

**Effectiviteit en effect van  
winterdoerspoeling van het  
Volkerak-Zoommeer**

Modelstudie en beknopte data-analyse





# **Effectiviteit en effect van winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer**

**Modelstudie en beknopte data-analyse**

drs. A.J. Nolte  
ir. B. Stengs  
dr. C.A. Schipper

1208550-000





**Titel**  
Effectiviteit en effect van winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1208550-000	1208550-000-ZKS-0008	39




**Trefwoorden**  
Volkerak-Zoommeer, verzilting, microverontreinigingen, 3D modellering, 1D modellering.

**Samenvatting**  
De chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer mag volgens het Waterakkoord in het (landbouw)groei seizoen bij meetpunt Bathse Brug niet hoger dan 450 mg/l worden. De chlorideconcentratie kan door Rijkswaterstaat verlaagd worden door het Volkerak-Zoommeer door te spoelen met rivierwater uit het Hollandsch Diep. De beschikbaarheid van voldoende rivierwater tijdens het groei seizoen is niet gegarandeerd. In de Commissie Waterakkoord VZM is voorgesteld om het Volkerak-Zoommeer proactief door te spoelen op het moment dat er vrijwel zeker rivierwater beschikbaar is: in de winter. De zogenaamde winterdoorspoeling verlaagt de chlorideconcentratie in het meer met als doel een (grotere) buffer op te bouwen, waardoor in het zomerhalfjaar de 450 mg/l norm mogelijk minder snel bereikt wordt.

In dit rapport heeft Deltares de effectiviteit van winterdoorspoeling met een Delft3D-FLOW 3D hydrodynamisch model onderzocht voor drie variabelen: het doorspoeldebiet (25 m<sup>3</sup>/s, 50 m<sup>3</sup>/s of 100 m<sup>3</sup>/s), de doorspoelperiode (1 maand of 2 maanden voorafgaand aan 15 maart) en de debietverdeling over de Bathse spuisluis en de Krammersluizen (100% via de Bathse spuisluis of 50% via de Bathse spuisluis en 50% via de Krammersluizen). Afvoer via de Krammersluizen blijkt de meest effectieve variabele, omdat daarmee de zoutbelasting wordt beperkt. Dit is echter pas mogelijk als ingezet wordt op een innovatief zoet-zoutscheidingsstelsel. Zolang afvoer via de Krammersluizen nog niet mogelijk is, zal het doorspoeldebiet via de Bathse spuisluis worden afgevoerd. Een doorspoeldebiet van minimaal 50 m<sup>3</sup>/s gedurende 2 maanden of 100 m<sup>3</sup>/s gedurende 1 maand (NB: niet gemodelleerd) wordt aanbevolen. De chlorideconcentratie bij Bathse brug wordt ongeveer 4 maanden meer dan 40 mg/l en 5 tot 7 maanden meer dan 20 mg/l verlaagd.

Het effect van winterdoorspoeling op de waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer, de Westerschelde en de Oosterschelde is onderzocht met beknopte data-analyse en 1D modelberekeningen met het SOBEK Zuidwestelijke Delta model. Het effect op de waterkwaliteit is zeer beperkt. Mogelijk beperkte en kortdurende stratificatie op het Zijpe (Oosterschelde) verdient aandacht, evenals de afweging van de mogelijke concentratieverhoging van sommige microverontreinigingen in het kader van de KRW-toetsing.

**Referenties**  
Projectnummer Rijkswaterstaat WVL: 31083723.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
def	nov. 2013	drs. A.J. Nolte		drs. I. de Vries		drs. F.M.J. Hoozemans	
		ir. B. Stengs					
		dr. C.A. Schipper					

**Status**  
definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1	Vraagstelling	1
1.2	Aanpak	2
1.3	Leeswijzer	2
<b>2</b>	<b>Modellering van winterdoorspoeling</b>	<b>3</b>
2.1	Gebruikte model: 3D Volkerak-Zoommeer	3
2.2	Definitie van alternatieven	4
2.3	Modelresultaten: tijdseries	5
2.4	Modelresultaten: Duur van verlaging en maximale verlaging	12
2.5	Conclusie 3D modelberekeningen	17
<b>3</b>	<b>Overige vragen</b>	<b>19</b>
3.1	Beknpte data-analyse reactie chlorideconcentratie op doorspoeling	19
3.2	Beknpte data-analyse microverontreinigingen bij hoge rivierafvoer	23
3.3	Effect van winterdoorspoeling op waterkwaliteit in Volkerak-Zoommeer, Oosterschelde en Westerschelde	27
3.3.1	Gebruikte model en definitie scenario's	27
3.3.2	Modelresultaten	27
3.3.3	Conclusie 1D modelberekeningen	32
<b>4</b>	<b>Samenvattende conclusies</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>39</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Memo Microverontreinigingen</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Tabellen maximale verlaging chlorideconcentratie en duur van verlaging</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Leegspoelen van de put bij de Krammersluizen</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Jaarreeksen debieten en chloride (HMCZ)</b>	<b>D-1</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Vraagstelling

De chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer mag volgens het Waterakkoord (Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 2001) in het groeiseizoen (15 maart - 15 september) bij meetpunt Bathse Brug niet hoger dan 450 mg/l worden. De chlorideconcentratie is het gevolg van de balans tussen de zoutbelasting aan de ene kant en de doorspoeling aan de andere kant. Bij een te hoge zoutbelasting of een te lage doorspoeling bestaat het risico dat de chlorideconcentratie te hoog oploopt. In het recente verleden is dat een aantal keren gebeurd dan wel dreigde dat te gebeuren.

De chlorideconcentratie kan door Rijkswaterstaat verlaagd worden door het Volkerak-Zoommeer door te spoelen met rivierwater uit het Hollandsch Diep. De chlorideconcentratie in het Hollandsch Diep is ordegrrootte 100 mg/l. Door water in te laten via de Volkeraksluizen en te spuien via de Bathse spuisluis op de Westerschelde wordt het Volkerak-Zoommeer verversd. En dergelijke verversing wordt gestart als tussen 15 maart en 15 september de chlorideconcentratie bij meetpunt "Bathse brug" de norm dreigt te overschrijden. Er wordt dan doorgespoeld tot de concentratie bij Bathse brug tot 380 mg/l is verlaagd (K.J. Meeuse, pers.comm.). Vaak is dit voor de start van het (landbouw)groeiseizoen en in de zomer. Het is niet gegarandeerd dat dan voldoende rivierwater beschikbaar is. Bij lage rivierafvoer van Rijn en Maas is er geen of onvoldoende water voor doorspoeling van het Volkerak-Zoommeer beschikbaar.

In de Commissie Waterakkoord VZM is voorgesteld om het Volkerak-Zoommeer proactief door te spoelen op het moment dat er vrijwel zeker rivierwater beschikbaar is: in de winter. De zogenaamde winterdoorspoeling verlaagt de chlorideconcentratie in het meer met als doel een (grotere) buffer op te bouwen, waardoor in het zomerhalfjaar de 450 mg/l norm mogelijk minder snel bereikt wordt.

Volgens het Waterakkoord mag echter geen rivierwaterafvoer ingelaten worden als de Rijnafvoer bij Lobith groter is dan 3.500 m<sup>3</sup>/s. Bij hogere rivierafvoer neemt de concentratie zwevend stof en de daaraan gebonden microverontreinigingen toe. In deze studie wordt de grens van 3.500 m<sup>3</sup>/s als gegeven aangenomen. Omdat in het voorjaar van 2013 een situatie ontstond waarin de chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer hoger werd dan 450 mg/l en tegelijkertijd niet doorspoeld kom worden omdat de Rijnafvoer hoger was dan 3.500 m<sup>3</sup>/s, is de vraag gerezen of de 3.500 m<sup>3</sup>/s grens nog valide is.

Bovenstaande resulteert in een hoofdvraag en een aantal aanvullende vragen die in dit rapport worden beantwoord:

Hoofdvraag:

1. Wat is de effectiviteit van winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer?

Aanvullende vragen:

2. Hoe snel stijgt de chlorideconcentratie in het meer uitgaande van de bestaande zoutlekkage en een gereduceerde zoutlekkage van de Krammersluizen?
3. Wat zijn de effecten van het doorspoelen op de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer?

4. Welke risico's heeft extra doorspoelen met betrekking tot de inlaat van nutriënten en microverontreinigingen voor het Volkerak-Zoommeer?
5. Wat zijn de effecten van het doorspoelen op de waterkwaliteit in de Westerschelde?
6. Wat zijn de effecten op de waterkwaliteit indien een deel van het doorspoeldebiet op de Oosterschelde wordt gespuid?

## 1.2 Aanpak

Voor de beantwoording van de hoofdvraag is gebruik gemaakt van een 3D hydrodynamisch model van het Volkerak-Zoommeer (Deltares, 2012). Het model, dat is opgezet in Delft3D-FLOW, is gekalibreerd en gevalideerd voor de verspreiding van chloride, waarbij de zoutlekage door de Krammersluizen essentieel is. Met dit model worden acht scenario's voor de winterdoorspoeling berekend, waarna de modelresultaten worden geïnterpreteerd.

Voor de beantwoording van de vragen met betrekking tot waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer, de Oosterschelde en de Westerschelde is gebruik gemaakt van een 1D hydrodynamisch en waterkwaliteit model van de zuidwestelijke delta (Deltares, 2013a, 2013b). Voor twee winterdoorspoelscenario's is de waterkwaliteit berekend en zijn de modelresultaten geïnterpreteerd.

Beknpte data-analyses zijn uitgevoerd voor de twee resterende vragen. De combinatie van gemeten chlorideconcentratie en geregistreerde doorspoeldebieten is onderzocht op een relatie die aangeeft hoe snel de chlorideconcentratie reageert op het doorspoeldebiet. De relatie tussen de Rijnafvoer en de concentratie van enkele microverontreinigingen is onderzocht gericht op de validiteit van de 3.500 m<sup>3</sup>/s grens.

## 1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de 3D modellering voor scenario's van winterdoorspoeling. In hoofdstuk 3 worden de twee data-analyses en de 1D modellering beschreven. Hoofdstuk 4 sluit af met een beknpte concluderende samenvatting.

Het rapport is geschreven voor algemene lezers. Omdat het rapport niet (uitgebreid) ingaat op watersysteemkennis en regionale gebiedskennis, is enige achtergrondkennis van het Volkerak-Zoommeer en de spelende vraagstukken een pre. Een achtergrond in modellering is niet nodig; Enige affiniteit met de interpretatie van modelresultaten is nuttig.



## 2 Modelling van winterdoorspoeling

### 2.1 Gebruikte model: 3D Volkerak-Zoommeer

Deltares (2012) heeft een 3D hydrodynamisch model voor het Volkerak-Zoommeer opgezet. Het model is opgezet en gevalideerd voor twee perioden:

- Van 1-1-2000 tot 30-6-2001
- Van 1-10-2006 tot 31-12-2007

Voor een gedetailleerde beschrijving van het model wordt verwezen naar Deltares (2012). Het model is ongewijzigd opgepakt. Als enige aanpassing is het model overgezet naar de meest recente softwareversie. Uit vergelijking is gebleken dat hiermee dezelfde resultaten werden bereikt als met de versie waarmee in Deltares (2012) gerekend is. Het 3D Volkerak-Zoommeer model is nu met de meest recente softwareversie beschikbaar. Het betreft versie 6.00.00.2367. Het 3D Volkerak-Zoommeer model voor zoutverspreiding is niet opgenomen in het B&O van Rijkswaterstaat. De versie wordt bij Deltares in het projectarchief gearhiveerd.

De 3D modelberekeningen worden aangestuurd door een waterbalans bestaande uit instromende en uitstromende debieten. Aan de instromende debieten wordt een chlorideconcentratie toegekend. Voor de uitstromende debieten gebruikt het model de berekende chlorideconcentratie. Tenslotte worden meteorologische condities (temperatuur, instraling, windsnelheid en windrichting) opgelegd.

