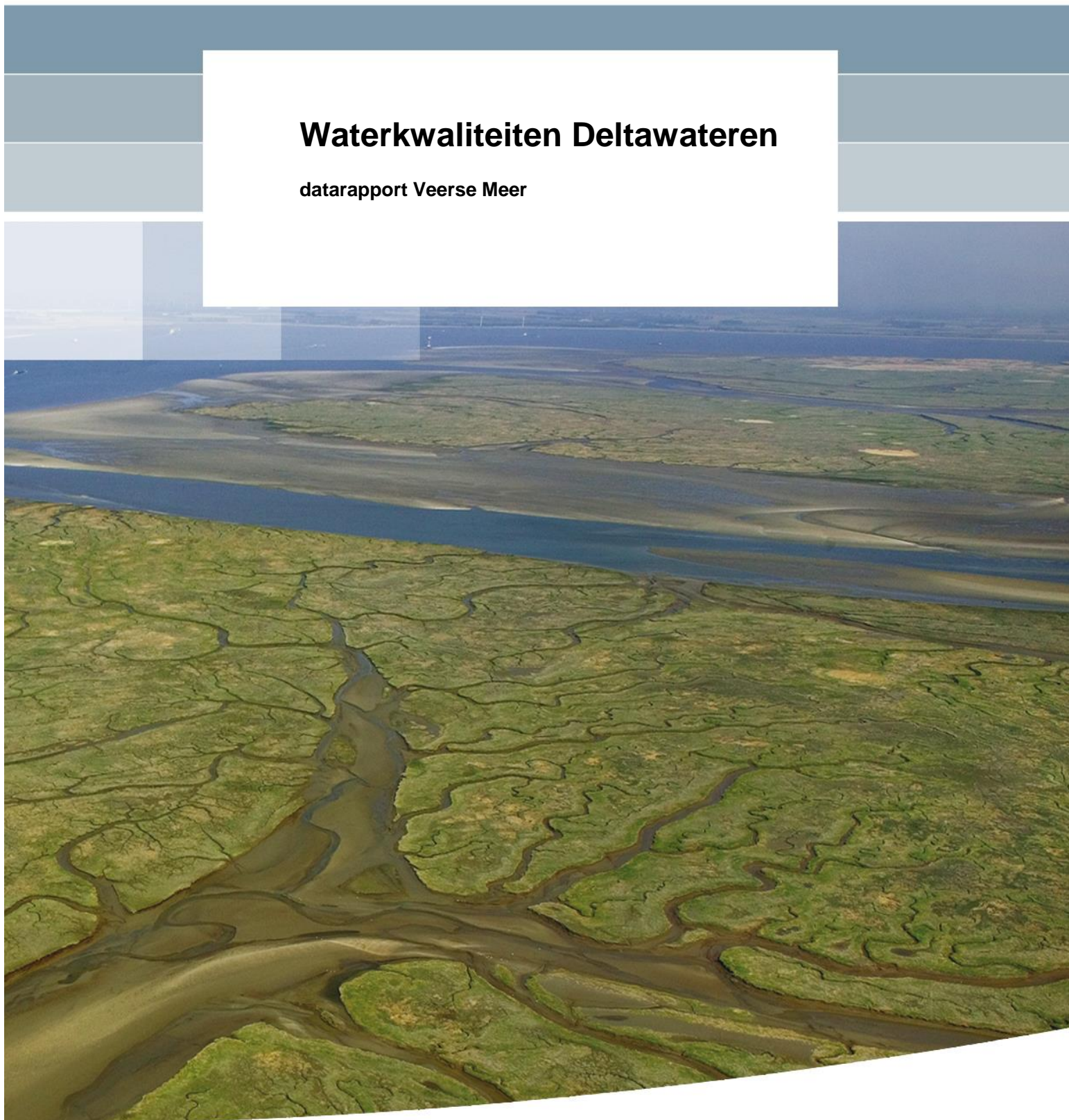


Waterkwaliteiten Deltawateren

datarapport Veerse Meer



Waterkwaliteiten Deltawateren

datarapport Veerse Meer

Ies de Vries

1210859-000

Titel

Waterkwaliteiten Deltawateren

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Zee en Delta	1210859-000	1210859-000-VEB-0004	47

Trefwoorden

Veerse Meer, Katse Heule, waterkwaliteit, polderbelasting, doorspoeling

Samenvatting

Dit datarapport bevat een weergave en (initiële) analyse van alle beschikbare waterkwaliteitsgegevens voor het MWTL meetpunt Soelekerkepolder in het Veerse Meer. De gegevens beslaan een periode van ruim 40 jaren: 1972-2014. De meeste veranderingen in het Veerse Meer door de Katse Heule en ook daarna zijn goed verklaarbaar en worden consistent weergegeven in de beschikbare meetgegevens.

Door de opening van de Katse Heule is de wateruitwisseling met de Oosterschelde sterk toegenomen. Het Veerse Meer is bijgevolg nu veel **zouter** dan voor de opening. Het huidige zoutgehalte (28-30 ppt) is maar weinig lager dan het zoutgehalte in de Oosterschelde. De huidige mengverhouding in het Veerse Meer is ongeveer 80% Oosterscheldewater en 20% polderwater. De mengverhouding was 45% Oosterscheldewater en 55% polderwater. Door de toegenomen wateruitwisseling bevat het Veerse Meer dus 35% extra Oosterscheldewater. De verticale verschillen zijn door de Katse Heule sterk verminderd. De verticale gradiënt bedroeg vóór de opening meer dan 5 ppt, na de opening 2 ppt.

Het **doorzicht** is alleen in de jaren kort voor de opening van de Katse Heule slecht(er) geweest (troebeling door algen). Het doorzicht is nu (weer) 2 m in de zomer en 3 m in de winter.

De concentratie **zuurstof** in de bovenste waterlaag is niet veranderd door/na de opening van de Katse Heule, maar de uitwisseling met de Oosterschelde heeft wel invloed op de zomerse zuurstof uitputting in de bodemwaterlaag. Vóór de opening was (op het meetpunt Soelekerkepolder) sprake van volledige zuurstofloosheid gedurende 3-5 maanden in de zomer; na de opening komt zuurstofuitputting op dit meetpunt niet meer voor en blijft de concentratie ≥ 3 mg/l.

De concentraties van de nutriënten zijn door de opening van de Katse Heule afgenomen, het Veerse Meer is door de opening dus voedselarmer geworden, maar de mate waarin verschilt nogal tussen de drie nutriënten. De hoeveelheid **orthofosfaat** vertoont een momentane en spectaculaire trendbreuk na de opening van de Katse Heule. Na de opening is de concentratie 75% lager dan voorheen. De huidige maximale concentratie (najaar) van 0,18 mgP/l is nog wel 4 keer hoger dan in de Oosterschelde.

De hoeveelheid anorganisch opgelost **stikstof** (DIN) reageerde minder sterk op de opening van de Katse Heule dan orthofosfaat; Na de opening is de (jaargemiddelde) concentratie 30% lager dan voorheen. De huidige maximale winterconcentratie van DIN is 1,5 mgN/l, het dubbele van de Oosterschelde concentratie. De ammoniumconcentratie is na de opening zowel absoluut als relatief (als % van DIN) zelfs toegenomen.

Trends en dynamiek van **silicaat** houden het midden tussen stikstof en fosfaat. De opening van de Katse Heule halveerde de concentratie. De huidige maximale winterconcentratie is ongeveer 3 mgSi/l, dit is 4 keer zo hoog als in de Oosterschelde.

De nutriëntspecifieke seizoenspatronen zijn voor en na de opening gelijk gebleven, waarbij de 'minima zijn verdiept': een sterkere voorjaarsuitputting van orthofosfaat en silicaat en een sterkere langdurige zomerafputting van DIN.

De nutriëntconcentraties in het polderwater dat op het Veerse Meer wordt uitgemalen zijn hoog. Door fosfaatrijke zoute kwel loopt het totaalfosfaat gehalte in polderwater in de zomer op tot 2 mgP/l. Daardoor is de invloed van polderbelasting op de nutriëntconcentraties in het Veerse Meer nog steeds aanzienlijk, ook bij de geringe hoeveelheid polderwater in de mengverhouding na de opening van de Katse Heule (20%). In de huidige situatie is naar schatting 75% van de hoeveelheid fosfaat en 70% van de hoeveelheid stikstof in het Veerse Meer afkomstig uit de polders. Vóór de opening van de Katse Heule was voor beide nutriënten meer dan 90% afkomstig van polderbelasting.

Al deze waarnemingen indiceren dat de hoeveelheden fosfaat en stikstof in het Veerse Meer vooral worden bepaald door externe factoren (externe belasting met polderwater en verdunning met Oosterscheldewater) en het seizoenspatroon door de biogeochemische processen in het meer zelf (bodem-water uitwisseling en de intensiteit van de biologische cyclus van opname, omzetting en mineralisatie).

De beschikbaarheid van alle drie nutriënten is in de huidige situatie in het Veerse Meer nagenoeg volledig in balans. Alle ratio's van de (niet simultane) jaarmaxima zijn ongeveer gelijk aan de verhoudingen waarin deze nutriënten door algen worden opgenomen. De positieve trend naar een steeds beter gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en een steeds intensievere benutting en recycling van alle drie nutriënten

Titel Waterkwaliteiten Deltawateren

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Zee en Delta	1210859-000	1210859-000-VEB-0004	47

(hergebruik) in de biologische kringloop in het Veerse Meer is versterkt door de wateruitwisseling via de Katse Heule.

Het Veerse heeft van alle rijkswateren (zoet en zout, van Lobith tot offshore Noordzee, van Westerschelde tot Waddenzee en van Rijn tot Markermeer) de meest gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en de meest intensieve en evenwichtige benutting en recycling in de biologische kringloop.

De hoeveelheid fytoplankton (**chlorofyl**) in het Veerse Meer varieerde sterk vóór de opening van de Katse Heule. In enkele jaren was het maximum zelfs > 100 µg/l (1985, 1991, 2003). Vooral in de 2-3 jaren vóór de opening (2002-2004) was het chlorofylniveau hoog en het water troebel. Vanaf 2005 zijn geen algenpieken meer voorgekomen en is het meerjarig gemiddeld zomermaximum ongeveer 10 µg Chl/l.

De tijdserie **POC** gegevens vertoont veel gelijkens met chlorofyl, vooral het hoge niveau in de 2-3 jaren vóór de opening van de Katse Heule (2002-2004). Na de opening is het niveau laag en vergelijkbaar met het niveau in de jaren 80-90. In de zomer is er meer POC dan in de winter.

De veel grotere hoeveelheid **DOC** gedraagt zich als een conservatieve stof: de concentratie halveert momentaan na de opening van de Katse Heule en er is, meerjarig gemiddeld, geen karakteristieke seizoensvariatie.

De voedselkwaliteit van organisch materiaal wordt geïndiceerd door twee kenmerken:

- 1 De N/C ratio als indicatie van het eiwitgehalte.
- 2 De chlorofyl/POC ratio als indicatie van het aandeel levend fytoplankton in het organisch materiaal, oftewel de verhouding levend-dood ('groen'-'bruin').

Er zijn goede correlaties tussen alle particulaire fracties onderling, dus zelfs met particulier fosfaat. De N/C ratio is hoog 0,17 mg/mg - 0,19 mg/mg. Dit indiceert een hoogwaardige voedselkwaliteit van het particulier organisch materiaal (POC) in het Veerse Meer, ook vóór de opening van de Katse Heule! In de recente jaren is de N/C ratio zelfs enigszins lager.

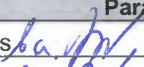

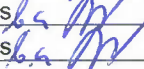
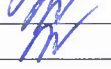



De correlaties tussen koolstof en nutriënten in opgelost organisch materiaal (DOC) zijn afwezig of zwak. De lage N/C ratio (0,09 mg/mg) en de slechte correlaties bevestigen dat (de grote hoeveelheid) opgelost organisch materiaal laagwaardig en refractair is.

Wat betreft het aandeel levend fytoplankton in het particulier organisch materiaal geven de metingen aan dat een groot deel van het POC uit levende alg kan bestaan.

De chlorofyl/POC ratio is in de winter (uiteraard) lager dan in de zomer en, opmerkelijk, ná de opening van de Katse Heule lager dan ervoor. Een mogelijke verklaring voor deze recente verlaging van de chlorofyl/POC ratio is een toegenomen graasdruk, waardoor de verhouding levend-dood kan verschuiven naar meer dood materiaal. Een andere mogelijke verklaring is toegenomen nutriëntlimitatie: 'nutriëntgelimiteerde' algen zijn 'bleker' want hebben een lagere Chl/C verhouding dan 'groeigelimiteerde' algen ten gevolge van graasdruk.

Referenties

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	Mei 2015	Ies de Vries		Hans Los		Rinus Vis	
1.1	Juni 2015	Ies de Vries		Hans Los		Rinus Vis	
2	Juli 2015	Ies de Vries		Hans Los		Rinus Vis	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Context	1
1.2 Scope en doel	2
1.3 Fasering	3
2 Materiaal en methoden	4
3 Gegevens polderwater	8
4 Zoutgehalte, zwevend stof en doorzicht	12
4.1 Saliniteit	12
4.1.1 Beschrijving zoutgehalte gegevens	13
4.2 Zwevend stof en doorzicht	14
4.2.1 Beschrijving gegevens zwevend stof en doorzicht	16
4.3 Samenvatting feiten: zoutgehalte, zwevend stof en doorzicht	16
5 Zuurstof	17
5.1 Beschrijving gegevens zuurstof	18
6 Nutriënten	19
6.1 Fosfaat	19
6.1.1 Beschrijving fosfaatgegevens	22
6.2 Stikstof	24
6.2.1 Beschrijving stikstofgegevens.	28
6.3 Silicaat	30
6.3.1 Beschrijving silicaat gegevens	31
6.4 Relatieve beschikbaarheid van nutriënten	32
6.4.1 Beschrijving relatieve beschikbaarheid van nutriënten	33
7 Fytoplankton en organisch materiaal	34
7.1 Chlorofyl	34
7.1.1 Beschrijving chlorofylgegevens.	35
7.2 Organisch materiaal	36
7.2.1 Beschrijving gegevens organisch materiaal	39
8 Pelagische partitie van nutriënten	41
8.1.1 Beschrijving pelagische partitie	42
9 Samenvatting en voorlopige interpretatie	43
9.1 Veranderingen door de Katse Heule en recente trends	43
10 Referenties	47

1 Inleiding

1.1 Context



Figuur 1.1 De deltawerken met jaartallen van gereedkomen

De deltawerken (Figuur 1.1) hebben de Zuidwestelijke Delta veranderd van een samenhangend dynamisch estuarien systeem in een stelsel afzonderlijke geïsoleerde en versterde compartimenten, de bekkens¹. Hierdoor zijn verschillende (ecosysteem)diensten verloren gegaan of verminderd.

Een ecosystemedienst die grotendeels verloren ging (door de deltawerken) is het zelfreinigend vermogen van de deltawateren (selfpurification, retention capacity). Estuaria zijn het filter tussen rivier en zee, en kunnen in belangrijke mate nutriënten en verontreinigingen vanuit het stroomgebied van de rivier 'reinigen' waardoor zee-verontreiniging wordt verminderd. Gecompartimenteerde deltawateren, geïsoleerd van rivier en zee, hebben die functie niet meer. De eerlijkheid gebiedt echter op te merken dat deze ecosystemedienst steeds minder belangrijk is. De uitvoering van de deltawerken viel samen met de maximale rivierverontreiniging (de jaren '70 van de vorige eeuw). Dus toen was dit een relevante

¹ Alleen de Westerschelde is een estuarien systeem gebleven

overweging. Maar de rivieren (Rijn, Maas, en met vertraging de Schelde) zijn nu veel schoner dan toen. Verontreiniging en overbemesting (eutrofiëring) van rivier, meer en zee is grotendeels verleden tijd². Misschien dient zich een nieuw probleem aan: verminderde draagkracht voor visserij en schelpdierkweek door voedselgebrek (oligotrofiëring).

Voor waterkwaliteit en biodiversiteit ligt de zaak genuanceerd, en is afhankelijk van de 'maatlat' die je hanteert. De waterkwaliteit, en zeker de perceptie ervan, van Grevelingen, Oosterschelde, Veerse Meer, en zelfs het Volkerak-Zoommeer is/wordt veel beter dan in de vroegere estuariene situatie. Estuaria in zandige en slibrijke gebieden zijn troebel, de huidige deltawateren potentieel kraakhelder, met vele meters zichtdiepte. Deze nuance geldt ook de biodiversiteit: de biodiversiteit in bijvoorbeeld de Oosterschelde is veel hoger dan in de Waddenzee. Er zijn echter ook andere maatlaten (KRW, uniciteit, regionale/mondiale zeldzaamheid) en die geven elk een ander beeld.

1.2 Scope en doel

De scope van dit project 'Waterkwaliteiten Deltawateren' is de beschrijving en analyse van de (ontwikkeling van de) waterkwaliteit van de deltawateren en de daarmee samenhangende ecosysteemdiensten, zoals natuurwaarde en (draagkracht voor) visserij en schelpdierkweek. Lange termijn trends en veranderingen in waterkwaliteit onder invloed van inrichting en beheer worden weergegeven en geanalyseerd. Recente aanzetten voor deze analyse zijn gegeven met de waterkwaliteitsanalyse voor de Green Deal Oosterschelde (deVries, 2013 en Nolte en deVries, 2013), en met de validatie van het ZW deltamodel voor stofstroomanalyses (van Gils, 2013).

Met dit project wordt gepoogd inzicht te verkrijgen in de sleutelfactoren en –processen voor de ontwikkeling van de waterkwaliteit. Deze zijn onder meer:

- 1 Fysische eigenschappen.
 - Onderscheid tussen hoogdynamische wateren met sterke getijstrooming en laagdynamische en stagnante wateren met zwakkere windgedreven strooming.
 - Mate van stratificatie: voorkomen van verticale dichtheidsverschillen (door zout en/of temperatuurgradiënten) waardoor de uitwisseling tussen de waterlagen wordt beperkt en zuurstofuitputting in de bodemwaterlaag kan ontstaan.
 - Waterverblijftijd: mate van verversing, uitwisseling en doorstroming.
- 2 Chemische eigenschappen
 - Zout- of chloridegehalte en de aanwezigheid van gradiënten in ruimte en/of tijd. Het zout- of chloridegehalte bepaalt (onder andere) de samenstelling van de levensgemeenschap. Zoetwaterorganismen overleven niet in het mariene milieu en mariene organismen overleven niet in zoete wateren. Slechts weinig organismen zijn bestand tegen of aangepast aan intermediaire of sterk wisselende zoutgehaltes.
 - Belasting met en concentraties van plantenvoedingsstoffen (nutriënten) bepalen de voedselrijkdom. Teveel (eutrofiëring) kan leiden tot ongewenste waterkwaliteitseffecten (troebel water, blauwalgen), te weinig (oligotrofiëring) tot verminderde draagkracht voor schelpdierkweek.
- 3 Biologische eigenschappen. Een belangrijke eigenschap is de mate van benutting, 'begrazing' van algen door schelpdieren en/of zoöplankton. Door intensieve begrazing

² Met enige nuance: de afname van fosfaat verloopt sneller dan de afname van stikstof. Daardoor stijgt de N/P verhouding tot veel hogere waarden dan de verhouding waarin deze nutriënten worden opgenomen door en aanwezig zijn in fytoplankton (de 'Redfield ratio', N/P = 16 mol/mol = 7,2 mg/mg). De relatieve overmaat van N ten opzichte van P kan de soortensamenstelling van het fytoplankton nadelig beïnvloeden.

blijft de algenbiomassa laag en het water helder, zelfs in eutrofe wateren. Zo is begrazing door de quaggamossel (een nieuwe invasieve soort, verwant aan de driehoeksmossel) de meest waarschijnlijke hoofdoorzaak van de recent toegenomen helderheid van het Volkerak-Zoommeer (de Vries en Postma, 2013). In de zoute deltawateren is waarschijnlijk zelfs sprake van overbegrazing door (te) hoge dichtheden van mariene schelpdieren, waardoor de draagkracht voor schelpdierkweek afneemt (Smaal et al., 2013).

Op inzicht in de gecombineerde uitwerking van deze sleutelfactoren en –processen kunnen gerichte en onderbouwde inrichting- en beheeradviezen worden gebaseerd.

