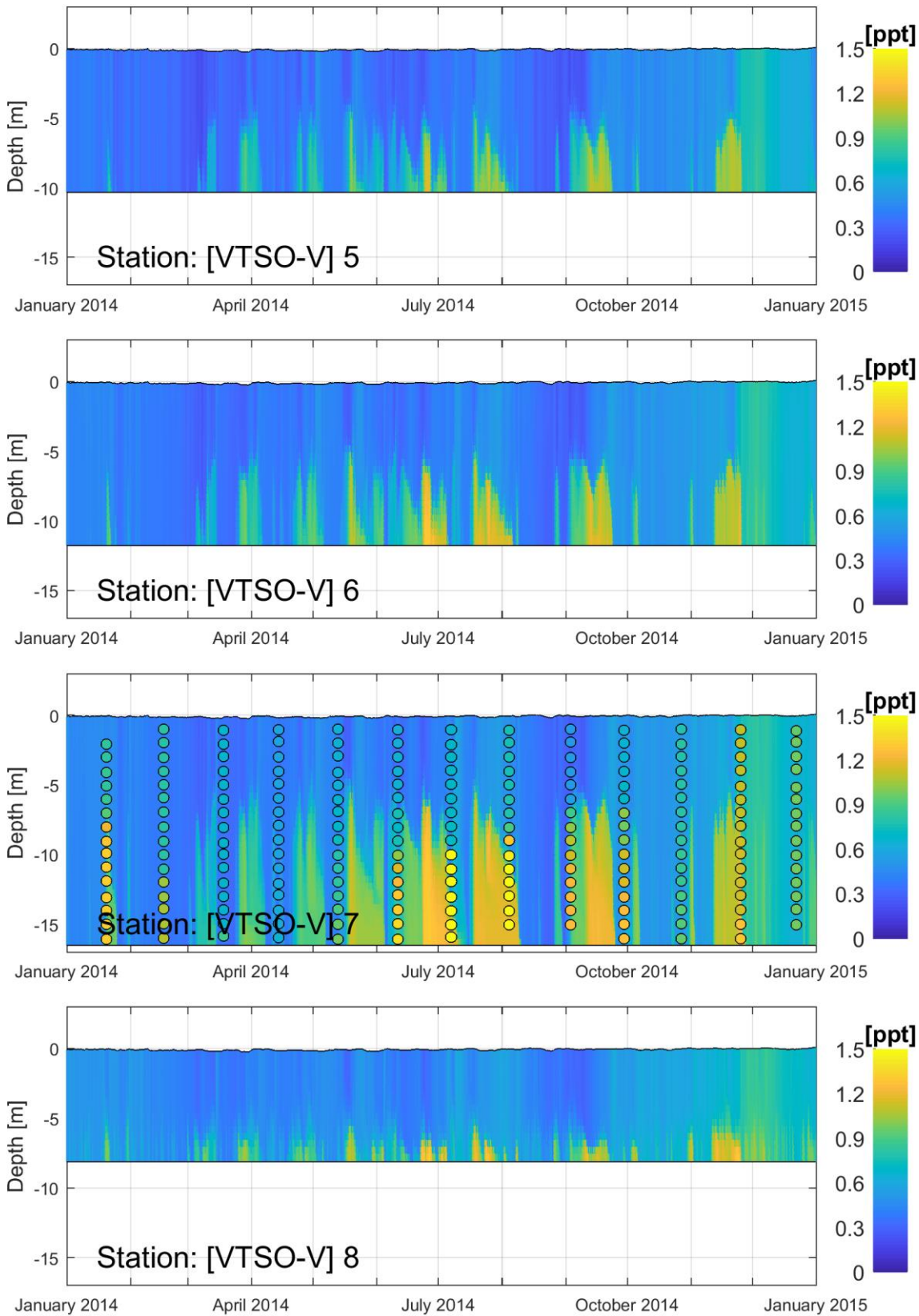


Figuur 1.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 38.

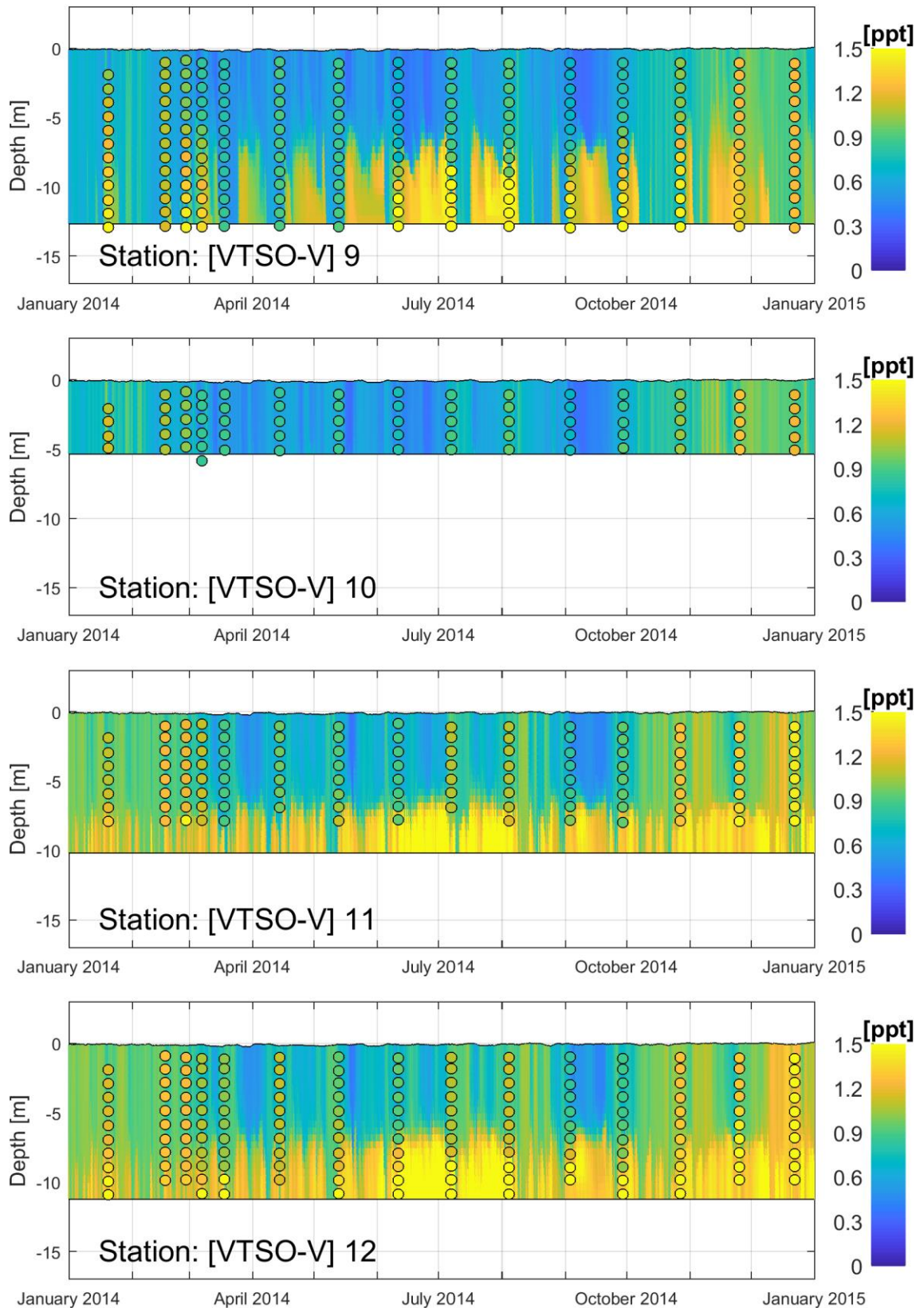
J Metingen en simulatie zout 2014



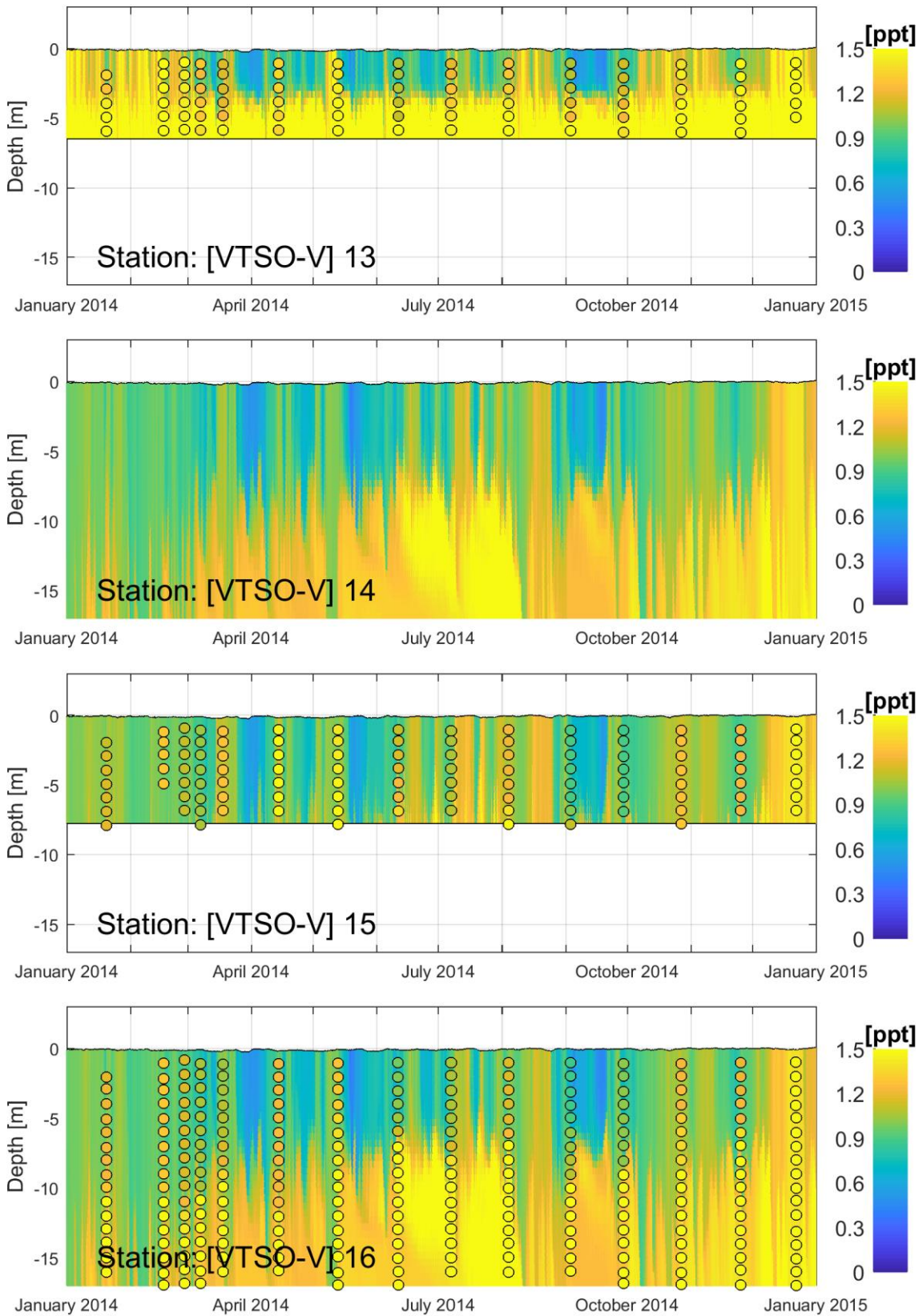
Figuur J.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



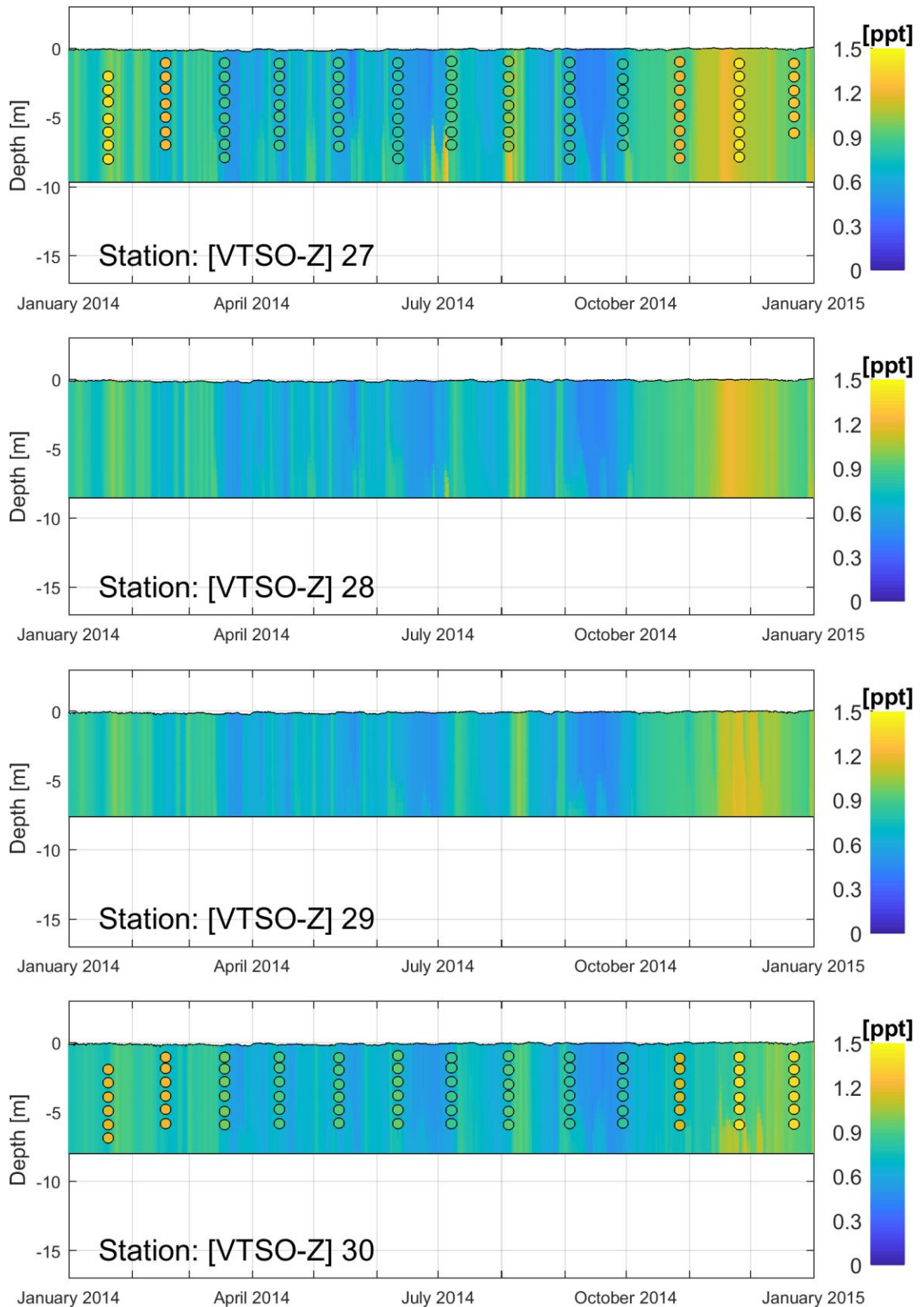
Figuur J.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarin gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