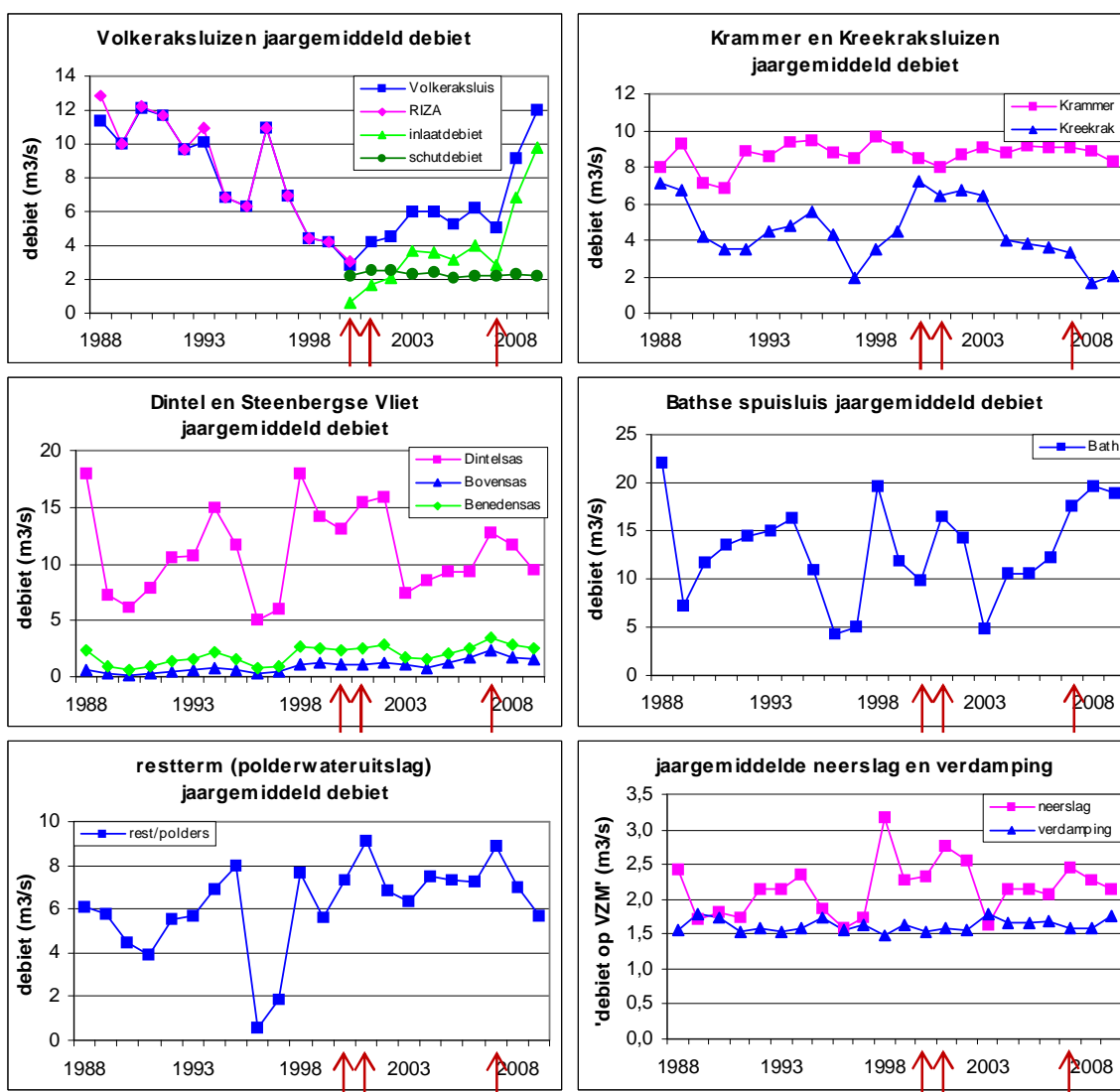
De grootste onzekerheid in het model is de precieze zoutbelasting (zoutlekkage) door de Krammersluizen. Deltares (2012) geeft een overzicht van de bekende informatie. De zoutlekkage door de beroepssluizen en jachtsluis wordt niet direct gemeten, maar moet indirect worden afgeleid uit chloridemetingen in het meer (TSO-metingen, vaste meetlocaties). Er moet daarbij nog onderscheid gemaakt worden tussen de bruto en de netto zoutlekkage. De bruto zoutlekkage is de hoeveelheid zout die door het zout-zout-scheidingsysteem van de sluizen heen komt en dus van de sluizen in de voorhaven terecht komt. De netto zoutlekkage is de hoeveelheid zout die via de monding van de voorhaven in het Krammer-Volkerak terecht komt. Het verschil tussen bruto en netto is de hoeveelheid zout die met het schut- en lekdebiët naar de Oosterschelde wordt teruggespoeld. De netto zoutlekkage is uiteindelijk bepalend voor de chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer.

Een tweede onbekende bron van zout is zoute kwel. Deze wordt geschat op 2 kg/s, maar verificatie van dit getal, laat staan van verdeling in ruimte en tijd, is niet uitgevoerd.

In het 3D model moet de bruto zoutlekkage opgegeven worden. De bruto zoutlekkage door de Krammersluizen is een kalibratiegrootte variërend van 12 kg/s in de 1<sup>e</sup> periode tot 1-1-2007 en loopt in de 2<sup>e</sup> periode lineair op tot 21 kg/s op 1-7-2007. Deze waarden en de waarde voor zoute kwel zijn zowel onzeker als bepalend voor de chlorideconcentratie in het meer. Zowel bij de definitie als de interpretatie van de modelresultaten moet met deze combinatie rekening gehouden worden. Deze modelberekeningen worden als referentie beschouwd.

## 2.2 Definitie van alternatieven

De beschikbare referentieberekening omvat drie periodes voor winterdoorspoeling te weten de winters van 2000, 2001 en 2007. Voor de alternatieven jaren geselecteerd. Om te kijken of deze jaren voldoende representatief zijn, is Figuur 2.1 overgenomen uit Deltares (2011). Dit figuur laat de jaargemiddelde aan- en afvoerdebieten zien over de periode 1988-2009. Hoewel op basis van gemiddeld jaardebiet geen directe conclusie over representativiteit van de gesimuleerde jaren voor winterdoorspoeling kan worden gedaan, geeft Figuur 2.1 een indicatie dat de gesimuleerde jaren geen extreme jaren zijn geweest. De jaren 2000 en 2001 lijken qua waterbalans op elkaar. Het jaar 2007 heeft een wat lager jaargemiddeld Dinteldebiet en een wat hoger jaargemiddeld debiet door de Volkeraksluizen. Geconcludeerd wordt dat de beschikbare jaren voldoende representatief zijn om de effectiviteit van winterdoorspoeling door te rekenen.



Figuur 2.1 Jaargemiddelde externe aan- en afvoerdebieten Volkerak-Zoommeer. Aanvoer staat links, afvoer staat rechts (m.u.v. neerslag op het VZM, rechtsonder) - NB: Figuur 10 in Deltares (2011). De gesimuleerde jaren voor winterdoorspoeling – 2000, 2001, 2007 – zijn met rode pijlen aangegeven.

Een alternatief wordt gedefinieerd door drie factoren:

1. Hoe groot is het doorspoeldebiet?
2. Hoe lang wordt het doorspoeldebiet ingezet?
3. Waar wordt het doorspoeldebiet afgevoerd?

Voor de grootte van het doorspoeldebiet wordt gerekend met 25 m<sup>3</sup>/s, 50 m<sup>3</sup>/s en 100 m<sup>3</sup>/s. Deze debieten zijn realiseerbaar bij de Volkeraksluizen en geven een goede indicatie van de bandbreedte van de effectiviteit van doorspoeling. Het doorspoeldebiet komt bovenop de al bestaande, reguliere debieten. Het gaat dus om extra doorspoeling ten opzichte van de referentiesituatie.

Voor de periode van doorspoeling wordt gerekend met 1 maand en 2 maanden. De periode van doorspoeling begint dus op respectievelijk 15 februari en 15 januari en duurt in beide gevallen tot 15 maart. Aangezien de (gemiddelde) verblijftijd van water in het Volkerak-Zoommeer zo'n 6 maanden is, zal doorspoeling een substantiële periode moeten beslaan, wil het effect hebben. In overleg met Rijkswaterstaat is de periode van 1 maand en van 2 maanden vastgesteld.

Afvoer van het extra doorspoeldebiet kan plaatsvinden via de Bathse spuisluis naar de Westerschelde. Hoewel de Krammersluizen in de huidige situatie vrijwel geen extra doorspoeldebiet kan afvoeren naar de Oosterschelde, is in de scenario's aangenomen dat dat wel mogelijk is. Mogelijk wordt hiermee vooruitgelopen op de aanpassingen van de Krammersluizen. Voor de debietverdeling over Bathse spuisluis en Krammersluizen wordt gerekend met 100%:0% en 50%:50%.

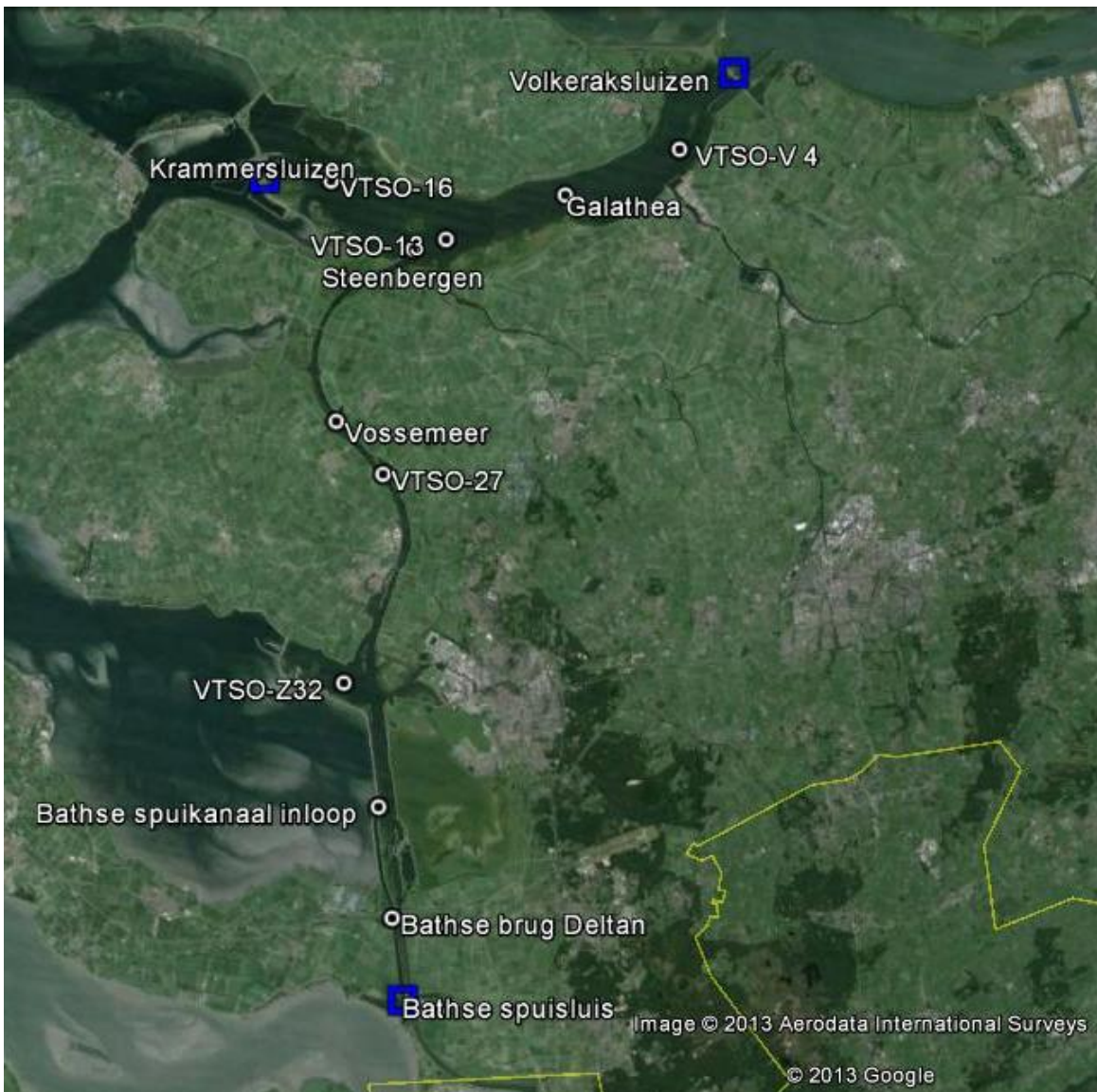
De combinatie van 3 doorspoeldebieten, 2 periodes en 2 debietverdelingen levert 12 mogelijke combinaties van factoren op. Een selectie van 8 combinaties is gemaakt zoals weergegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Definitie van alternatieven (voor 3D model) – NB: Doorspoeldebiet is extra bovenop de referentiesituatie.