1.3 Fasering

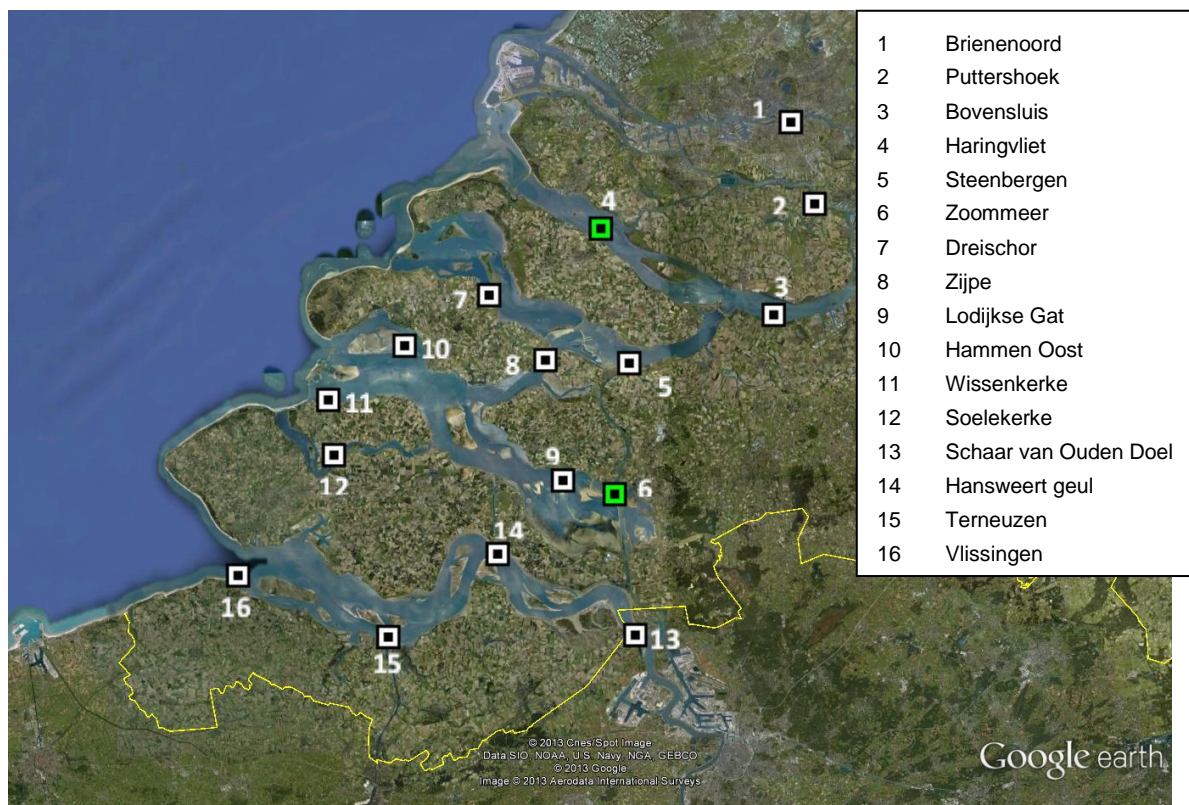
- 1 In de eerste fase wordt een serie datarapporten gemaakt. Het onderhavige datarapport Veerse Meer is het derde rapport van deze serie. Dit datarapport maakt tevens onderdeel uit van de bekkenrapportage Veerse Meer
- 2 Stofstroomanalyse: stofbalansen per bekken en voor de ZWdelta als geheel (aan- en afvoerfluxen en interne fluxen zoals bodem-water uitwisseling).
- 3 Synthese: in dit afsluitende rapport zullen de hypothesen en waarnemingen van de voorgaande rapporten integraal worden geanalyseerd en mogelijk verklaard.

2 Materiaal en methoden

De datarapporten bevatten de beschrijving en analyse van langjarige tijdseries waterkwaliteitsvariabelen van de MWTL meetpunten van Rijkswaterstaat (Figuur 2.1).

Voor deze meetpunten (in dit datarapport het meetpunt Soelekerkepolder in het Veeerse Meer (12)) worden waterkwaliteitsgegevens (saliniteit/chloride, zwevend stof, doorzicht, nutriënten, chlorofyl, organisch materiaal) over een periode van ruim 40 jaren, 1972-2014, geanalyseerd. Voor de analyse zijn vooral de meetgegevens op 1 m onder het wateroppervlak gebruikt. De meetgegevens halverwege de waterkolom en 1 m boven de bodem zijn minder consistent gemeten en geven een minder representatief beeld van de waterkwaliteit van het Veeerse Meer. Door stratificatie is de gemeten waterkwaliteit in de diepere lagen representatief voor lokale omstandigheden.

De gegevens zijn ontleend aan www.waterbase.nl en/of opgevraagd bij servicedesk-data@rws.nl.



Figuur 2.1. MWTL locaties in de zuidwestelijke delta. De in groen aangegeven locaties Haringvliet en Zoommeer zijn geen MWTL locaties, maar zijn toegevoegd om ook locaties in deze twee deltawateren te hebben.

Voor elk van de meetpunten worden de gegevens uitgewerkt en gepresenteerd in samengestelde figuren. Deze figuren bevatten tenminste:

- De complete tijdseries van de oorspronkelijke meetgegevens;
- De jaargemiddelde concentraties (voor chlorofyl het zomergemiddelde, april-september);
- De meerjarig maandgemiddelde concentraties voor verschillende periodes die samenhangen met de deltawerken. Voor het Veeerse Meer vijf periodes (1972-1980,

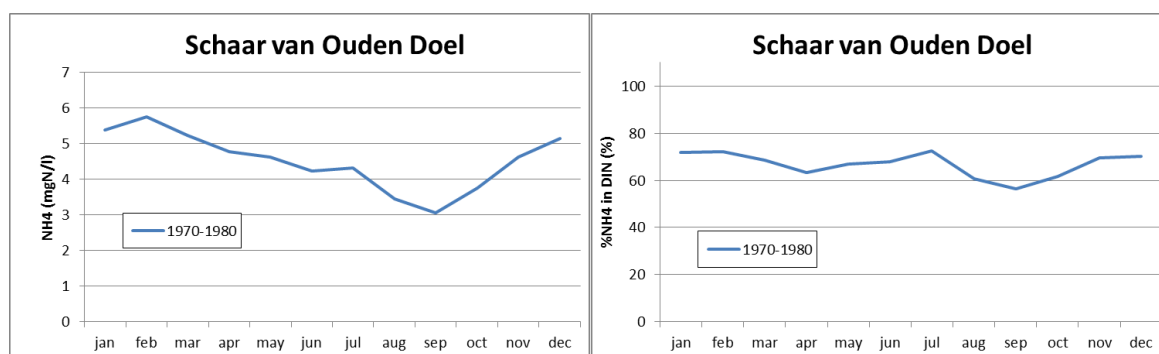
1981-1990, 1991-2003, 2005-2009 en 2010-2014). De eerste drie periodes zijn vóór de aanleg van de Katse Heule. Het overgangsjaar waarin de Katse Heule werd geopend (2004) wordt overgeslagen;

- Voor chlorofyl worden ook correlatiegrafieken weergegeven van chlorofyl met totaal-P (of particulier P) en totaal-N (of particulier organisch N), met de regressielijnen voor de maxima (= de gemeten maximale hoeveelheid algen per hoeveelheid nutriënt) (vergelijkbaar met de zogenaamde 'CUWVO-relaties' voor het zoete water).

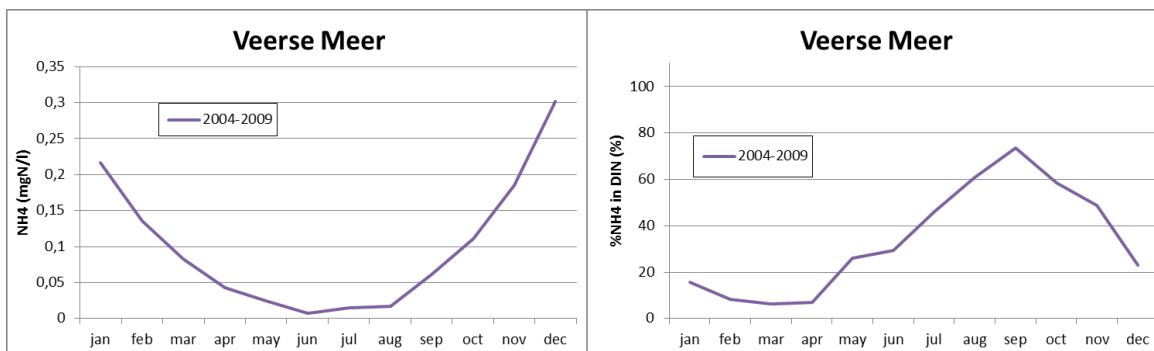
Voor het Veerse Meer worden, voorafgaand aan de nutriënten- en algengegevens, de gemeten zoutgehalten gepresenteerd, en het uit deze meetgegevens berekende percentage polderwater.

In dit datarapport worden ook de twee nieuwe kengetallen weergegeven, die zijn geïntroduceerd in het datarapport N P Si (de Vries, 2015):

- 1 Het aandeel ammonium (NH_4^+) in de totale concentratie anorganisch opgelost stikstof (DIN = ammonium + nitriet + nitraat) en vooral het seizoenspatroon ervan:
 - 1.1 De ammonium concentratie **als indicator van klassieke (rivier) verontreiniging** ten gevolge van lozingen van ongezuiverd huishoudelijk afvalwater. Als illustratie de Westerschelde op de grens België-Nederland (Schaar van Ouden Doel) in de jaren 70 van de vorige eeuw: De ammonium concentratie is het hele jaar zowel absoluut als relatief hoog (Figuur 2.2).
 - 1.2 De ammonium concentratie **als indicator van intensieve biologische turnover**, oftewel een hoge 'regeneratieproductie' op basis van via mineralisatie gerecycleerde nutriënten. Als illustratie het Veerse Meer na de opening van de Katse Heule: De ammoniumconcentratie is laag (wintermaximum is 20 keer lager dan in de Westerschelde) en wordt in de zomer helemaal uitgeput. De relatieve concentratie (NH_4^+ aandeel in DIN) is laag in de winter maar neemt toe in de loop van het groeiseizoen tot een hoog aandeel in september (Figuur 2.3).



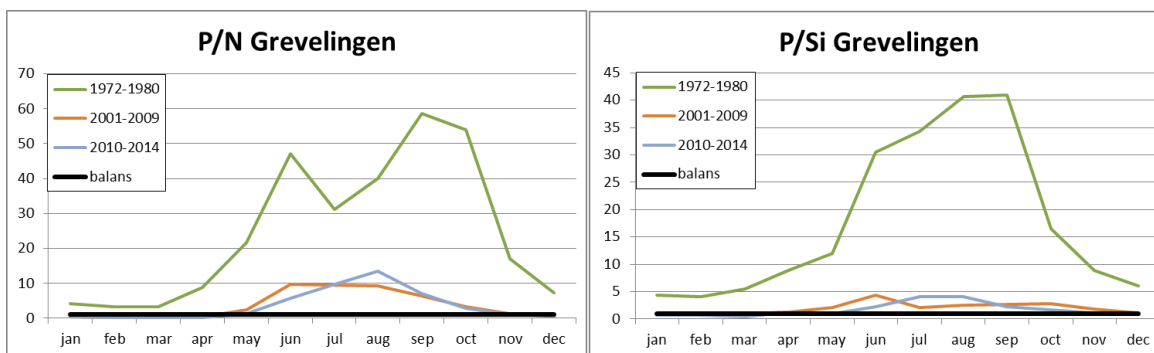
Figuur 2.2 Ammoniumconcentratie in de Westerschelde in de jaren 70 van de vorige eeuw. Absolute concentratie (links), relatieve concentratie (% NH_4 in DIN) (rechts)



Figuur 2.3 Ammoniumconcentratie in het Veerse Meer na de opening van de Katse Heule. Absolute concentratie (links), relatieve concentratie (% NH₄ in DIN) (rechts).

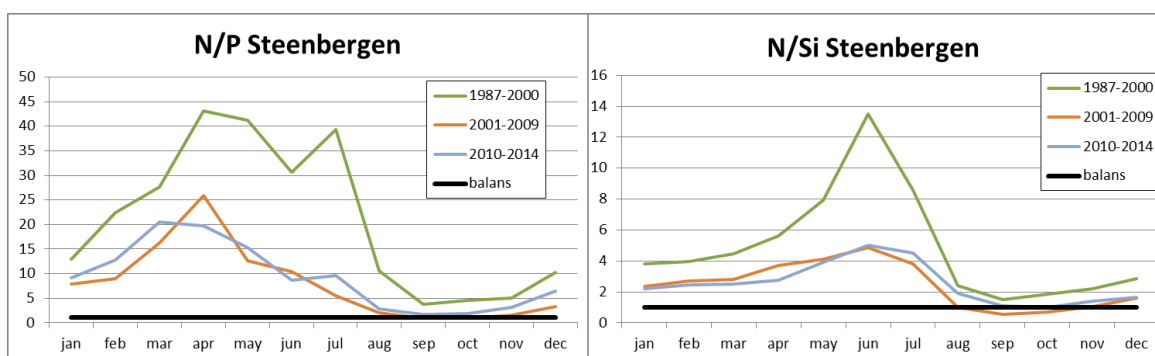
2 De relatieve beschikbaarheid van (anorganisch opgelost) stikstof, fosfaat en silicaat, gerelateerd aan de verhoudingen waarin de nutriënten worden opgenomen in algen. Om dit kengetal zichtbaar te maken worden de gemeten concentraties genormaliseerd volgens de Redfield ratio N:P:Si = 16:1:15 (mol/mol) = 7,2:1,0:13,5 (mg/mg) (Redfield 1934 en 1958, Brzezinski, 1985). Bij genormaliseerde ratio's van ongeveer 1 zijn de nutriënten beschikbaar in de verhouding waarin ze door algen worden opgenomen ('balans'). Bij genormaliseerde ratio's <1 is er een relatief 'tekort' van het nutriënt in de teller van de ratio; bij genormaliseerde ratio's >1 is het nutriënt in de teller in relatieve 'overmaat' aanwezig. In grafieken worden de genormaliseerde ratio's van simultane maandgemiddelde concentraties weergegeven; in tabellen de genormaliseerde ratio's van de jaarmaxima. Het seizoensverloop van de nutriënt concentraties is verschillend, en de maxima vallen dus niet samen. De genormaliseerde ratio's van de niet simultane jaarmaxima vertonen daardoor minder extreme waarden dan de genormaliseerde ratio's van de simultane maandgemiddelde concentraties. Als illustratie:

- 2.1 Grevelingenmeer: ná de afsluiting en vóór de opening van de spuisluis in de Brouwersdam (periode 1972-1980) nam de fosfaatconcentratie sterk toe. Dit veroorzaakte een grote overmaat van fosfaat ten opzichte van stikstof en silicaat. De huidige concentraties zijn veel meer in balans (Figuur 2.4).
- 2.2 Volkerak: hoge stikstofvrachten uit Brabant veroorzaken na de afsluiting een extreme overmaat van stikstof ten opzichte van fosfaat en silicaat (1991-2000). Ook in het Volkerak zijn de huidige concentraties meer in balans, maar er is nog steeds een overmaat aan stikstof (Figuur 2.5).



relatieve beschikbaarheid								
van	tov	1972-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2009	2010-2013		
N	P	0,2	0,3	0,5	1,4	1,2		
	Si	1,2	1,6	2,2	2,0	1,7		
P	N	5,6	3,0	1,8	0,7	0,8	legenda:	
	Si	6,9	4,7	4,0	1,4	1,4	tekort	
Si	N	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6	balans	
	P	0,1	0,2	0,3	0,7	0,7	overmaat	

Figuur 2.4 Redfield genormaliseerde nutriëntratio's in het Grevelingenmeer. Grafieken: meerjarig maandgemiddelde ratio's. Tabel: ratio's van de meerjarig gemiddelde jaarmaxima per periode.



relatieve beschikbaarheid								
van	tov	1972-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2009	2010-2013		
N	P	2,6	2,7	14,9	6,3	7,3		
	Si	2,7	2,2	4,1	2,7	2,4		
P	N	0,4	0,4	0,1	0,2	0,14	legenda:	
	Si	1,0	0,8	0,3	0,4	0,3	tekort	
Si	N	0,4	0,4	0,2	0,4	0,4	balans	
	P	1,0	1,2	3,6	2,3	3,0	overmaat	

Figuur 2.5 Redfield genormaliseerde nutriëntratio's in het Volkerak. Grafieken: meerjarig maandgemiddelde ratio's. Tabel: de ratio's van de meerjarig gemiddelde jaarmaxima per periode.

Dit derde datarapport bevat de waterkwaliteitsgegevens van het Veerse Meer.

Voorafgaand aan de weergave en analyse van de waterkwaliteitsgegevens worden de beschikbare gegevens van het polderwater gepresenteerd dat op het Veerse Meer wordt uitgemalen.

3 Gegevens polderwater

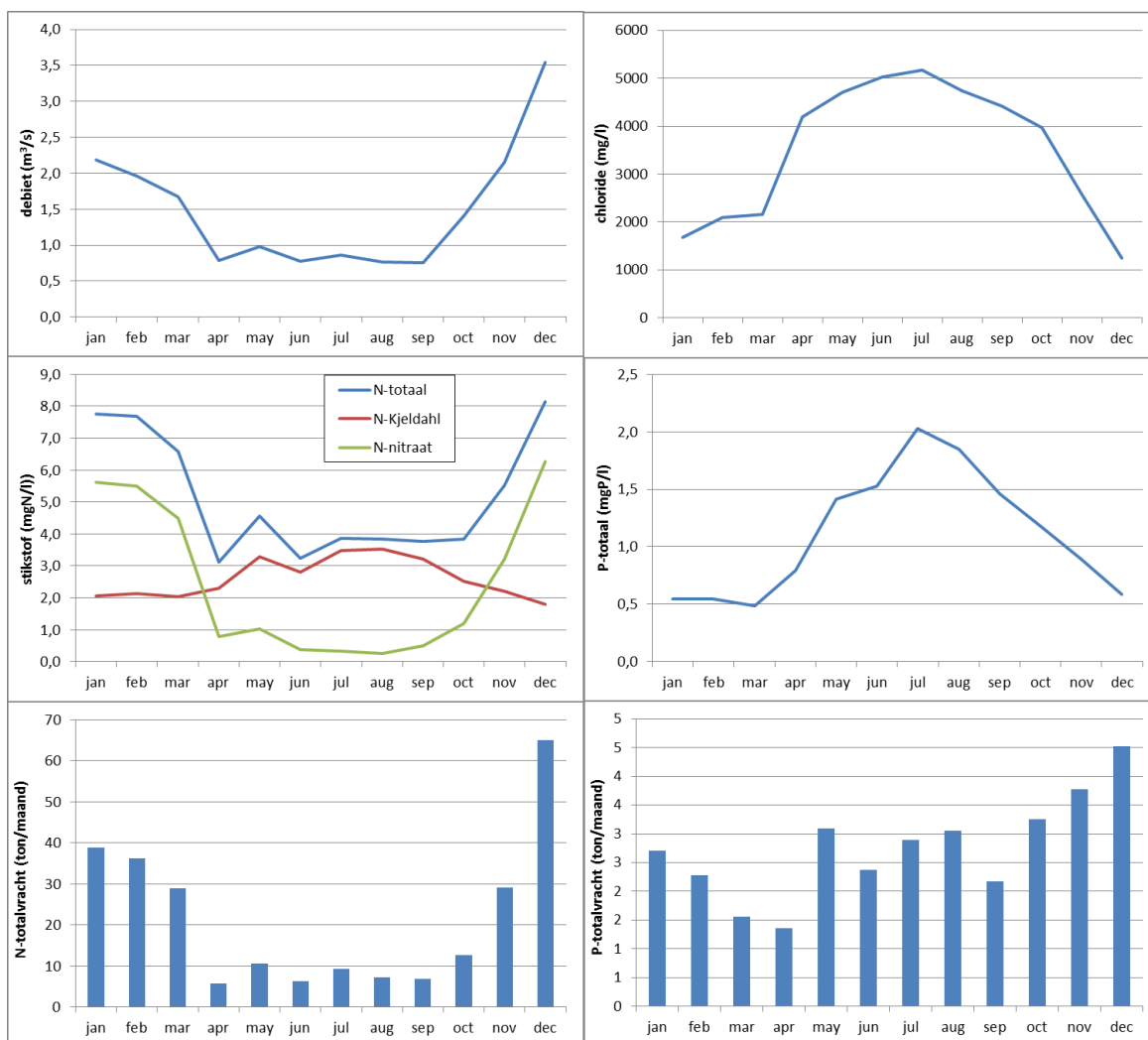
Van het waterschap Scheldestromen (WSSS) zijn volgende gegevens beschikbaar:

- Volledige set maandelijkse debietgegevens van alle (belangrijke) gemalen die op het Veerse Meer uitmalen. Jaren: 1999-2001 en 2005-2013
- Maandelijkse concentratiegegevens (chloride, P-totaal, N-totaal, Kj-N, NO₃-N, geen silicaat) voor deze gemalen voor de jaren 1999 en 2005-2013.