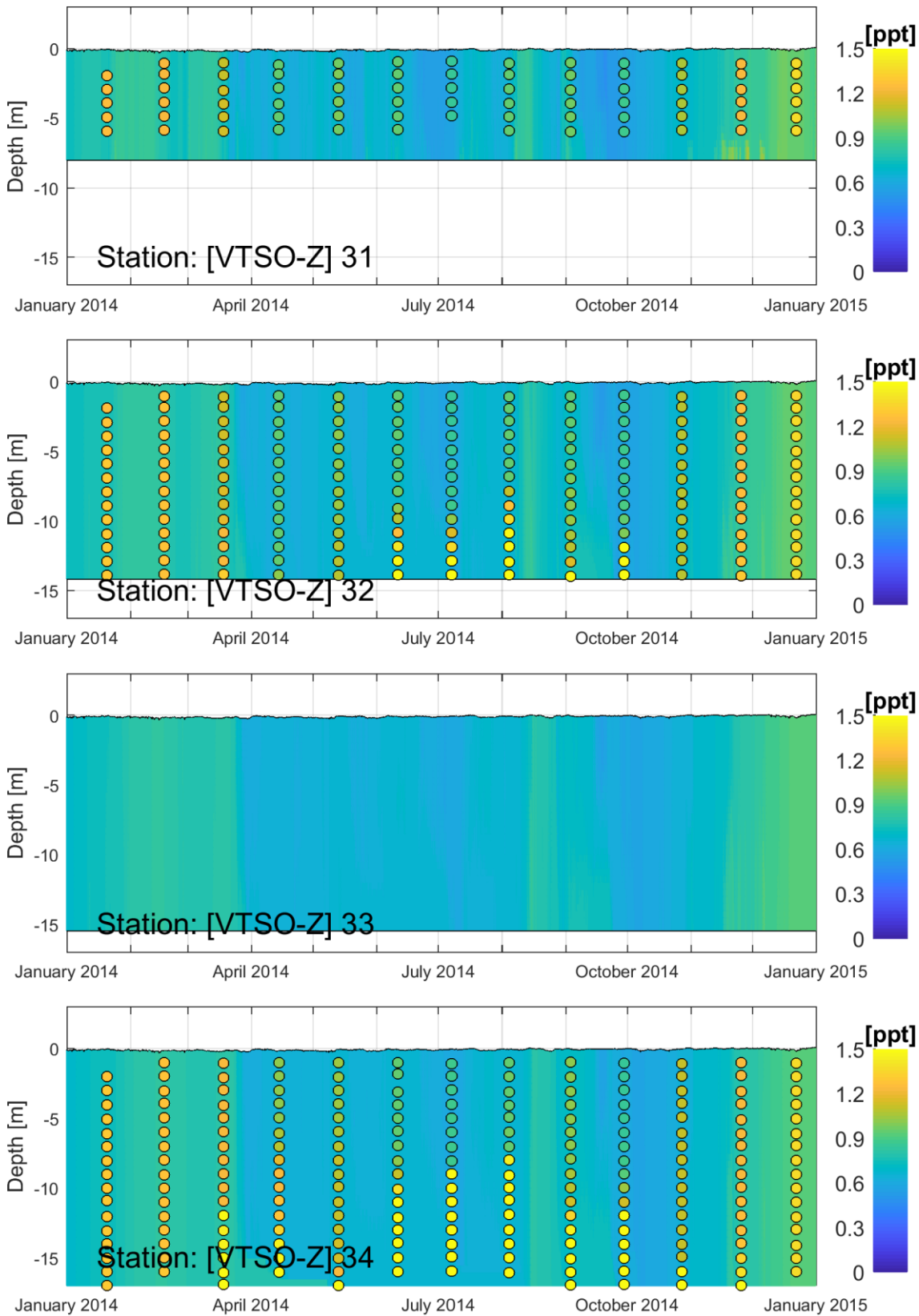
Figuur J.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



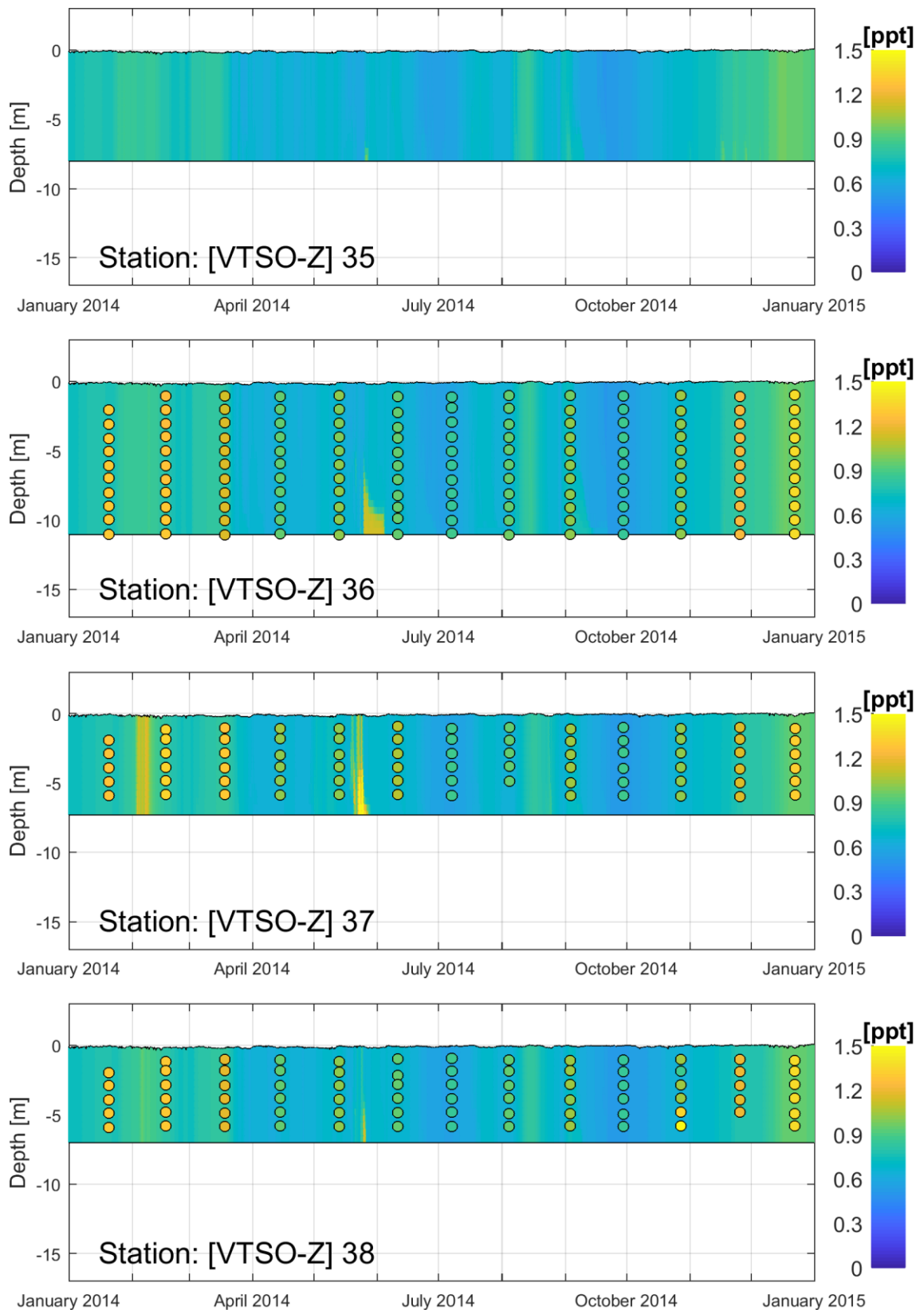
Figuur J.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur J.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.

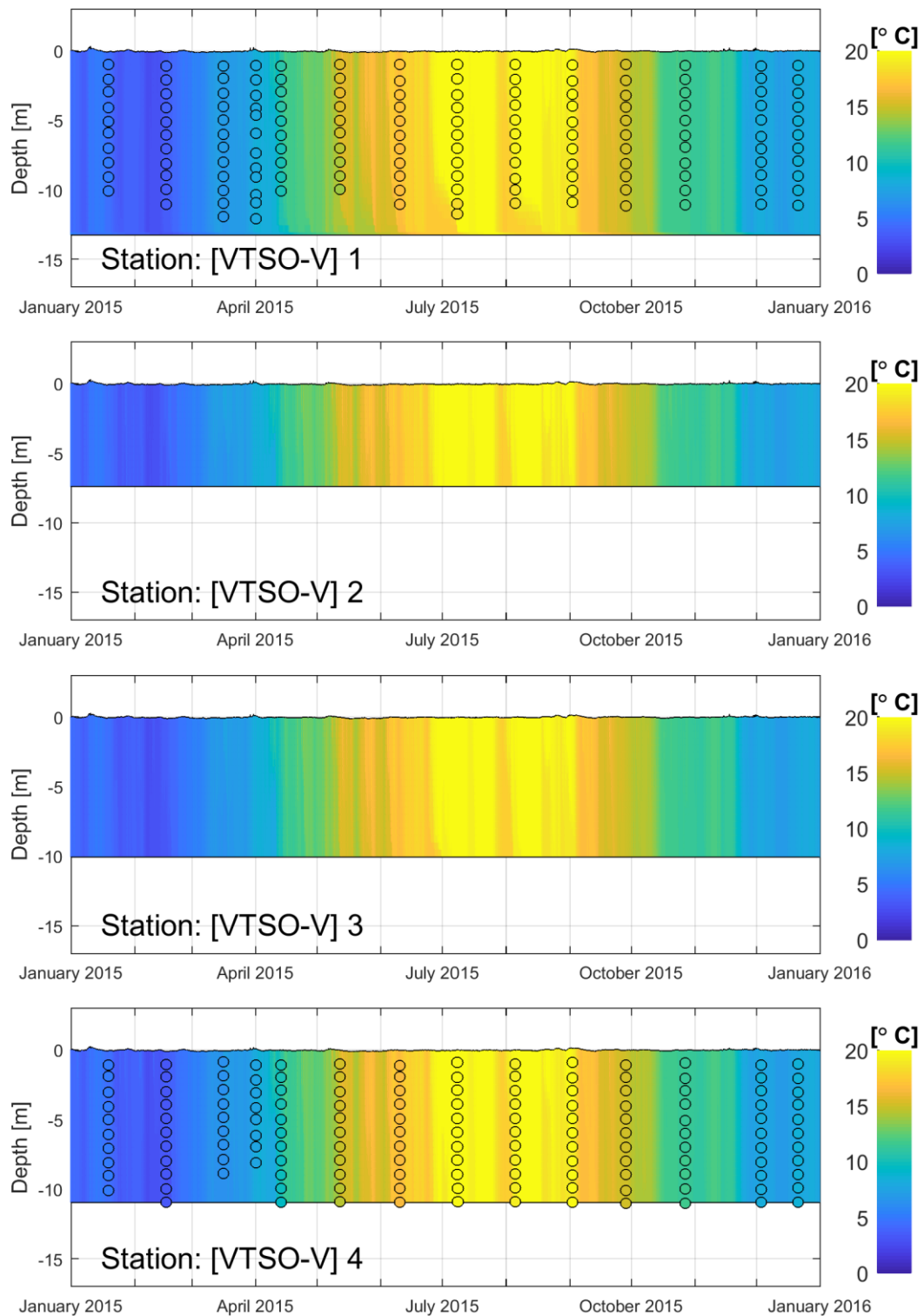


Figuur J.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarin gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.

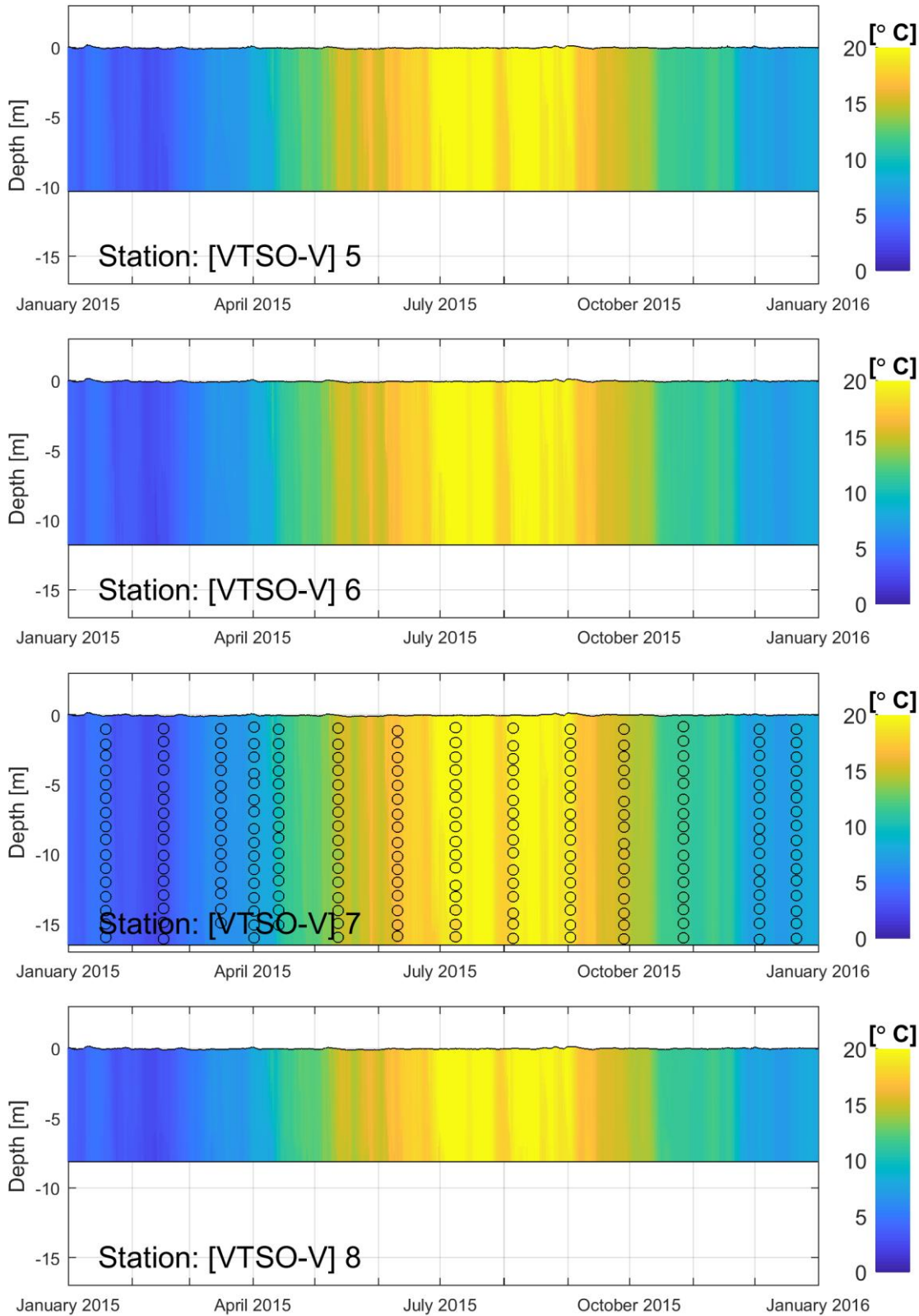


Figuur J.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2014 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 3

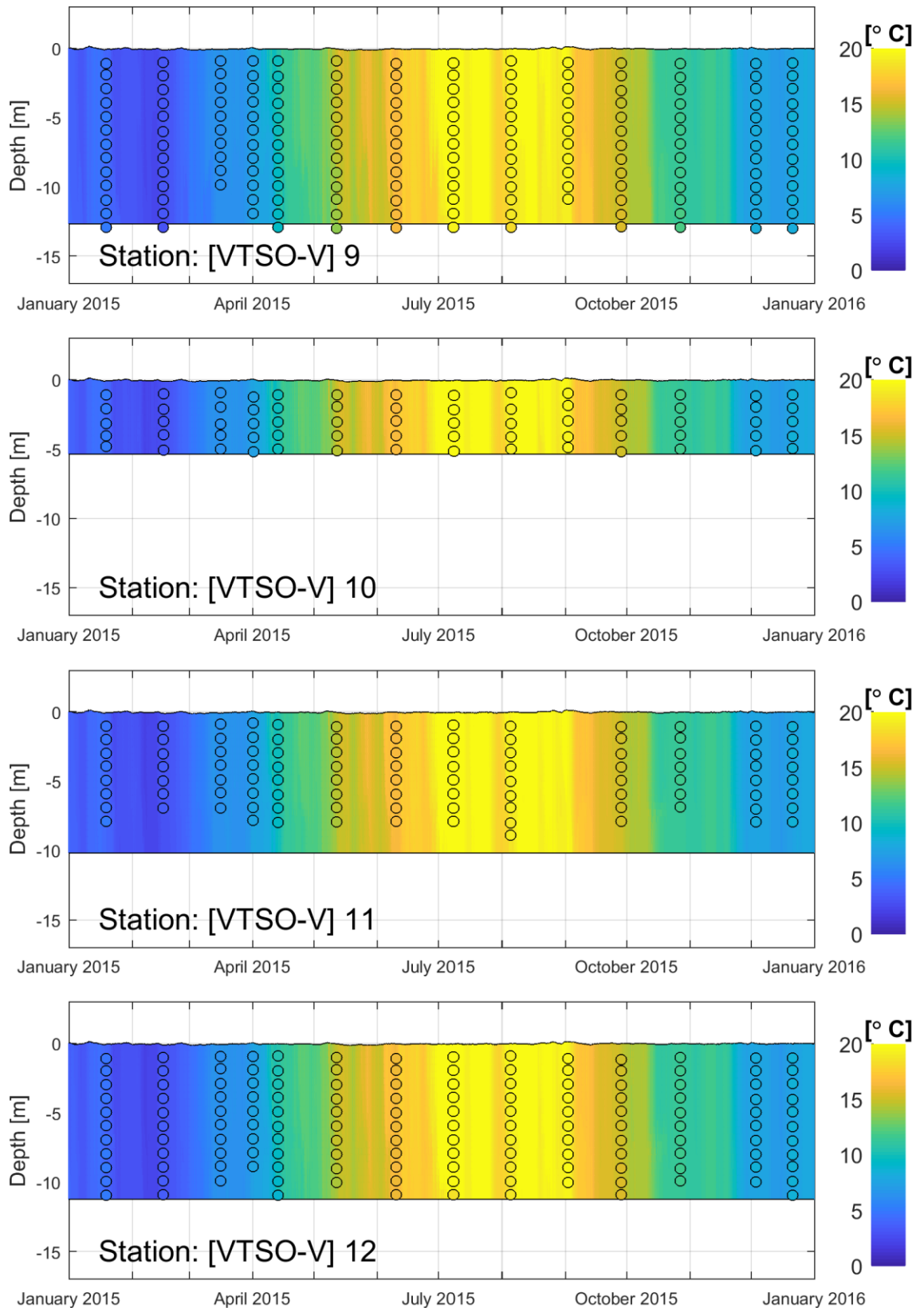
K Metingen en simulatie temperatuur 2015