		Doorspoeldebiet (m <sup>3</sup> /s)			Doorspoelperiode (maand)		Debietverdeling Bathse spuisluis : Krammersluizen	
		25	50	100	1 mnd	2 mnd	100%:0%	50%:50%
1	Laag_kort_Bath	x			x		x	
2	Middel_kort_mix		x		x			x
3	Hoog_kort_mix			x	x			x
4	Laag_lang_Bath	x				x	x	
5	Middel_lang_mix		x			x		x
6	Hoog_lang_mix			x		x		x
7	Middel_kort_Bath		x		x		x	
8	Middel_lang_Bath		x			x	x	

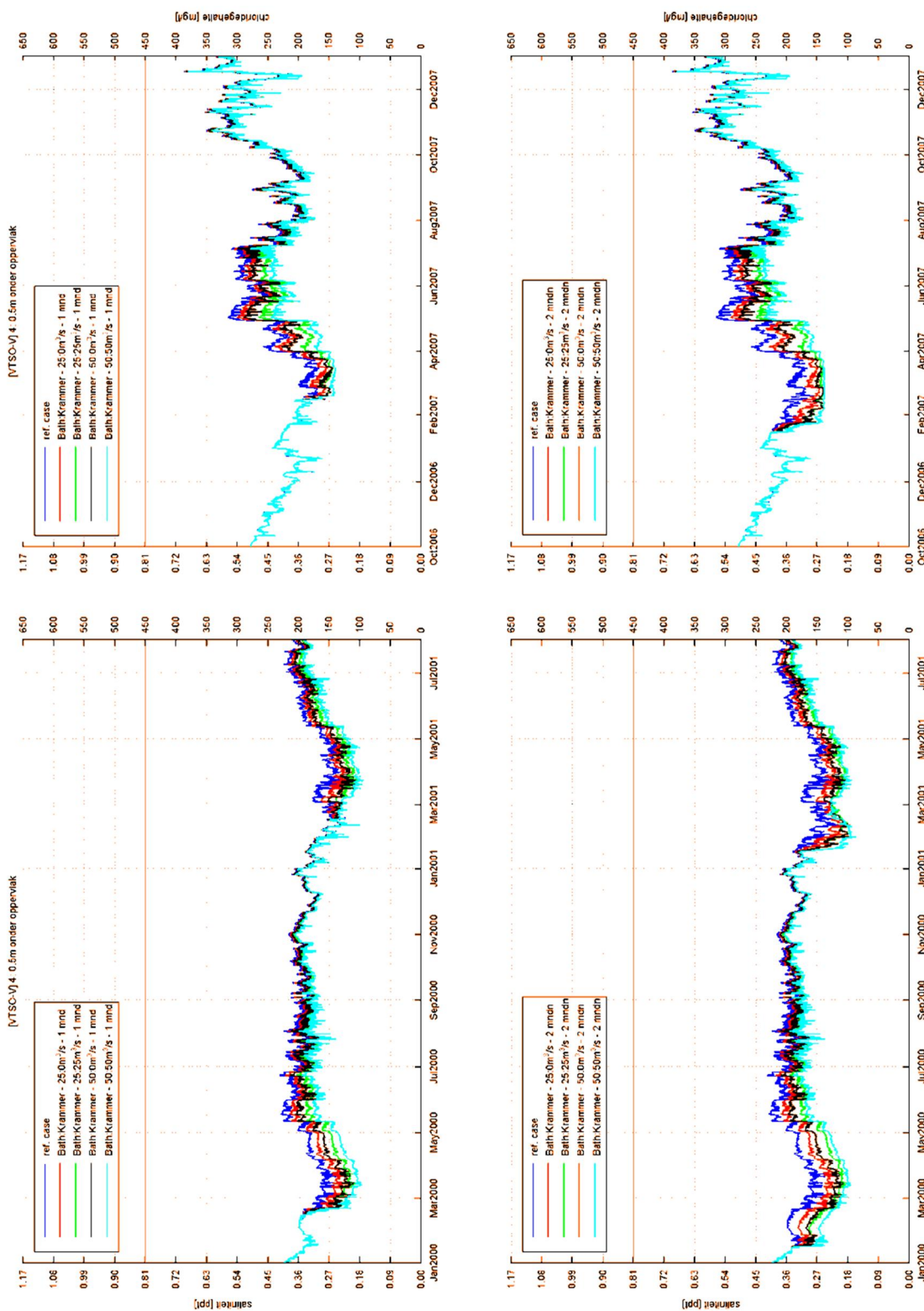
### 2.3 Modelresultaten: tijdseries

De modelresultaten worden gepresenteerd als tijdseries op bepaalde locaties en in tabelvorm. Tijdseries van de chlorideconcentratie nabij het wateroppervlak worden voor enkele locaties getoond. De bespreking van de resultaten wordt op basis van de tabel gedaan in paragraaf 2.4. Een overzicht van de locaties is gegeven in Figuur 2.2.



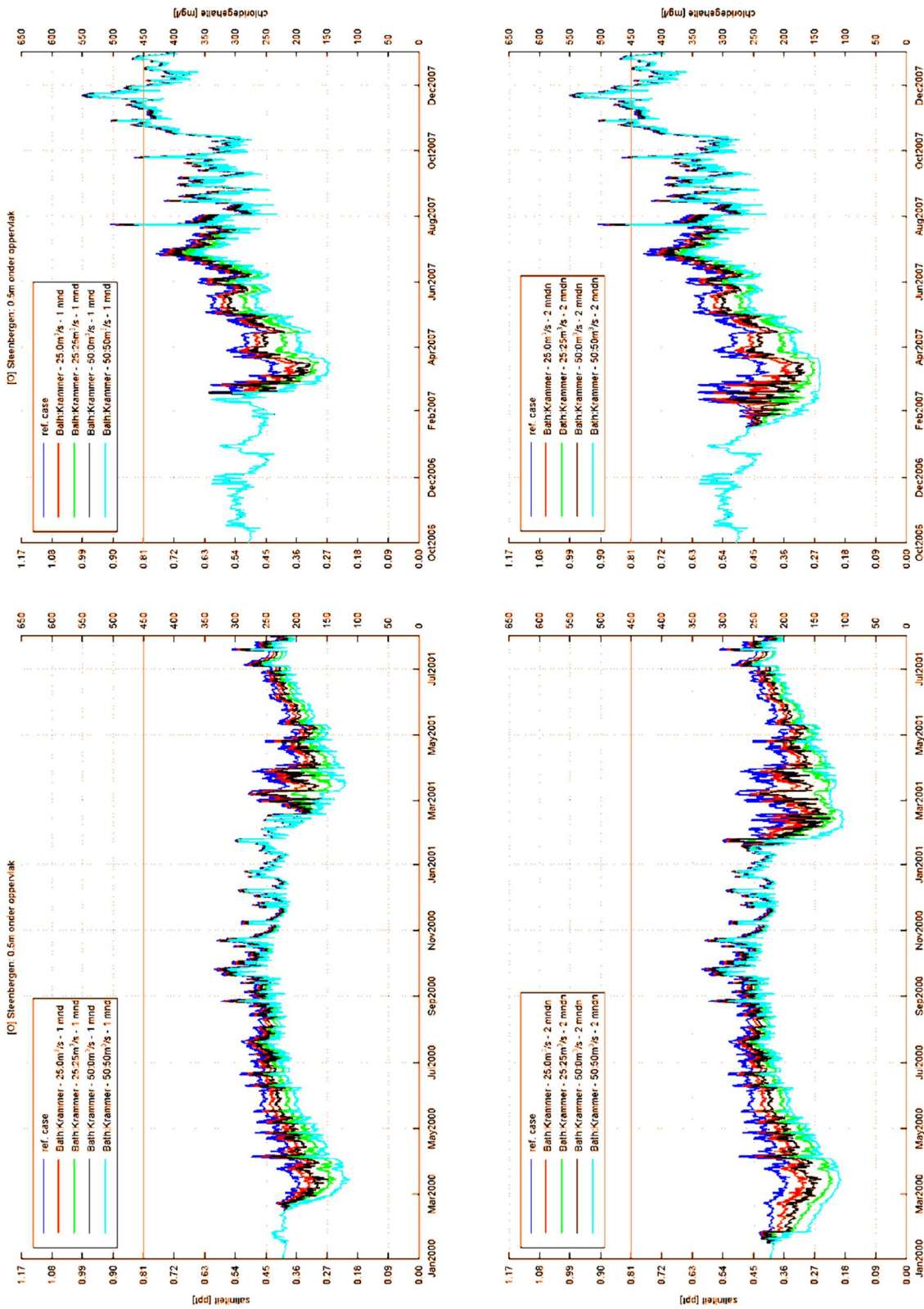
Figuur 2.2 Locatie van meetpunten en sluiscomplexen (bron Google Earth).

De tijdseries laten een consistent beeld zien. In ieder van de drie winterperiodes wordt de chlorideconcentratie verlaagd vanaf het moment dat de winterdoorspoeling begint. Vanaf 15 maart – als de winterdoorspoeling stopt – gaat de chlorideconcentratie langzaam weer naar de referentiesituatie (zonder winterdoorspoeling). Zowel de mate van verlaging als de duur waarop er geen wezenlijk verschil meer is met de referentiesituatie, verschilt van locatie tot locatie.



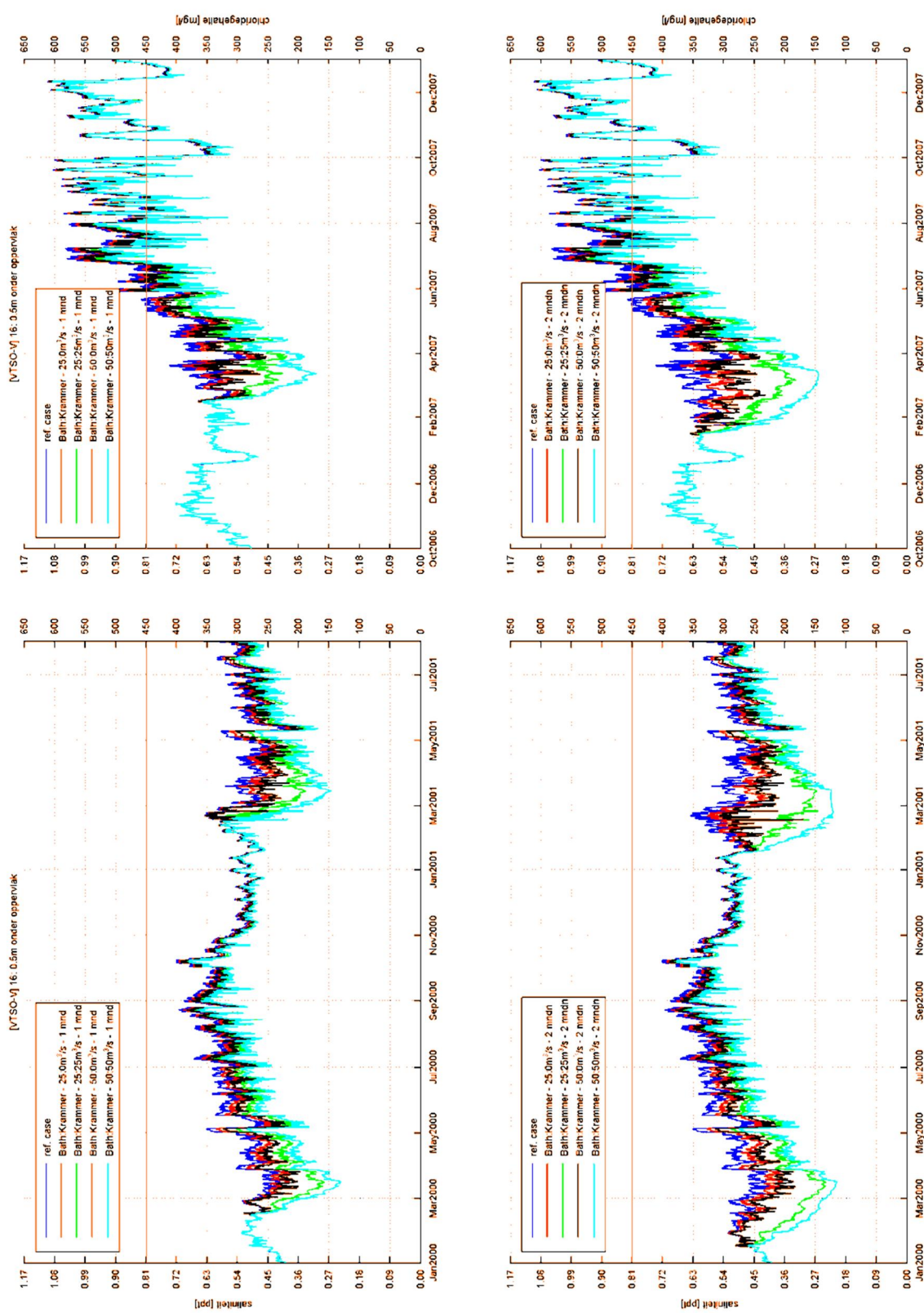
Figuur 2.3 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSC-V4 (bij Volkeraksluizen). Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.