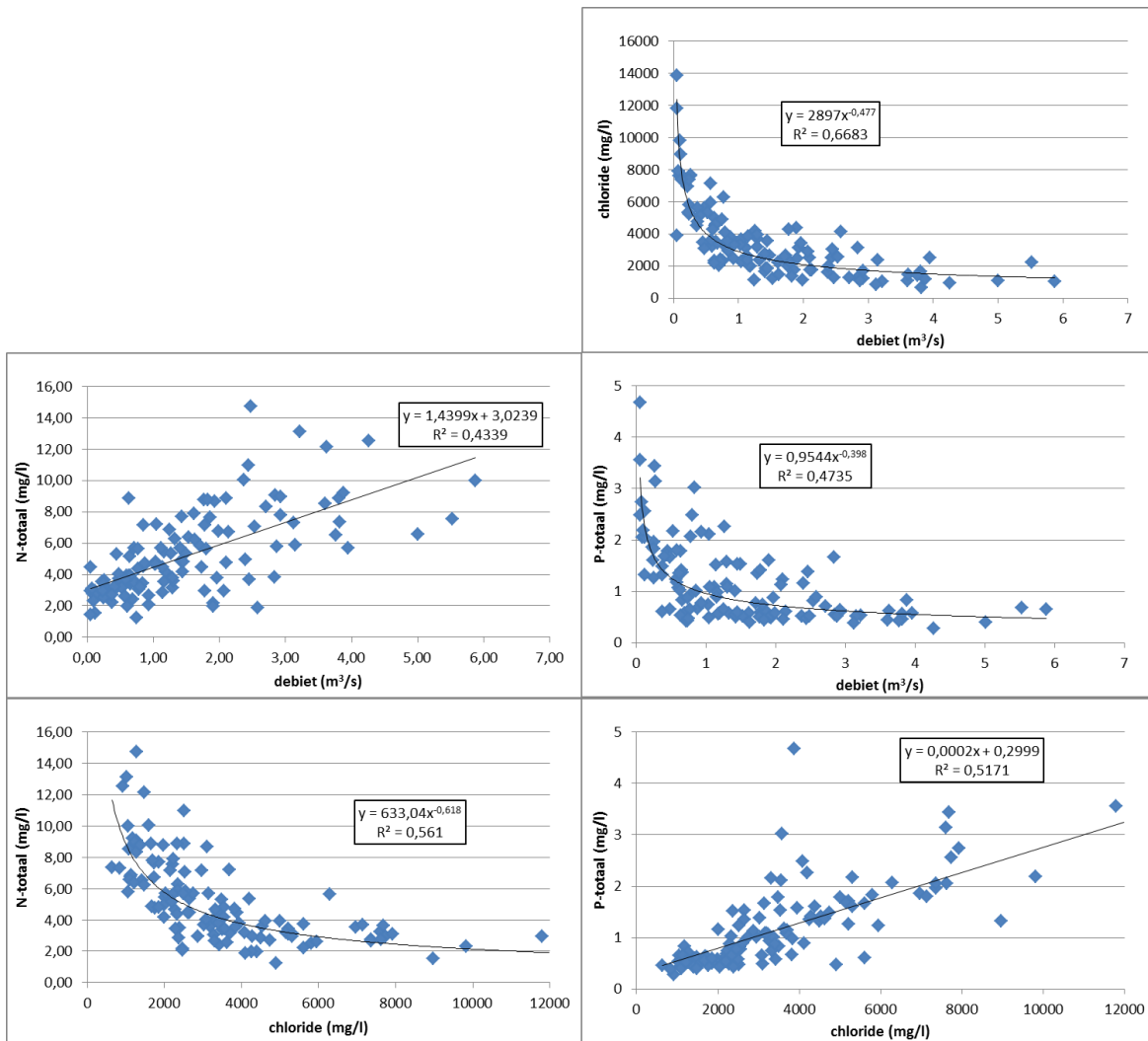
Onderstaande figuren geven de metingen weer.



Figuur 3.1. Zomerhalfjaar- en winterhalfjaar- gemiddelde gegevens van het polderwater dat op het Veerse Meer wordt uitgemalen. De concentraties (chloride, N-totaal en P-totaal) zijn debietgewogen gemiddeld over alle gemalen.



Figuur 3.2 Meerjarig maandgemiddelde gegevens (periode 2005-2013) van het polderwater dat op het Veerse Meer wordt uitgemalen. De concentraties (chloride, stikstof fracties en P-totaal) zijn debietgewogen gemiddeld over alle gemalen.



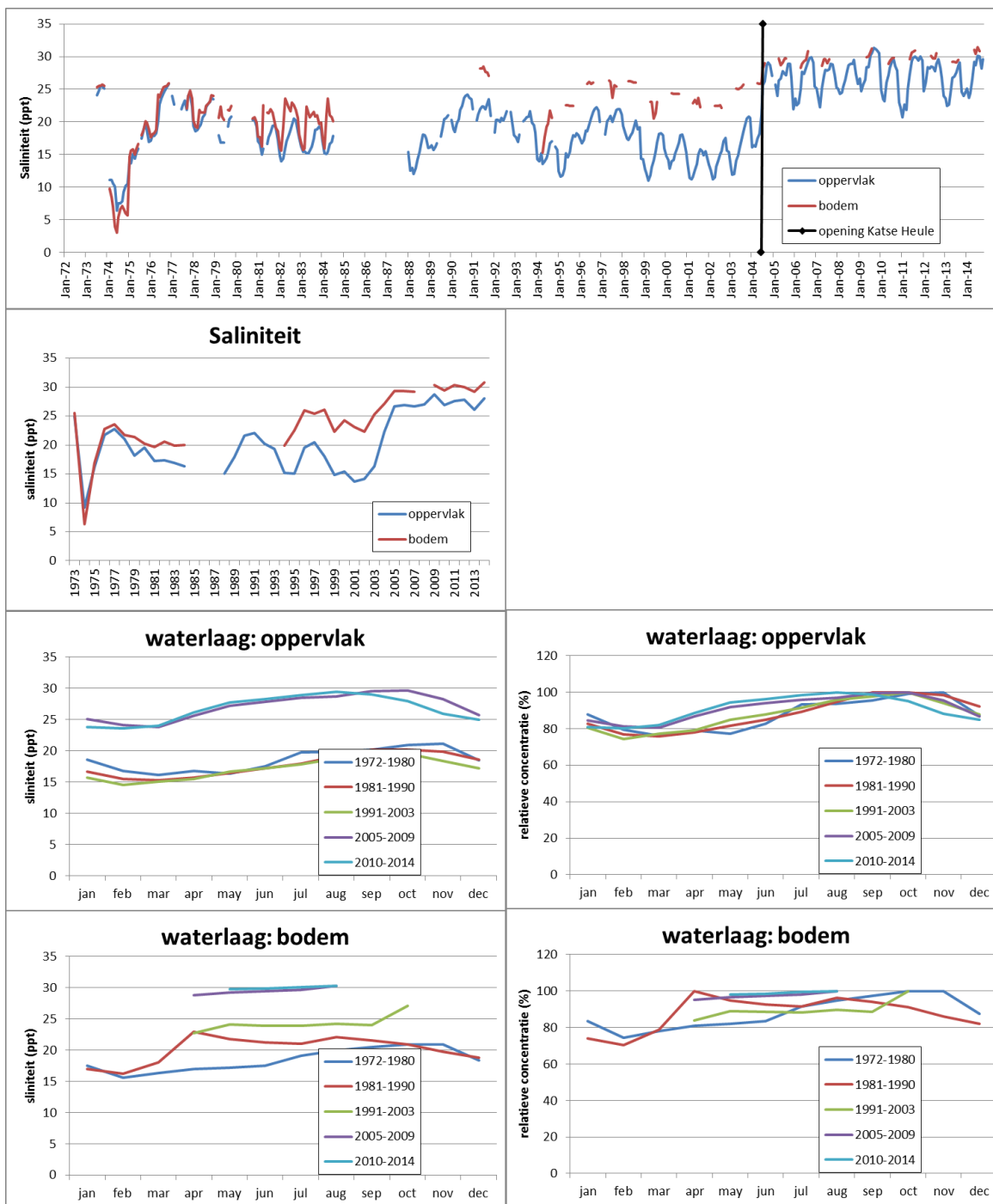
Figuur 3.3. Debiet-concentratie en chloride-concentratie correlaties van N-totaal en P-totaal in het polderwater dat op het Veerse Meer wordt uitgemaal. De debieten zijn de somdebieten van alle gemalen. De concentraties (chloride, N-totaal en P-totaal) zijn debietgewogen gemiddeld over alle gemalen.

Aan de figuren (Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3) kunnen de volgende waarnemingen worden gedaan.

- Het totale polderwaterdebiet (meerjarig gemiddeld) naar het Veerse Meer varieert van ongeveer 1 m³/s in de zomer tot $\geq 2,5$ m³/s in de wintermaanden.
- Er is een sterk negatieve chloride-debiet correlatie: de (constante) zoute kwelflux veroorzaakt hoge chlorideconcentraties in het polderwater wanneer de debieten laag zijn door weinig neerslag/afstroming.
- De stikstofconcentraties, vooral nitraat, zijn laag in de zomer en hoog in de winter. De debiet-concentratie correlatie is min of meer lineair en positief; de correlatie met chloride is negatief. De stikstofbelasting varieert daardoor veel sterker tussen zomer (laag) en winter (hoog) dan het debiet. Stikstofbelasting van het Veerse Meer vanuit de polders wordt blijkbaar veroorzaakt door afstroming en uitspoeling van neerslag. De stikstofconcentraties in het polderwater, en dus de stikstofvrachten naar het Veerse Meer, vertonen een dalende trend in de periode 2005-2013.
- De P-totaal concentratie piekt in de zomer (juli) en is laag in de winter. De debiet-concentratie correlatie is sterk negatief; de correlatie met chloride is positief. De seizoensvariatie van de fosfaatvracht is daardoor kleiner dan de debietvariatie. In tegenstelling tot stikstof is de fosfaatbelasting in de zomer bijna even hoog als in de winter. Fosfaatbelasting van het Veerse Meer vanuit de polders wordt blijkbaar veroorzaakt door kwel en mobilisatie vanuit de waterbodem van de poldersloot. De fosfaatconcentratie in het polderwater, en dus de fosfaatvracht naar het Veerse Meer, vertoont (daardoor) geen dalende trend in de periode 2005-2013.

4 Zoutgehalte, zwevend stof en doorzicht

4.1 Saliniteit



Figuur 4.1 Saliniteit Veerse Meer. Tijdsree maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde = 100%).

Tabel 4.1 Saliniteit en % polderwater in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

saliniteit (ppt)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	18	17	28	26	28	
bodem	24	27	30		30	

% polder water (%)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	61	54	17	21	18	
bodem	33	25	10		10	

4.1.1 Beschrijving zoutgehalte gegevens

Het Veerse Meer is door de opening van de Katse Heule aanzienlijk zouter geworden (Figuur 4.1, Tabel 4.1). Het huidige zoutgehalte (28-30 ppt³) is maar weinig lager dan het zoutgehalte in de Oosterschelde (Wissenkerke: 32-33 ppt). De seizoensvariatie is hetzelfde gebleven. Het Veerse Meer is in de (na)zomer zouter dan in de winter. Het verschil is ongeveer 5 ppt. De verticale verschillen zijn door de Katse Heule sterk verminderd. De verticale gradiënt bedroeg vóór de opening van de Katse Heule meer dan 5 ppt, na de opening 2 ppt.

Weergave van de mengverhouding zout÷zoet geeft een indruk van het resterende estuariene karakter van het Veerse Meer (Tabel 4.1). Deze mengverhouding, of preciezer de mengverhouding zoet polderwater ÷ Oosterscheldewater, is berekend uit het saliniteitsverschil met de Oosterschelde (meetpunt Wissenkerke) volgens.

$$\% \text{ zoet polderwater} = \frac{\text{saliniteit}_{\text{Oosterschelde}} - \text{saliniteit}_{\text{Veerse Meer}}}{\text{saliniteit}_{\text{Oosterschelde}}} \times 100$$

Polderwater bevat een aanzienlijke hoeveelheid zout kwelwater, waardoor de saliniteit hoog kan oplopen (zie hoofdstuk 3). De totale hoeveelheid polderwater (in de mengverhouding in het Veerse Meer) is daardoor groter dan de berekende hoeveelheid zoet polderwater. De fractie zoetwater in het polderwater is berekend volgens⁴:

$$\text{fractie}_{\text{zoetwater}} = (\text{saliniteit}_{\text{kwelwater}} - \text{saliniteit}_{\text{polderwater}}) / \text{saliniteit}_{\text{kwelwater}}$$

De totale hoeveelheid polderwater (in de mengverhouding) is berekend volgens:

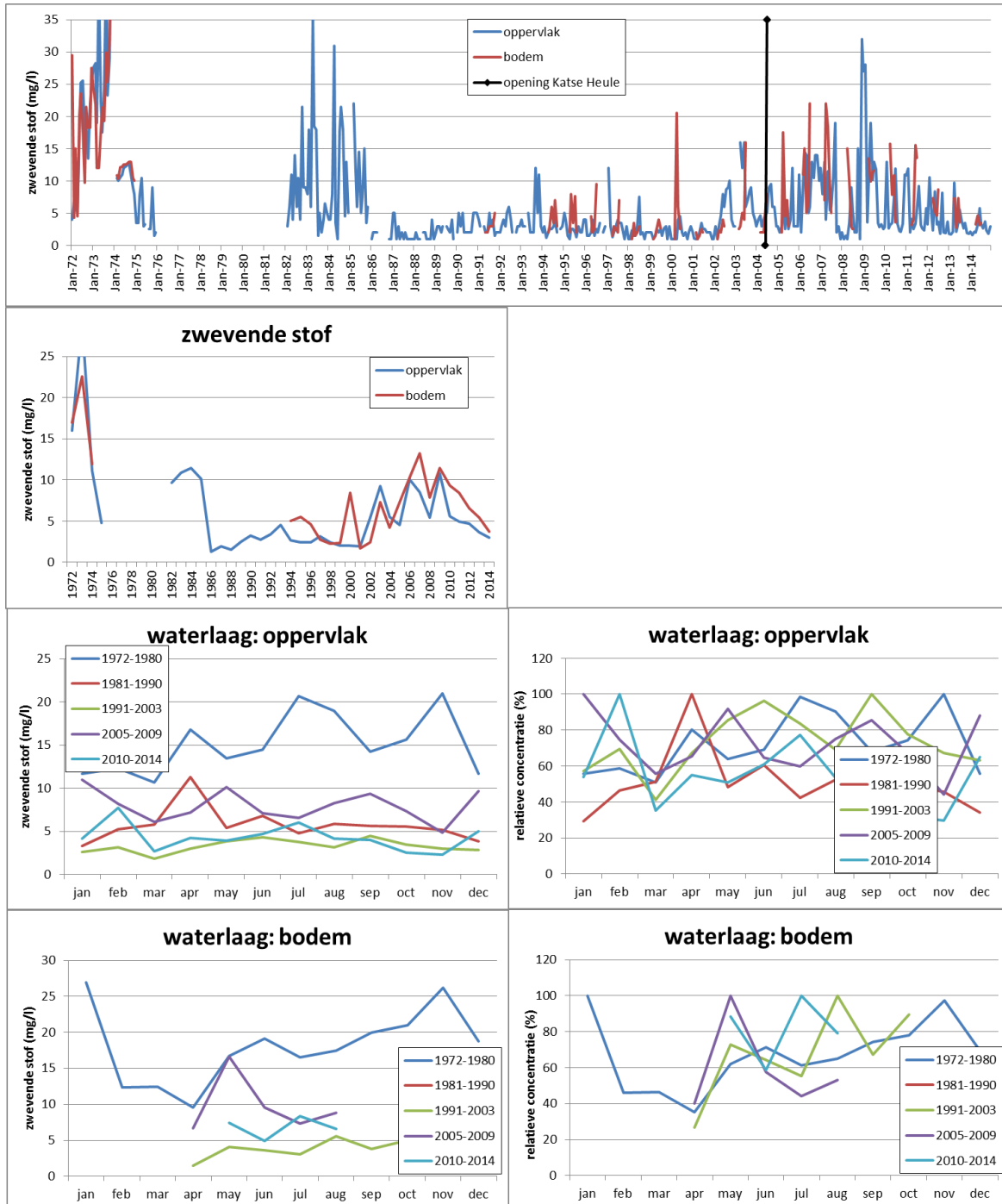
$$\text{polderwater}_{\text{totaal}} = \text{polderwater}_{\text{zoet}} / \text{fractie}_{\text{zoetwater}}$$

Door de Katse Heule is, evenredig met het toegenomen zoutgehalte, het percentage polderwater sterk verminderd, van ongeveer 55% naar ongeveer 20%. De oorzaak is niet een verminderde polderbelasting, maar een grotere uitwisseling met de Oosterschelde waardoor het polderwater wordt verdund en afgevoerd.

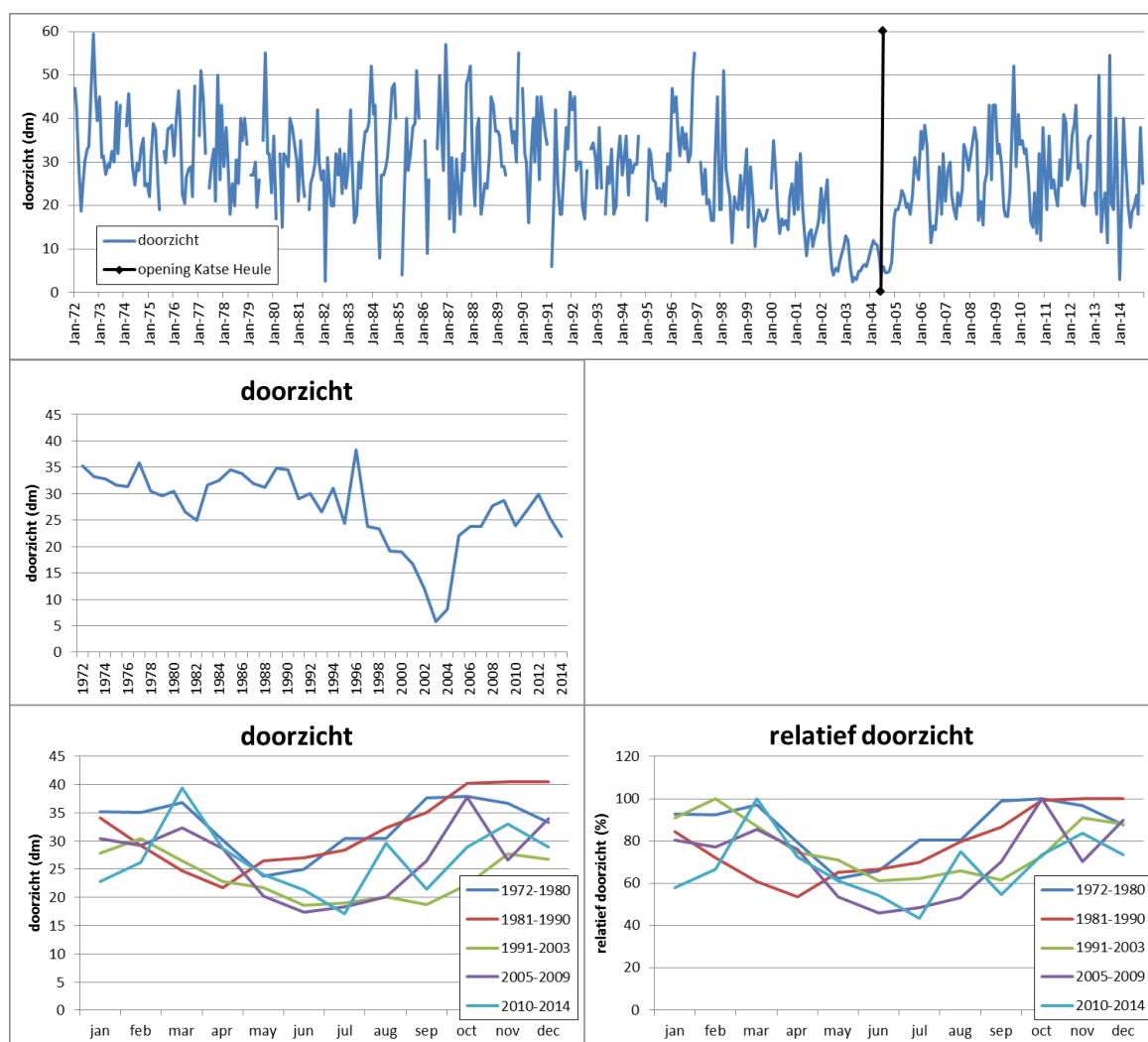
³ De afleiding van saliniteit en chlorositeit uit geleidbaarheidsmetingen is beschreven in RWS (2005). Saliniteit wordt in waterbase dimensieloos weergegeven, maar komt overeen met g/kg = ‰ = ppt (parts per thousand).

⁴ Voor de saliniteit van kwelwater is de saliniteit van de Oosterschelde (meetpunt Wissenkerke) ingevuld, omdat dit de referentie is voor het onderscheid tussen (zout in) Oosterscheldewater en (zout in) polderwater

4.2 Zwevend stof en doorzicht



Figuur 4.2 Zwevende stof in het Veerse Meer. Tijdserie maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde = 100%).