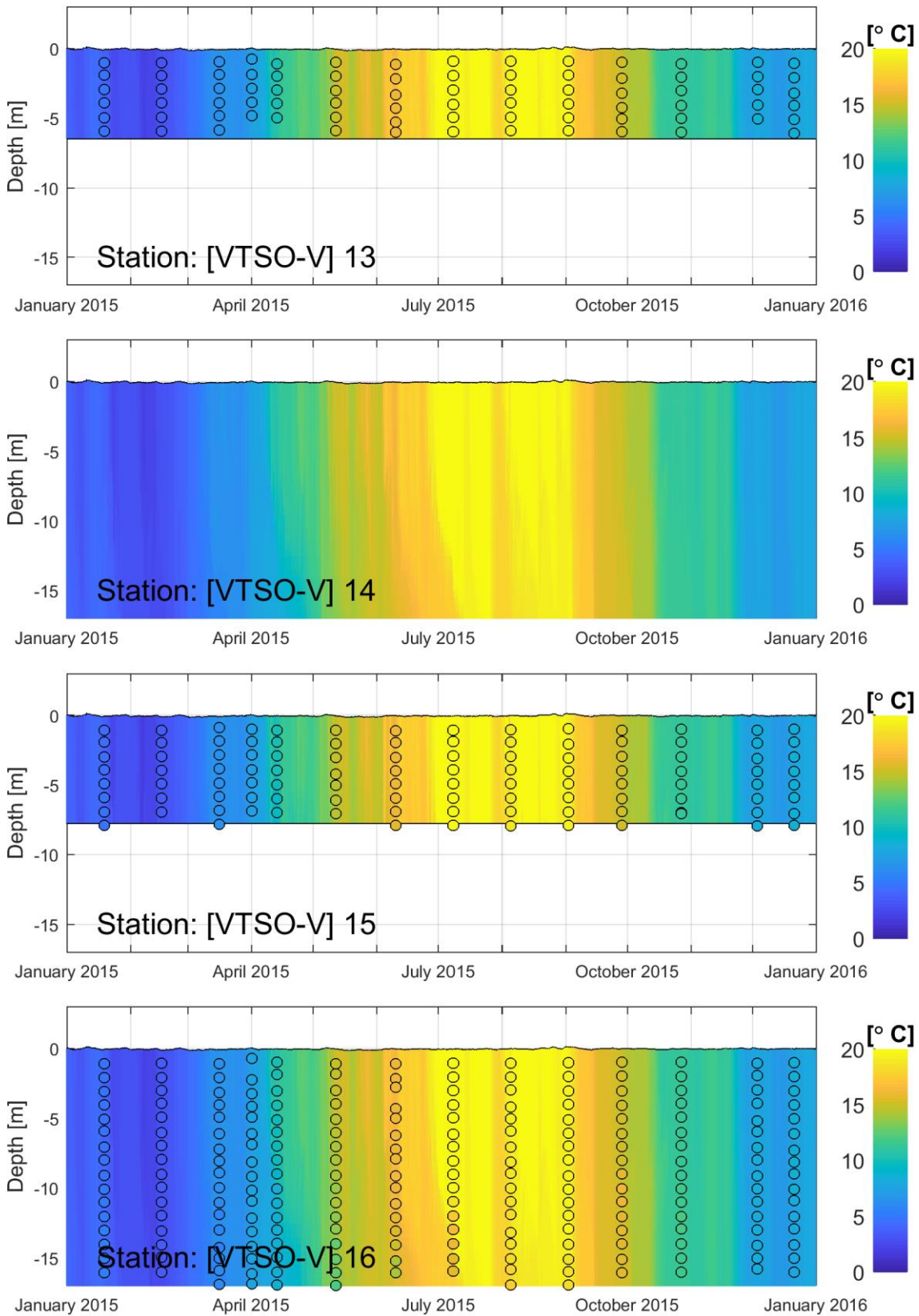
Figuur K.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



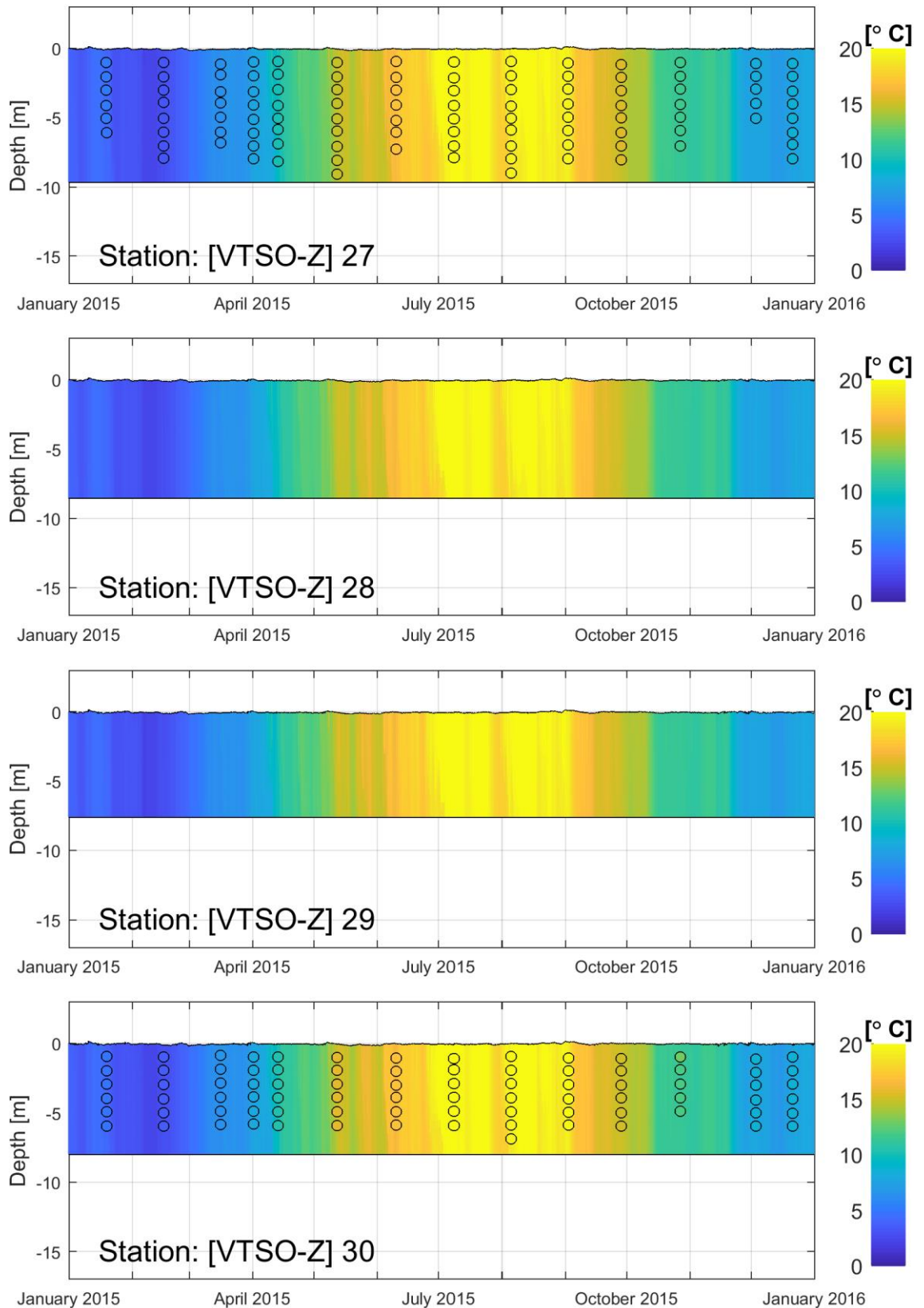
Figuur K.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



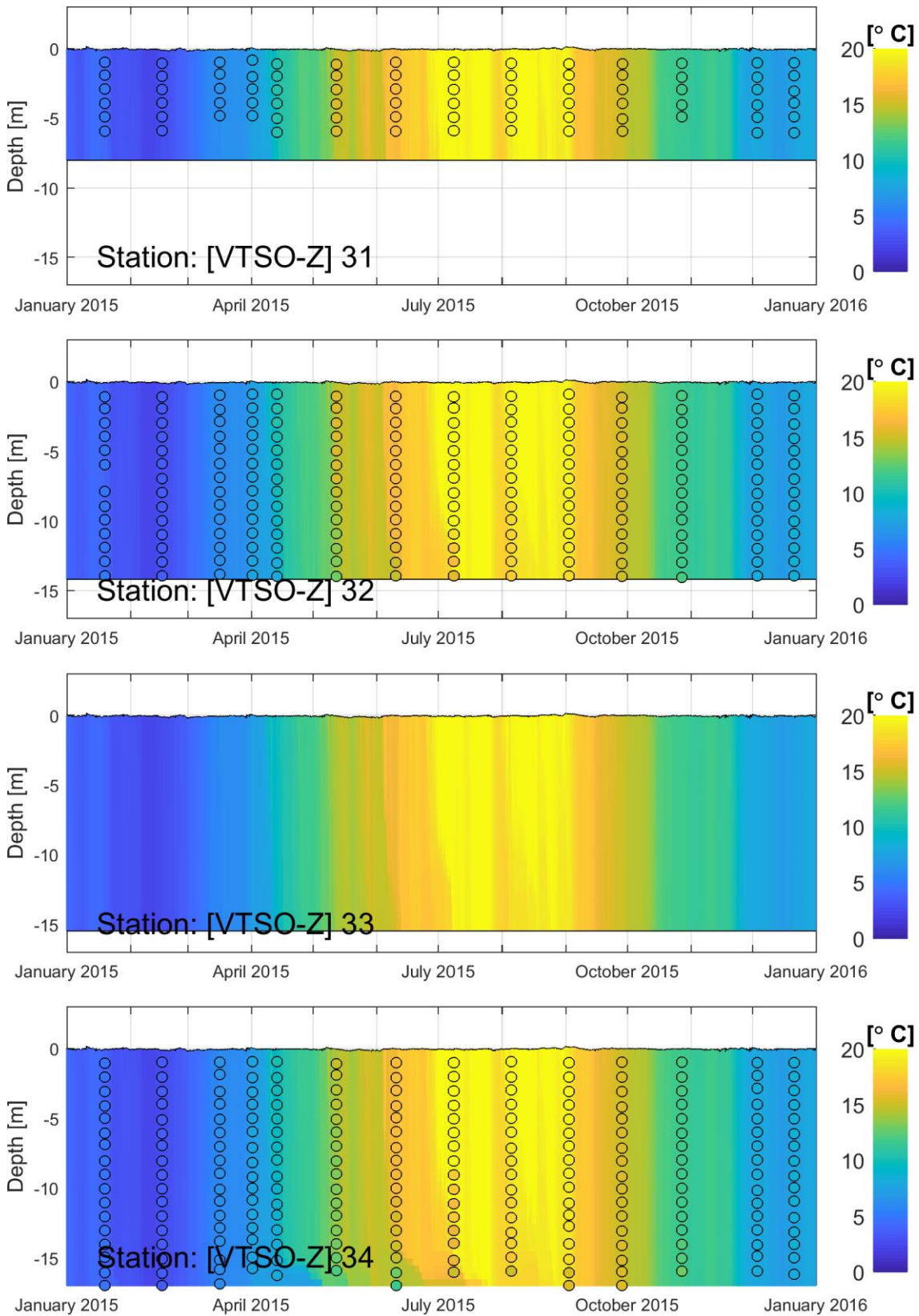
Figuur K.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



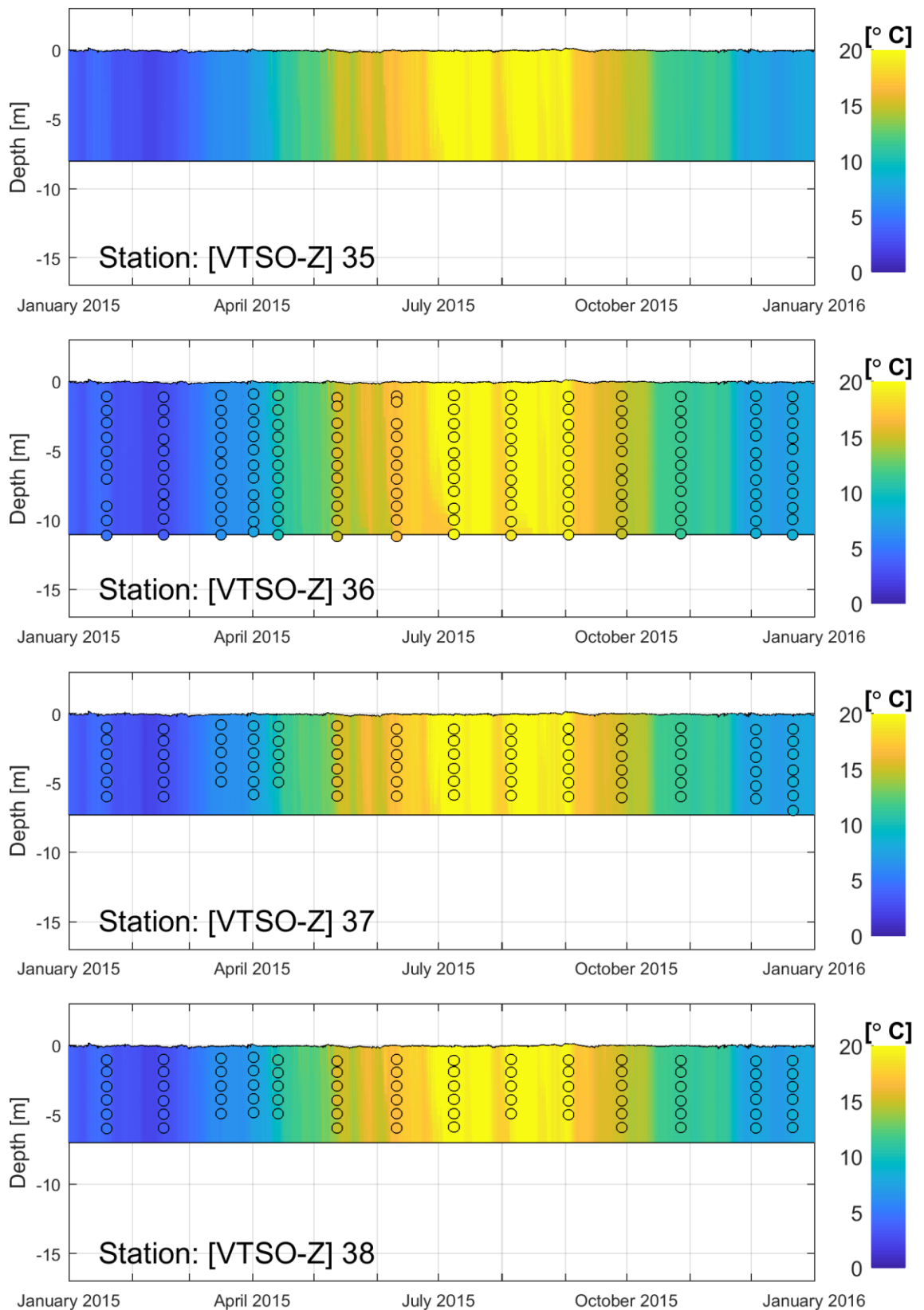
Figuur K.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur K.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.