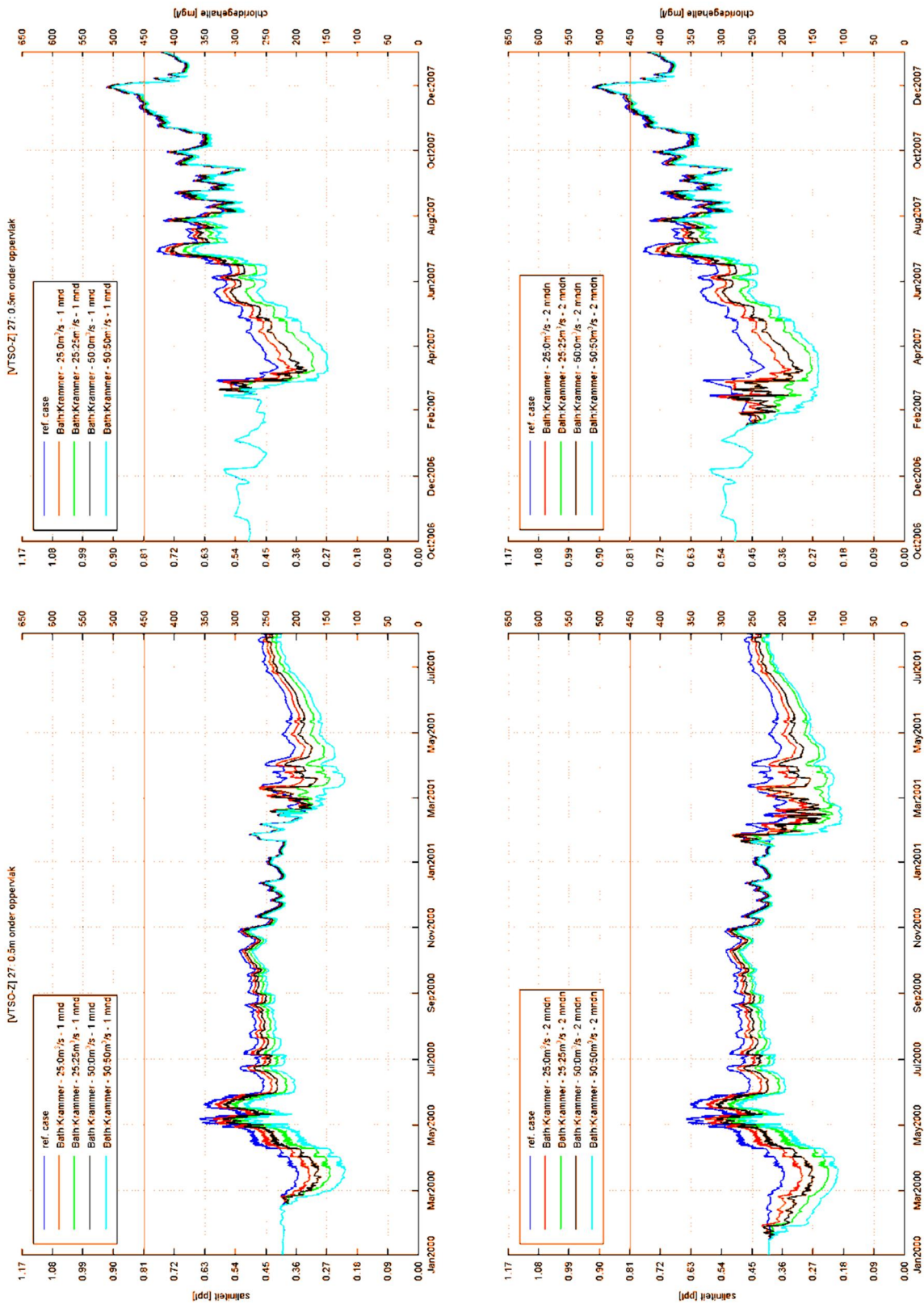


Figuur 2.4 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie Steenberg. Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.

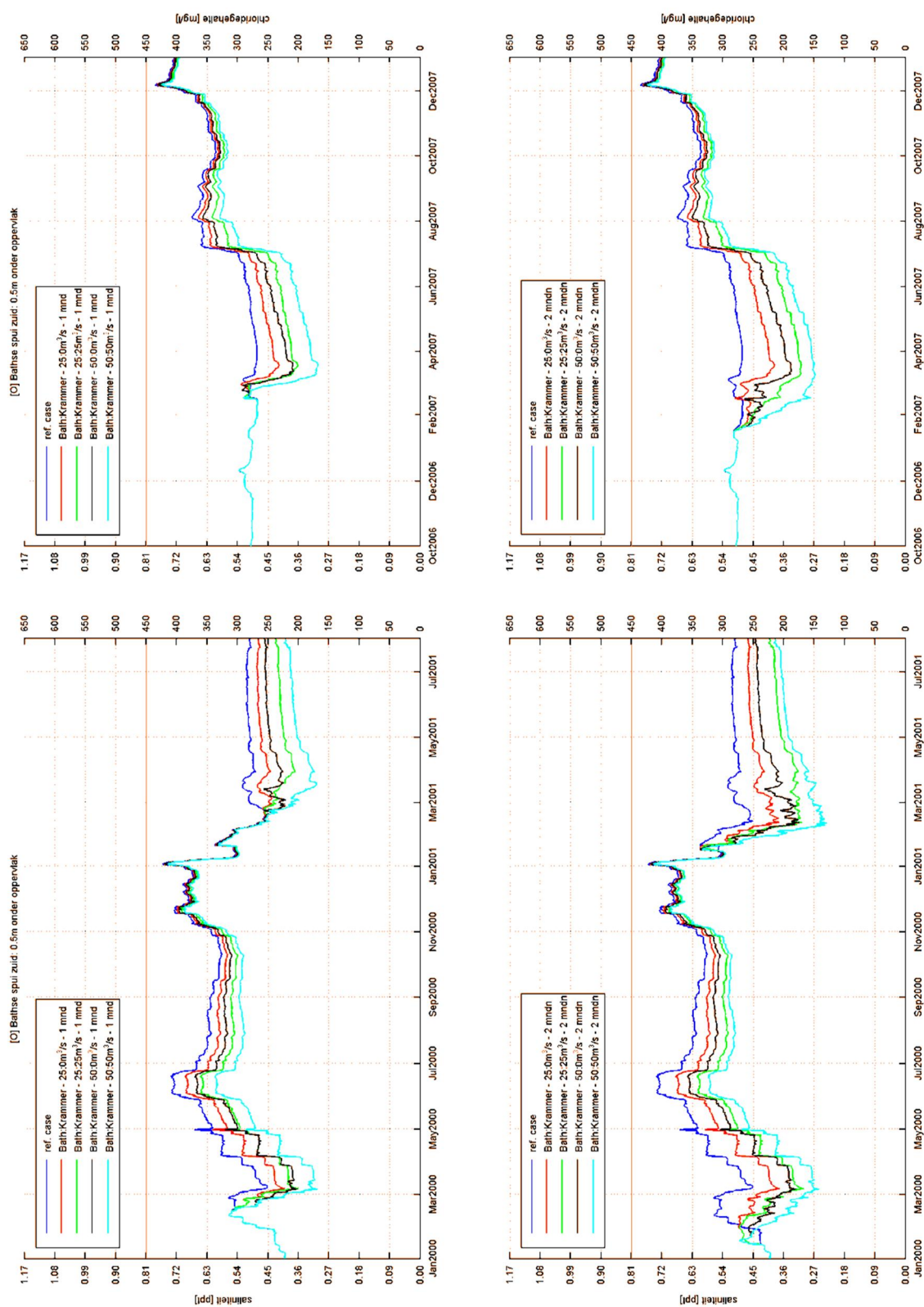




Figuur 2.5 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSO-16 (bij Krammersluizen). Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.



Figuur 2.6 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m onder het oppervlak voor locatie VTSO-Z27 (Eendracht). Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.



Figuur 2.7 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie Bathse brug (NB: in figuur aangegeven als Bathse spui zuid). Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.

## 2.4 Modelresultaten: Duur van verlaging en maximale verlaging

In Figuur 2.8 en Figuur 2.9 wordt het effect van winterdoorspoeling samengevat in twee criteria:

- Het aantal dagen na 15 maart dat de chlorideconcentratie meer dan 20 mg/l of meer dan 40 mg/l verlaagd blijft ten opzichte van de referentiesituatie (Figuur 2.8).
- De maximale verlaging van de chlorideconcentratie ten opzichte van de referentie als gevolg van de winterdoorspoeling (Figuur 2.9).

In bijlage B worden in tabelvorm de getalswaarden weergegeven voor de duur van verlaging van meer dan 10 mg/l, meer dan 20 mg/l en meer dan 40 mg/l.

Voor de duur van verlaging is een indicatie voor de effectiviteit, omdat het aangeeft hoe lang de winterdoorspoeling nog 'merkbaar' is. De berekende duur kan niet als absolute waarde onder alle omstandigheden beschouwd worden. In de jaren 2000, 2001 en 2007 komt alleen in 2007 de chlorideconcentratie boven de 450 mg/l norm uit. De onderlinge vergelijking van de scenario's geeft een betrouwbare maat voor de relatieve effectiviteit. Bijvoorbeeld hoeveel effectiever is een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s dan van 25 m<sup>3</sup>/s? Hoeveel effectiever is 2 maanden doorspoelen dan 1 maand doorspoelen? Et cetera.

Hoewel er verschillen zijn per locatie, is het algemene beeld dat uit Figuur 2.8 blijkt, consistent voor alle locaties. Een doorspoeldebiet van 25 m<sup>3</sup>/s van 1 maand volledig afgevoerd via Bath is feitelijk niet effectief in het Krammer-Volkerak (locaties VTSO-V4, Steenberg en VTSO-16), aangezien de chlorideconcentratie slechts zo'n 15 dagen met meer dan 20 mg/l wordt verlaagd. Een verlaging van 40 mg/l wordt niet eens bereikt. De effectiviteit neemt toe in de Eendracht en nog verder in het Zoommeer, waar 20 mg/l verlaging 30 tot 100 dagen kan duren afhankelijk van het jaar. De oorzaak van de langere duur is dat de chlorideconcentratie in het Zoommeer hoger is dan in het Krammer-Volkerak (zie ook Figuur 3.2). Een (absolute) verlaging van 20 mg/l is dan makkelijker te bereiken. Het verschil in chlorideconcentratie tussen rivierwater uit het Hollandsch Diep (circa 100 mg/l) en de specifieke locatie is immers van belang. Echter, ook in de Eendracht en het Zoommeer is 25 m<sup>3</sup>/s doorspoeling gedurende 1 maand maar beperkt effectief omdat 40 mg/l verlaging niet gerealiseerd wordt.