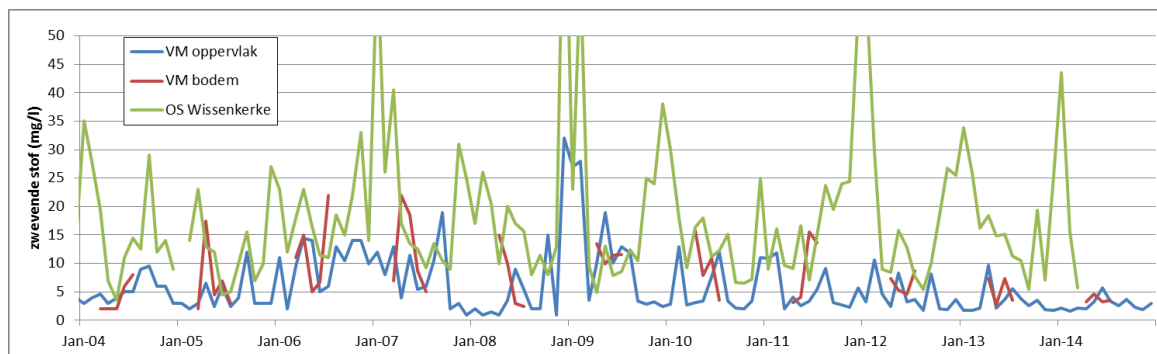


Figuur 4.3 Doorzicht in het Veerse Meer. Tijdsree van maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddeld doorzicht (links boven); Meerjarig maandgemiddelden per periode (onder). De relatieve waarden (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde = 100%).

Tabel 4.2 Zwevende stof en doorzicht in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

zwevende stof (mg/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	4	3	8	8	5	
bodem	4	5	10		7	

doorzicht (dm)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
waterkolom	20	27	22	32	24	



Figuur 4.4 Zwevende stof in Oosterschelde (meetpunt Wissenkerke) en Veerse Meer

4.2.1 Beschrijving gegevens zwevend stof en doorzicht

Na de opening van de Katse Heule zijn zowel de concentratie zwevende stof als het doorzicht sterk toegenomen (Figuur 4.2 en Figuur 4.3). Pas in de recente jaren (na 2010) is de hoeveelheid zwevende stof afgenomen tot jaargemiddeld < 5 mg/l, de normale waarde in laagdynamische wateren. De tijdelijke toename van de zwevende stof concentratie na de opening van de Katse Heule verloopt min of meer synchroon met eenzelfde tijdelijke toename in de hele Oosterschelde (de Vries 2014, Figuur 4.4), met name in najaar/winter 2005 en 2008. In andere jaren valt het najaarsmaximum in de Oosterschelde juist samen met extra lage concentraties in het Veerse Meer. De hoeveelheid zwevende stof is erg variabel, zonder herkenbaar seizoenspatroon. Het doorzicht is alleen in de jaren kort voor de opening van de Katse Heule slecht(er) geweest (troebeling door algen, zie hoofdstuk 7). Het doorzicht is nu (weer) 2 m in de zomer en 3 m in de winter.

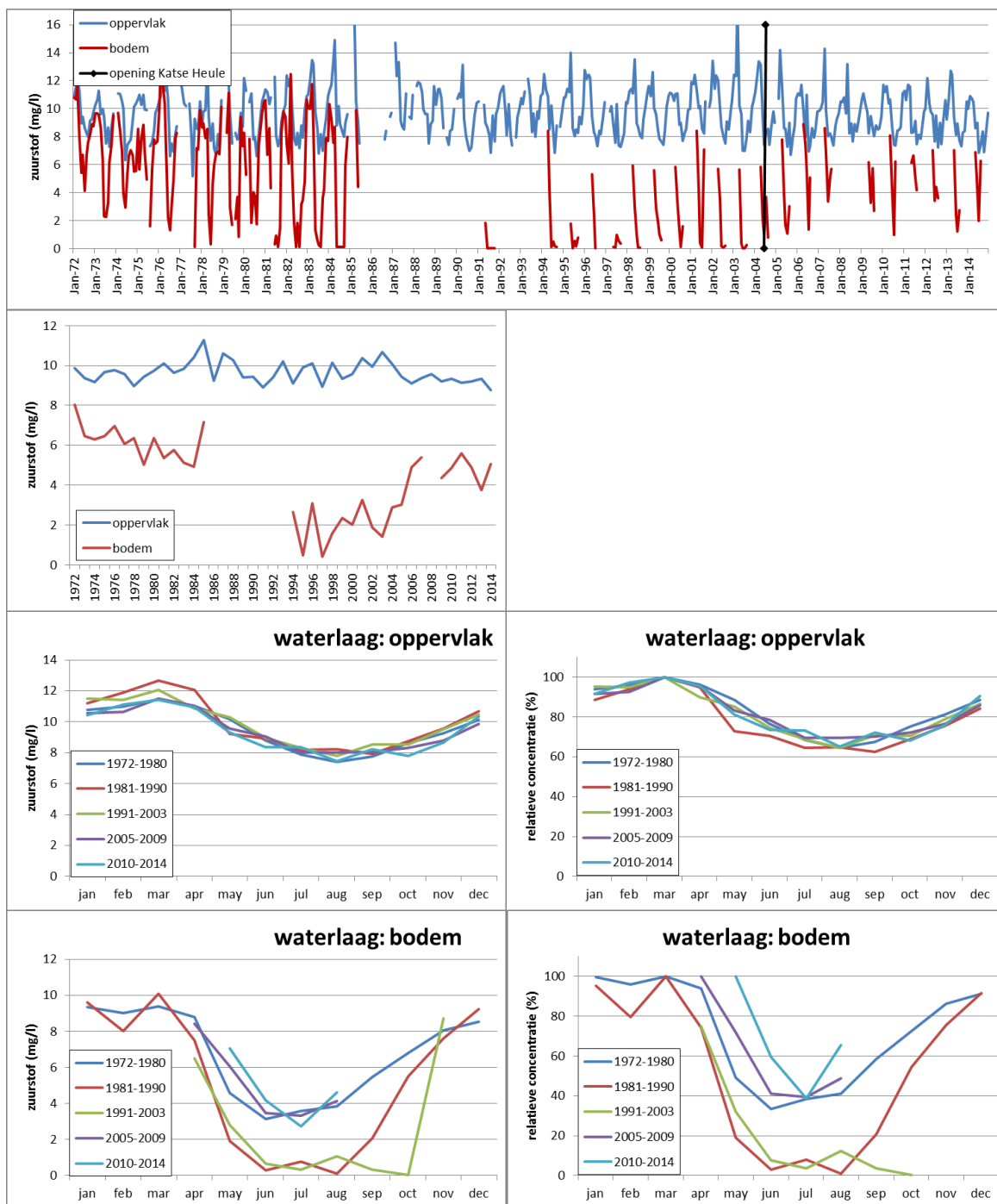
4.3 Samenvatting feiten: zoutgehalte, zwevend stof en doorzicht

Het Veerse Meer is door de uitwisseling met de Oosterschelde na opening van de Katse aanzienlijk **zouter** geworden. Het huidige zoutgehalte (28-30 ppt) is maar weinig lager dan in de Oosterschelde. De hoeveelheid polderwater in het Veerse Meer ten opzichte van de hoeveelheid Oosterscheldewater is door de Katse Heule afgenomen van 55% naar 20%. Het Veerse Meer is in de (na)zomer ongeveer 5ppt zouter dan in winter. De verticale gradiënt is door de opening van de Katse Heule bij Soelekerkepolder afgevlakt van meer dan 5 ppt naar 2 ppt.

Na de opening van de Katse Heule is het gehalte **zwevende stof** iets toegenomen en pas in de recente jaren (na 2010) weer afgenomen tot jaargemiddeld < 5 mg/l. De toename loopt synchroon met toename en in de Oosterschelde en is dus een gevolg van uitwisseling.

Het **doorzicht** is alleen in de jaren kort voor de opening van de Katse Heule slecht(er) geweest (troebeling door algen, zie hoofdstuk 7). Het doorzicht is nu (weer) 2 m in de zomer en 3 m in de winter.

5 Zuurstof



Figuur 5.1 Zuurstof in het Veerse Meer. Tijdsree maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).

Tabel 5.1 Zuurstof in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

zuurstof (mg/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	9,13	10,58	8,95	9,95	8,77	
bodem	1,95	4,37	5,08		4,64	

5.1 Beschrijving gegevens zuurstof⁵

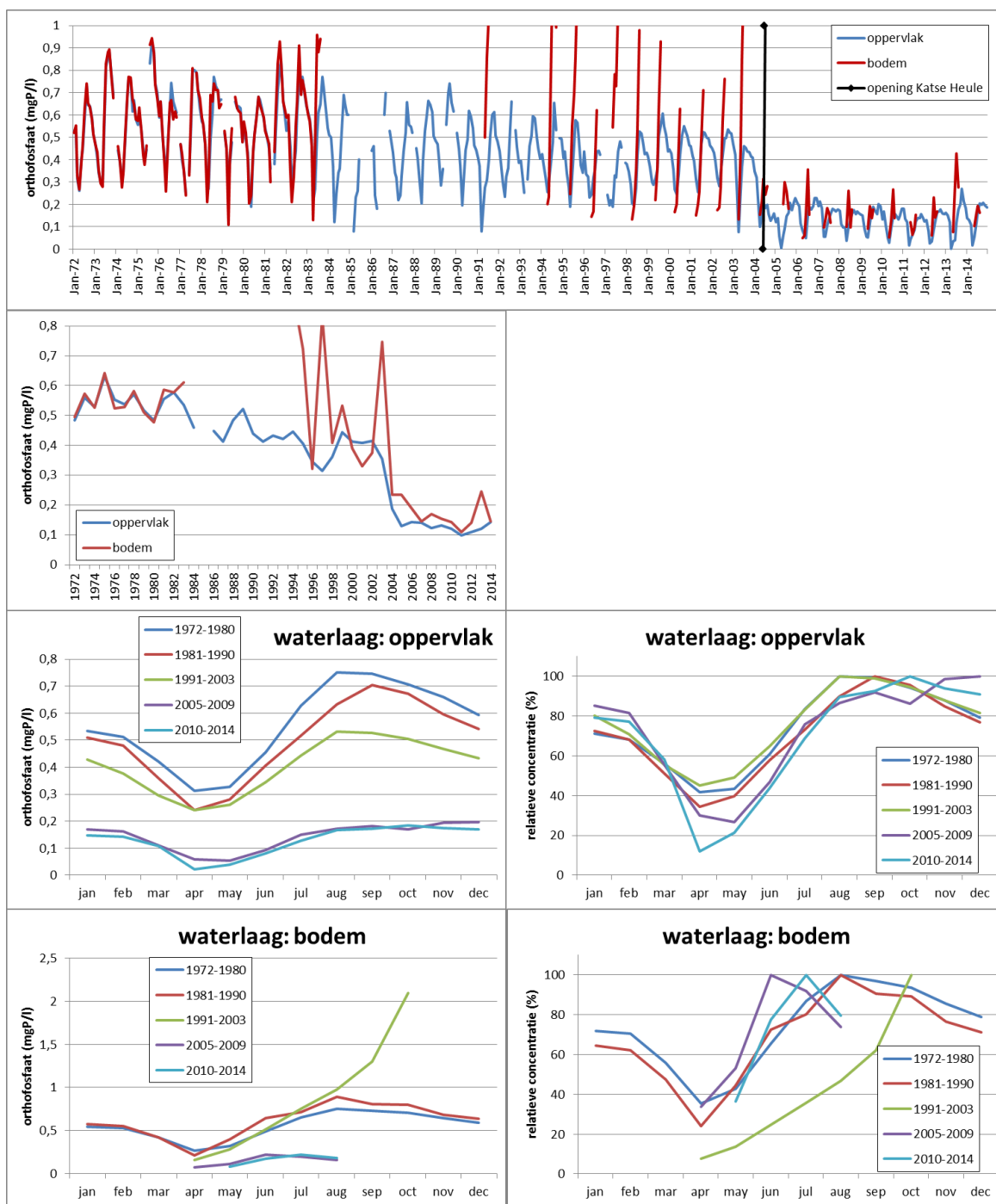
De zuurstofconcentratie in de bovenste waterlaag is niet veranderd door/na de opening van de Katse Heule. De concentratie varieert tussen een zomergemiddelde van ongeveer 9 en een wintergemiddelde van ongeveer 10 mg/l. De iets lagere concentratie in de zomer is het gevolg van een lagere verzadingsconcentratie van zuurstof in zouter water. De verzadigingswaarde neemt ongeveer 0,1 mg/l af per extra ppt.

De uitwisseling met de Oosterschelde heeft wel invloed op de zomerse zuurstof uitputting in de bodemwaterlaag. Vóór de opening was (op het meetpunt Soelekerkepolder) sprake van volledige zuurstofloosheid gedurende 3-5 maanden in de zomer; na de opening komt zuurstofuitputting op dit meetpunt niet meer voor en blijft de meerjarig maandgemiddelde concentratie ≥ 3 mg/l (Figuur 5.1).

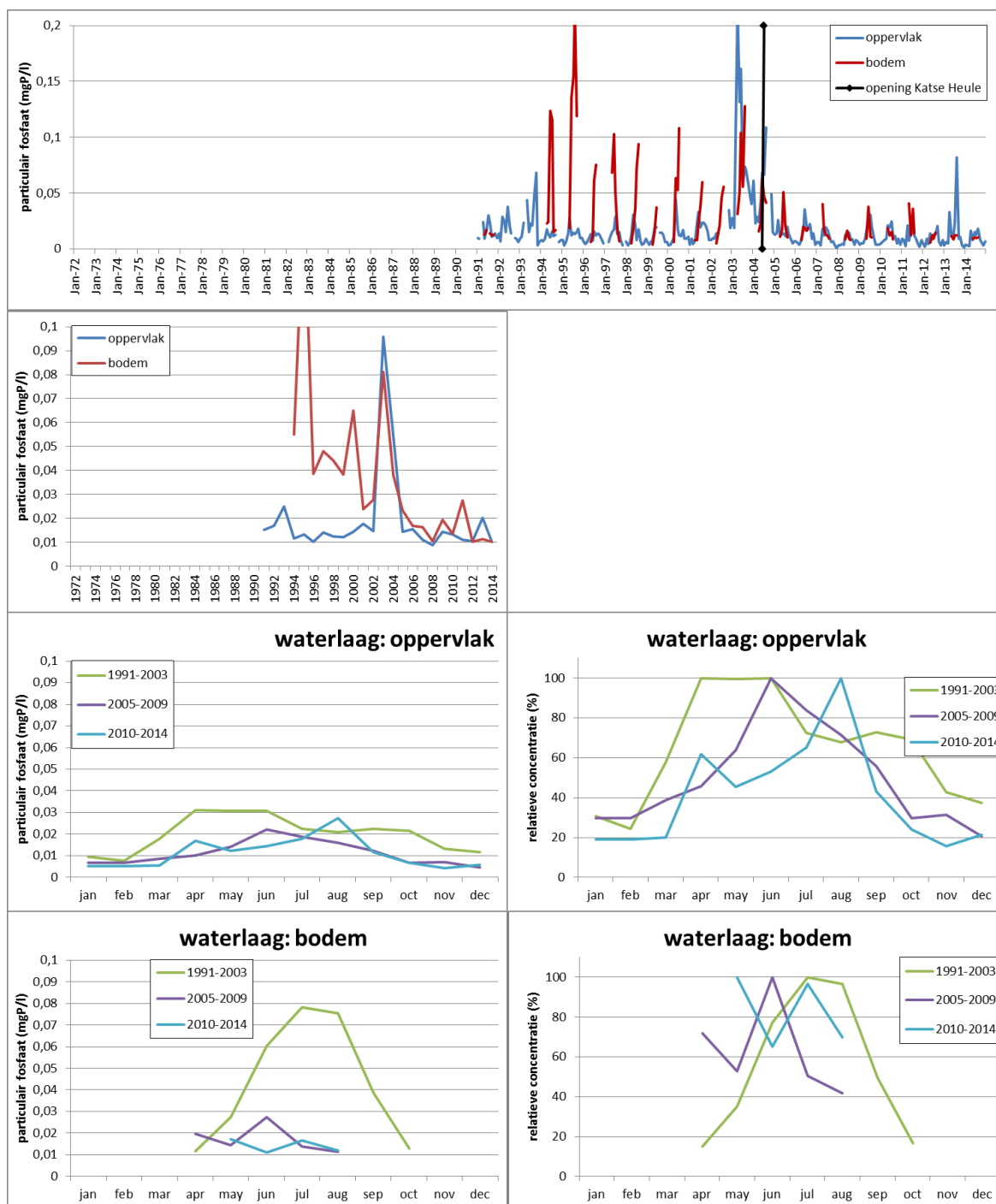
⁵ Zuurstof kan uitgebreider beschreven worden op basis van de VTSO metingen.

6 Nutriënten

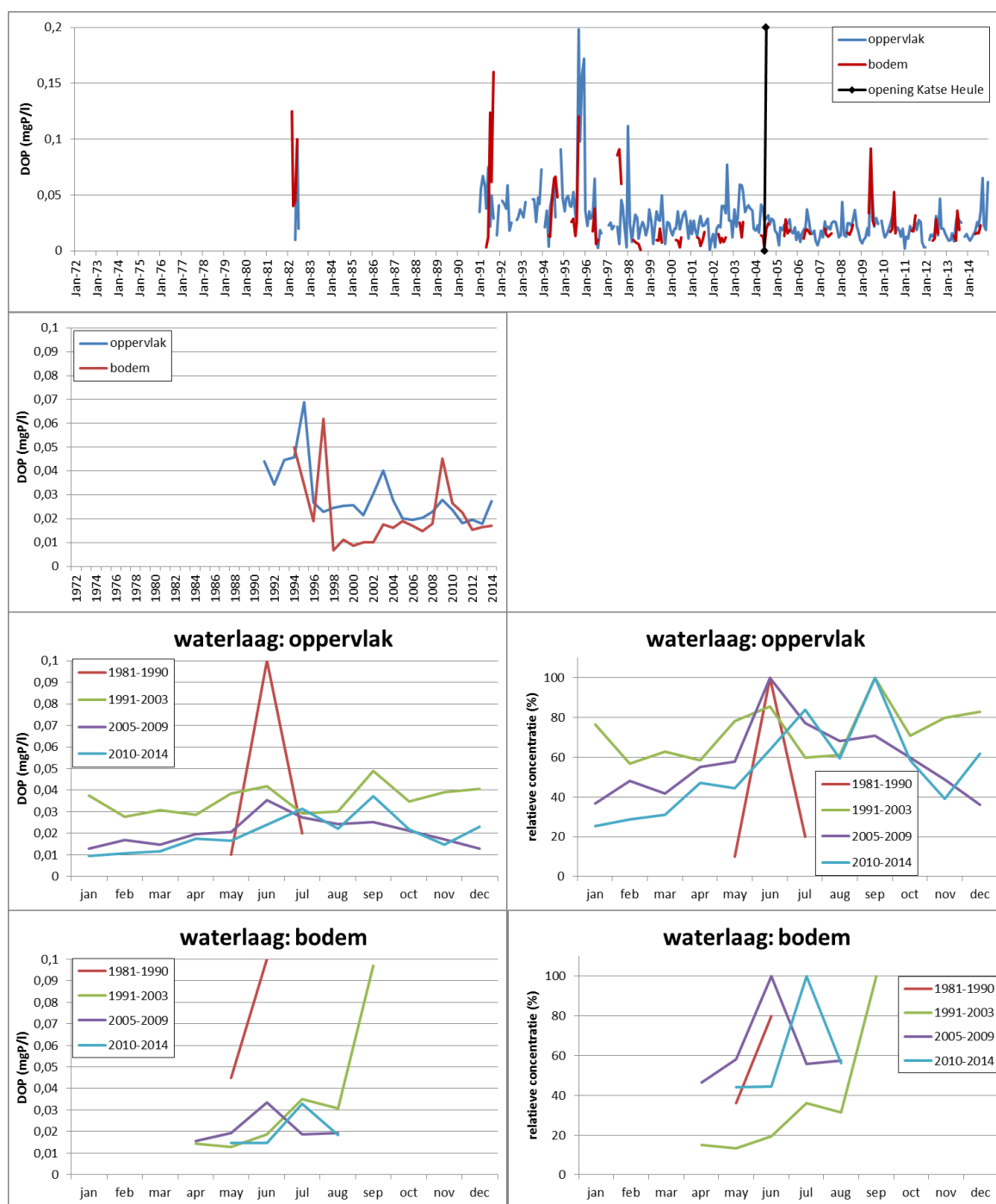
6.1 Fosfaat



Figuur 6.1 Orthofosfaat in het Veerse Meer. Tijdsreef maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde = 100%).



Figuur 6.2 Particulair fosfaat in het Veerse Meer. Tijdsree maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).



Figuur 6.3 Opgelost organisch fosfaat (DOP) in het Veerse Meer. Tijdsree van maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde = 100%).