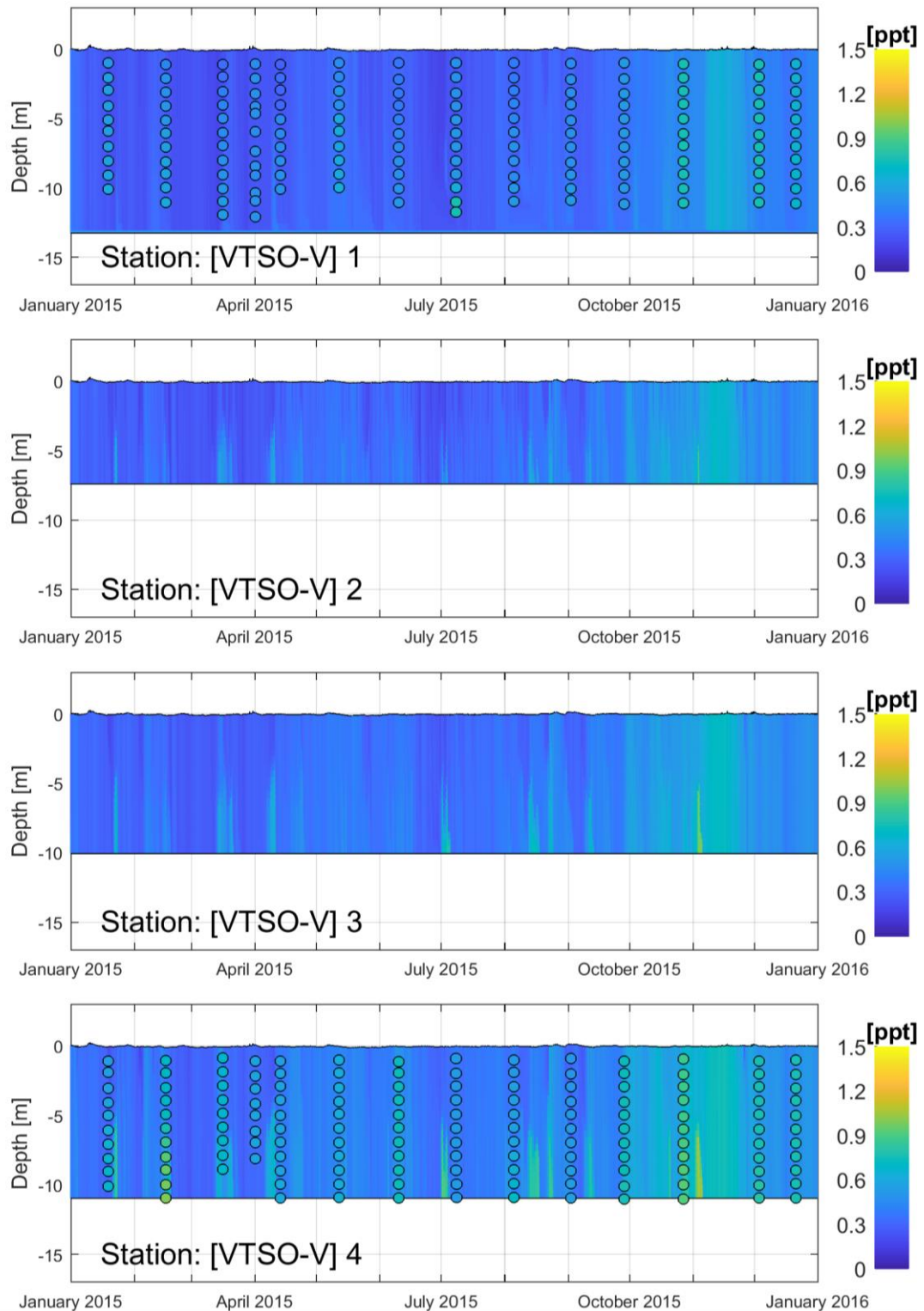


Figuur K.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.

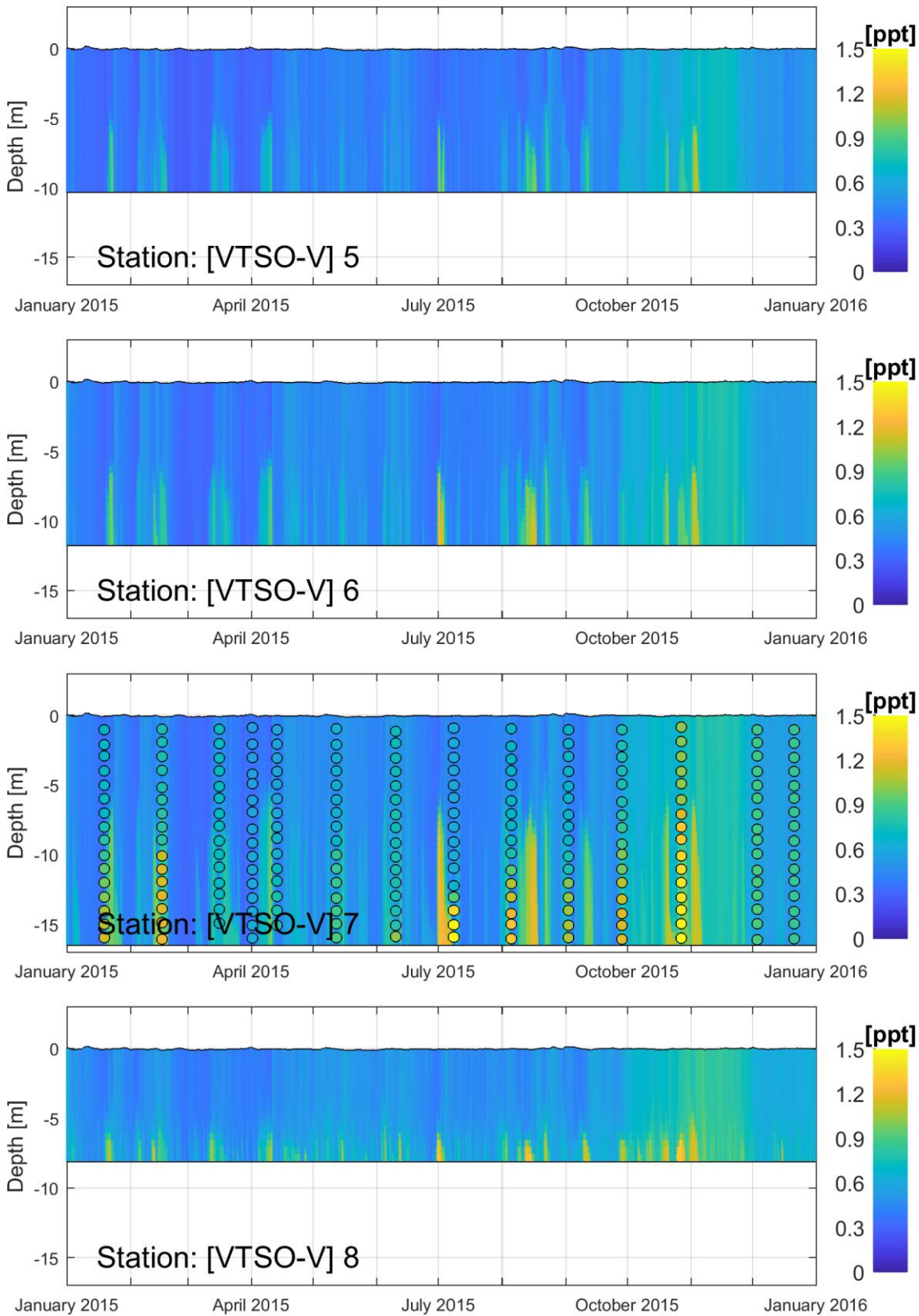


Figuur K.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 38.

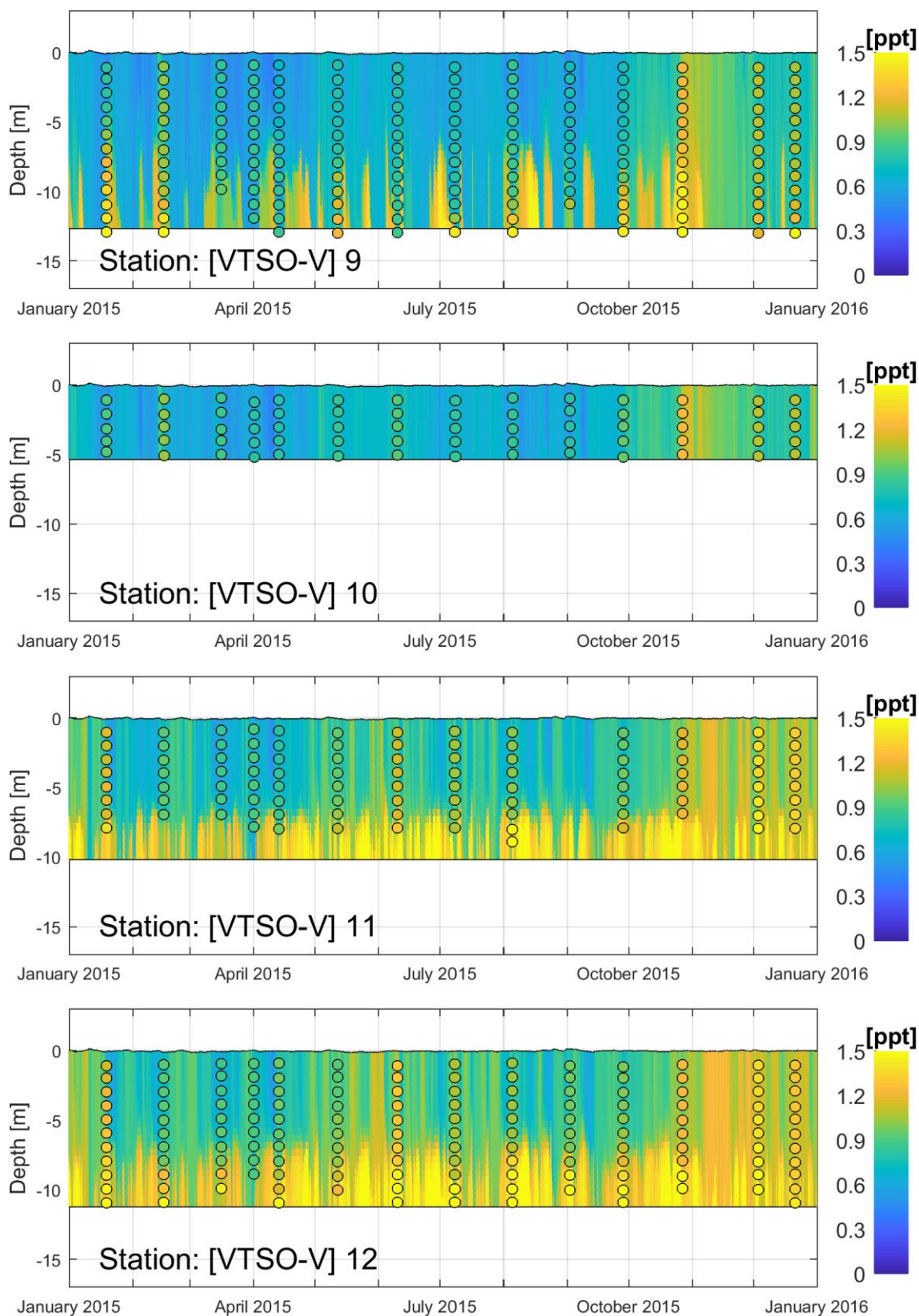
L Metingen en simulatie zout 2015



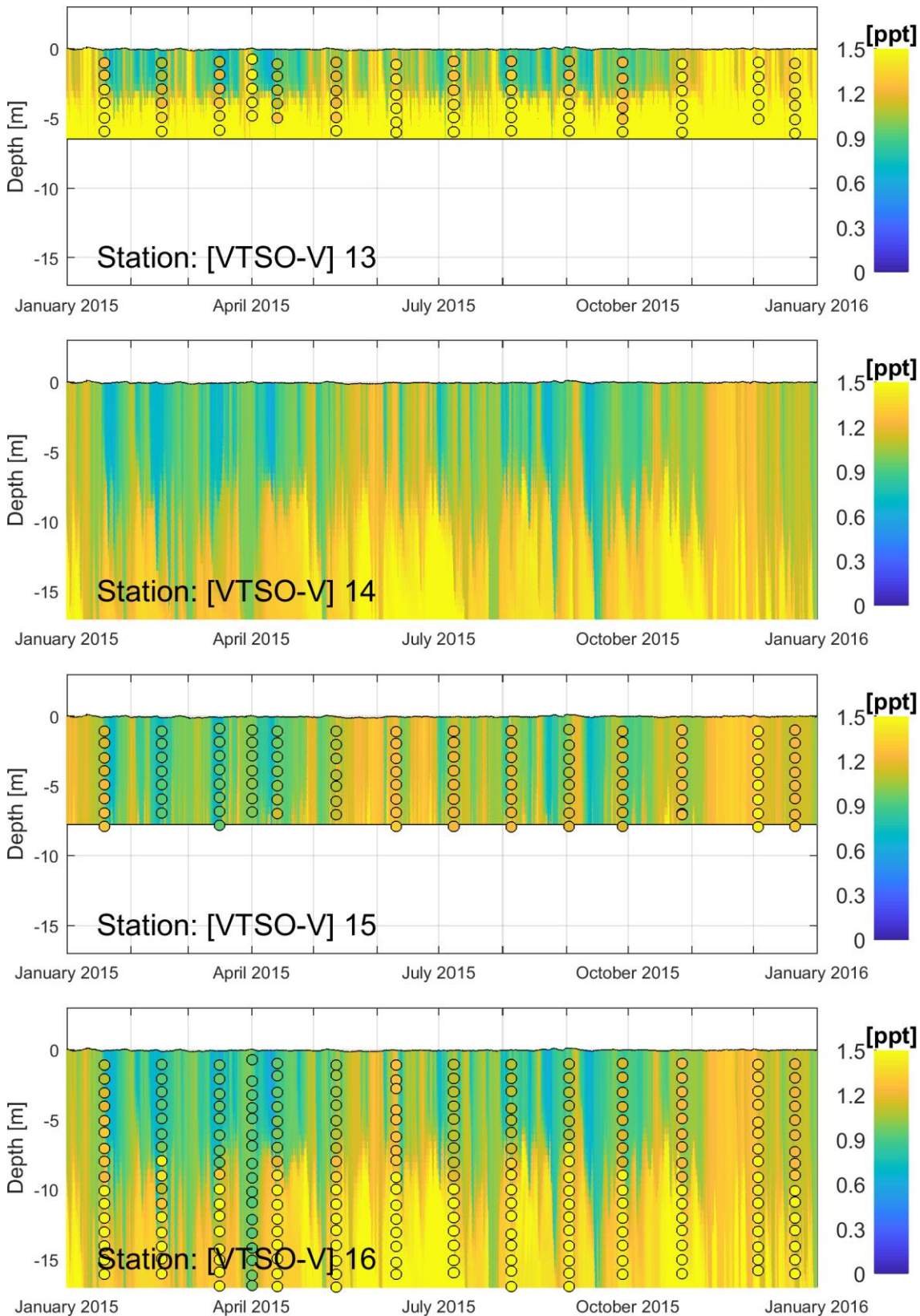
Figuur L.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



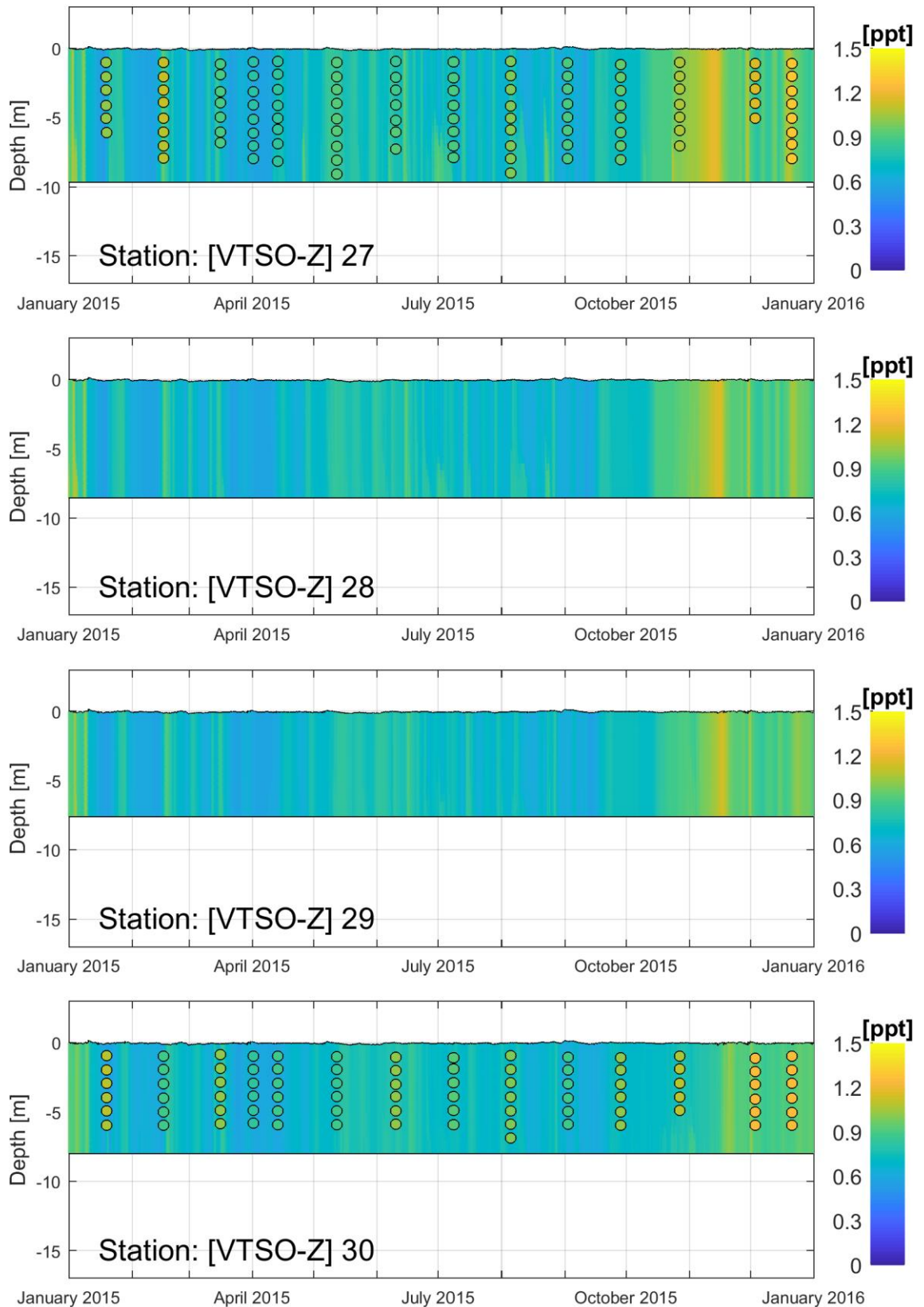
Figuur L.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