Een langere doorspoelperiode van 2 maanden in plaats van 1 maand verlengt de duur van 20 mg/l verlaging in het Krammer-Volkerak en in de Eendracht naar 50 tot 100 dagen en het Zoommeer naar 120 tot 150 dagen. Bij de Volkeraksluizen is de duur het kortst; In 2001 nog steeds slechts 10 dagen. Omdat de chlorideconcentratie hier niet veel afwijkt van het rivierwater (150-200 mg/l vs. 100 mg/l) is 20 mg/l verlaging in relatieve zin groot. Een grotere verlaging van 40 mg/l wordt ook met 2 maanden doorspoeling met 25 m<sup>3</sup>/s niet gerealiseerd, behalve relatief kortdurend in het Zoommeer en bij de Bathse brug. De duur van 40 mg/l verlaging is daar 15 tot 45 dagen.

In vrijwel alle gevallen is 50 m<sup>3</sup>/s doorspoeldebiet effectiever dan 1 of 2 maanden doorspoelen met 25 m<sup>3</sup>/s. Uit Figuur 2.8 blijkt dat er uitzonderingen zijn, wat aangeeft dat effectiviteit van jaar tot jaar verschilt. Er zijn vier scenario's berekend met 50 m<sup>3</sup>/s doorspoeldebiet. Naast de doorspoelperiode is de debietverdeling over Bathse spuilsuis en Krammersluizen gevarieerd. Hieruit is een volgorde van effectiviteit af te leiden, die (nogmaals) wel van jaar tot jaar verschilt, maar binnen een jaar onderling te vergelijken is. Het meest effectief is 2 maanden doorspoelen met een 50%:50% debietverdeling over de Bathse spuilsuis (dus 25 m<sup>3</sup>/s naar de Westerschelde) en de Krammersluizen (dus 25 m<sup>3</sup>/s



naar de Oosterschelde). Daarna volgt 1 maand doorspoelen met een 50%:50% debietverdeling. 2 Maanden doorspoelen met 100% afvoer via de Bathse spuisluis is derde en 1 maand doorspoelen met 100% afvoer via de Bathse spuisluis is het minst effectief van deze vier scenario's. Hieruit blijkt duidelijk dat afvoer via de Krammersluizen een grotere bijdrage levert aan de effectiviteit dan de duur van het doorspoeldebiet.

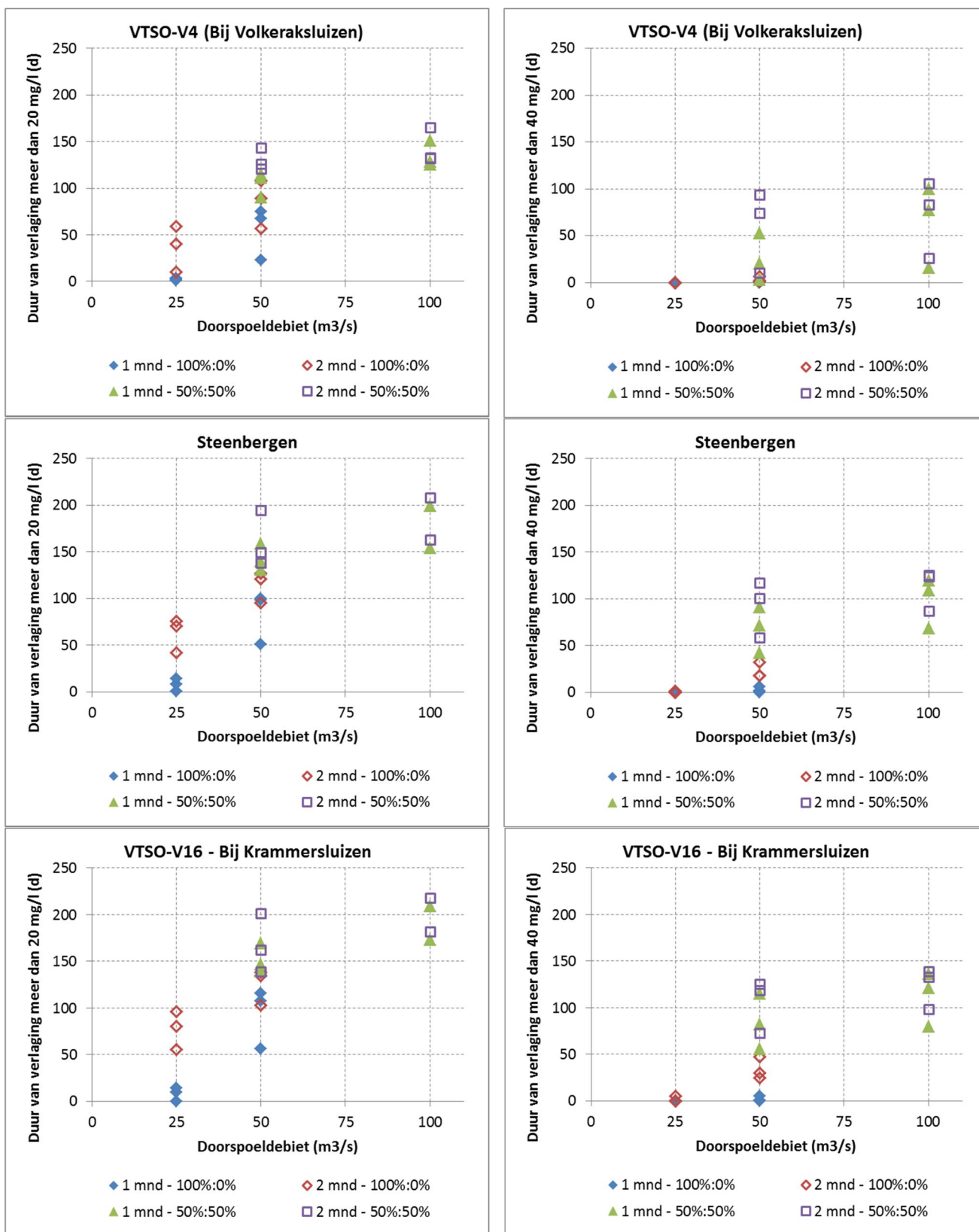
De oorzaak hiervan is dat het doorspoeldebiet de zoutlekkage door de Krammersluizen tegengaat. Zout dat door de Krammersluizen in het Volkerak-Zoommeer terechtkomt, wordt met het doorspoeldebiet weer terug getransporteerd naar de Oosterschelde en krijgt dus niet de gelegenheid zich verder in het Volkerak-Zoommeer te verspreiden. De bestrijding van zoutlekkage bij de Krammersluizen draagt dus significant bij aan de effectiviteit van de winterdoorspoeling.

Bij 50 m<sup>3</sup>/s doorspoeldebiet wordt de chlorideconcentratie in het Krammer-Volkerak zo'n 100 tot 200 dagen met meer dan 20 mg/l verlaagd, waarvan 0 tot 125 dagen met meer dan 40 mg/l. De eerste uitzondering is het oostelijk deel dichtbij de Volkeraksluizen, waar de chlorideconcentratie al relatief laag is in het Volkerak-Zoommeer. Ook in het jaar 2001 zou met 1 maand 50 m<sup>3</sup>/s doorspoelen en afvoer via Bath een minder lange duur van circa 50 dagen bereikt worden. De tweede uitzondering is 1 maand doorspoelen met 50 m<sup>3</sup>/s en afvoer via de Bathse spuisluis, wanneer geen verlaging van meer dan 40 mg/l gerealiseerd wordt.

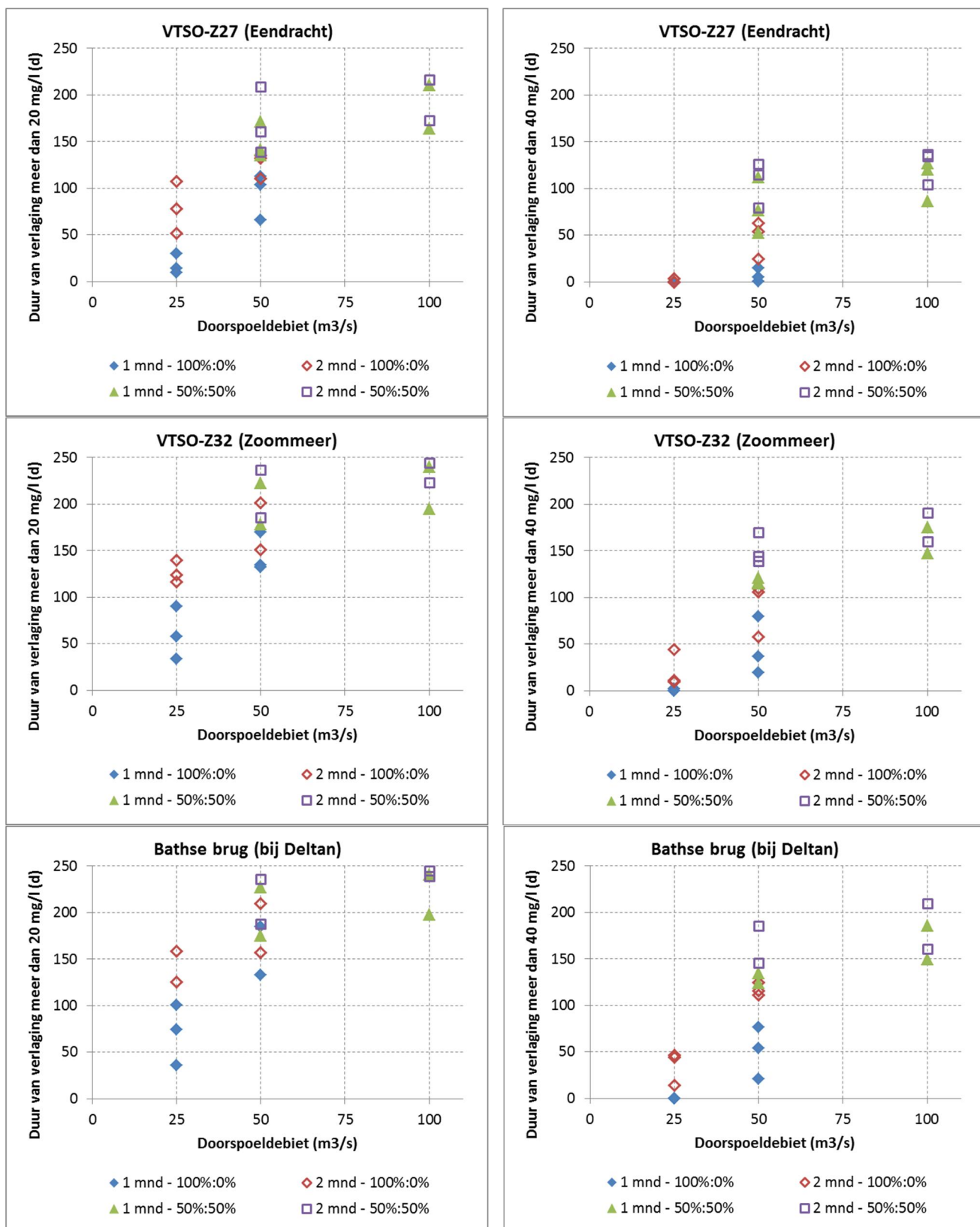
In het Zoommeer en bij de Bathse brug varieert de duur van 20 mg/l verlaging van 140 tot 240 dagen, waarvan 50 tot 170 dagen met meer dan 40 mg/l verlaging. Het verschil in effectiviteit tussen Krammer-Volkerak en Zoommeer wordt dus kleiner naarmate het doorspoeldebiet toeneemt.

Een verdere verhoging van het doorspoeldebiet naar 100 m<sup>3</sup>/s levert nog maar een relatief beperkte verlenging van de duur van verlaging op. Let op dat voor 100 m<sup>3</sup>/s doorspoeling alleen met een 50%;50% debietverdeling is gerekend. In Figuur 2.8 moeten dus alleen de groene driehoeken en de open paarse vierkanten vergeleken worden.