Tabel 6.1 Vergelijking van berekende en gemeten totaalfosfaat concentraties in de winter in het Veerse Meer (zie tekst voor uitleg)

bron	vóór			ná		
	opening Katse Heule					
	fractie	totaal-P concentratie	totaal-P bijdrage	fractie	totaal-P concentratie	totaal-P bijdrage
Oosterschelde 2000-2014	0,46	0,06	0,03	0,79	0,06	0,05
polderwater 2005-2013	0,54	0,71	0,38	0,21	0,71	0,14
Veerse Meer berekend			0,41			0,19
Veerse Meer gemeten		0,46			0,19	

Tabel 6.2 Fosfaat in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

orthofosfaat (mg/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,39	0,42	0,12	0,17	0,10	
bodem	0,66	2,09	0,15		0,17	

particulair fosfaat (mgP/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	
bodem	0,05	0,01	0,02		0,01	

DOP (mgP/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	
bodem	0,03		0,02		0,02	

6.1.1 Beschrijving fosfaatgegevens

De hoeveelheid orthofosfaat vertoont een momentane en spectaculaire trendbreuk na de opening van de Katse Heule. Na de opening is de (jaargemiddelde) concentratie 75% lager dan voorheen (Figuur 6.1). De huidige maximale concentratie (najaar) van 0,18 mgP/l is nog wel 4 keer hoger dan het (oktober) maximum in de Oosterschelde, ondanks het feit dat het Veerse Meer 80% Oosterschelde water bevat (paragraaf 4.1). Het typische seizoenspatroon met een minimum in april en een maximum in de nazomer (oktober) is gelijk gebleven en wordt voornamelijk veroorzaakt door adsorptie in de winter en desorptie in de zomer, onder invloed van de redox toestand van de bodem. Het aprilminimum is wel 'verdiept', van 45% vóór de opening naar 12% van het wintermaximum in de recente jaren. Opvallend is ook het nagenoeg verdwijnen van de explosieve zomerse concentratiestijging in de bodemwaterlaag.

De algemene trendmatige afname van fosfaat in de rivier en misschien ook in polderwater is zichtbaar in de gegevens. De wintermaxima en de jaargemiddelde concentraties nemen met ongeveer 30% af in de periode 1975-2003.

Tabel 6.1 vergelijkt berekende en gemeten totaalfosfaat concentraties in het Veerse Meer op basis van winterhalfjaargemiddelden, met het idee dat dan de interne processen op een laag pitje staan⁶. De berekening gaat uit van conservatieve en momentane menging volgens:

- Het Veerse Meer wordt gevuld uit twee bronnen: Oosterschelde en polderuitmaling rechtstreeks op het Veerse Meer. Andere bronnen (neerslagoverschot) worden verwaarloosd.
- De mengverhouding Oosterscheldewater ÷ polderwater (OSW ÷ PW) volgens hoofdstuk 4 (Tabel 4.1).
- Gemeten totaalfosfaatconcentraties in de Oosterschelde (meetpunt Wissenkerke) en polderwater (hoofdstuk 3). Deze concentraties worden vóór en ná de opening van de Katse Heule gelijk verondersteld
- De conservatieve nutriëntconcentratie vóór en ná opening van de Katse Heule (bijmenging van een extra hoeveelheid Oosterscheldewater cq extra verdunning van polderwater) is berekend volgens

$$[\text{nutriënt}_{\text{Veerse Meer}}] = [\text{nutriënt}_{\text{Oosterschelde}}] * \text{fractie}_{\text{OSW}} + [\text{nutriënt}_{\text{polder}}] * \text{fractie}_{\text{PW}}$$

- De berekende concentraties kunnen nu worden vergeleken met de gemeten concentraties in het Veerse Meer.

De berekende en gemeten concentraties ná de opening van de Katse Heule komen exact overeen (0,19 mgP/l). Binnen de context van de andere veronderstellingen kan menging van Oosterscheldewater en polderwater de gemeten concentratie volledig verklaren. Tabel 6.1 (laatste kolom) laat zien dat in de huidige situatie in het Veerse Meer 75% van de hoeveelheid totaalfosfaat in het meer afkomstig is van polderbelasting en slechts 25% uit de Oosterschelde. Vóór de opening van de Katse Heule was zelfs meer dan 90% van het berekende totaalfosfaat afkomstig uit de polders en is de gemeten concentratie ook nog eens fors hoger dan de berekende concentratie (0,41 resp. 0,46 mgP/l). Een mogelijke verklaring is het najieffect van de hoge zomerconcentraties in het polderwater en in het Veerse Meer door P-mobilisatie vanuit de waterbodem.

Met de MWTL gegevens is het mogelijk onderscheid te maken tussen gesuspendeerd particulier fosfaat (part-P) en opgelost organisch gebonden fosfaat (DOP) volgens:

$$\begin{aligned} \text{part-P} &= \text{totaal fosfaat} - \text{totaal fosfaat na filtratie} \\ \text{DOP} &= \text{totaal fosfaat na filtratie} - \text{orthofosfaat} \end{aligned}$$

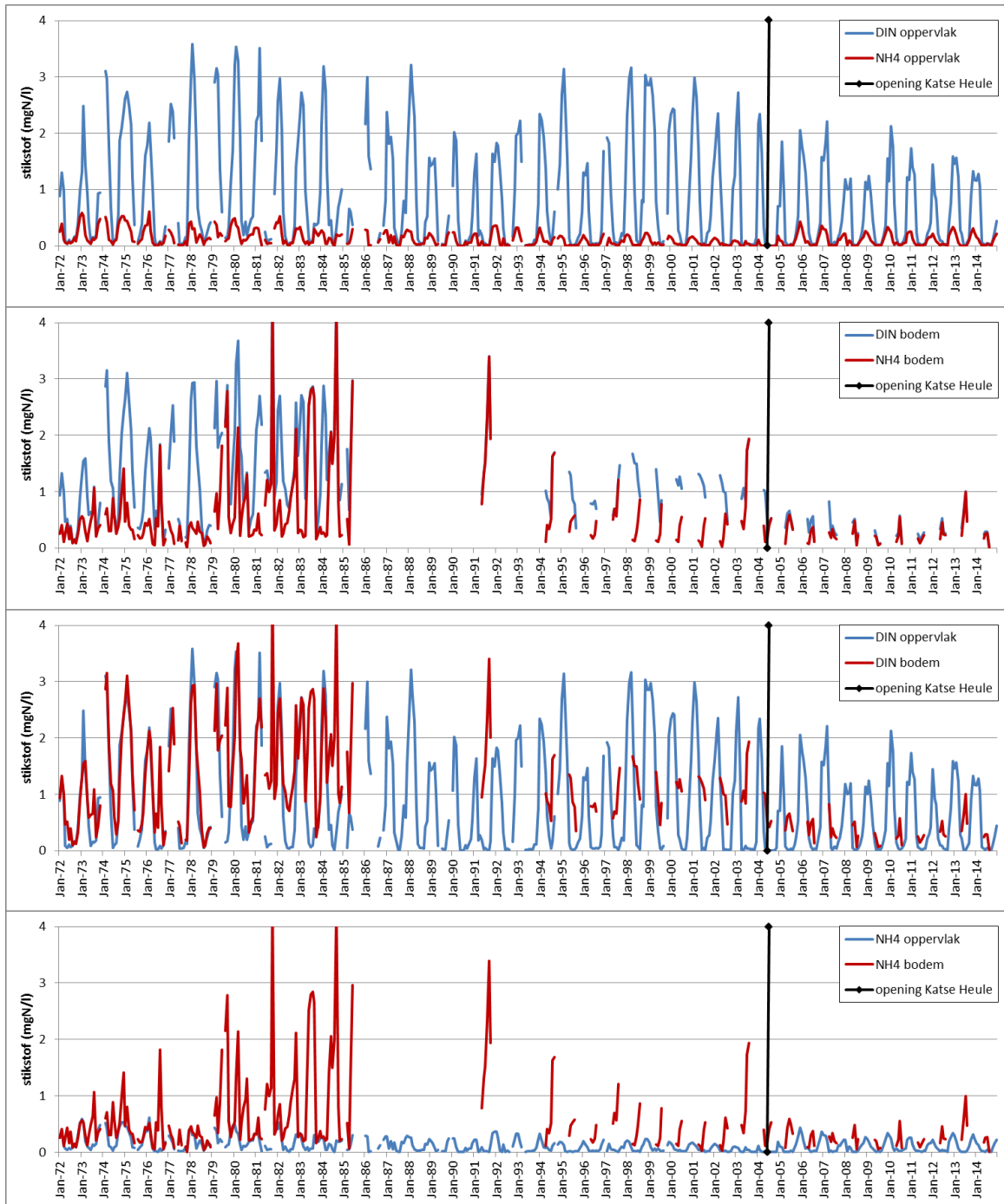
De gegevens zijn beschikbaar vanaf 1991 (Figuur 6.2 en Figuur 6.3).

Part-P is in het Veerse Meer waarschijnlijk (groten)deels organisch, geassocieerd met fytoplankton (chlorofyl) en (ander, dood) particulier organisch materiaal (POC) (zie hoofdstuk 7). De hoeveelheid is klein in vergelijking met de hoeveelheid orthofosfaat: het recente aprilminimum van orthofosfaat komt ongeveer overeen met het recente zomermaximum van part-P (0,02 mgP/l)

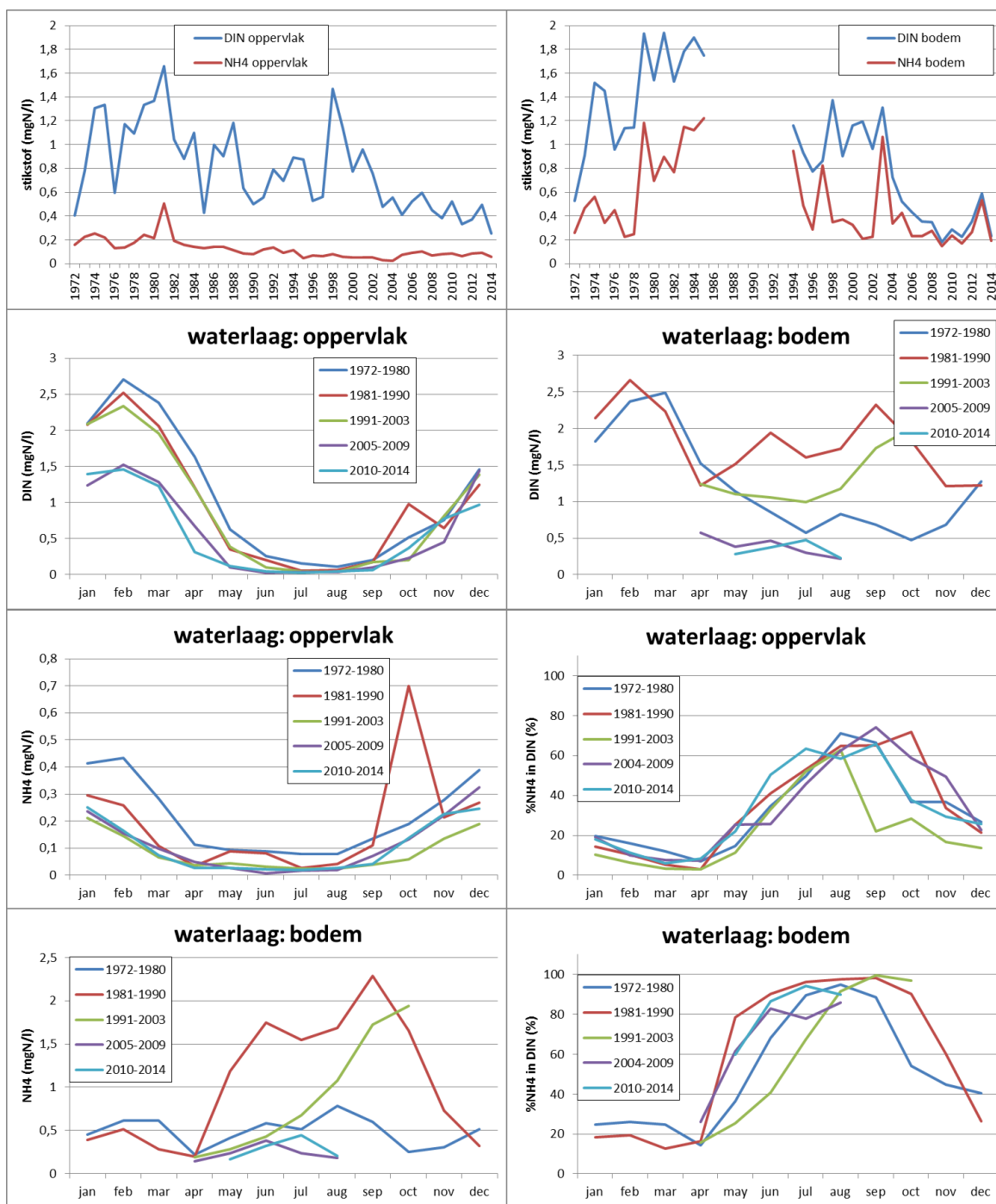
De DOP concentratie is wat hoger, meer variabel en met een minder herkenbaar seizoenspatroon.

⁶ De berekening is uitgevoerd voor totaalfosfaat omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over orthofosfaat in polderwater

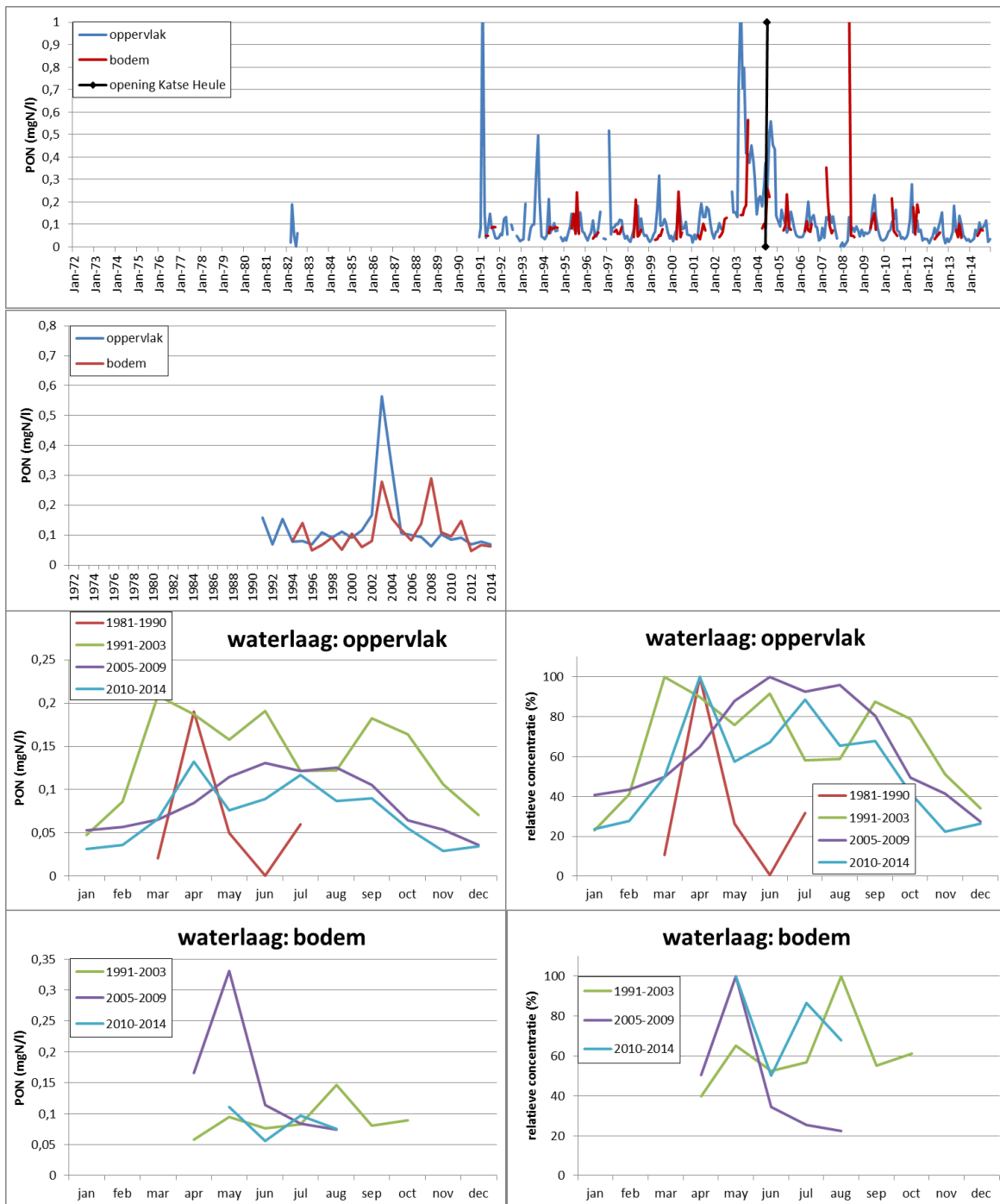
6.2 Stikstof



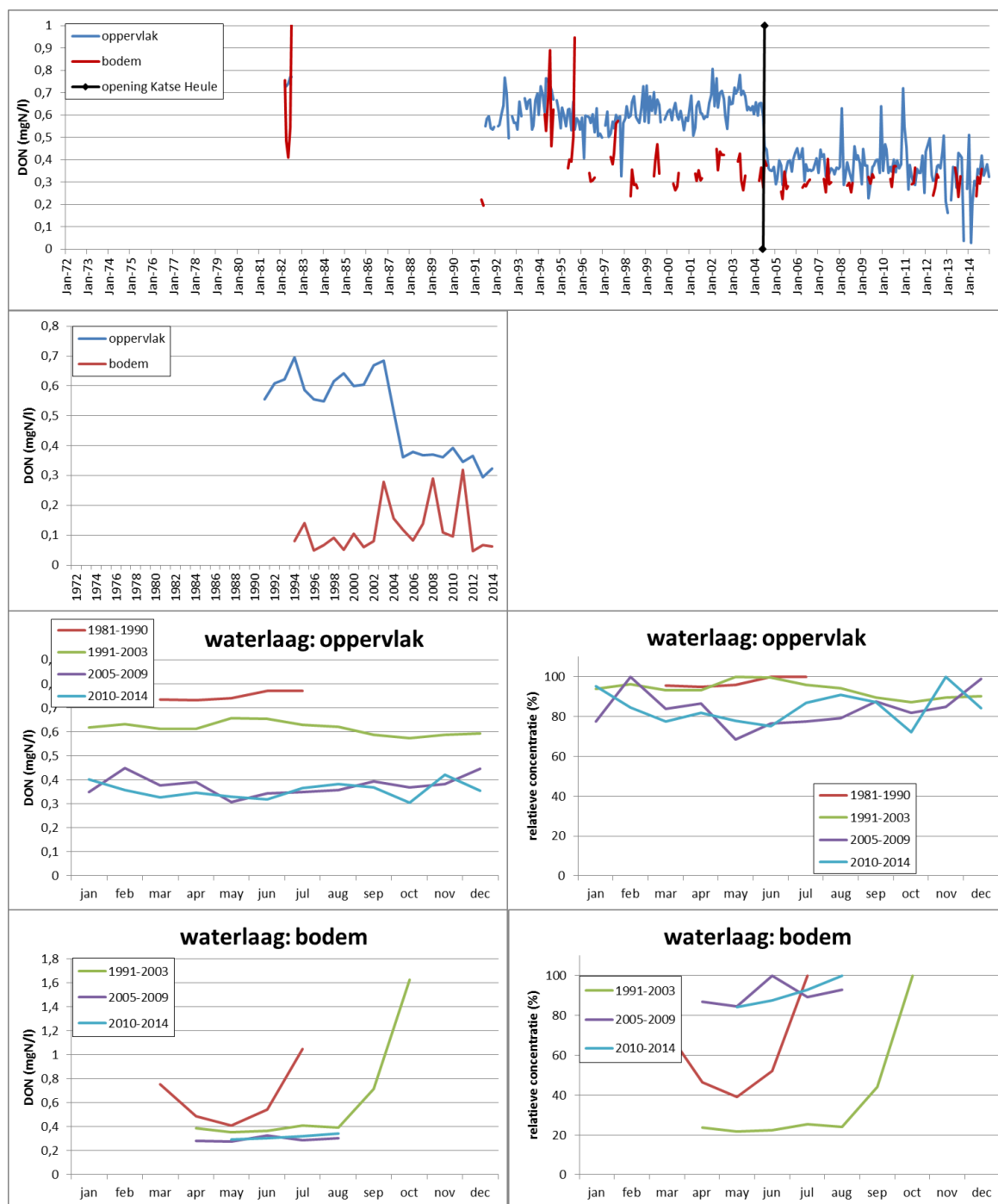
Figuur 6.4 Anorganisch opgelost stikstof (DIN) en ammonium in het Veerse Meer. Tijdsreeks van maandgemiddelde waarden



Figuur 6.5 Anorganisch opgelost stikstof (DIN) en ammonium in het Veerse Meer. Jaargemiddelde concentraties aan het oppervlak en in de bodemwaterlaag (boven); meerjarig maandgemiddelde DIN concentraties per periode (midden) en NH₄ (onder links). Relatieve NH₄ concentraties (als % van DIN) (rechts onder).