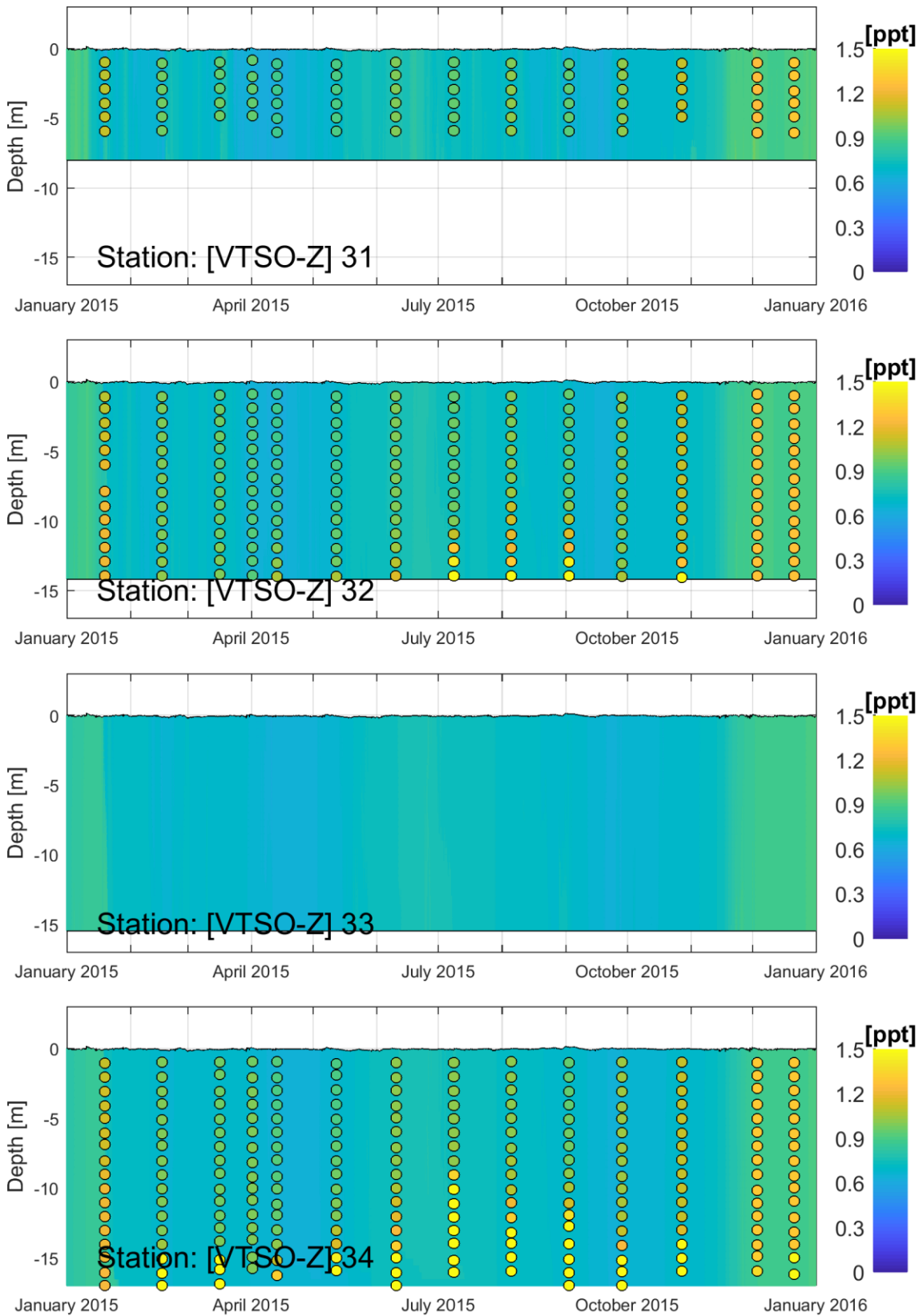
Figuur L.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



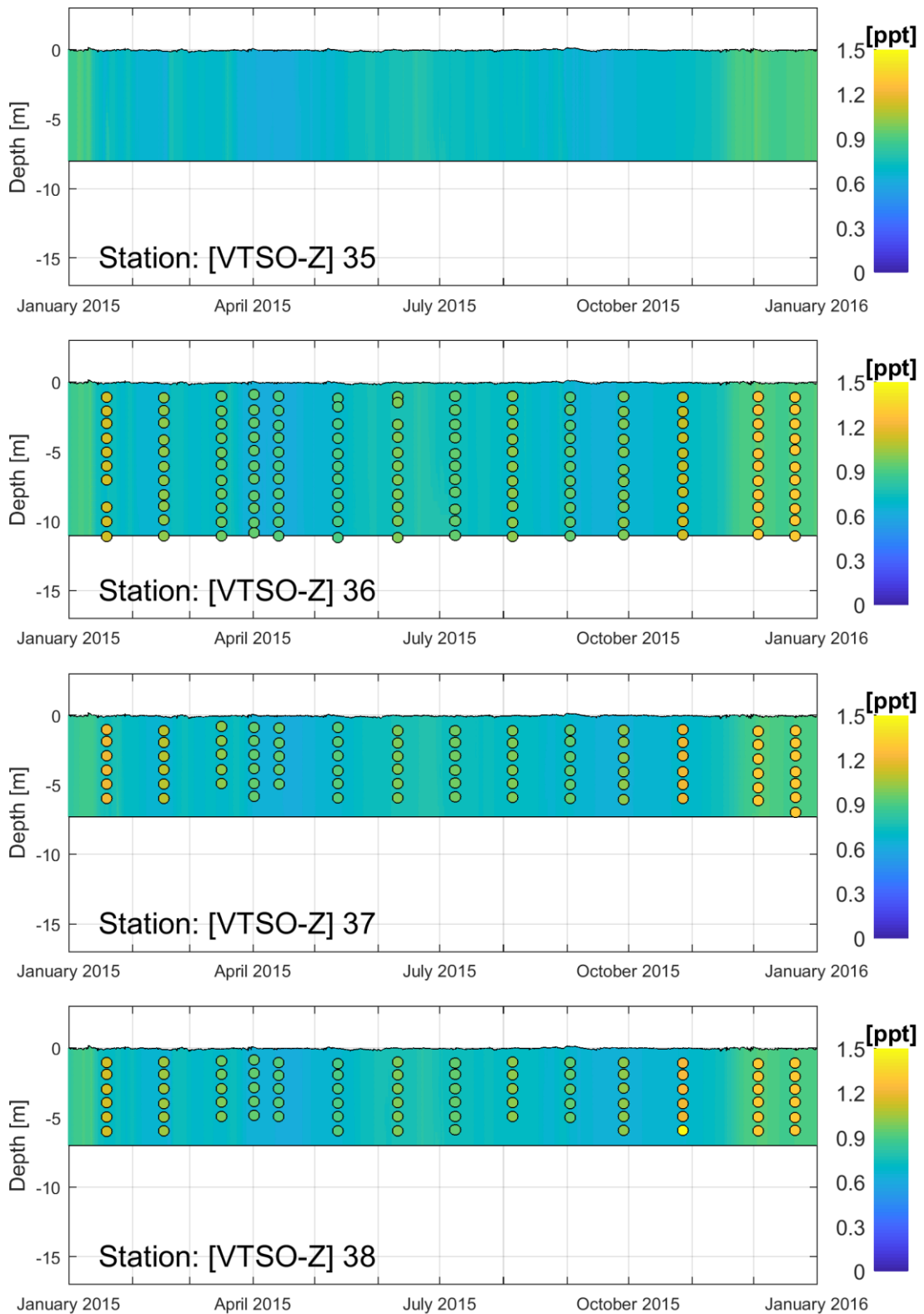
Figuur L.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur L.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.

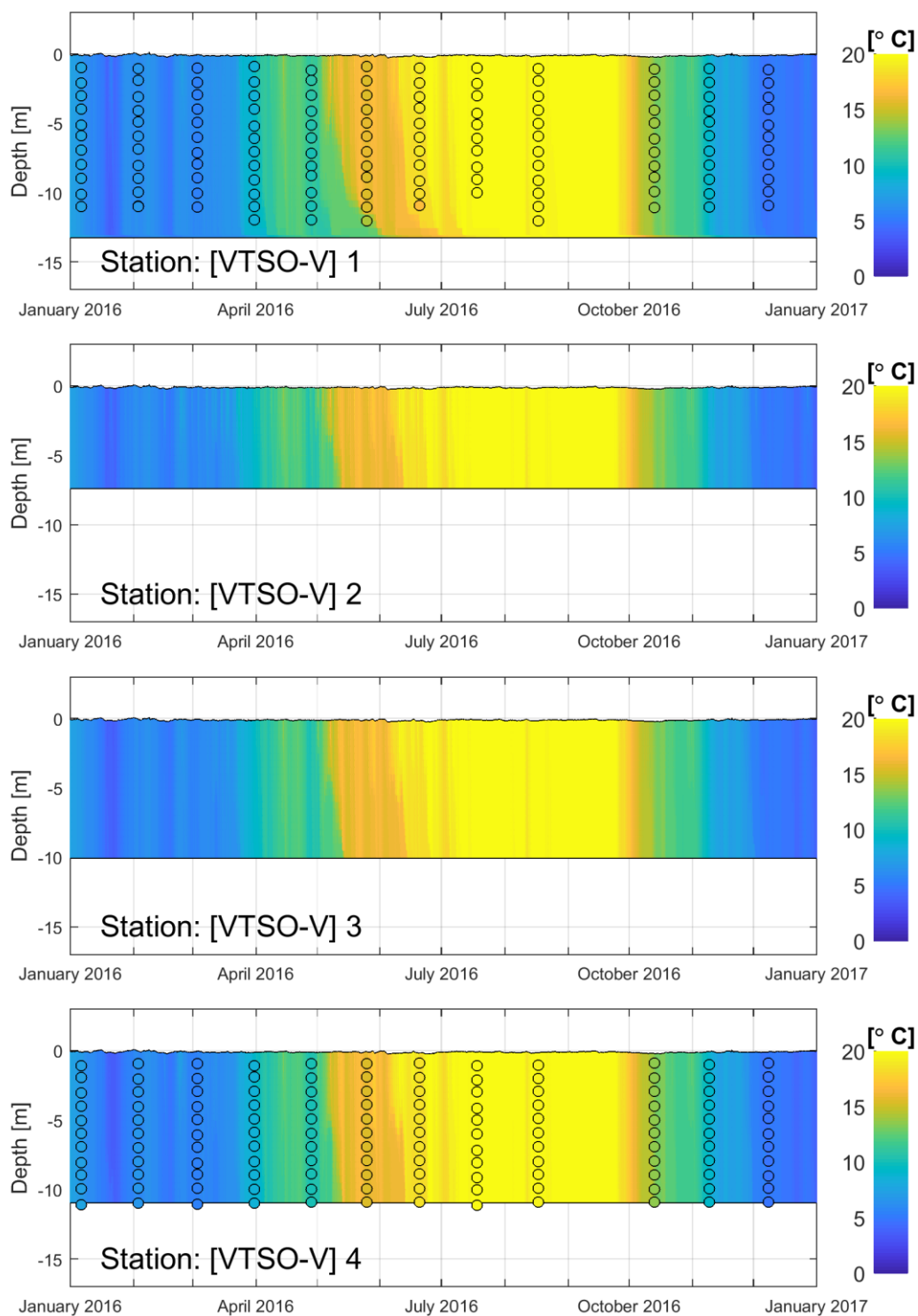


Figuur L.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.

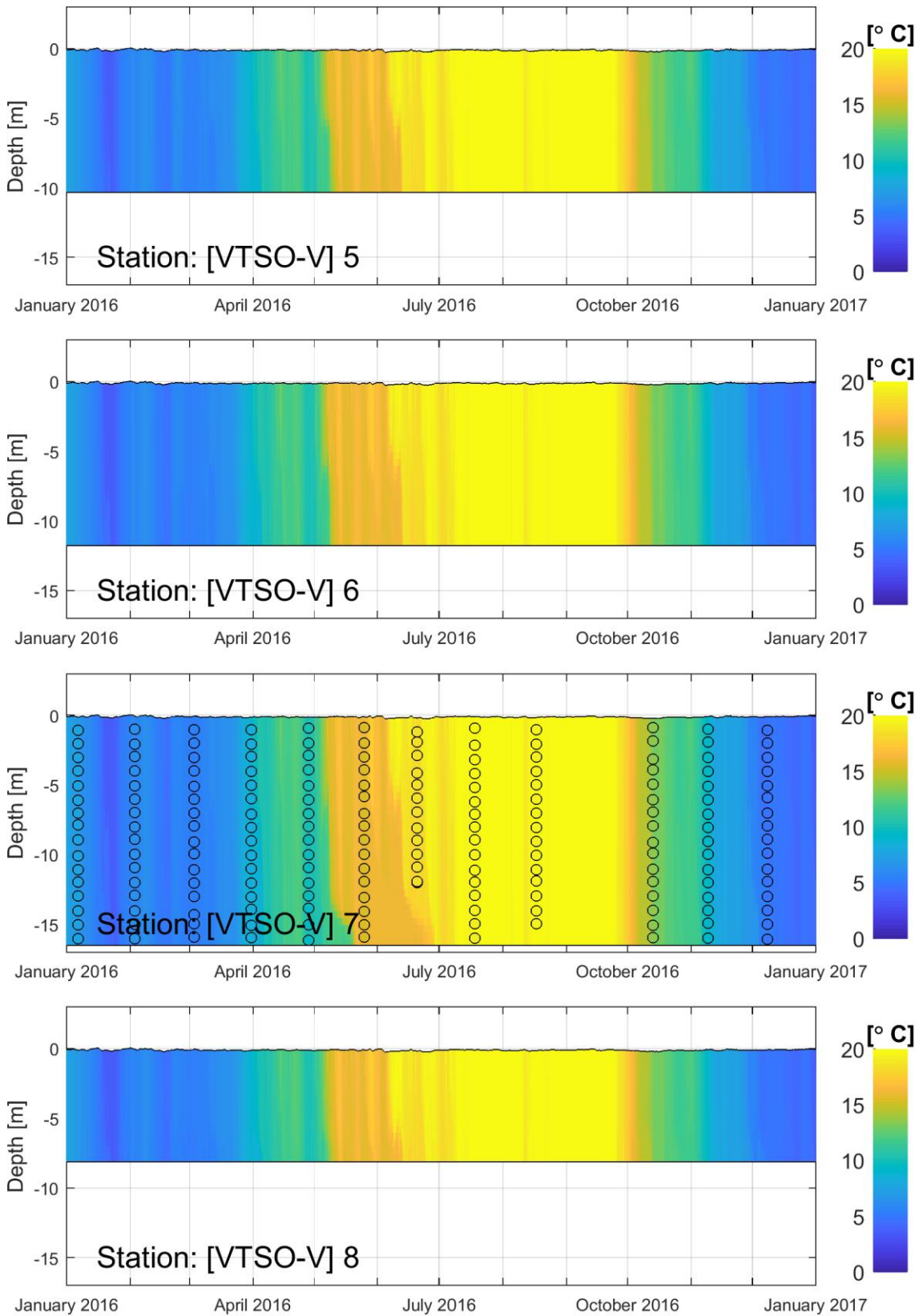


Figuur L.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2015 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 38.