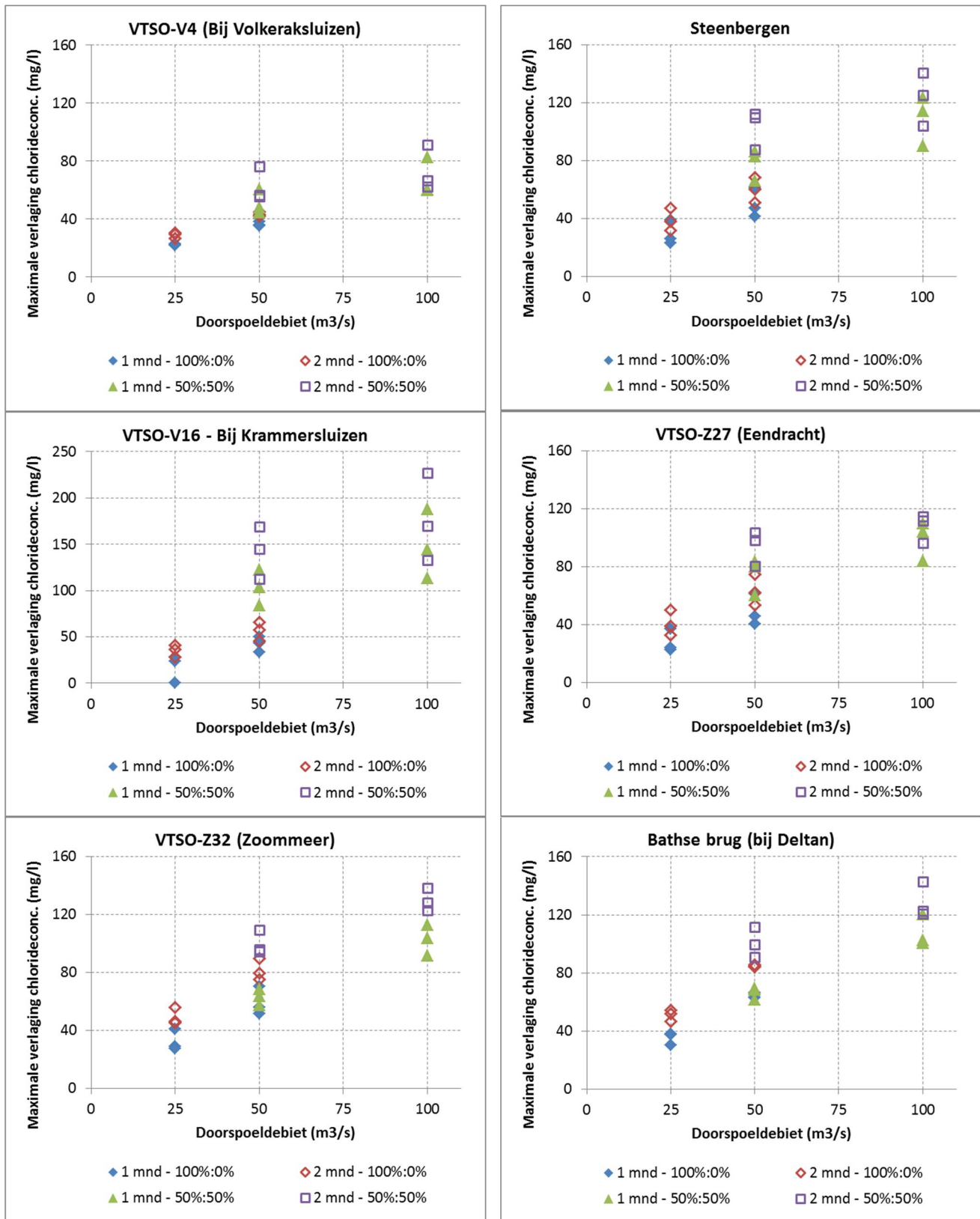
Een achterkant-van-de-envelopberekening laat zien dat een hoger doorspoeldebiet niet meer effect heeft, omdat de doorspoelperiode in de range van de verblijftijd uitkomt. Met een wateroppervlakte van circa 6.500 ha en een gemiddelde diepte van 5 m is het watervolume van het Volkerak-Zoommeer ongeveer 325 miljoen m<sup>3</sup>. Onder aanname van een perfecte doorspoeling ('propstroming' waardoor het water 100% ververst wordt en geen menging optreedt) en onder verwaarlozing van de overige debieten volgt een verblijftijd van 75 dagen voor een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s en van 38 dagen voor een doorspoeldebiet van 100 m<sup>3</sup>/s.







Figuur 2.8 Duur (in dagen) van verlaging van meer dan 20 mg/l (links) en meer dan 40 mg/l (rechts) ten opzichte van de referentiesituatie zonder winterdoorspoeling. NB1: De jaren 2000, 2001 en 2007 zijn niet te onderscheiden. NB2: De simulatie voor 2001 loopt tot 30 juni, ofwel 139 dagen na 15 maart. Als de duur van verlaging langer is dan 139 dagen, is het punt niet in de grafiek opgenomen (zie ook tabellen in bijlage B).



Figuur 2.9 Maximale verlagng van de chlorideconcentratie (in mg/l) ten opzichte van de referentiesituatie zonder winterdoorspoeling. Let op afwijkende verticale schaal van VTSO-V16 (Bij Krammersluizen).

## 2.5 Conclusie 3D modelberekeningen

Op basis van de modelresultaten is een aantal conclusies te trekken:

Door winterdoorspoeling kan de chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer tijdelijk verlaagd worden. Nadat de winterdoorspoeling is gestopt (op 15 maart), duurt het enige tijd voordat de chlorideconcentratie niet meer substantieel afwijkt van de referentiesituatie waarin geen winterdoorspoeling heeft plaatsgevonden. Deze duur van verlaging van de chlorideconcentratie wordt in dit rapport als maat voor de effectiviteit genomen.

De duur van verlaging is het laagst dicht bij de Volkeraksluizen en het hoogst bij de Bathse spuisluis. De oorzaak hiervan is de horizontale gradiënt in de chlorideconcentratie die in (de oppervlaktelaag van) het Volkerak-Zoommeer aanwezig is: de laagste chlorideconcentratie komt voor bij de Volkeraksluizen, omdat daar de invloed van het rivierwater uit het Hollandsch Diep met een relatief lage chlorideconcentratie van circa 100 mg/l het grootst is. De hoogste chlorideconcentratie komt voor bij de Bathse spuisluis. Omdat verlaging van de chlorideconcentratie een effect van verdunning met rivierwater is, is een absolute verlaging van bijvoorbeeld 20 mg/l makkelijker te bereiken als de beginconcentratie 400 mg/l is dan als de beginconcentratie 200 mg/l is. In het eerste geval is 7% verdunning met rivierwater nodig ( $7\% \times 100 \text{ mg/l} + 93\% \times 400 \text{ mg/l} = 100\% \times 380 \text{ mg/l}$ ); In het tweede geval 20% ( $20\% \times 100 \text{ mg/l} + 80\% \times 200 \text{ mg/l} = 100\% \times 180 \text{ mg/l}$ ).

De effectiviteit van de winterdoorspoeling is met modelberekeningen onderzocht voor drie factoren: grootte van het doorspoeldebiet, tijdsduur van het doorspoeldebiet en debietverdeling van de afvoer over Bathse spuisluis en Krammersluizen.

De effectiviteit neemt toe als het doorspoeldebiet toeneemt. Een doorspoeldebiet van 25 m<sup>3</sup>/s is beperkt effectief. Voor Bathse brug – als locatie waarop de chlorideconcentratie bepalend is voor het waterbeheer – wordt bij 2 maanden doorspoeling de chlorideconcentratie 15-45 dagen met meer dan 40 mg/l verlaagd (125-160 dagen met meer dan 20 mg/l). Een kortere doorspoelperiode van 1 maand verlaagt de effectiviteit substantieel. Een verlaging van 40 mg/l wordt niet meer gerealiseerd, terwijl een verlaging van meer dan 20 mg/l gereduceerd wordt tot 40-100 dagen.

Als een 50%:50% debietverdeling over Bathse spuisluis en Krammersluizen wordt gehanteerd, levert een verdere toename van het doorspoeldebiet tot 100 m<sup>3</sup>/s bij Bathse brug een relatief beperkte toename van ongeveer 30 dagen van de effectiviteit op. De 40 mg/l verlaging duurt 150-210 dagen bij 100 m<sup>3</sup>/s en 125-185 dagen bij 50 m<sup>3</sup>/s. De volledige afvoer van 100 m<sup>3</sup>/s via de Bathse spuisluis is niet berekend. Verwacht wordt dat de effectiviteitstoename van 50 m<sup>3</sup>/s naar 100 m<sup>3</sup>/s in dat geval groter is, zeker bij een kortere doorspoelperiode.

Bij een gelijkblijvend doorspoeldebiet is de debietverdeling een effectievere factor dan de tijdsduur van het doorspoeldebiet. Als water via de Krammersluizen en de Bathse spuisluis wordt afgevoerd, is de effectiviteit van winterdoorspoeling groter dan bij afvoer via alleen de Bathse spuisluis. De oorzaak hiervan is dat zout dat door de Krammersluizen in het Volkerak-Zoommeer terechtkomt, met het doorspoeldebiet weer wordt terug getransporteerd naar de Oosterschelde. Het krijgt niet de gelegenheid zich verder in het Volkerak-Zoommeer te verspreiden. Beperking van de zoutlekage via de Krammersluizen – door daar water af te voeren – tijdens de winterdoorspoeling is dus effectiever dan langer doorspoelen.



### 3 Overige vragen

#### 3.1 Beknopte data-analyse reactie chlorideconcentratie op doorspoeling

De waterbalans van het Volkerak-Zoommeer wordt bepaald door instroming via de Volkeraksluizen, afvoer van de Dintel en de Vliet, polderlozingen en -inlaten en neerslag en door uitstroming via de Bathse spuisluis, de Krammersluizen, de Kreekraksluizen, de Bergse diepsluis en verdamping. Van de instroming zijn de Volkeraksluizen en de afvoer van de Dintel en in mindere mate de Vliet de grootste balanstermen; van de uitstroming zijn dat de Bathse spuisluis en de Krammersluizen. De ongeveer 10 m<sup>3</sup>/s uitstroming van de Krammersluizen bestaat uit het debiet van het huidige zoet-zoutscheidingsstelsel die (gemiddeld) weinig variëren over de tijd. De Bathse spuisluis is dus de regelkraan voor de uitstroming. Van al deze locaties zijn dagdebieten beschikbaar.

Op vier locaties wordt de chlorideconcentratie continue gemeten op 1 meter onder het wateroppervlak en op een dieper punt waarvan de diepte verschilt per locatie (Figuur 2.2):

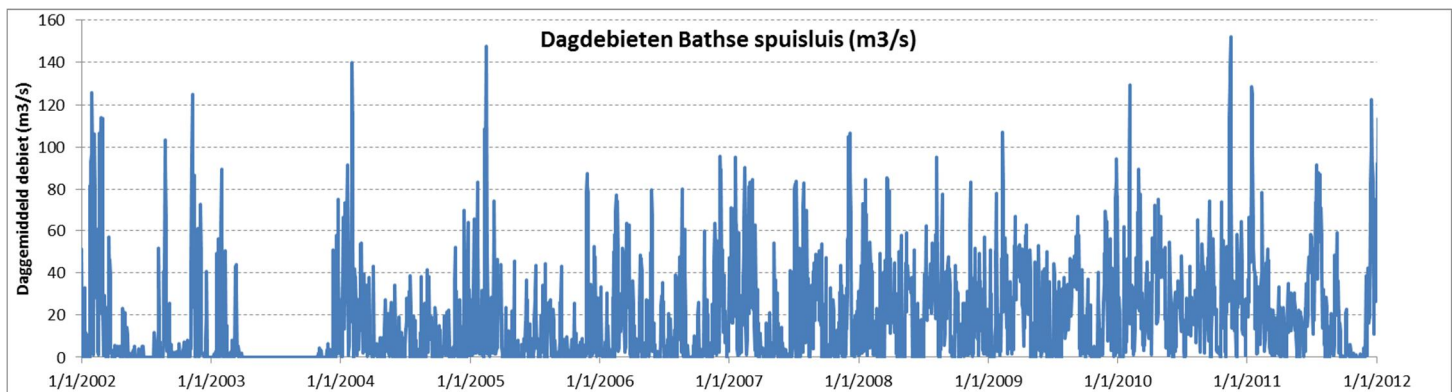
- A. Galathea Volkerak
- B. Vossemeer
- C. Bathse spuikanaal inloop
- D. Bathsebrug spuikanaal (bij Deltan)

De vraag naar effectiviteit van winterdoorspoeling riep de vraag op of uit de gegevens een relatie af te leiden is tussen debiet en chlorideconcentratie. Het waterbeheer van het Volkerak-Zoommeer wordt immers gekenmerkt door netto doorstroming vanaf het noordoosten door aanvoer via Volkeraksluizen, Dintel en Vliet en afvoer via de Bathse spuisluis in het zuiden en in mindere mate via de Krammersluizen in het westen. De doorstroming is niet constant omdat instroming van dag tot dag verschilt. Bovendien wordt in het zomerhalfjaar actief doorgespoeld als de chlorideconcentratie de 450 mg/l norm nadert.