Figuur 6.6 Particulair organisch stikstof (PON) in het Veerse Meer. Tijdsreef maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).



Figuur 6.7 Opgelost organisch stikstof (DON) in het Veerse Meer. Tijdsree maandelijks gemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandelijks gemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).

Tabel 6.3 Vergelijking van berekende en gemeten DIN concentraties in de winter in het Veerse Meer (zie tekst voor uitleg)

	vóór			ná		
	opening Katse Heule					
bron	fractie	DIN concentratie	DIN bijdrage	fractie	DIN concentratie	DIN bijdrage
Oosterschelde 2000-2014	0,46	0,49	0,23	0,79	0,49	0,39
polderwater 2005-2013 (NO ₃ -N)	0,54	4,38	2,36	0,21	4,38	0,90
Veerse Meer berekend	1,00		2,59	1,00		1,29
Veerse Meer gemeten		1,46			1,02	

Tabel 6.4 Stikstof in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

DIN (mgN/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,32	1,46	0,16	1,02	0,10	1,03
bodem	1,22		0,39		0,34	
NH ₄ (mgN/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,03	0,13	0,03	0,19	0,03	0,18
bodem	0,73		0,24		0,29	
PON (mgN/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,16	0,11	0,11	0,05	0,10	
bodem	0,09	0,09	0,15		0,08	
DON (mgN/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule					
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	0,63	0,60	0,36	0,39	0,35	
bodem	0,44	1,63	0,30		0,31	

6.2.1 Beschrijving stikstofgegevens.

De hoeveelheid anorganisch opgelost stikstof (DIN = ammonium + som nitrietnitraat) reageert minder sterk op de opening van de Katse Heule dan orthofosfaat; Na de opening is de (jaargemiddelde) concentratie 30% lager dan voordien (Figuur 6.4, Figuur 6.5 en Tabel 6.4). De huidige maximale winterconcentratie van DIN is 1,5 mgN/l, het dubbele van de Oosterschelde concentratie.

Het typische seizoenspatroon met een minimum in de zomer (jul-aug) en een maximum bij de start van het voorjaar (feb-mrt) wordt veroorzaakt door de biologische cyclus van opname

door fytoplankton en mineralisatie en door de hogere zoetwaterbelasting in de winter. De zomerconcentratie is langdurig laag (mei-september) met een daling tot 2% van de maximale winterconcentratie. Het aandeel NH_4 in DIN is heel laag in het voorjaar (maart, 5%) en stijgt in de huidige situatie tot 70% in september-oktober. De benutting en recycling van stikstof, zowel de nieuwe als de regeneratieproductie, is in het Veerse Meer dus heel intensief. In de waterlaag bij de bodem bestaat het DIN in de zomer voor nagenoeg 100% uit ammonium, maar de sterke zomerse concentratiestijging is na de opening van de Katse Heule nagenoeg verdwenen.

Tabel 6.3 vergelijkt berekende en gemeten DIN concentraties in het Veerse Meer op basis van winterhalfjaargemiddelden, met het idee dat dan de interne processen op een laag pitje staan⁷.

De berekende concentraties volgens conservatieve menging zijn hoger dan de gemeten concentraties; ná de opening van de Katse Heule is het verschil kleiner dan ervoor. Binnen de context van de andere veronderstellingen kan menging van Oosterscheldewater en polderwater de gemeten concentraties grotendeels, maar niet volledig verklaren. Een mogelijke verklaring is het naijleffect van de lage zomerconcentraties in het polderwater en in het Veerse Meer. Tabel 6.1 (laatste kolom) laat zien dat in de huidige situatie in het Veerse Meer 70% van de hoeveelheid stikstof (DIN) in het meer afkomstig is van polderbelasting en slechts 30% uit de Oosterschelde. Vóór de opening van de Katse Heule was zelfs meer dan 90% van het berekende stikstof afkomstig uit de polders.

Al deze waarnemingen indiceren dat het niveau en de seizoensdynamiek van de DIN concentratie zowel wordt bepaald door externe factoren (polderbelasting en uitwisseling met de Oosterschelde) als door interne (biologische) processen. De relatieve invloed van externe factoren (uitwisseling met de Oosterschelde) is door de verkorting van de verblijftijd na de opening van de Katse Heule groter dan ervoor.

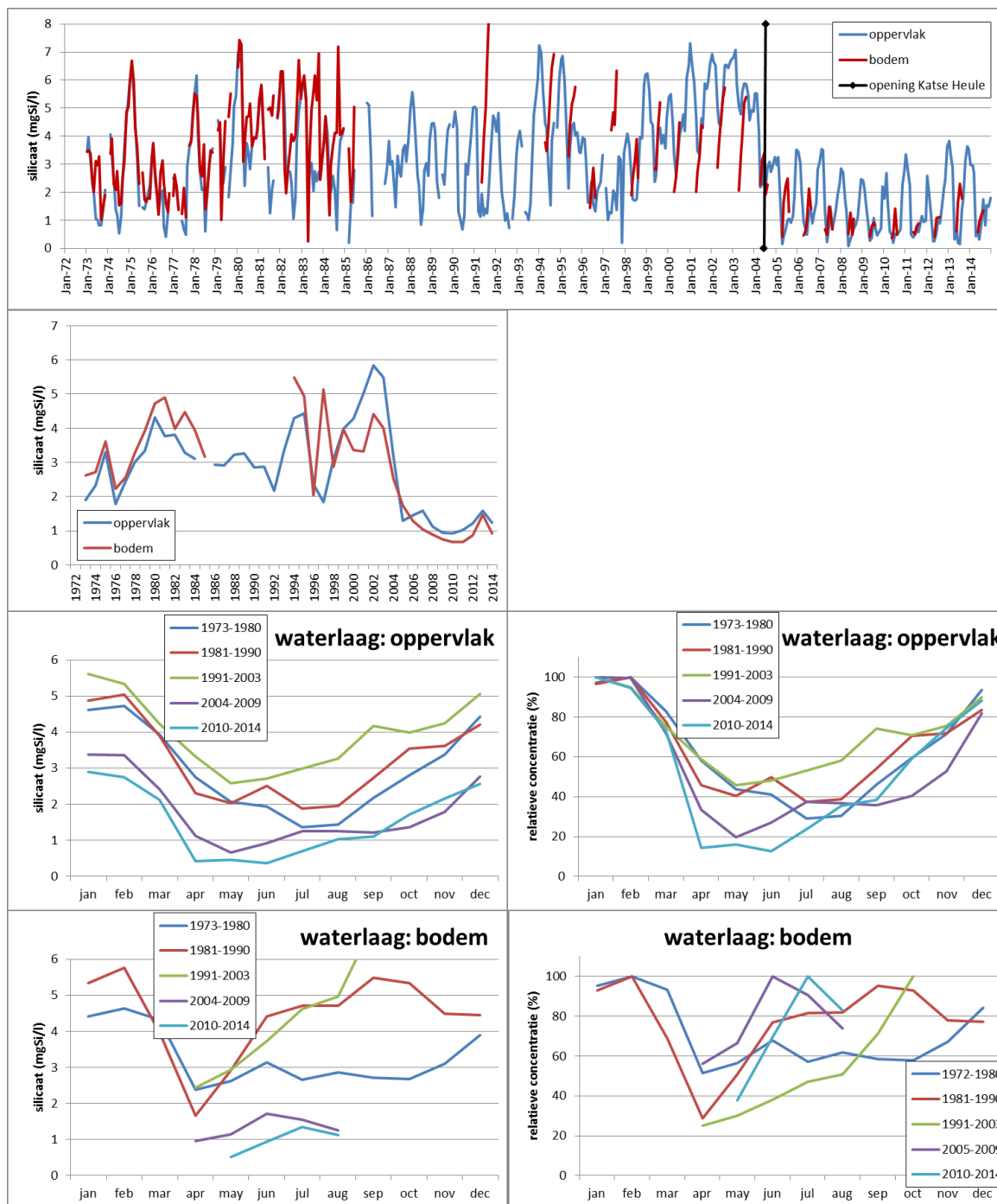
Met de MWTL gegevens is het mogelijk onderscheid te maken tussen gesuspendeerd particulier organisch stikstof (PON) en opgelost organisch stikstof (DON) volgens:

$$\begin{aligned} \text{PON} &= \text{totaal stikstof} - \text{totaal stikstof na filtratie} \\ \text{DON} &= \text{totaal stikstof na filtratie} - \text{DIN} \end{aligned}$$

De PON en DON gegevens zijn beschikbaar vanaf 1991 (Figuur 6.6 en Figuur 6.7). In vergelijking met DIN zijn de concentraties van PON en DON laag. Alleen het particulier organisch materiaal (PON) is geassocieerd met fytoplankton (chlorofyl) en (ander, dood) particulier organisch materiaal (POC) (zie verder). Het opgelost organisch stikstof (DON) is waarschijnlijk (net als DOC, opgelost organisch koolstof) refractair materiaal: de concentratie is lager in de waterlaag bij de bodem (in tegenstelling tot ammonium en PON) en de concentratie daalt plotseling na de opening van de Katse Heule door verdunning en uitwisseling met Oosterscheldewater.

⁷ De berekening en daarbij gehanteerde veronderstellingen staan beschreven in paragraaf 6.1.1

6.3 Silicaat



Figuur 6.8 Silicaat in het Veerse Meer. Tijdsree maandgemiddelde waardes (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).

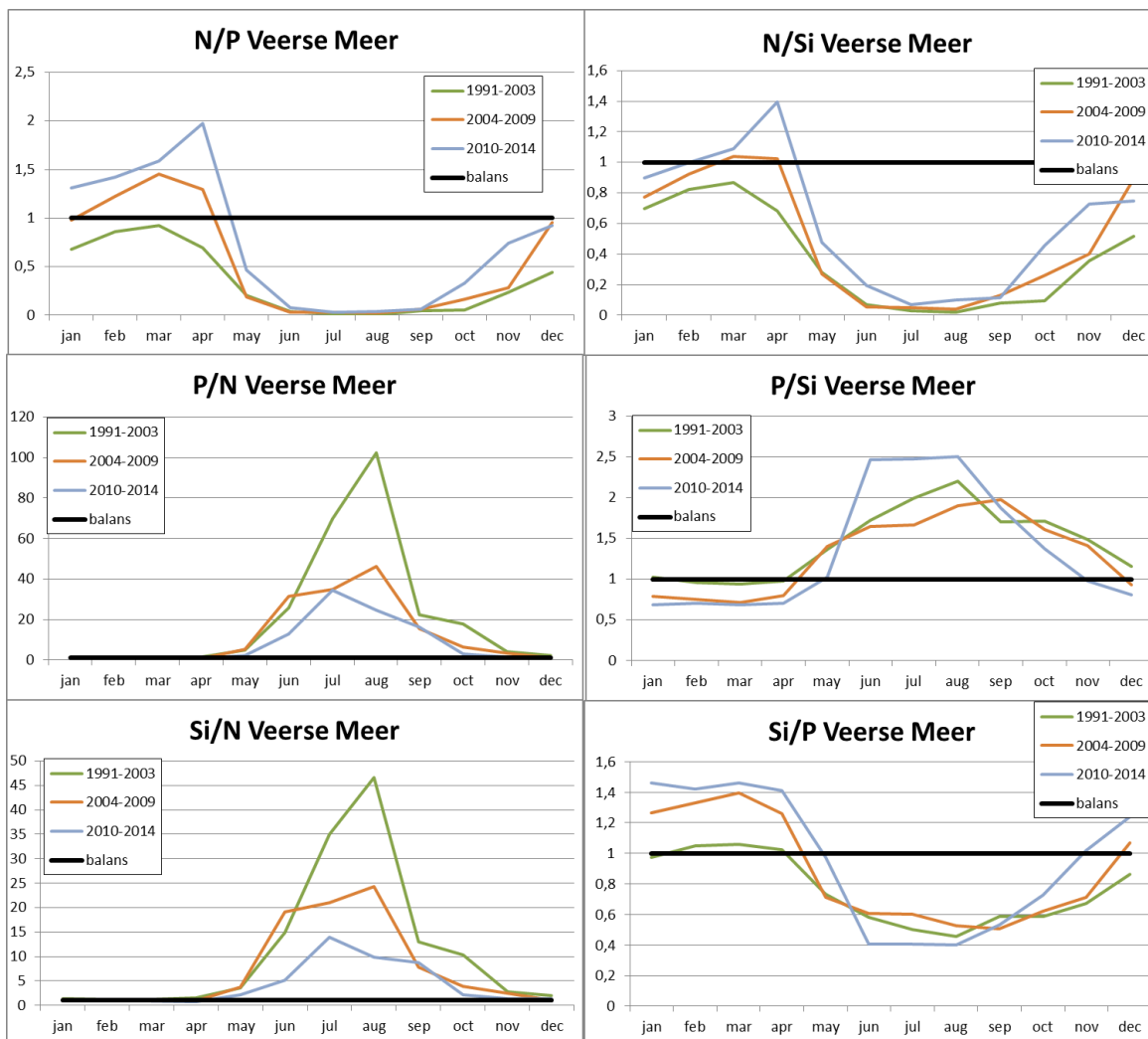
Tabel 6.5 Silicaat in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

silicaat (mgSi/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	3,17	4,75	1,07	2,52	0,68	
bodem	4,28	9,80	1,32		0,98	

6.3.1 Beschrijving silicaat gegevens

Trends en dynamiek van silicaat houden het midden tussen stikstof en fosfaat. De opening van de Katse Heule halveerde de concentratie. De huidige maximale winterconcentratie is ongeveer 3 mgSi/l, dit is 4 keer zo hoog als in de Oosterschelde. Net als bij fosfaat is in de recente jaren de voorjaarsuitputting sterker (april-juni, daling tot 15% van het wintermaximum) dan in de voorgaande jaren.

6.4 Relatieve beschikbaarheid van nutriënten



Figuur 6.9 Redfield genormaliseerde nutriënt ratio's in het Veerse Meer, meerjarig maandgemiddelden per periode

Tabel 6.6 Redfield genormaliseerde nutriënt ratio's van de meerjarig gemiddelde jaarmaxima per periode in het Veerse Meer

relatieve beschikbaarheid								
van	tov	1972-1980	1981-1990	1991-2003	2004-2009	2010-2013		
N	P	0,5	0,5	0,6	1,2	1,1		
	Si	1,1	0,9	0,8	0,9	0,9		
P	N	2,0	2,0	1,6	0,9	0,9	legenda:	
	Si	2,1	1,9	1,3	0,8	0,8	tekort	□
Si	N	0,9	1,1	1,3	1,1	1,1	balans	□
	P	0,5	0,5	0,8	1,3	1,2	overmaat	□

6.4.1 Beschrijving relatieve beschikbaarheid van nutriënten

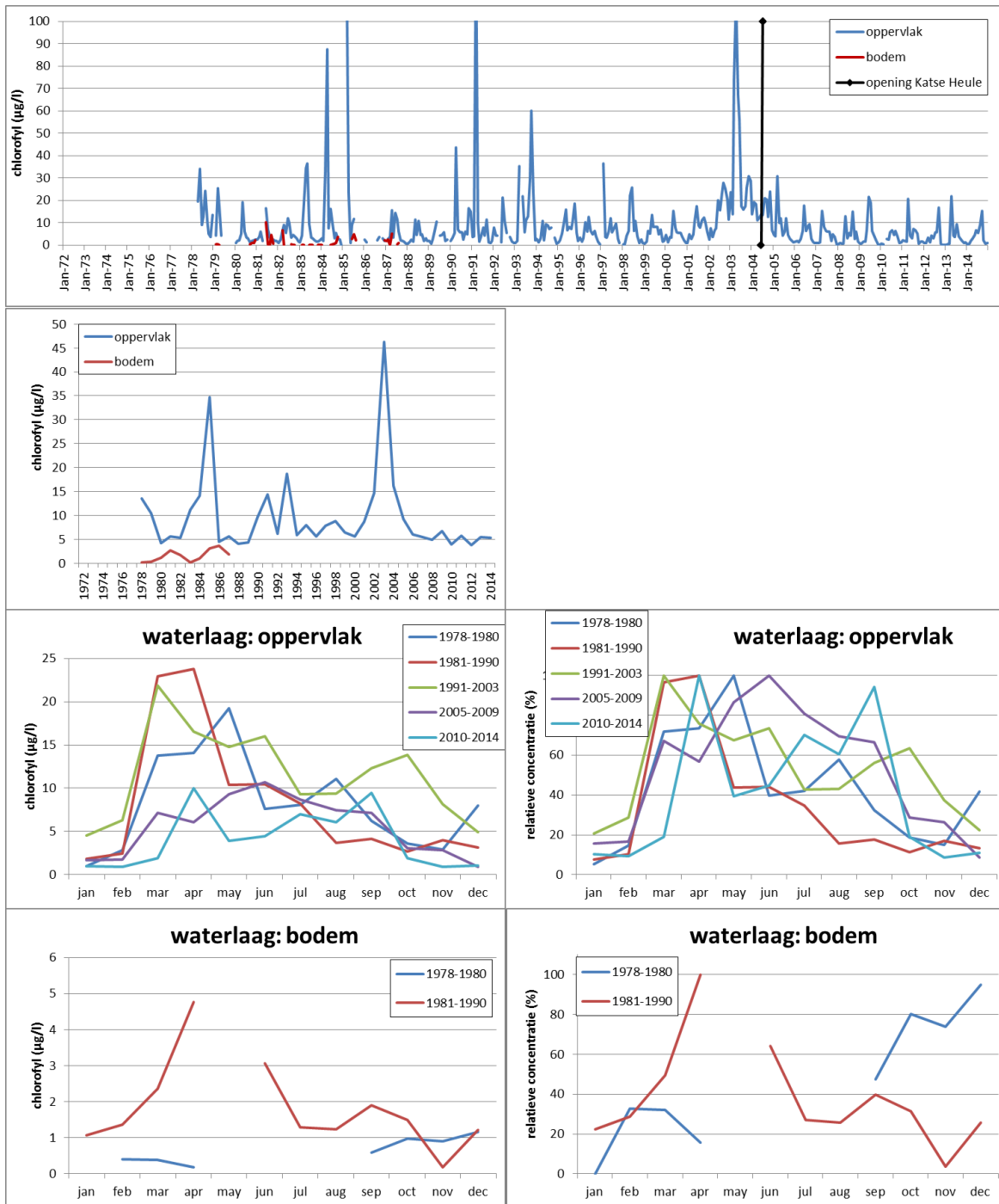
De beschikbaarheid van alle drie nutriënten is in de huidige situatie in het Veerse Meer nagenoeg volledig in balans. Alle ratio's van de (niet simultane) jaarmaxima zijn ongeveer gelijk aan 1 (Tabel 6.6). De ratio's van de (simultane) maandconcentraties indiceren een opeenvolging van potentiële P-limitatie in april, potentiële Si-limitatie in mei-juni en potentiële N-limitatie in juli-augustus (Figuur 6.9).

De positieve trend naar een steeds beter gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en een steeds intensievere benutting en recycling van nutriënten (hergebruik) in de biologische kringloop in het Veerse Meer is in belangrijke mate versterkt door de wateruitwisseling via de Katse Heule.

Het Veerse heeft van alle rijkswateren (zoet en zout, van Lobith tot offshore Noordzee, van Westerschelde tot Waddenzee en van Rijn tot Markermeer) de meest gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en de meest intensieve en evenwichtige benutting en recycling in de biologische kringloop (de Vries, 2015).

7 Fytoplankton en organisch materiaal

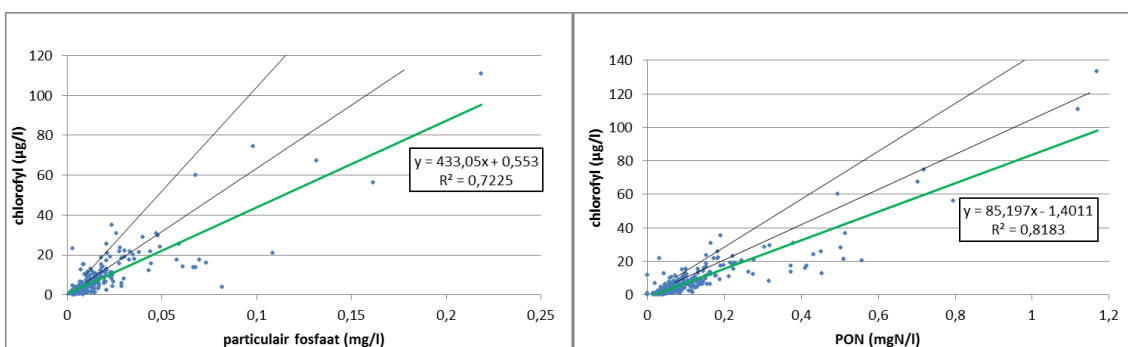
7.1 Chlorofyl



Figuur 7.1 Chlorofyl in het Veerse Meer. Tijdsree van maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).