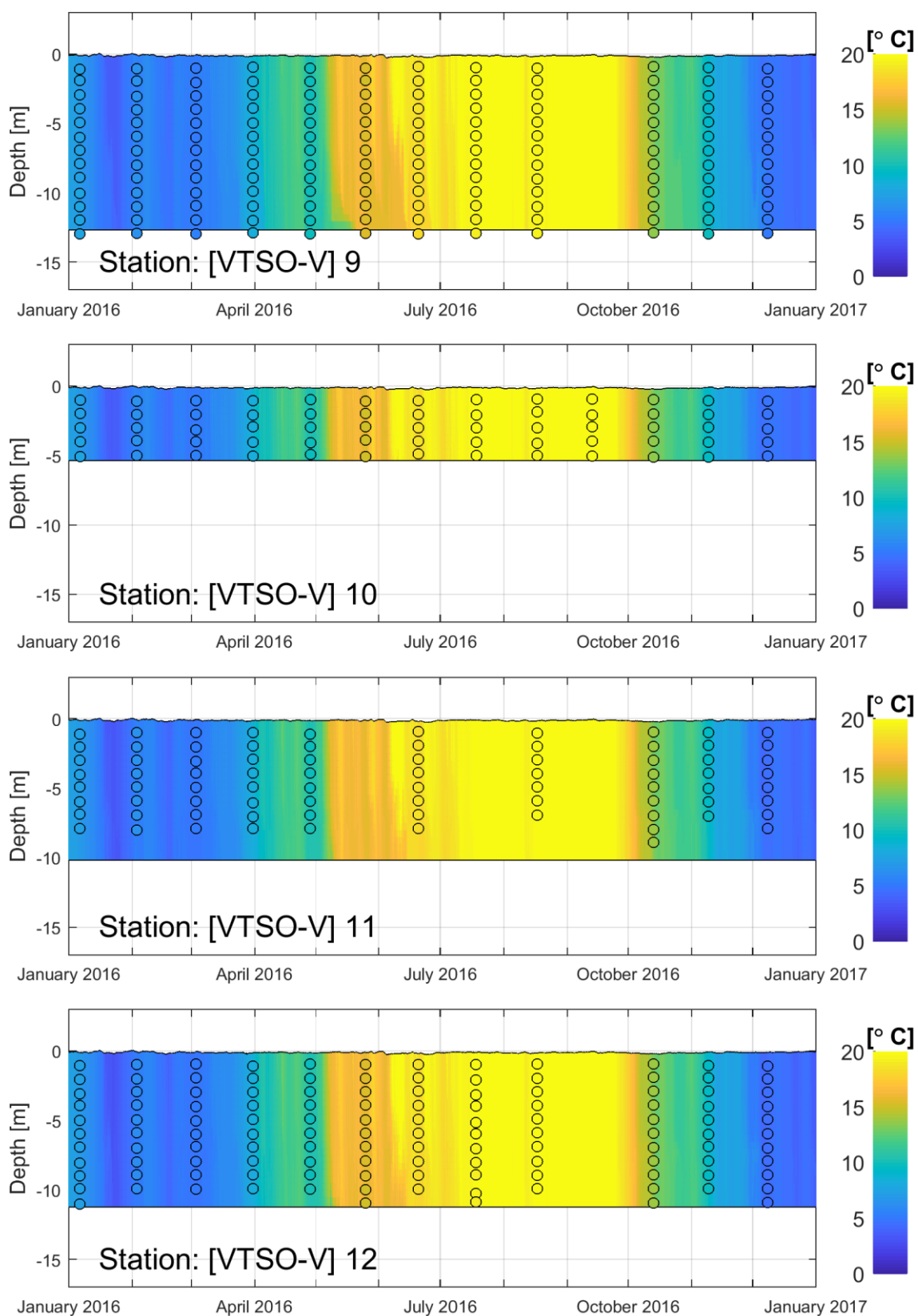
M Metingen en simulatie temperatuur 2016



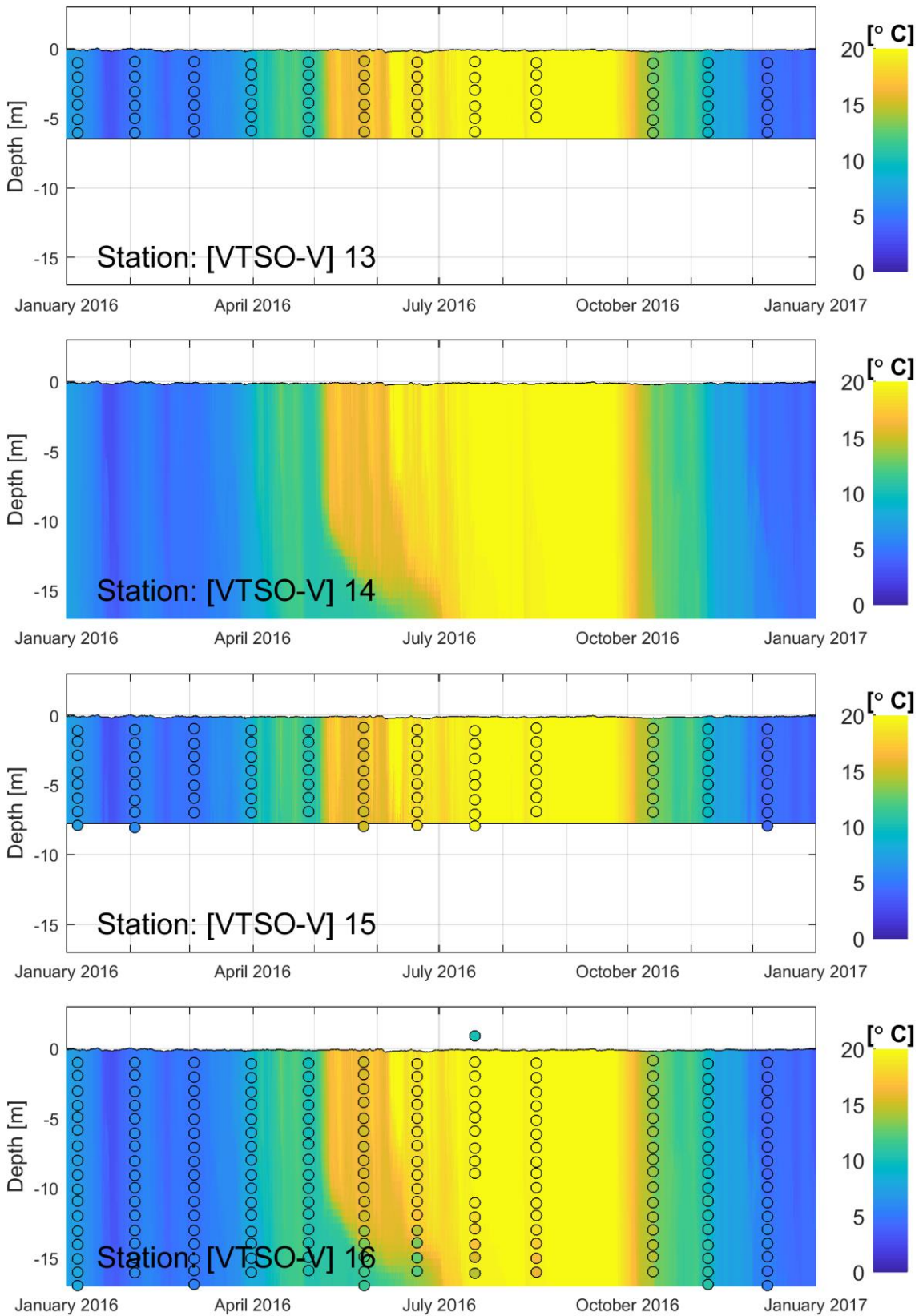
Figuur M.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [$^{\circ}\text{C}$] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



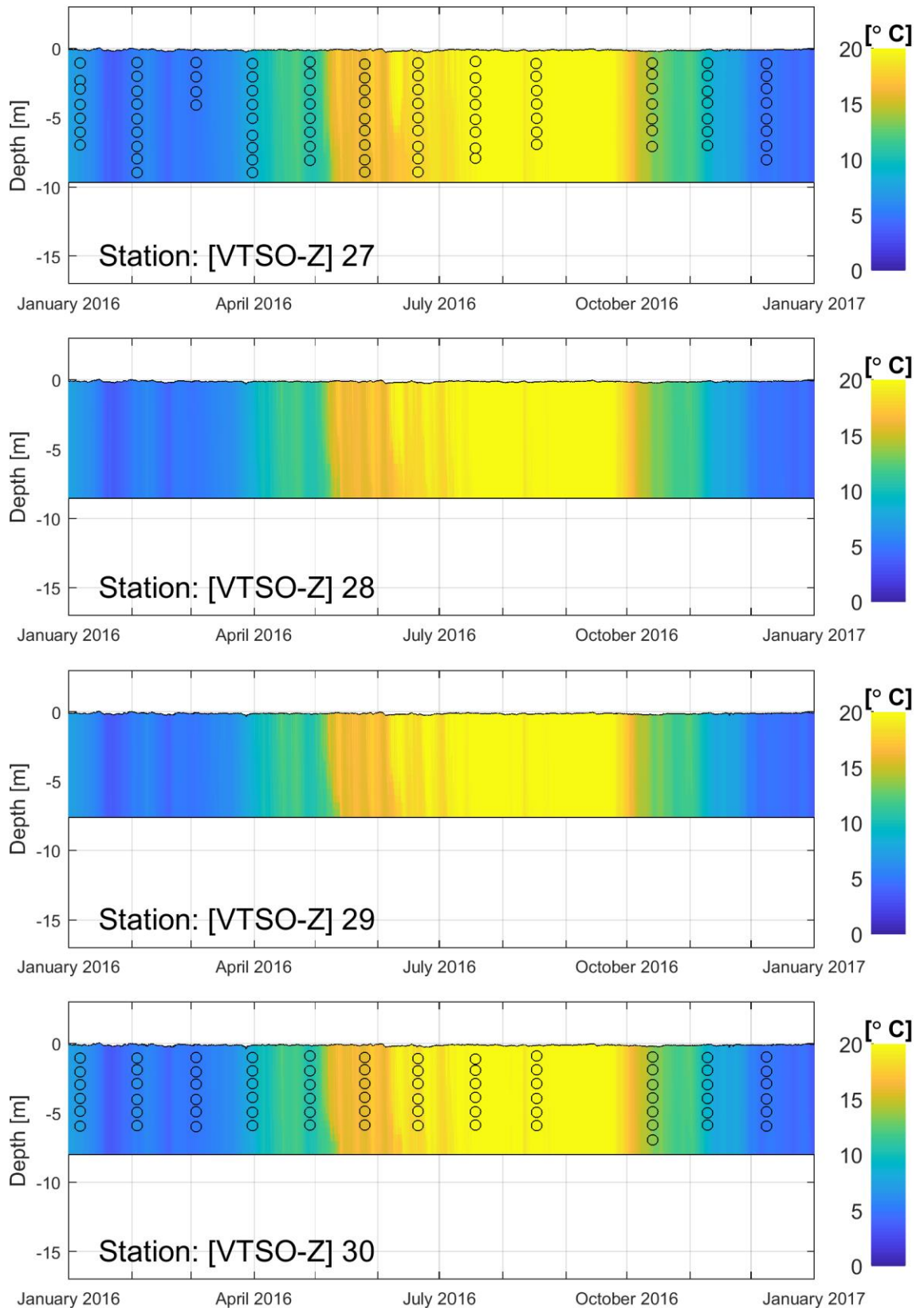
Figuur M.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



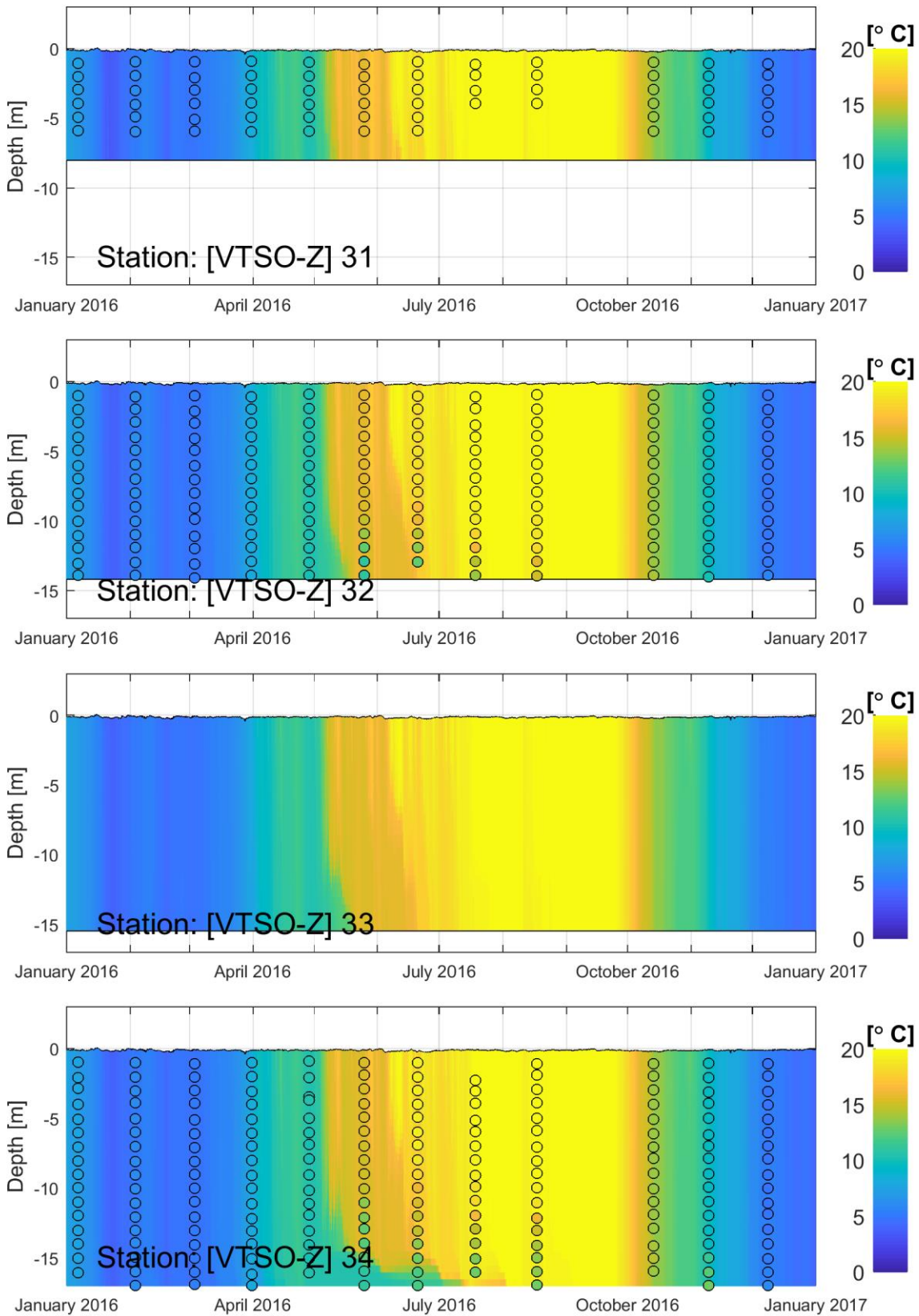
Figuur M.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



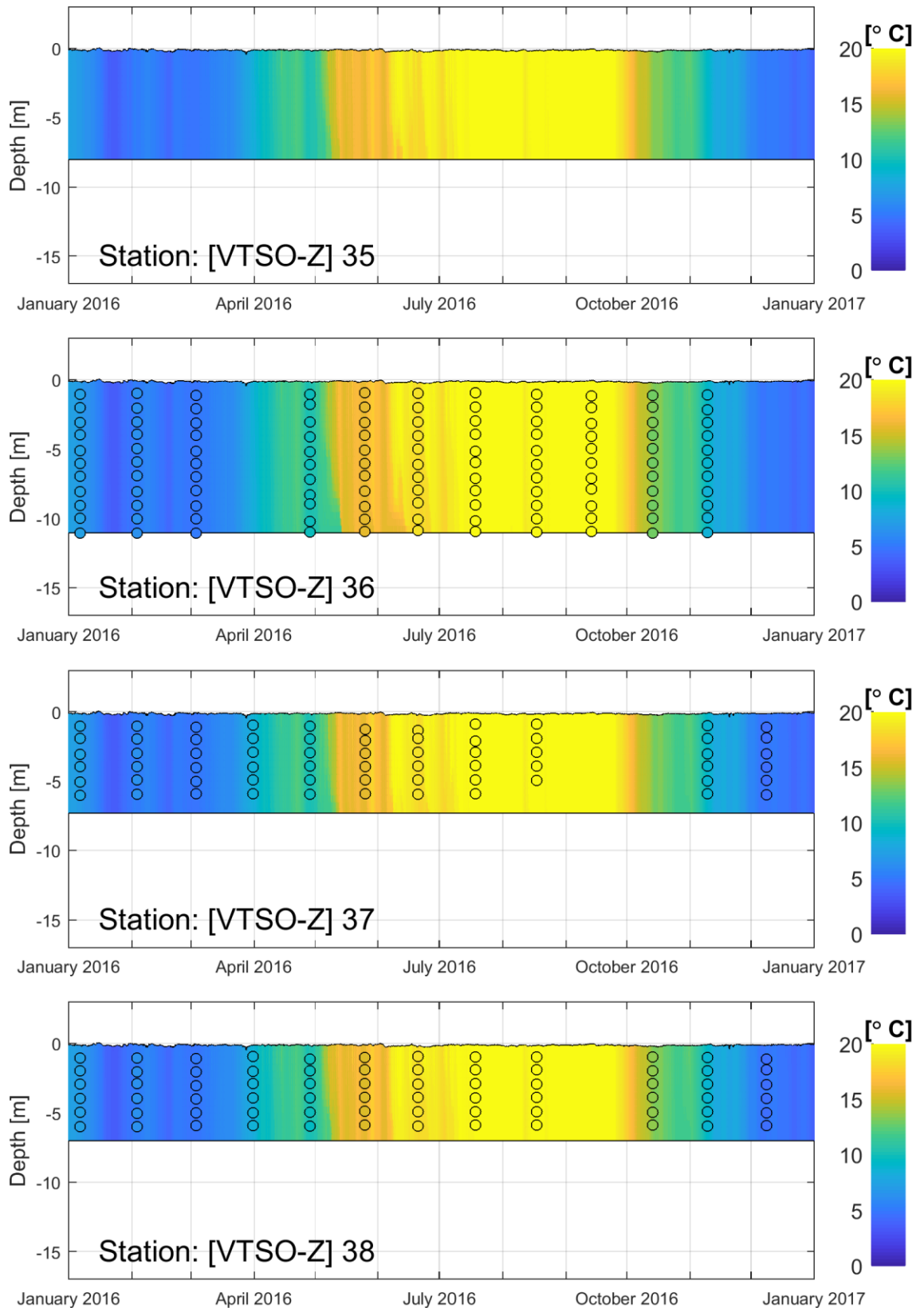
Figuur M.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur M.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.