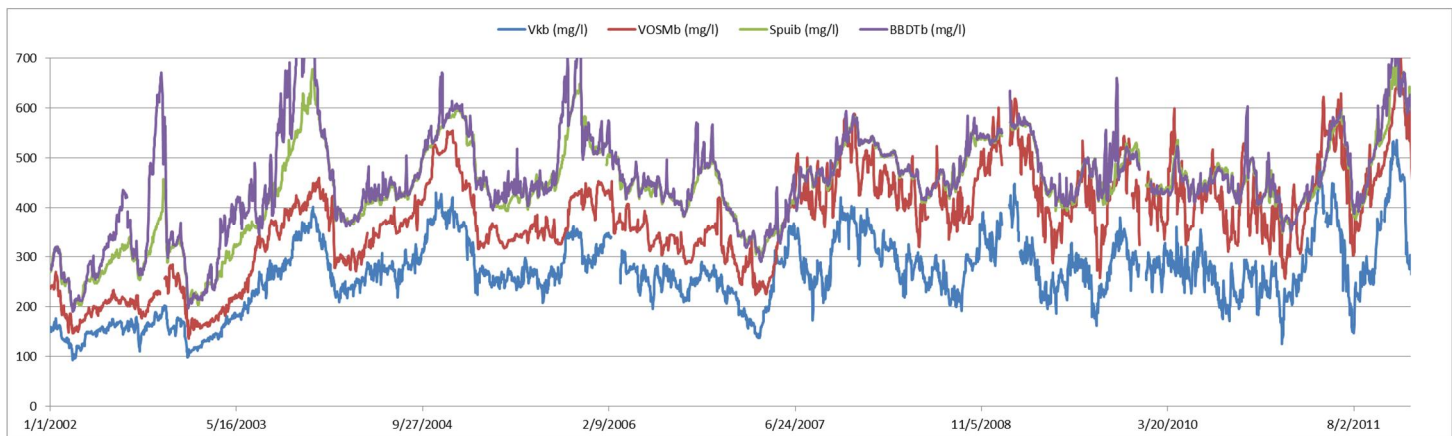
In een beknopte data-analyse is gezocht naar de genoemde relatie. De data-analyse is uitgevoerd op de periode 2002-2012. De dagdebieten van de Bathse spuisluis en de gemeten chlorideconcentraties bij het wateroppervlak op locatie Bathse brug (bij Deltan) zijn geanalyseerd. De debieten worden getoond in Figuur 3.1; De gemeten chlorideconcentratie op alle stations in Figuur 3.2. De dagdebieten van de Bathse spuisluis zijn als maatgevend voor de doorspoeling genomen. De locatie Bathse brug wordt gebruikt als chloridemeetpunt voor waterbeheer. Bovendien reageert deze locatie het meest op doorspoeling, waardoor de kans op het vinden van een statistisch verband het grootst is (zie ook Hoofdstuk 3).

De gemeten chlorideconcentraties bij het wateroppervlak zijn als maatgevend voor de zoutbalans genomen. De gemeten chlorideconcentraties op een dieper punt in de waterkolom zijn niet geanalyseerd, omdat daarin nog effecten van stratificatie optreden die voor de analyse niet relevant zijn.

De data-analyse is uitgevoerd op basis van de aanname dat bij een constante doorspoeling en een constante zoutbelasting een constante (want in evenwicht) chlorideconcentratie ontstaat. In werkelijkheid zal dit niet voorkomen, omdat de verblijftijd van het Volkerak-Zoommeer daarvoor te lang is. Daaruit volgt de chlorideconcentratie zich continue aanpast aan verandering in doorspoeling en zoutbelasting. Zoals in de inleiding aangegeven is de precieze zoutbelasting, laat staan de verandering in zoutbelasting, niet goed bekend. De zoutbelasting is daarom niet als (reken)variabele in deze data-analyse meegenomen en we nemen dus impliciet aan dat deze niet verandert.



Figuur 3.1 Daggemiddelde debieten van de Bathse spuisluis (m<sup>3</sup>/s). Bron: Hydro Meteo Centrum Zeeland

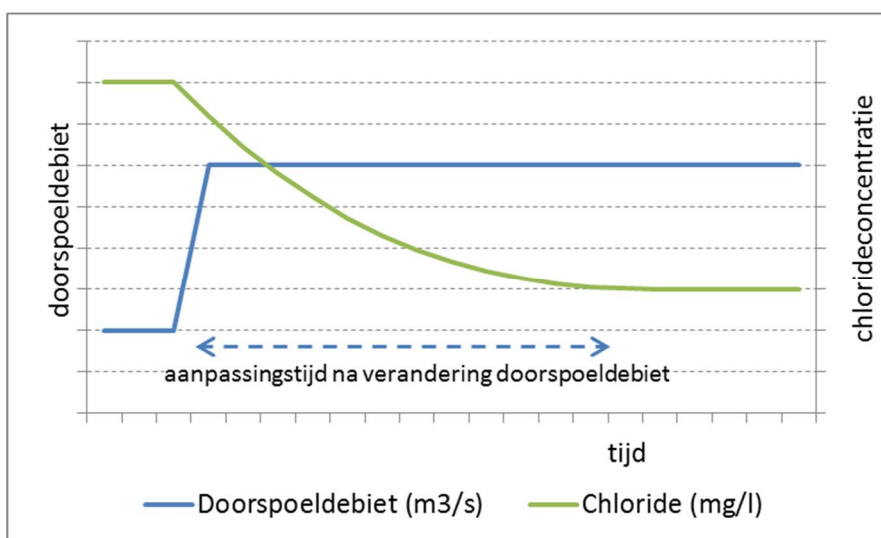


Figuur 3.2 Daggemiddelde chlorideconcentratie (in mg/l) op 1 m onder het wateroppervlak op vaste meetpunten in het Volkerak-Zoommeer – Vkb: Volkerak Galathea; VOSMb: Vossemeer; Spuib: Bathse spuikanaal inloop; BBDfb: Bathsebrug spuikanaal (Deltan).

Onder aanname van gelijkblijvende zoutbelasting (zoutlek Krammersluizen en zoute kwel) verandert de chlorideconcentratie als het doorspoeldebiet verandert. Figuur 3.3 toont het theoretische model. Hoewel het doorspoeldebiet van de ene op de andere dag kan veranderen, past de chlorideconcentratie zich door mengprocessen in het Volkerak-Zoommeer over langere tijd aan. De hypothese is dat er een relatie is tussen de mate van verandering van het doorspoeldebiet en de mate van verandering van de chlorideconcentratie. De tijdschaal waarover de verandering moet worden bekeken, is niet bekend. Vanuit de praktijk lijkt een periode van 1 week tot 2 weken nog een enigszins realistische periode voor aanname van relatief uniforme doorspoeldebieten.

De gemeten chlorideconcentratie bij Bathse brug wordt waarschijnlijk soms beïnvloed door zoutlekage vanuit de Westerschelde. Dat is nog zichtbaar bij Bathse brug, maar niet meer bij inloop spuikanaal (Deltares, 2013c). Dit effect is niet meegenomen in de data-analyse.





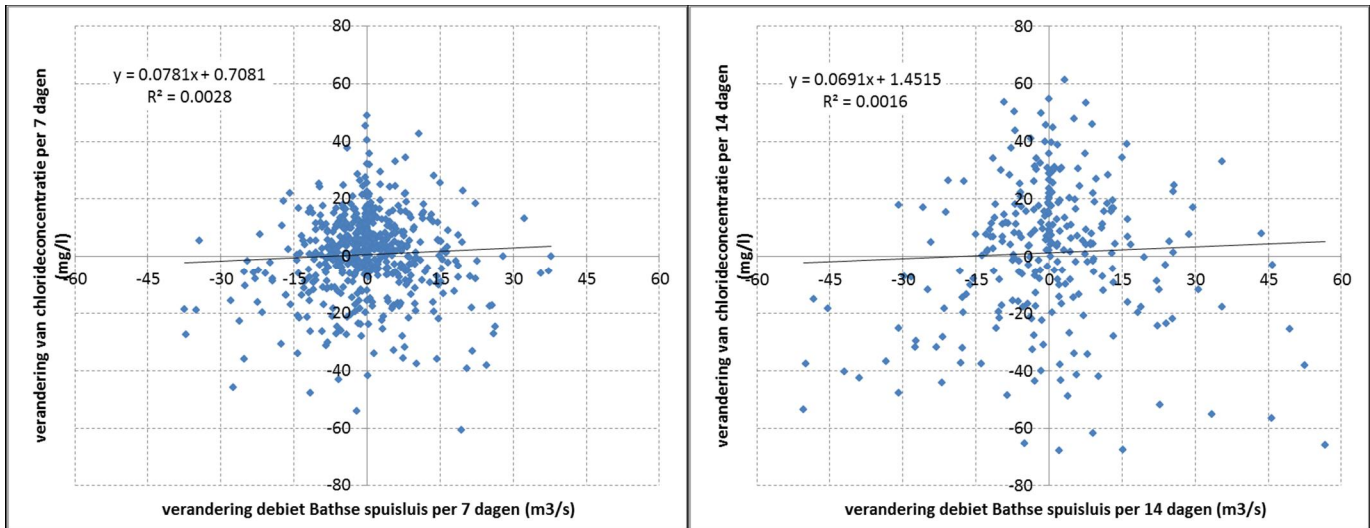
Figuur 3.3 Theoretisch voorbeeld van aanpassing van de chlorideconcentratie na instantane aanpassing van het doorspoeldebiet.

Uit de tijdseries voor chloride bij Bathse brug en debiet bij de Bathse spuisluis zijn eerst de gemiddelde chlorideconcentratie en het gemiddeld debiet over een periode van 7 respectievelijk 14 dagen bepaald. Vervolgens is de verandering in chlorideconcentratie en de verandering in debiet tussen twee opeenvolgende periodes bepaald. Tabel 3.1 illustreert deze berekening. Tenslotte zijn de verandering in debiet en in chloride tegen elkaar uitgezet.

Tabel 3.1 Voorbeeld voor berekening van daggemiddeld, naar 7-daags gemiddeld en verschil in 7-daags gemiddelde voor debiet en chlorideconcentratie.