Tabel 7.1 Chlorofyl in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

chlorofyl ($\mu\text{g/l}$)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	13,06	9,91	8,21	2,91	6,81	
bodem						



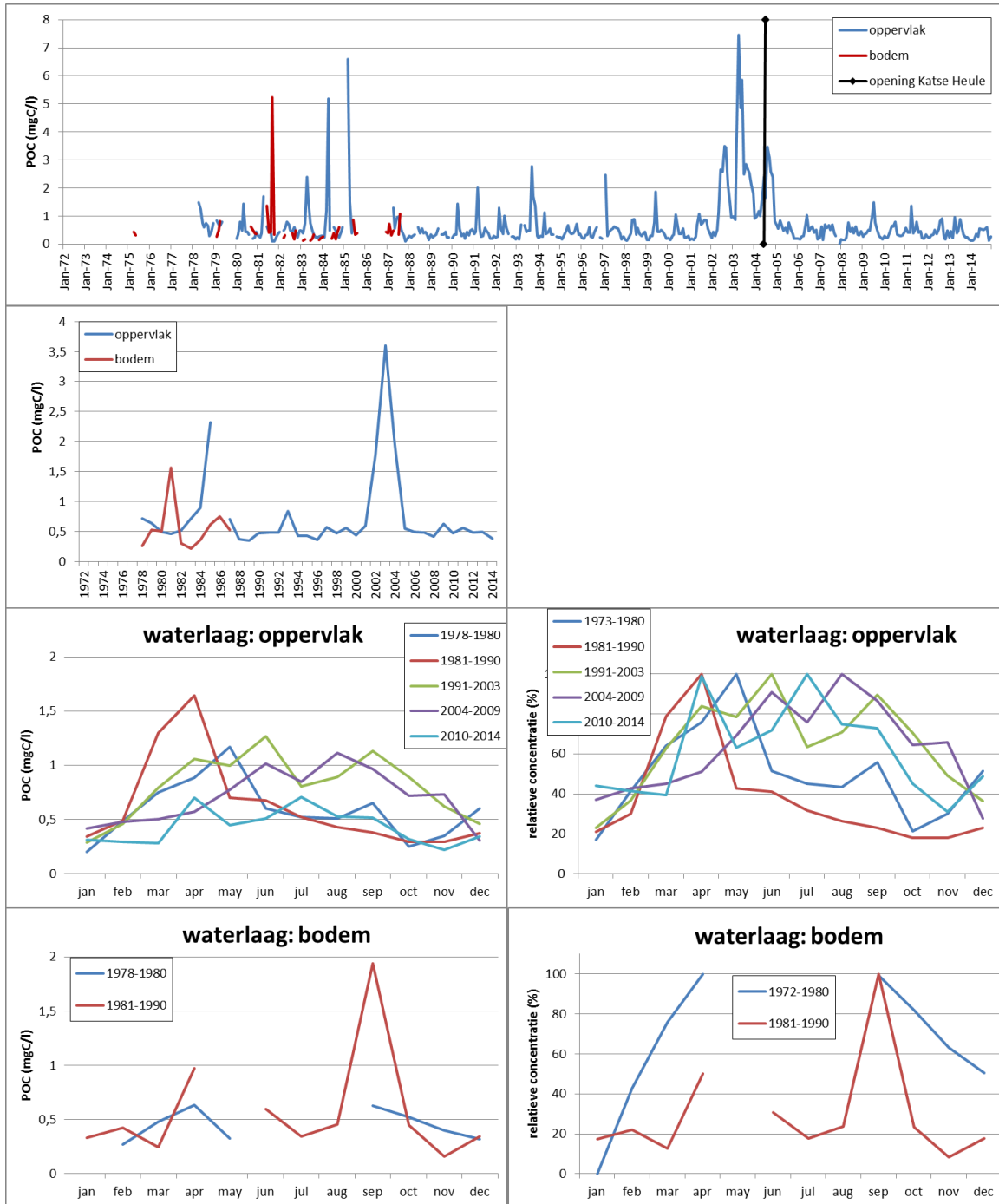
Figuur 7.2 Correlatie tussen chlorofyl en particulier fosfaat (links) en particulier organisch stikstof (rechts). De zwarte lijnen indiceren de maximale hoeveelheid fytoplankton (chlorofyl) wanneer alle particulier fosfaat dan wel particulier organisch stikstof in levende alg zou zitten. Linker grafiek: bovenste lijn: P-gelimiteerde diatomeeën, onderste lijn: P-gelimiteerd Phaeocystis. Rechter grafiek: bovenste lijn: N-gelimiteerde diatomeeën, onderste lijn: N-gelimiteerde dinoflagellaten (stoichiometrie volgens Los, 2009). Groene lijnen, vergelijking en R^2 : de best passende lineaire trendlijnen.

7.1.1 Beschrijving chlorofylgegevens.

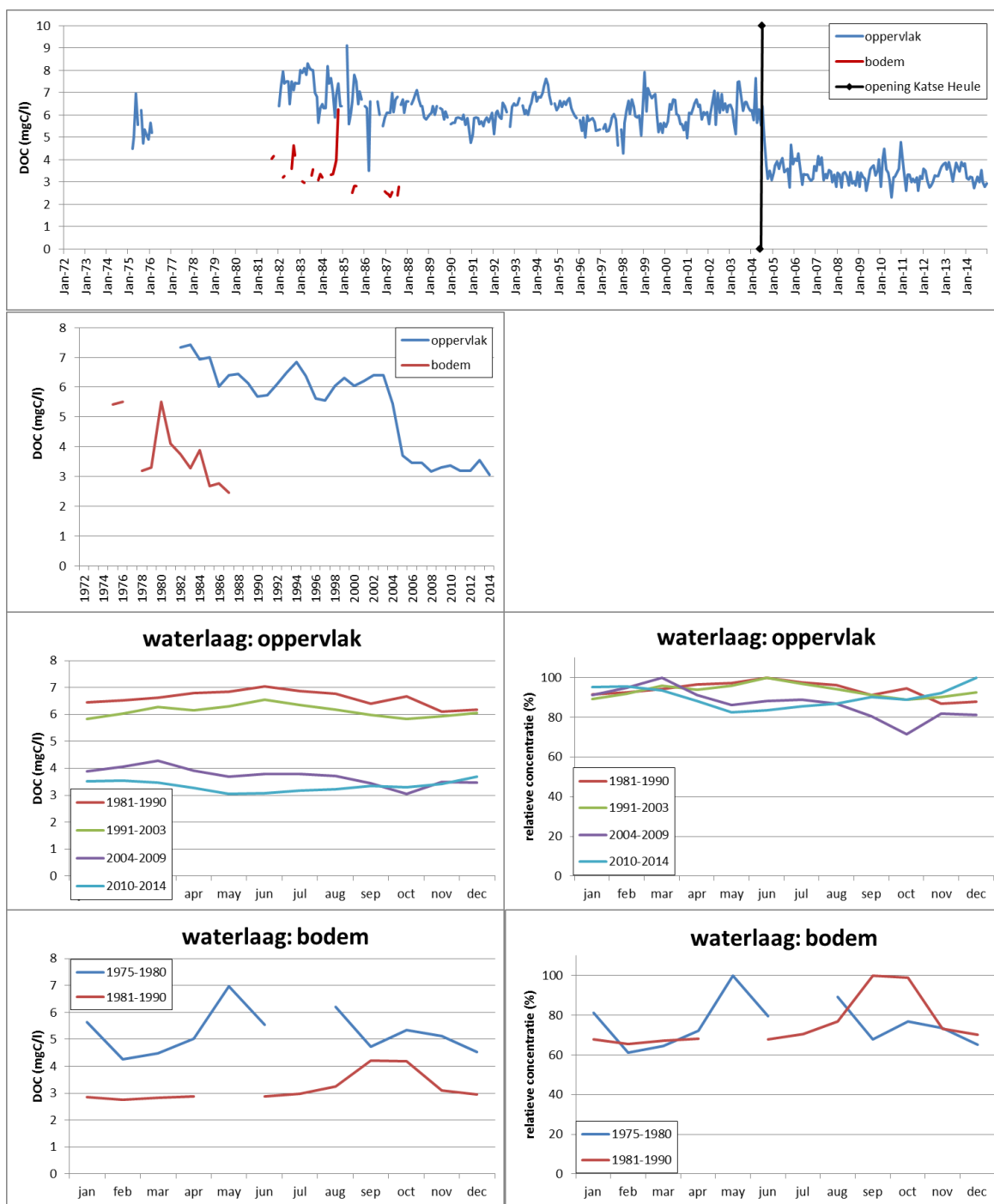
De hoeveelheid fytoplankton (chlorofyl) in het Veerse Meer varieerde sterk vóór de opening van de Katse Heule. In enkele jaren was het maximum zelfs $> 100 \mu\text{g/l}$ (1985, 1991, 2003). Vooral in de 2-3 jaren vóór de opening (2002-2004) is het chlorofylniveau meestal hoog (Figuur 7.1) en het water troebel (Figuur 4.3). Vanaf 2005 zijn geen algenpieken meer voorgekomen en is het meerjarig gemiddeld zomermaximum ongeveer $10 \mu\text{g Chl/l}$.

De correlatiegrafieken van chlorofyl met particulier fosfaat en particulier organisch stikstof vertonen een duidelijke relatie (Figuur 7.2). Vooral met stikstof (PON) is er een redelijke correlatie en is de helling van de trendlijn door de waarnemingen vergelijkbaar met de theoretische trendlijn. Blijkbaar zit een groot deel van het particulier organisch stikstof in (levend, chlorofylbevattend) fytoplankton.

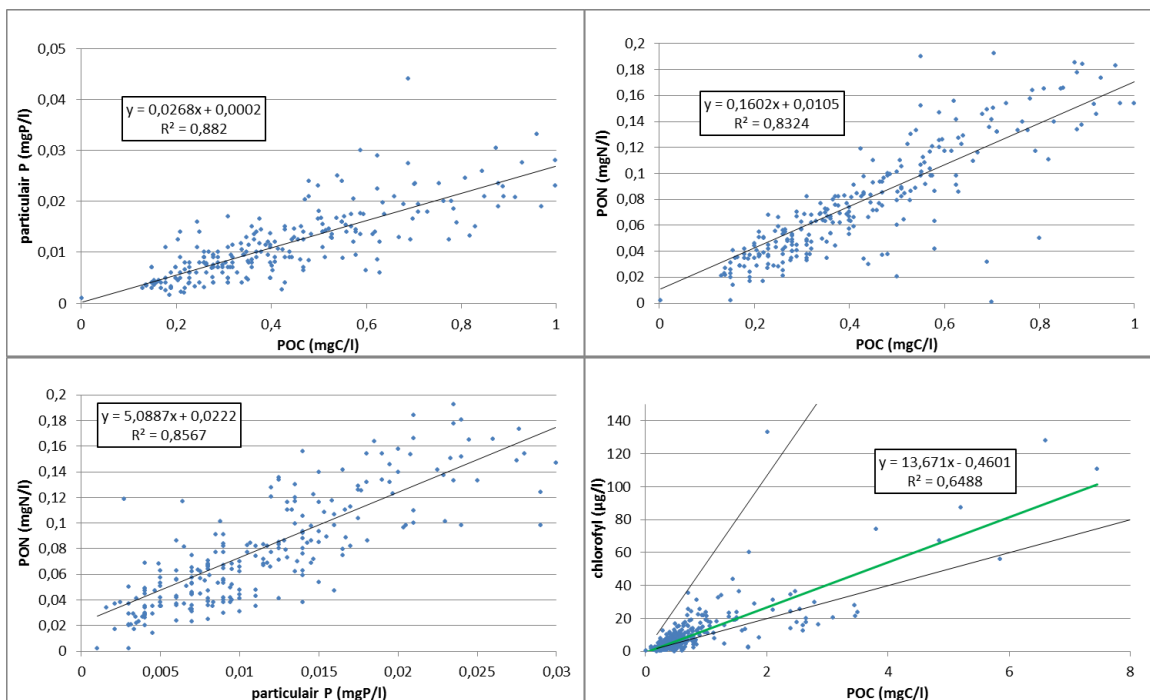
7.2 Organisch materiaal



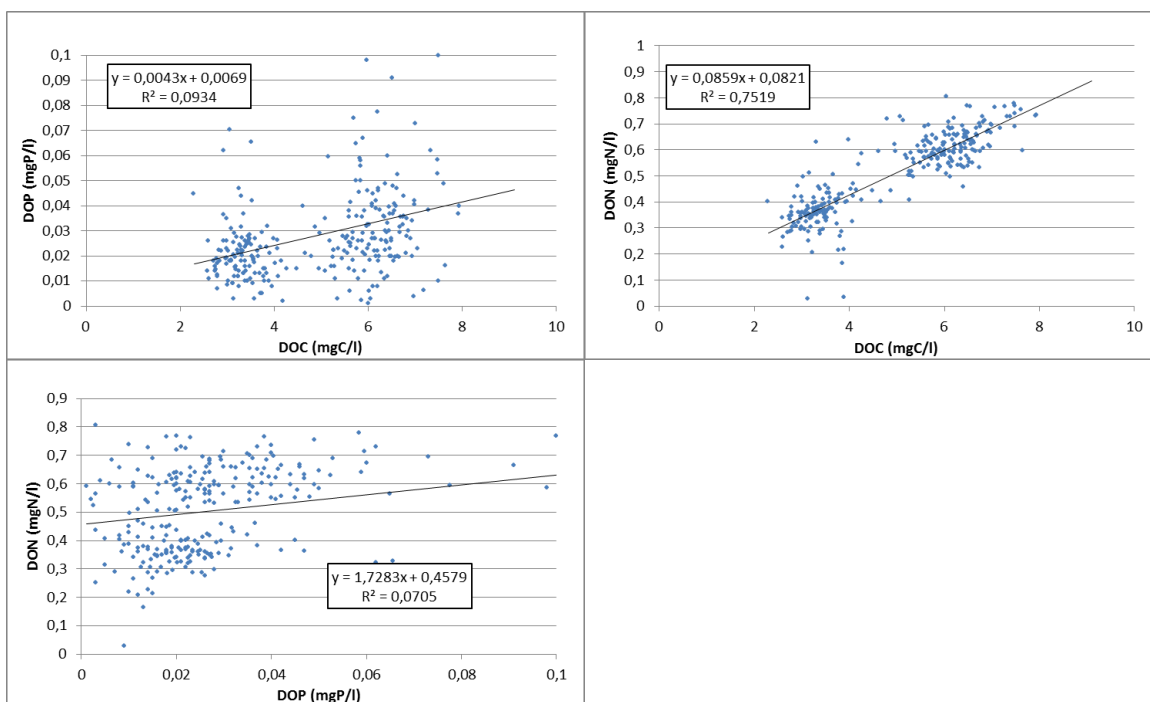
Figuur 7.3 Particulair organisch koolstof (POC) in het Veerse Meer. Tijdserie maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).



Figuur 7.4 Opgelost organisch koolstof (DOC) in het Veerse Meer. Tijdsree van maandgemiddelde waarden (boven). Jaargemiddelde concentraties (links boven); Meerjarig maandgemiddelde concentraties per periode (onder). De relatieve concentraties (rechts) zijn genormeerd naar het jaarmaximum van de betreffende periode (de maand met de hoogste waarde =100%).



Figuur 7.5 Correlaties van POC met particulier fosfaat (linksboven), particulier organisch stikstof (rechtsboven) en tussen particulier fosfaat en particulier organisch stikstof (links onder). Correlatie tussen chlorofyl en POC (rechts onder): De zwarte lijnen in dit grafiekje indiceren de maximale hoeveelheid fytoplankton (chlorofyl) wanneer alle particulier organisch koolstof in levende alg zou zitten. Bovenste lijn: groeigelimiteerde diatomeeën (onder invloed van graas), onderste lijn: nutriënt gelimiteerde diatomeeën (stoichiometrie volgens Los, 2009). Groene lijn: best passende lineaire trendlijn. Alle grafiekjes op basis van maandgemiddelde gegevens 1991-2014.



Figuur 7.6 Correlaties van DOC met DOP (linksboven) en DON (rechtsboven) en tussen DOP en DON (links onder). Alle grafiekjes op basis van maandgemiddelde gegevens 1991-2014.

7.2.1 Beschrijving gegevens organisch materiaal

Particulair organisch koolstof (POC) en opgelost organisch koolstof (DOC) gedragen zich volkomen verschillend.

De tijdserie POC gegevens vertoont veel gelijkenis met chlorofyl, vooral het steeds hoge niveau in de 2-3 jaren vóór de opening van de Katse Heule (2002-2004). Na de opening is het niveau laag en vergelijkbaar met het niveau in de jaren 80-90. In de zomer is er meer POC dan in de winter (Figuur 7.3, Tabel 7.2).

De veel grotere hoeveelheid DOC gedraagt zich als een conservatieve stof: de concentratie halveert momentaan na de opening van de Katse Heule en er is, meerjarig gemiddeld, geen karakteristieke seizoensvariatie (Figuur 7.4, Tabel 7.2).

Tabel 7.2 Organisch koolstof (POC en DOC) de PON/POC ratio en de chlorofyl/POC in het Veerse Meer in zomer (april-september) en winter (oktober-maart) onder invloed van de Katse Heule (meerjarig seizoensgemiddeld, vóór: 1991-2003, direct ná: 2005-2009, recent: 2010-2014).

POC (mgC/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	1,03	0,59	0,88	0,53	0,57	
bodem						
DOC (mgC/l)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
oppervlak	6,25	6,00	3,72	3,71	3,19	
bodem						
PON/POC (mg/mg)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
POC	1,03	0,59	0,88	0,53	0,57	
PON/POC	0,19	0,18	0,18		0,17	
chlorofyl/POC (µg/mg)	vóór		ná		recent	
	opening Katse Heule				2010-2014	
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
chlorofyl	13,06	9,91	9,42	5,06	6,81	
chlorofyl/POC	15,44	12,94	11,78		11,62	

Hoe is de voedselkwaliteit van POC en DOC?

Er zijn goede correlaties tussen alle particuliere fracties onderling, dus zelfs met particulier fosfaat (Figuur 7.5). De N/C ratio is hoog 0,17 mg/mg - 0,19 mg/mg (Tabel 7.2, zie ook de helling van de trendlijn in Figuur 7.5 rechtsboven: 0,16). Deze N/C ratio is bovendien vergelijkbaar met de Redfield ratio (16/106 mol/mol = 0,18 mg/mg). Dit indiceert een hoogwaardige voedselkwaliteit van het particulier organisch materiaal in het Veerse Meer, ook vóór de opening van de Katse Heule! In de recente jaren is de N/C ratio zelfs enigszins lager (vergelijk de Kom van de Oosterschelde, waar in de recente jaren de N/C verhouding veel sterker verlaagd is (de Vries, 2014)).

De N/P ratio in particulier materiaal, ongeveer 5 mg/mg (de helling van de trendlijn, Figuur 7.5 linksonder) toont weliswaar een overmaat fosfaat vergeleken met de Redfield ratio (N/P=16

mol/mol = 7,2 mg/mg), maar het geringe verschil met Redfield en de goede correlatie indiceren dat particulier fosfaat grotendeels bestaat uit organisch materiaal.

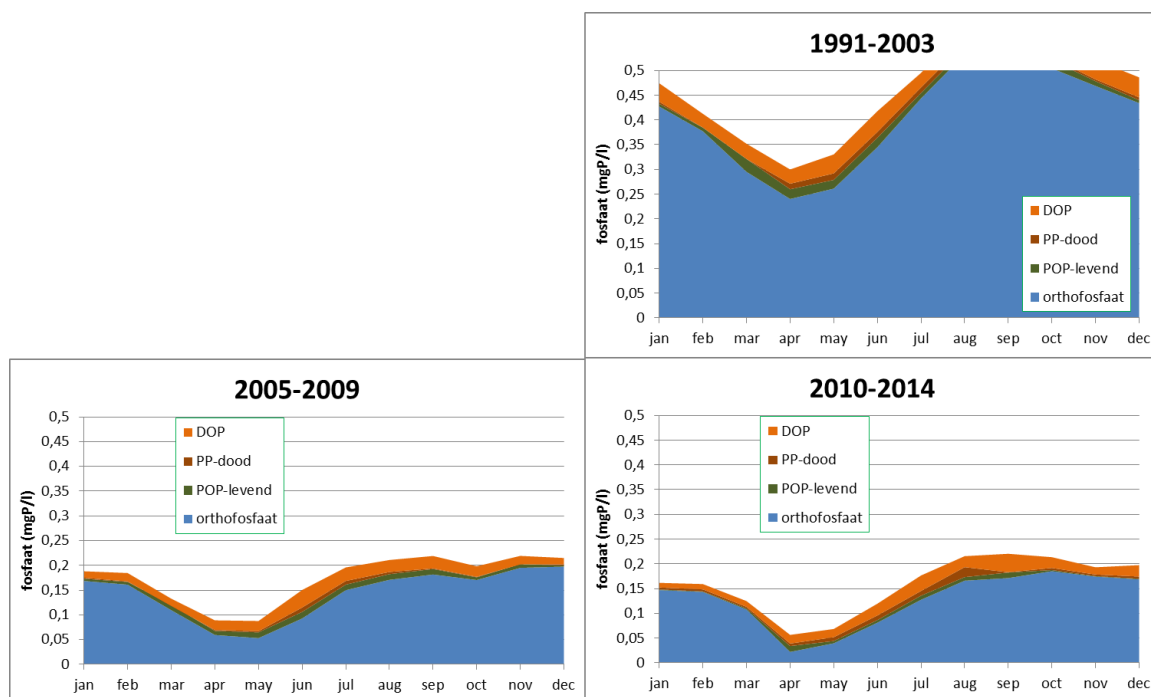
De correlaties tussen koolstof en nutriënten in opgelost organisch materiaal zijn geheel afwezig (DOC-DOP, DON-DOP) of zwak (DOC-DON) (Figuur 7.6). De lage N/C ratio (0,09, Figuur 7.6 rechtsboven, helling van de trendlijn) en de slechte correlaties indiceren dat (de grote hoeveelheid) opgelost organisch materiaal laagwaardig en refractair is.