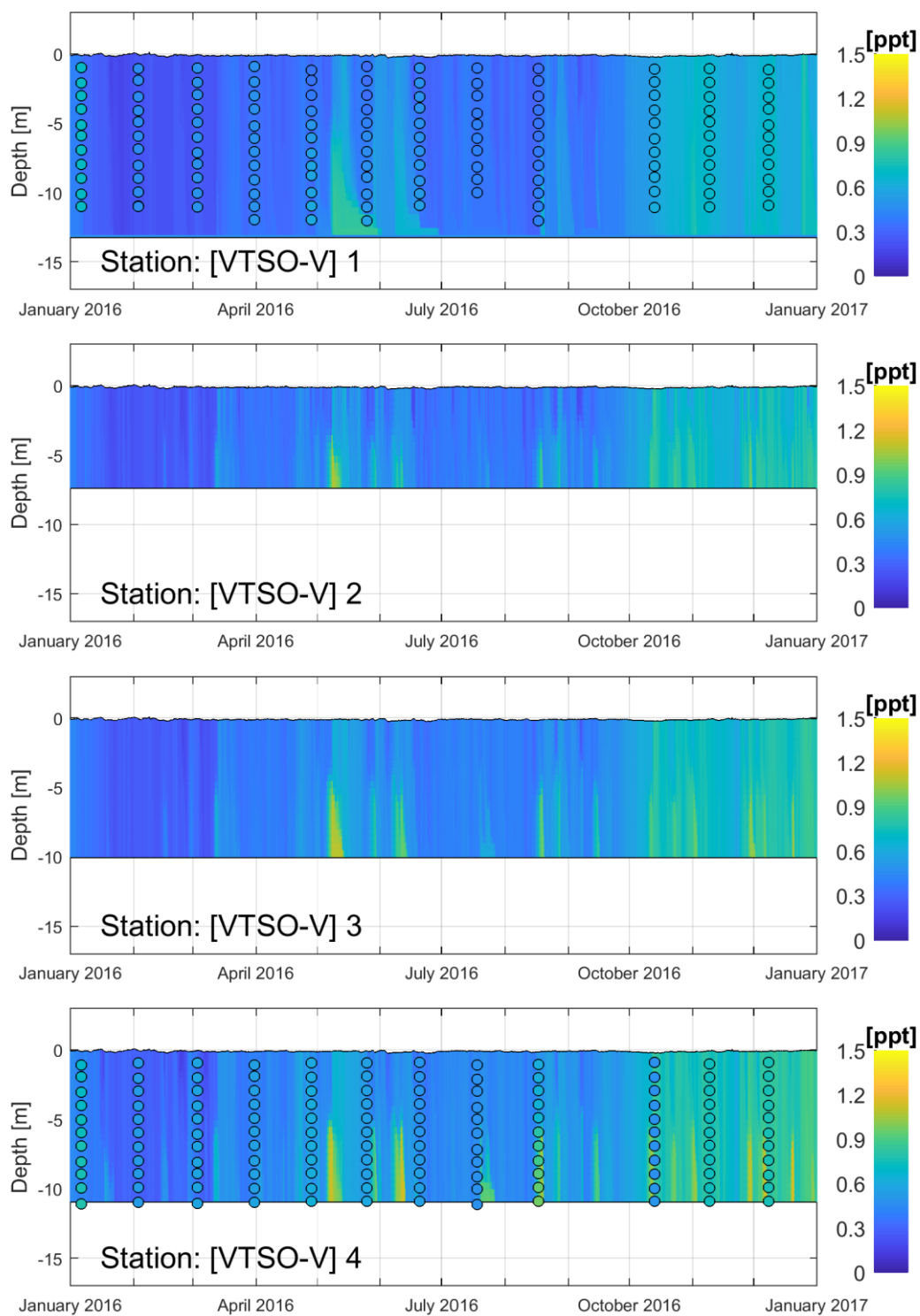


Figuur M.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarin gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.

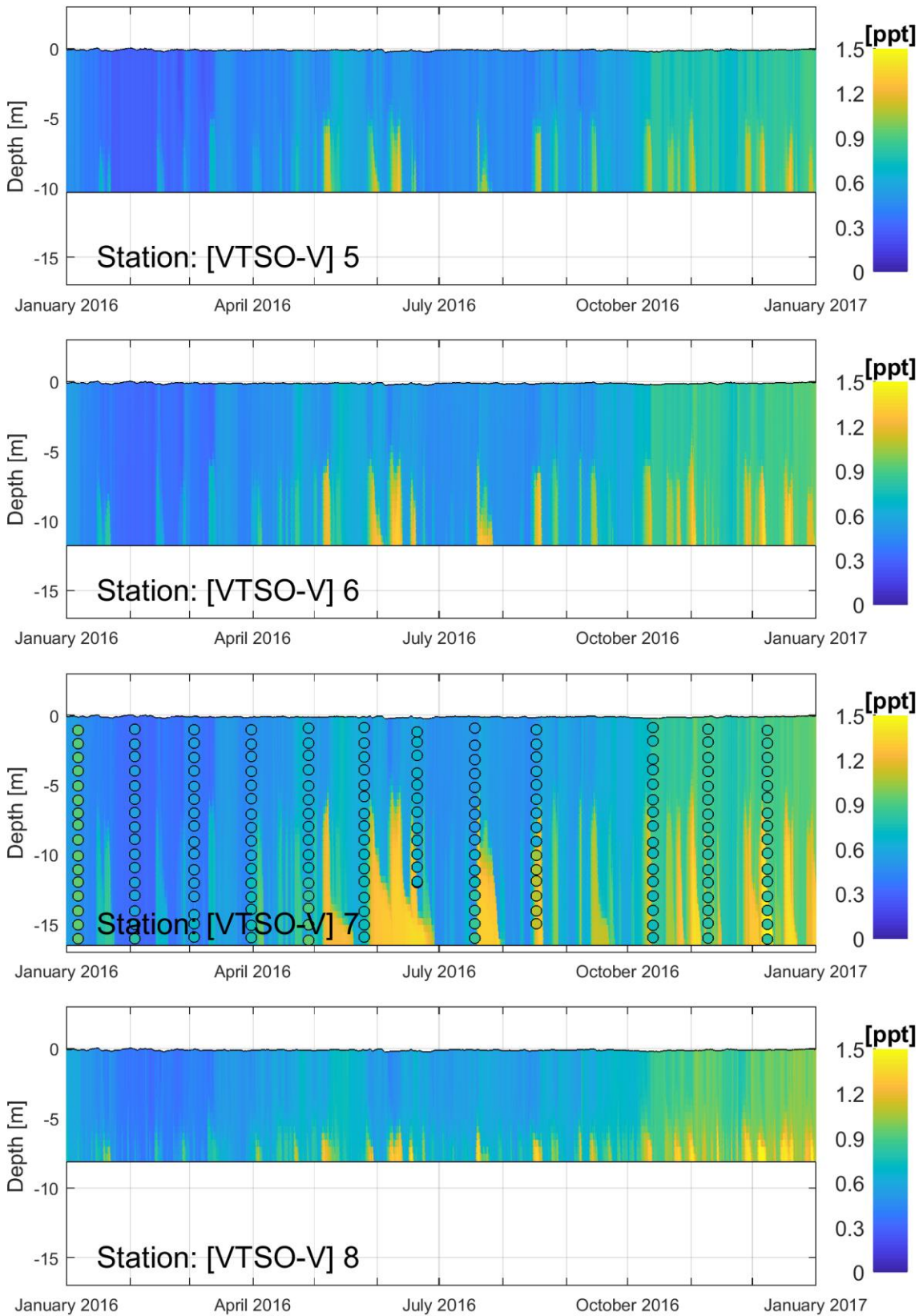


Figuur M.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor temperatuur [°C] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 38.

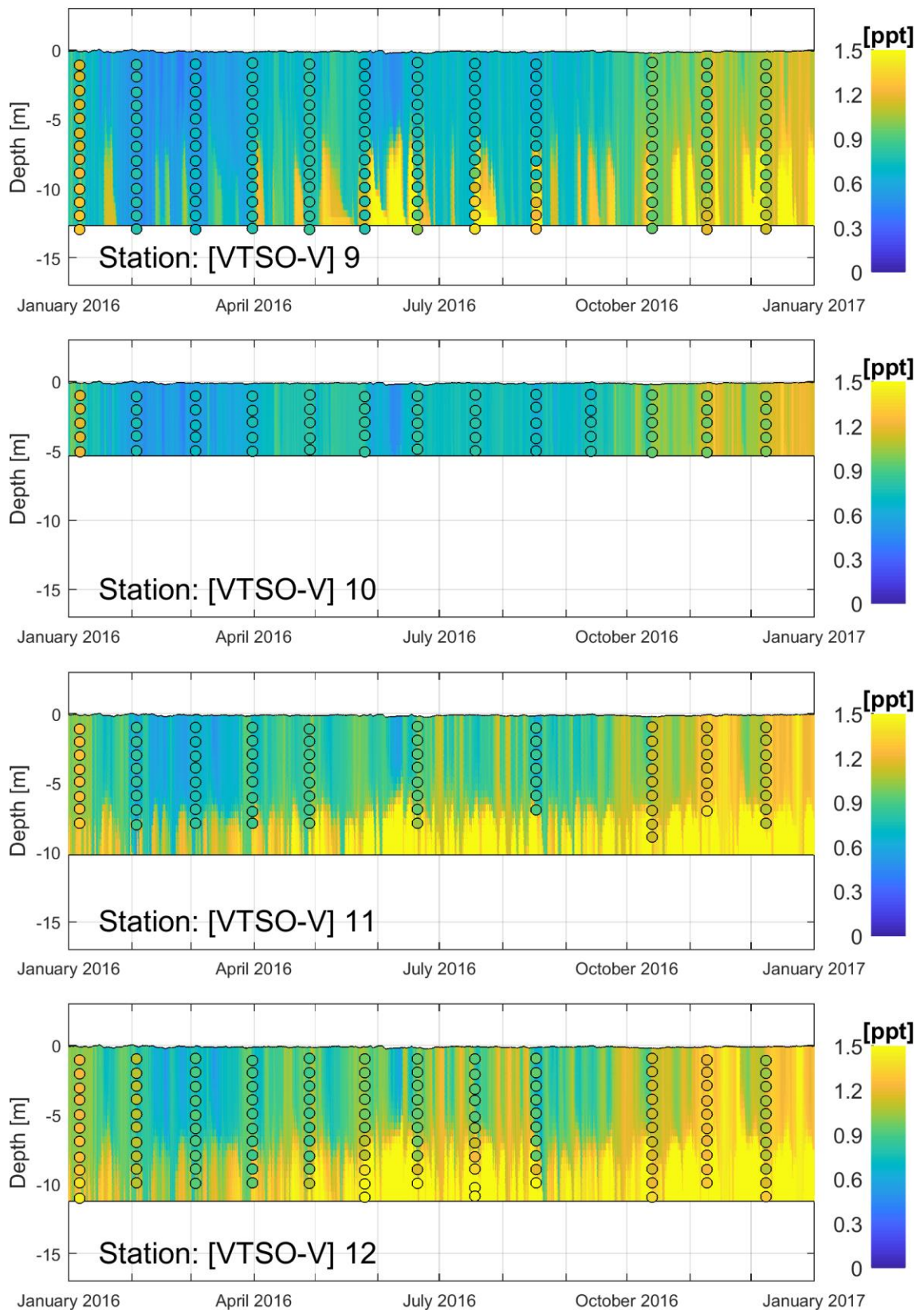
N Metingen en simulatie zout 2016



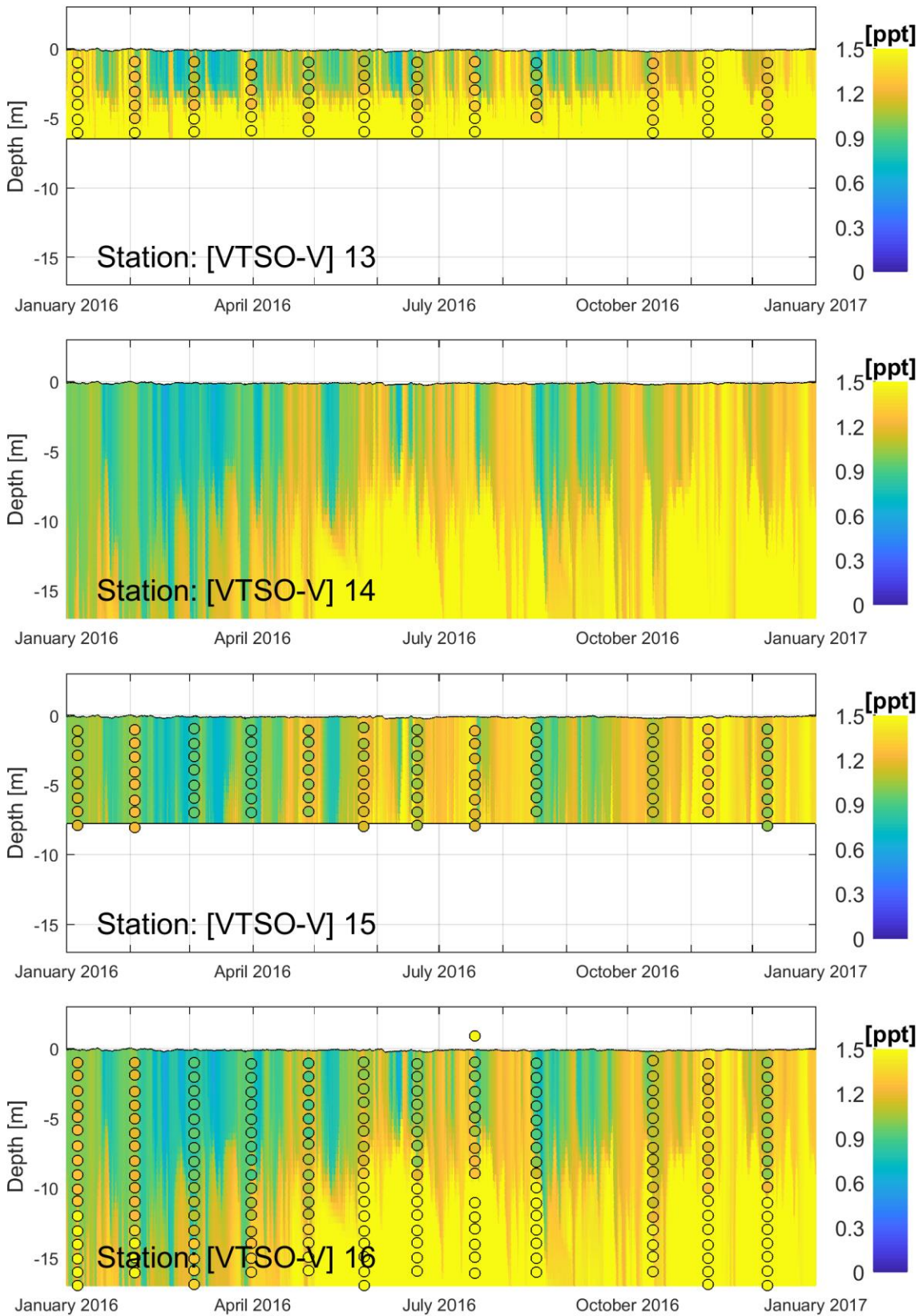
Figuur N.1 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 1 t/m 4.



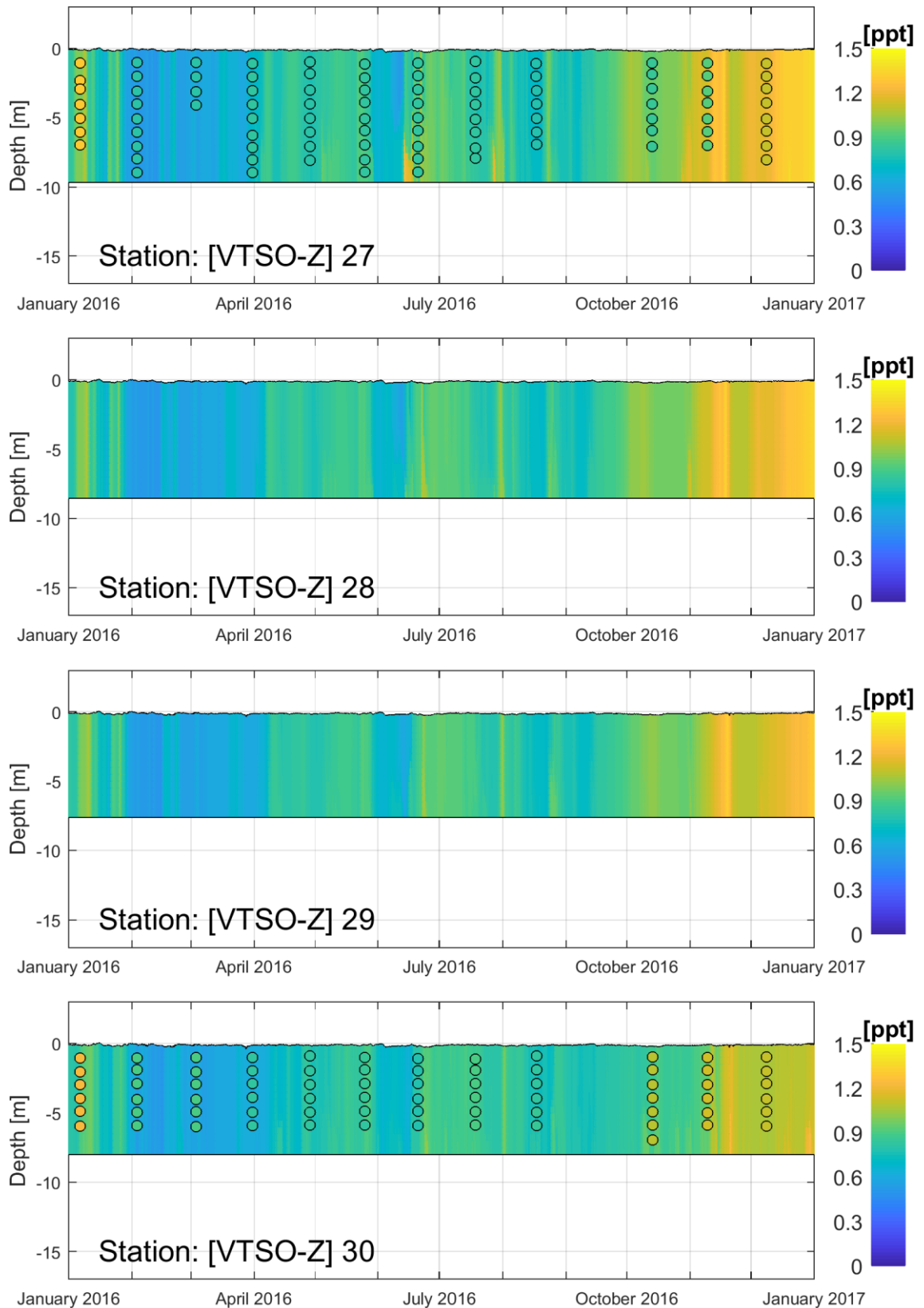
Figuur N.2 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 5 t/m 8.



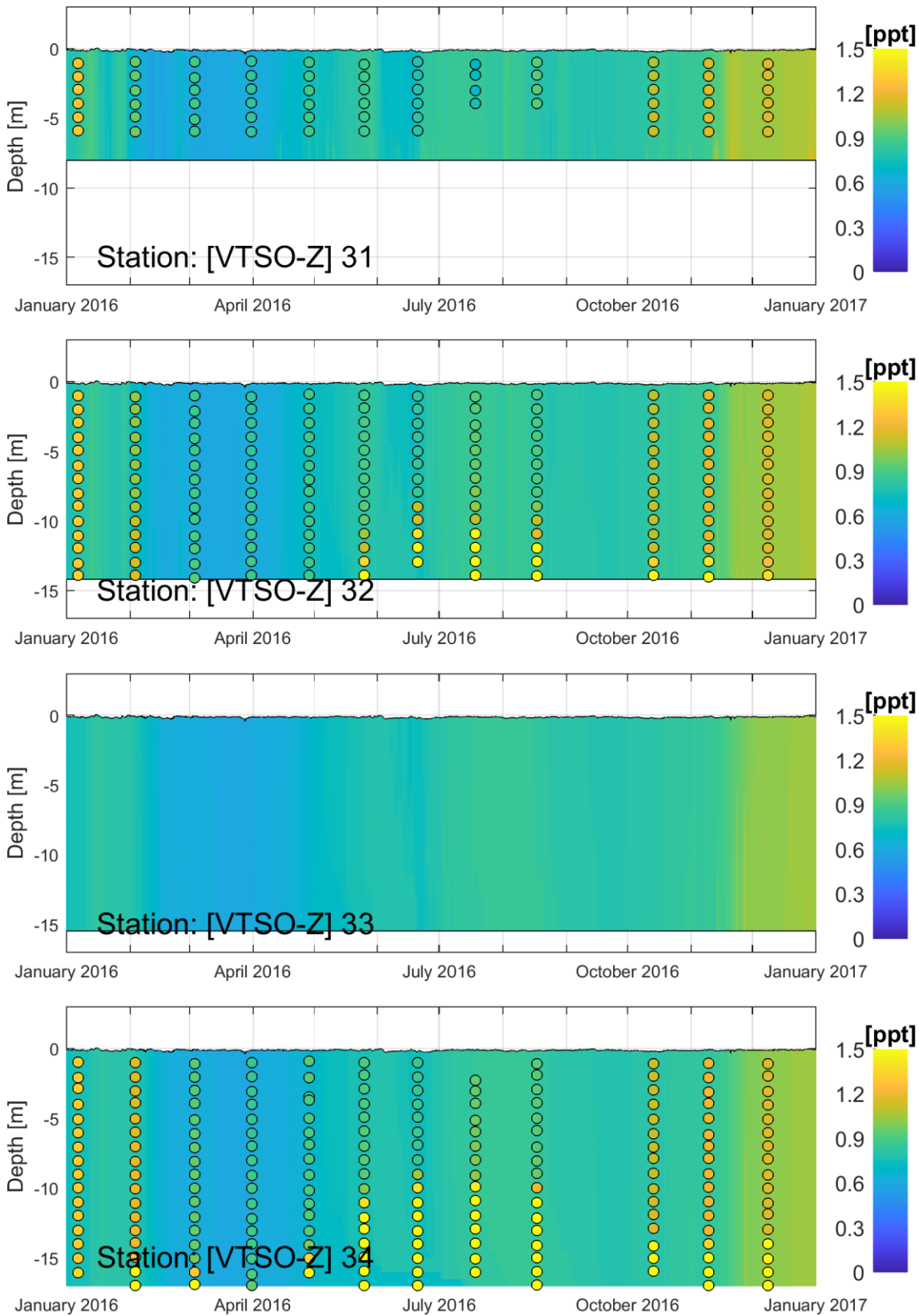
Figuur N.3 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 9 t/m 12.



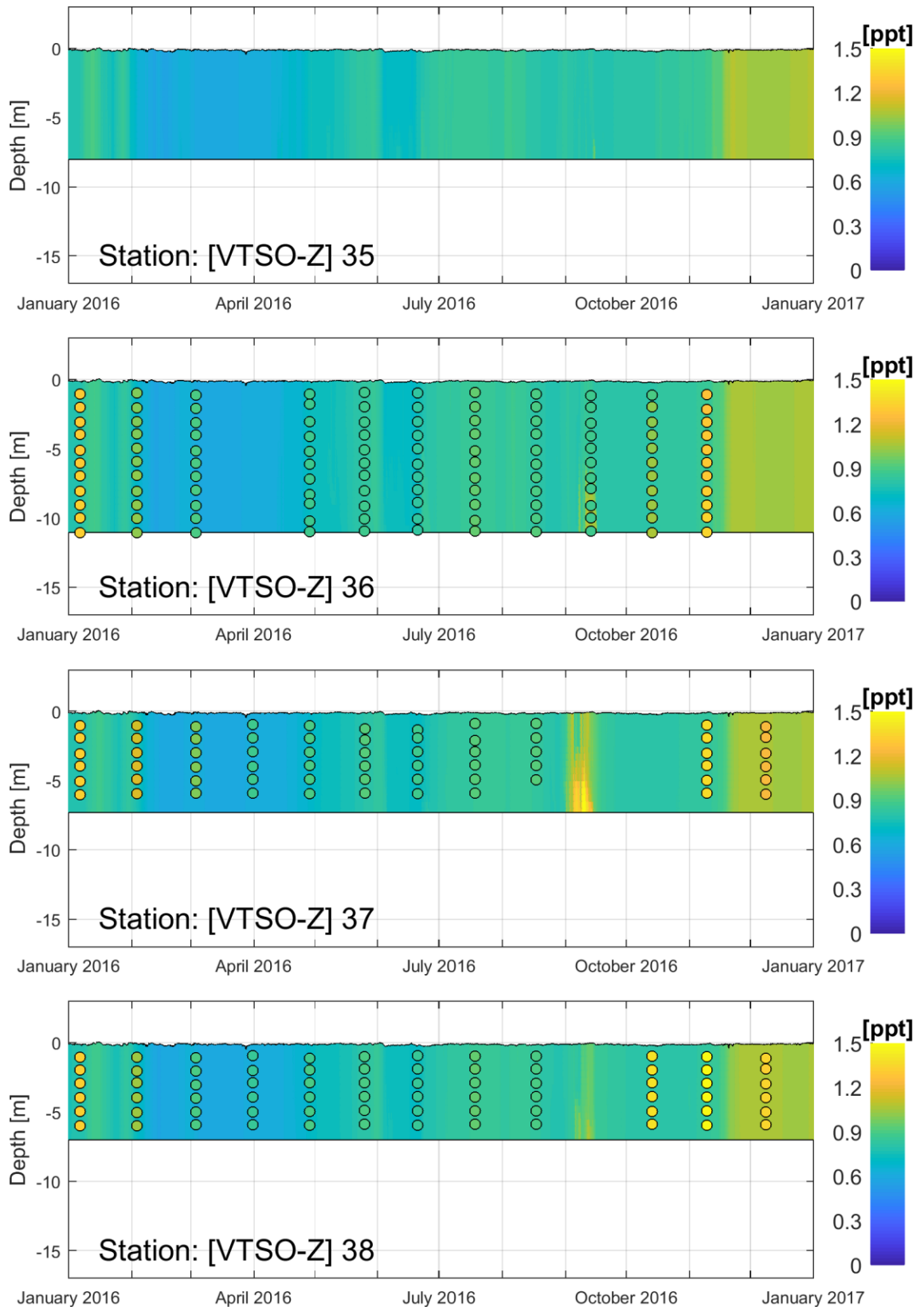
Figuur N.4 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 13 t/m 16.



Figuur N.5 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 27 t/m 30.



Figuur N.6 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 31 t/m 34.



Figuur N.7 Vergelijking tussen metingen (zwarte bolletjes met daarbinnen gekleurde waarden) en simulaties (kleuren op "achtergrond") voor zout [ppt] in jaar 2016 bij observatie stations VTSO-V 35 t/m 38N-7

O Kennisbijeenkomst 8 februari 2018

Plaats: Engels Meeting Center, Stationsplein 45, Rotterdam

Programma:

- 9:30 Welkom en opening door René Boeters
- 9:40 Doel en aanpak van de bijeenkomst door Arno Nolte
- 9:45 Voorstelrondje
- 9:00 Presentatie uitgevoerde data-analyse “Blauwalgen en Quaggamosselen in het Volkerak-Zoommeer” door Marc Weeber
(Er is al gelegenheid voor discussie tijdens de presentatie)
Prestatie uitgevoerde modellering Volkerak-Zoommeer door Tineke Troost (idem)
- 12:00 Afsluiting

Aanwezigen:

RWS : Herman Haas, René Boeters, Bert Bellert, Marcel van den Berg, Roy Schrijvers

Deltares: Arno Nolte, Tineke Troost, Marc Weeber, Menno Genseberger

WMR: Tom Ysebaert

Staatsbosbeheer: Christine Lammerts

Discussiepunten (bulletpoints):

- Is de kleurintensiteit van blauwalgen te herleiden naar een hoeveelheid in het water?
- Mogelijk is de afname in niet gedetermineerd te herleiden naar een wisseling in meetlab.
- MWTL metingen zijn maandelijks en de piekmomenten kunnen tussen de meetmomenten vallen.
- Roy Schrijvers : de trend in blauwalgen intensiteit neemt toe. Dit was sterk te zien in 2016 en 2017 bij Ooltgensplaat met aanlandige wind en Tholen in 2017. Bij aanlandige wind vormen zich plakmaten blauwalgen tegen de oever.
 - o Beheersmaatregelen zijn: kleersluis Ooltgensplaat dicht op basis van temperatuur en windrichting
 - o Hoge concentraties zijn zichtbaar in het meer zelf, maar wind vormt de drijfvlagen.
 - o Er lijkt hier een discrepantie te zijn tussen waarnemingen en metingen.
 - o Ooltgensplaat was voorheen een zwemstrand. Hierdoor voorheen frequentere metingen. 2005-2008 waren er veel problemen met blauwalgen, paar jaar hierna niet en nu weer wel.
- Mogelijk is de ruimtelijke spreiding van blauwalgen beter inzicht te brengen met remote sensing ipv vaste meetlocaties op het midden van het meer.
- Marcel van den Berg : De gebruikte tijdserie is te kort voor een statistische analyse.
- Hoe kunnen waarnemingen geregistreerd worden?
- Marcel van den Berg : Opkomende blauwalgensoorten in het IJsselmeergebied zijn representatief voor voedselarme omstandigheden. Microcystis komt voor in voedselrijke omstandigheden. Het Volkerak-Zoommeer zit een factor 3 hoger in nutriënten concentraties.
- Is het mogelijk om een X-Y relatie op te nemen met de Blauwalgen en quaggamosselen?
- Stratificatie kan er mogelijk voor zorgen dat mosselen niet bij de algen kunnen komen.

- Tom Ysebaert / Tineke Troost : De mosselen lijken een natuurlijke populatie variatie te hebben voor schelpdieren. Dit is niet jaar tot jaar te interpreteren.
- Roy Schrijvers: Er zijn ook in de recente jaren doorzichtsmetingen (NTU) met het VTSO opgenomen.
- Herman Haas : De zichtdiepte is in de laatste 6 jaar significant toegenomen
- Arno Nolte : Het effect van de Quagga op de (blauw)algen van voor en na 2008 is duidelijk zichtbaar. Echter is er (nog) geen significante trend voor de periode van 2009 t/m 2016 voor de blauwalgen.
- De afgelopen twee jaar zijn er geen problemen meer opgetreden met Zannichellia spp. die pleziervaart belemmeren. Daarvoor was dit wel. Dit kan nagekeken worden in de waterplant opnames van Robert Jentink.
- Marcel van den Berg : Nutriënten zijn in het Volkerak-Zoommeer niet limiterend voor (blauw) algengroei. Deze verklaring kan wegestreept worden.
- Marcel van den Berg : De top-down regulatie van blauwalgen door quaggamosselen lijkt minder stabiel.
- Christine Lammerts & Arno Nolte : Waarnemingen moeten uitgebreid worden en zijn waardevol. Mogelijk kan hier een waterkleur app een rol spelen (citizen science).
- Rene Boeters : Betreft het model ...
 - o Fosfaat en silicaat komen slecht overeen met de modelvoorspellingen , hoe heeft dit zijn effect op de algen voorspellingen?
 - o Piekmomenten in chlorofyl-a worden niet gereproduceerd. Wat betekent dit en op welke tijdschaal is het model voorspellend en verklarend?
- In de huidige opzet zijn de algen op groepsniveau gedefinieerd en niet te scheiden tot op soortniveau.
- Mogelijk is aan de hand van een analyse van de windstatistiek de toename in blauwalgen overlast te verklaren. Dit zou verder geanalyseerd kunnen worden. Hierbij geldt dat er eerst een windluwe periode moet zijn om de blauwalgen naar het oppervlak te laten drijven en hierna een wind die ze opstuwd en drijfslagen laat vormen. Te harde wind zorgt weer voor mening met het water.
- Herman Haas : Fysica heeft een belangrijke invloed op het systeem.
- Marcel van den Berg : Mogelijk kan het model ingezet worden voor blauwalgen voorspellingen.
- Roy Schrijvers : de blauwalgen lagen vormen zich op de oever, dit wordt nu gemist door de resolutie van het model.
- Bert Bellert : Kan het model zwevende stof simuleren? Dit is volgens Marcel van den Berg erg laag in het systeem en daarom minder belangrijk om mee te nemen.
- Mogelijk gebruiken waterplanten een relevant deel van de nutriënten. Dit zit nu niet in het model.
- Marcel van den Berg : Een interessante vraag is hoever de nutriëntenaanvoer teruggedraaid moet worden om blauwalgenbloei te beperken.
- Roy Schrijvers : De doorspoeling is nu niet terug te merken in het model. Zitten de debietreeksen goed in de aangeleverde metingen? Er wordt nu alleen debiet gemeten in twee van de vier kokers in de Volkeraksluizen.
- Tom Ysebaert : Mogelijk wordt er verkeerd voorspeld door generieke schelpdierparameters. Hiervoor zou gemeten moeten worden aan de filteratie capaciteit en groei van quaggamosselen.
- Mogelijk kunnen de NAT-vluchten over de Noordzee een voorbeeld vormen voor de VZM-vluchten/ waarnemingen.
- In de 1^e week van april zal een Grevelingen – Volkerak-Zoommeer kennisdag plaatsvinden.

- Mogelijk biedt de KPP tracers studie van Marc Verheul (Deltares) een goede verduidelijking over hoe goed gemengd het Volkerak-Zoommeer eigenlijk is. Hier zit nog informatie in die nog niet verwerkt is.