Tenslotte de verhouding levend/dood, oftewel het aandeel levend, chlorofyl bevattend fytoplankton in de totale hoeveelheid POC. In Figuur 7.5 (rechtsonder) is de correlatie weergegeven tussen chlorofyl en POC voor de gehele periode waarvoor gegevens beschikbaar zijn (1991-2014). De twee (theoretische) trendlijnen indiceren de maximale hoeveelheid fytoplankton (chlorofyl) wanneer alle particulier organisch koolstof in levende alg zou zitten. Bovenste lijn: groeigelimiteerde diatomeeën (onder invloed van graas), onderste lijn: nutriënt gelimiteerde diatomeeën (stoichiometrie volgens Los, 2009).

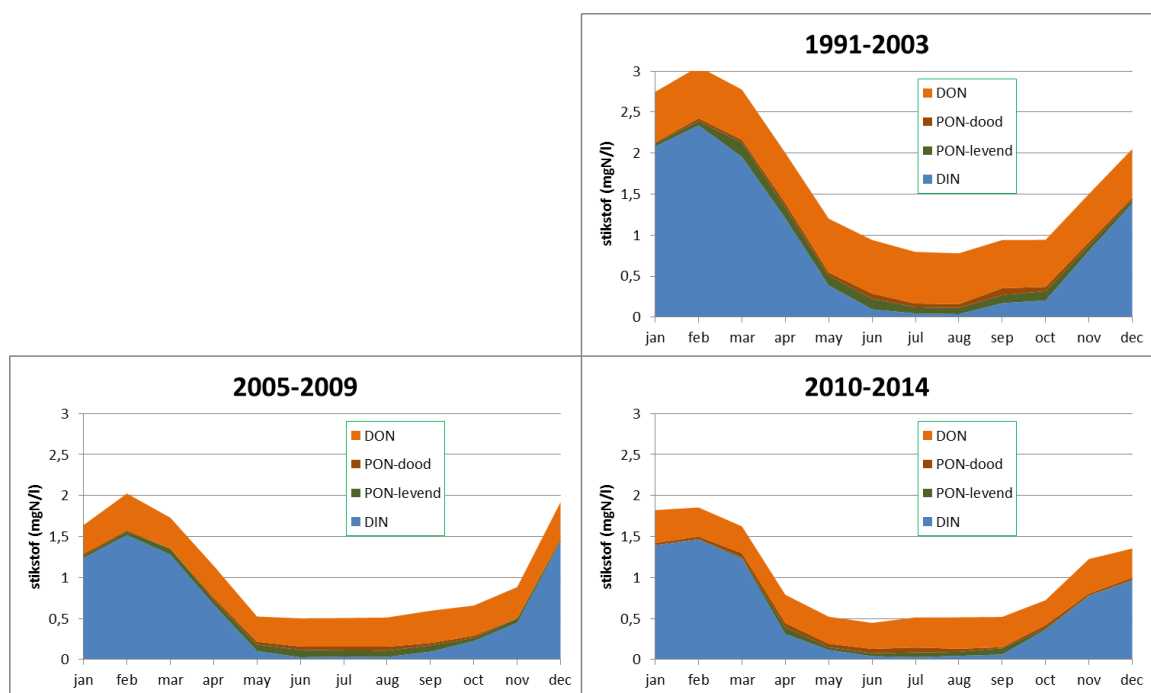
In de correlatiegrafiek ligt een behoorlijk deel van de waarnemingen tussen de twee trendlijnen, en alle waarnemingen liggen onder de bovenste trendlijn (slechts één uitbijter). Dit geeft allereerst vertrouwen in de dataset, er zijn (op eentje na) geen uitbijters die 'algenfysiologisch' onmogelijk zijn. De grafiek geeft aan dat een groot deel van het POC uit levende alg kan bestaan.

De chlorofyl/POC ratio is in de winter (uiteraard) lager dan in de zomer en, opmerkelijk, ná de opening van de Katse Heule lager dan ervoor (in de zomer respectievelijk lager dan 12 en hoger dan 15 $\mu\text{g}/\text{mg}$, Tabel 7.2). Een mogelijke verklaring voor deze recente verlaging van de chlorofyl/POC ratio is een toegenomen graasdruk, waardoor de verhouding levend-dood kan verschuiven naar meer dood materiaal. Een andere mogelijke verklaring is toegenomen nutriëntlimitatie: 'nutriëntgelimiteerde' algen zijn 'bleker' want hebben een lagere Chl/C verhouding dan 'groeigelimiteerde' algen ten gevolge van graasdruk (Los, 2009).

8 Pelagische partitie van nutriënten



Figuur 8.1 Verdeling van de totale hoeveelheid fosfaat in de waterkolom over de anorganische en organische pools; meerjarig maandgemiddelden in de periode vóór de opening van de Katse Heule en in twee periodes erna.



Figuur 8.2 Verdeling van de totale hoeveelheid stikstof in de waterkolom over de anorganische en organische pools; meerjarig maandgemiddelden in de periode vóór de opening van de Katse Heule en in twee periodes erna.

8.1.1 Beschrijving pelagische partitie

Figuur 8.1 en Figuur 8.2 tonen het meerjarig gemiddeld seizoenspatroon van de totale in de waterkolom aanwezige hoeveelheid fosfaat respectievelijk stikstof; en de verdeling van deze hoeveelheid over de verschillende pools. De figuren bevatten uitsluitend meetgegevens. Alleen het onderscheid tussen 'levend' en 'dood' particulier materiaal is berekend door gemeten chlorofyl om te rekenen naar particulier organisch fosfaat ('POP-levend') en stikstof ('PON-levend') volgens de stoichiometrie van P- respectievelijk N-gelimiteerde algen volgens Los (2009)⁸.

De volgende waarnemingen zijn mogelijk:

- Het seizoenspatroon van zowel P als N is markant, onderling verschillend met overall weinig verschil in patroon tussen de periodes voor en na de opening van de Katse Heule. Het Veerse Meer is wat betreft de pelagische partitie van nutriënten vooral aan zichzelf gelijk gebleven.
- De totale hoeveelheid P en N is na/door de opening van de Katse Heule sterk afgenomen. De maximale hoeveelheid P (september) met meer dan 60% (van 0,6 naar 0,22 mgP/l). De maximale hoeveelheid N (april) met meer dan 30% (van ruim 3 naar (minder dan) 2 mgN/l)
- In absolute hoeveelheden variëren de anorganisch opgeloste hoeveelheden het sterkst (blauw in de grafieken), zowel tussen de periodes als tussen de seizoenen.
- In relatieve hoeveelheden variëren POP- en PON-levend (= nutriënten in fytoplankton) het sterkst, en wel simultaan met de afname van DIN en de toename van ortho-P.
- Het absolute aandeel van de hoeveelheid en de variatie in (dood en levend) particulier organisch materiaal ten opzichte van het totaal is zeer klein.
- Het opgeloste organische materiaal gedraagt zich tegengesteld aan het particulier organisch materiaal: de opgeloste fractie is groot, vooral ten opzichte van de kleine particulaire fracties, en de seizoensvariatie is klein. Dit geldt vooral voor opgelost organisch stikstof.

⁸ Voor POP-levend $Chl/P=840 \mu\text{g}/\text{mg}$, het gemiddelde van de P-types *Phaeocystis* en diatomeeën; voor PON-levend $Chl/N=124 \mu\text{g}/\text{mg}$, het gemiddelde van de N-types van dinoflagellaten en diatomeeën.

9 Samenvatting en voorlopige interpretatie

9.1 Veranderingen door de Katse Heule en recente trends

De meeste veranderingen in het Veerse Meer door de Katse Heule en ook daarna zijn goed verklaarbaar en worden consistent weergegeven in de beschikbare metingen.

Fysica.

Door de opening van de Katse Heule is de wateruitwisseling met de Oosterschelde sterk toegenomen. Het Veerse Meer is bijgevolg nu veel **zouter** dan voor de opening. Het huidige zoutgehalte (28-30 ppt) is maar weinig lager dan het zoutgehalte in de Oosterschelde. De huidige mengverhouding in het Veerse Meer is 80% Oosterscheldewater en 20% zoet water van neerslag en polders die rechtstreeks op het Veerse Meer afwateren. De mengverhouding was 45% Oosterscheldewater en 55% polder (en neerslag) water. Door de toegenomen wateruitwisseling bevat het Veerse Meer dus 35% extra Oosterscheldewater. De verticale verschillen zijn door de Katse Heule sterk verminderd. De verticale gradiënt op meetpunt Soelekerkepolder bedroeg vóór de opening meer dan 5 ppt, na de opening 2 ppt.

Na de opening van de Katse Heule is het gehalte **zwevende stof** toegenomen en pas in de recente jaren (na 2010) weer afgenomen tot jaargemiddeld < 5 mg/l, synchroon met de Oosterschelde. Het **doorzicht** is alleen in de jaren kort voor de opening van de Katse Heule slecht(er) geweest (troebeling door algen). Het doorzicht is nu (weer) 2 m in de zomer en 3 m in de winter.

Chemie

Allereerst **zuurstof**. De zuurstofconcentratie in de bovenste waterlaag is niet veranderd door/na de opening van de Katse Heule, maar de uitwisseling met de Oosterschelde heeft wel invloed op de zomerse zuurstof uitputting in de bodemwaterlaag. Vóór de opening was (op het meetpunt Soelekerkepolder) sprake van volledige zuurstofloosheid gedurende 3-5 maanden in de zomer; na de opening komt zuurstofuitputting niet meer voor en blijft de meerjarig maandgemiddelde concentratie ≥ 3 mg/l.

De concentraties van de nutriënten zijn door de opening van de Katse Heule afgenomen, het Veerse Meer is door de opening dus voedselarmer geworden, maar de mate waarin verschilt nogal tussen de drie nutriënten.

De hoeveelheid **orthofosfaat** vertoont een momentane en spectaculaire trendbreuk na de opening van de Katse Heule. Na de opening is de (jaargemiddelde) concentratie 75% lager dan voorheen. De huidige maximale concentratie (najaar) van 0,18 mgP/l is nog wel 4 keer hoger dan het (oktober) maximum in de Oosterschelde.

De hoeveelheid anorganisch opgelost **stikstof** (**DIN** = ammonium+nitriet+nitraat) reageerde minder sterk op de opening van de Katse Heule dan orthofosfaat; Na de opening is de (jaargemiddelde) concentratie 30% lager dan voorheen. De huidige maximale winterconcentratie van DIN is 1,5 mgN/l, het dubbele van de Oosterschelde concentratie. De ammoniumconcentratie is na de opening zowel absoluut als relatief (als % van DIN) zelfs toegenomen.

Trends en dynamiek van **silicaat** houden het midden tussen stikstof en fosfaat. De opening van de Katse Heule halveerde de concentratie. De huidige maximale winterconcentratie is ongeveer 3 mgSi/l, dit is 4 keer zo hoog als in de Oosterschelde.

Aan de hand van gegevens over de samenstelling van polderwater en de mengverhouding met Oosterscheldewater zijn voor het winterhalfjaar de concentraties van totaalfosfaat en DIN berekend, uitgaande van conservatieve menging.

De berekende en gemeten concentraties totaalfosfaat ná de opening van de Katse Heule komen exact overeen (0,19 mgP/l). De menging van Oosterscheldewater en polderwater kan de gemeten winterconcentratie van totaalfosfaat dus volledig verklaren. In de huidige situatie is 75% van de hoeveelheid totaalfosfaat in het Veerse meer afkomstig van polderbelasting en slechts 25% uit de Oosterschelde. Vóór de opening van de Katse Heule was zelfs meer dan 90% van het berekende totaalfosfaat afkomstig uit de polders en is de gemeten concentratie ook nog eens fors hoger dan de berekende concentratie (0,41 resp. 0,46 mgP/l). Een mogelijke verklaring is het najleffect van de hoge zomerconcentraties in het polderwater en in het Veerse Meer door P-mobilisatie vanuit de waterbodem.

Voor stikstof (DIN) zijn de berekende winterconcentraties hoger dan de gemeten concentraties; ná de opening van de Katse Heule is het verschil kleiner dan ervóór. De menging van Oosterscheldewater en polderwater kan de gemeten concentraties grotendeels, maar niet volledig verklaren. Een mogelijke verklaring is het najleffect van de lage zomerconcentraties in het polderwater en in het Veerse Meer. In de huidige situatie is 70% van de hoeveelheid stikstof (DIN) in het Veerse Meer afkomstig van polderbelasting en slechts 30% uit de Oosterschelde. Vóór de opening van de Katse Heule was zelfs meer dan 90% van het berekende stikstof afkomstig uit de polders.

Deze waarnemingen indiceren dat het niveau van de nutriëntenconcentraties vooral wordt bepaald door externe factoren als polderbelasting en uitwisseling met de Oosterschelde. De relatieve invloed van externe factoren (uitwisseling met de Oosterschelde) is door de verkorting van de verblijftijd na de opening van de Katse Heule groter dan ervoor.

De nutriëntspecifieke seizoenspatronen zijn voor en na de opening gelijk gebleven, waarbij de 'minima zijn verdiept': een sterkere voorjaarsuitputting van orthofosfaat en silicaat en een sterkere langdurige zomerafputting van DIN.

Deze waarnemingen indiceren dat de seizoenspatronen van de anorganische nutriënten in het Veerse Meer mede worden bepaald door de biogeochemische processen in het meer zelf (bodem-water uitwisseling en de intensiteit van de biologische cyclus van opname, omzetting en mineralisatie)

De beschikbaarheid van alle drie nutriënten is in de huidige situatie in het Veerse Meer nagenoeg volledig in balans. Alle ratio's van de (niet simultane) jaarmaxima zijn ongeveer gelijk aan de verhoudingen waarin deze nutriënten door algen worden opgenomen. De ratio's van de (simultane) maandconcentraties indiceren een opeenvolging van potentiële P-limitatie in april, potentiële Si-limitatie in mei-juni en potentiële N-limitatie in juli-augustus.

De positieve trend naar een steeds beter gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en een steeds intensievere benutting en recycling van nutriënten (hergebruik) in de biologische kringloop in het Veerse Meer is versterkt door de wateruitwisseling via de Katse Heule.

Het Veerse heeft van alle rijkswateren (zoet en zout, van Lobith tot offshore Noordzee, van Westerschelde tot Waddenzee en van Rijn tot Markermeer) de meest gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten en de meest intensieve en evenwichtige benutting en recycling in de biologische kringloop (de Vries, 2015).

Biologie

De hoeveelheid fytoplankton (**chlorofyl**) in het Veerse Meer varieerde sterk vóór de opening van de Katse Heule. In enkele jaren was het maximum zelfs > 100 µg/l (1985, 1991, 2003). Vooral in de 2-3 jaren vóór de opening (2002-2004) was het chlorofylniveau steeds hoog en

het water troebel. Vanaf 2005 zijn geen algenpieken meer voorgekomen en is het meerjarig gemiddeld zomermaximum ongeveer 10 µg Chl/l.

De correlatiegrafieken van chlorofyl met particulier fosfaat en particulier organisch stikstof vertonen een duidelijke relatie. Vooral met stikstof (PON) is er een redelijke correlatie en is de helling van de trendlijn door de waarnemingen vergelijkbaar met de theoretische trendlijn. Blijkbaar zit een groot deel van het particulier organisch stikstof in (levend, chlorofylbevattend) fytoplankton.

De tijdserie POC gegevens vertoont veel gelijkenis met chlorofyl, vooral het meestal hoge niveau in de 2-3 jaren vóór de opening van de Katse Heule (2002-2004). Na de opening is het niveau laag en vergelijkbaar met het niveau in de jaren 80-90. In de zomer is er meer POC dan in de winter.

De veel grotere hoeveelheid DOC gedraagt zich als een conservatieve stof: de concentratie halveert momentaan na de opening van de Katse Heule en er is, meerjarig gemiddeld, geen karakteristieke seizoensvariatie.

De voedselkwaliteit van organisch materiaal wordt geïndiceerd door twee (gemeten) kenmerken:

- 1 De N/C ratio als indicatie van het eiwitgehalte. Eiwitten bevatten ongeveer 16 % stikstof (N/drooggewicht = 0,16). Met een C/drooggewicht ratio van 0,5 is de N/C ratio van puur eiwit ~ 0,3. De (maximale) N/C verhouding van organismen (bacteriën) is ~ 0,2.
- 2 Het aandeel levend fytoplankton in het organisch materiaal, oftewel de verhouding levend-dood ('groen'-'bruin'). Deze verhouding wordt niet direct gemeten maar kan worden afgeleid uit gemeten verhouding chlorofyl/POC en chlorofyl/C ratio's voor mariene algen.

Er zijn goede correlaties tussen alle particulaire fracties onderling, dus zelfs met particulier fosfaat. De N/C ratio is hoog 0,17 mg/mg - 0,19 mg/mg. Dit indiceert een hoogwaardige voedselkwaliteit van het particulier organisch materiaal (**POC**) in het Veerse Meer, ook vóór de opening van de Katse Heule! In de recente jaren is de N/C ratio zelfs enigszins lager.

De correlaties tussen koolstof en nutriënten in opgelost organisch materiaal (**DOC**) zijn geheel afwezig of zwak. De lage N/C ratio (0,09) en de slechte correlaties indiceren dat (de grote hoeveelheid) opgelost organisch materiaal laagwaardig en refractair is.

Voor de indicatie van het aandeel levend fytoplankton in het particulier organisch materiaal geven de metingen aan dat een groot deel van het POC uit levende alg kan bestaan.

De chlorofyl/POC ratio is in de winter (uiteraard) lager dan in de zomer en, opmerkelijk, ná de opening van de Katse Heule lager dan ervoor (in de zomer respectievelijk lager dan 12 en hoger dan 15 µg/mg). Een mogelijke verklaring voor deze recente verlaging van de chlorofyl/POC ratio is een toegenomen graasdruk, waardoor de verhouding levend-dood kan verschuiven naar meer dood materiaal. Een andere mogelijke verklaring is toegenomen nutriëntlimitatie: 'nutriëntgelimiteerde' algen zijn 'bleker' want hebben een lagere Chl/C verhouding dan 'groeigelimiteerde' algen ten gevolge van graasdruk.

10 Referenties

- Brzezinski, M.A., 1985. The Si:C:N ratio of marine diatoms: interspecific variability and the effect of some environmental variables. *Journal of Phycology*, Vol. 21, pp. 347–357, 1985
- De Vries, I., 2012. Analyse waterkwaliteit Oosterschelde (Zijpe en Kom), Grevelingen en Volkerak-Zoommeer. Deltares memo 1205971-000-VEB-0007.
- De Vries, I. en R. Postma, 2013. Quick scan waterkwaliteit en ecologie Volkerak-Zoommeer. Deltares rapport 1207783-000.
- De Vries, I., 2014. Waterkwaliteiten Deltawateren. datarapport Oosterschelde. Deltares rapport 1209393-000.
- De Vries, I., 2015. Waterkwaliteiten Deltawateren. datarapport N P Si. Deltares rapport 1210859-000.
- Los, Hans, 2009. Eco-hydrodynamic modelling of primary production in coastal waters and lakes using BLOOM, PhD Thesis Wageningen University, ISBN 978-90-8585-329-9.
- Nolte, A.J. en I de Vries, 2013. Overzicht van kennisbijdrage Deltares in de Green Deal Oosterschelde, Ecosysteembekendheid, nutriëntenstromen, primaire productie en draagkracht. Deltares rapport 1206232-000.
- Redfield A.C., 1934. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In James Johnstone Memorial Volume. (ed. R.J. Daniel). University Press of Liverpool, pp. 177–192, 1934.
- Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment, *American Scientist*, 1958.
- RWS, 2005. Zoutafleiding. Bijlage bij de RWS standaard. Rijkswaterstaat Meetnet Infrastructuur (RMI), november 2005.
- Van Gils, 2013. Zuidwestelijke Delta model voor stofstroomanalyses. Beschrijving en validatie. Deltares rapport 1208495.