Datum	Daggemiddeld Bathse spuisluis (m3/s)	Daggemiddeld Chloride Bathse brug (mg/l)	7-daags Gemiddeld debiet (m3/s)	7-daags Gemiddelde chloride-	verschil Debiet trend	verschil Chloride trend
01-01-02	51.4	279.3	7.8	279.6		
02-01-02	0.9	270.1				
03-01-02	-0.3	272.8				
04-01-02	0.3	279.2				
05-01-02	1.4	284.4				
06-01-02	0.3	285.6				
07-01-02	0.6	286.1				
08-01-02	8.8	296.2	7.8	293.8	0.0	14.2
09-01-02	0.8	303.0				
10-01-02	33.0	308.8				
11-01-02	0.0	309.1				
12-01-02	11.8	312.0				
13-01-02	0.5	313.5				
14-01-02	0.4	313.2				
15-01-02	11.0	312.7	4.7	311.9	-3.2	18.1
16-01-02	-0.5	314.8				
17-01-02	0.0	315.4				
18-01-02	0.0	311.9				
19-01-02	0.0	317.7				
20-01-02	0.0	320.4				
21-01-02	0.0	317.8				

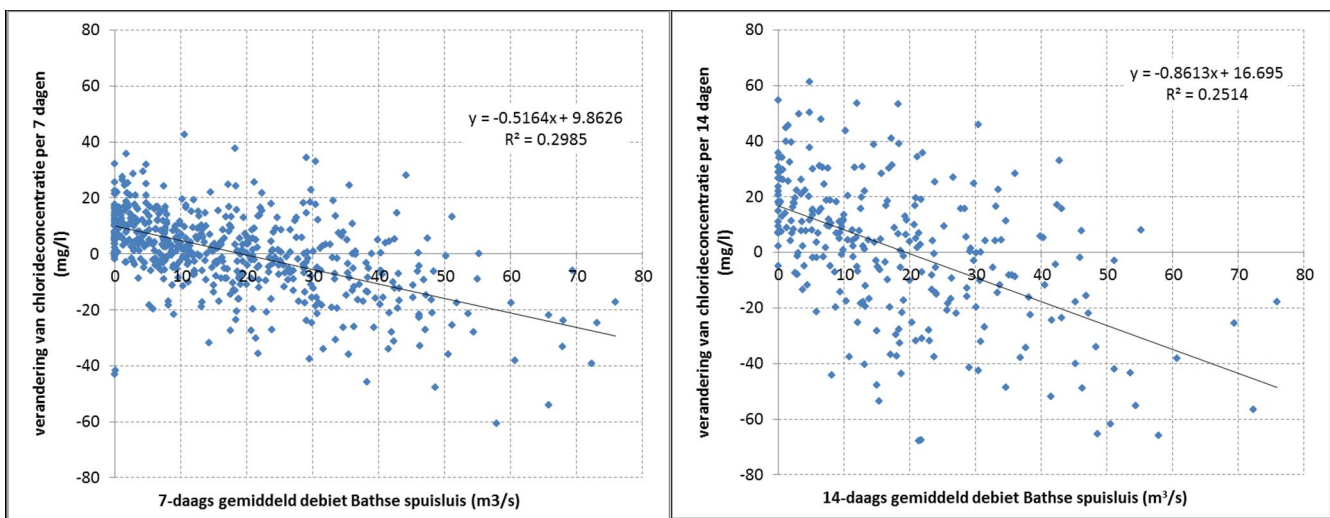
Figuur 3.4 laat zien dat er, uitgaande van deze aannames, geen relatie kan worden aangetoond tussen de verandering van debiet en de verandering van chlorideconcentratie. Blijkbaar doen de hypothetische aannames geen recht aan de complexiteit van het Volkerak-Zoommeer.



Figuur 3.4 Relatie tussen verandering in debiet Bathse spuisluis en verandering van chlorideconcentratie over een 7-daagse (links) en een 14-daagse (rechts) periode.

Er blijkt wel een zwakke relatie te zijn tussen het gemiddeld debiet bij de Bathse spuisluis en de verandering van de chlorideconcentratie (Figuur 3.5). Opvallend is dat de x-as gesneden wordt bij een debiet van circa 20 m<sup>3</sup>/s. Dit impliceert dat bij een doorspoeldebiet van gemiddeld 20 m<sup>3</sup>/s de chlorideconcentratie gelijk blijft. Qua ordegröte ligt 20 m<sup>3</sup>/s in de buurt van de gemiddelde afvoer door de Bathse spuisluis.

De hellingshoek van de lijn impliceert dat iedere 10 m<sup>3</sup>/s extra doorspoeling boven 20 m<sup>3</sup>/s de chlorideconcentratie met ongeveer 5 mg/l per 7 dagen of ongeveer 9 mg/l per 14 dagen verlaagd. Uit Figuur 3.5 is echter ook duidelijk dat de spreiding groot is en dat ieder situatie dus anders zal zijn.



Figuur 3.5 Relatie tussen gemiddeld debiet Bathse spuisluis en verandering van chlorideconcentratie over een 7-daagse (links) en een 14-daagse (rechts) periode.

### 3.2 Beknopte data-analyse microverontreinigingen bij hoge rivierafvoer

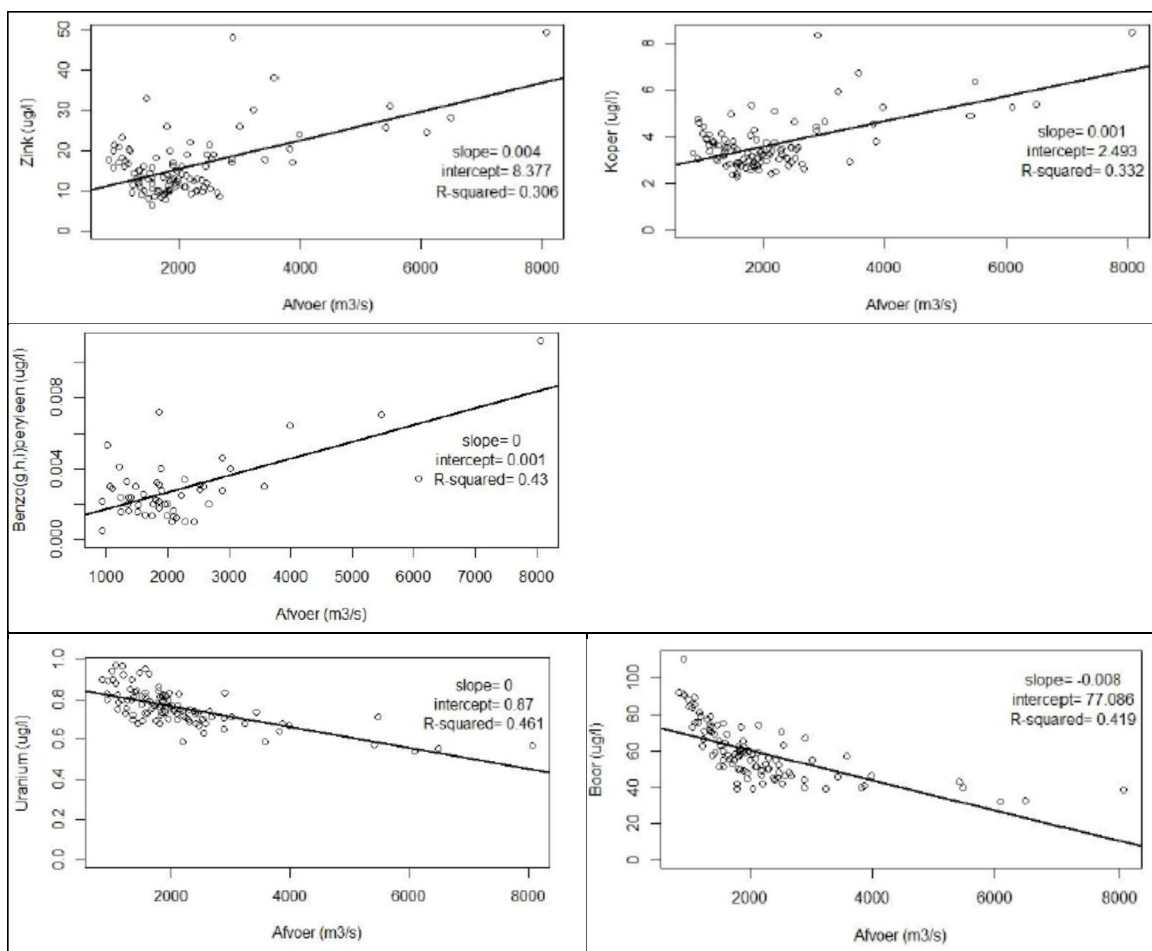
De vraagstelling voor deze data-analyse is of bij een Rijnafvoer bij Lobith van meer dan 3.500 m<sup>3</sup>/s rivierwater benut kan worden voor winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer. In het huidige Waterakkoord (Rijkswaterstaat Directie Zeeland, 2001) is dat niet toegestaan, vanuit de redenering dat de concentratie zwevend stof en de daaraan gebonden microverontreinigingen toeneemt bij hoge(re) rivierafvoer. Door bij afvoeren hoger dan 3.500 m<sup>3</sup>/s de inlaat te stoppen, wordt het risico van te hoge belasting met microverontreinigingen op het Volkerak-Zoommeer voorkomen. Waarop de grens van 3.500 m<sup>3</sup>/s is gebaseerd is niet achterhaald. Voor de beantwoording van deze vraag worden de dagafvoer van de Rijn bij Lobith en de concentraties van enkele microverontreinigingen geanalyseerd.

Een gerelateerde vraag is of winterdoorspoeling een negatief effect heeft op de concentratie van microverontreinigingen in het Volkerak-Zoommeer. Voor de beantwoording van deze vraag wordt de KRW-toetsing als kader gebruikt.

Bijlage A bevat een notitie waarin de vraagstelling en de beknopte data-analyse is uitgewerkt. Deze paragraaf omvat een samenvatting en de conclusie ten opzichte van de hoofdvraag.

Gekozen is om in deze verkenning alleen die microverontreinigingen te analyseren waarvan het jaargemiddelde in de Rijn de KRW norm overschrijdt. Er treedt in Lobith (en Eijsden) overschrijding van de KRW norm op voor (Co) kobalt; (Cu) koper; (Zn) zink en (som PAK) som benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. Twee andere stoffen (B) boor en (U) uranium zijn gekozen op basis van de beschikbaarheid van een frequente meetreeks. Voor de periode 2009-2012 zijn de gemeten rivierafvoeren in Lobith gecorreleerd aan de concentraties van kobalt, boor, uranium, koper, zink en de som PAK. In deze periode werd ruim tien keer een rivierafvoer hoger dan 4.000 m<sup>3</sup>/s vastgesteld.

Figuur 3.6 toont de relatie tussen rivierafvoer en concentratie. Voor Zink, Koper en som PAK neemt de concentratie toe met de Rijnafvoer; voor Uranium en Boor neemt de concentratie af. Figuur 3.7 toont de gemiddelde concentratie voor Lobith en Eijsden wanneer onderscheid gemaakt wordt tussen hoge en lage rivierafvoer (3.000 m<sup>3</sup>/s voor Rijn en 500 m<sup>3</sup>/s voor Eijsden).



Figuur 3.6 Relatie tussen Rijnafvoer bij Lobith (dagdebiet in m<sup>3</sup>/s) en concentratie van microverontreiniging (in µg/l). Van links naar rechts en van boven naar beneden: Zink, Koper, som PAK, Uranium en Boor. Van Kobalt zijn onvoldoende gegevens beschikbaar.

	Koper	Zink	sBghiPInP	Uranium	Boor
<b>Lobith</b> Concentratie (µg/L)/debiet					
<b>Lobith</b>	0,332 (2,493)	0,306 (8,377)	0,43 (0,001)	0,461 (0,87)	0,419 (77,09)
	Correlatie r <sup>2</sup> (intercept)				
<b>Eijsden</b> Concentratie (µg/L)/debiet					
<b>Eijsden</b>	0,329 (2,012)	0,265 (10,474)	0,385 (0,021)	0,401 (0,504)	0,396 (47,44)
	Correlatie r <sup>2</sup> (intercept)				

Figuur 3.7 Correlaties tussen microverontreiniging en debieten gemeten in compartiment water bij Lobith en Eijsden tijdens zeer hoge rivierafvoer in m<sup>3</sup>/s (Q) in de periode 2009-2012.

Op basis van deze relaties kan geconcludeerd worden dat voor sommige stoffen de rivierafvoer van belang kan zijn voor het wel of niet inlaten in het Volkerak-Zoommeer. Het gaat dan om stoffen waarvoor de concentratie toeneemt met de rivierafvoer (in deze voorbeelden Zink, Koper en Som PAK). Voor stoffen zoals Uranium en Boor waarbij de concentratie afneemt met de rivierafvoer, is verdere beschouwing in relatie tot de 3.500 m<sup>3</sup>/s grens voor Rijnaafvoer niet nodig.

Of er daadwerkelijk een inlaatstop nodig is, hangt af van het overschrijden van een concentratiegrens of norm die als schadelijk wordt beschouwd. Voor iedere stof zal die concentratiegrens bij een andere rivierafvoer bereikt worden. Het is ook mogelijk dat de concentratiegrens niet bereikt wordt, dat wil zeggen dat ondanks toename van de concentratie bij hogere rivierafvoer, de concentratie niet zoveel toeneemt dat de als schadelijk beschouwde grens wordt bereikt.

Voor deze toetsing wordt de KRW-toetsing gebruikt. In de huidige situatie voldoen de concentraties Kobalt, Koper en Som PAK in het Hollandsch Diep (Bovensluis) niet aan de goede chemische toestand. Zink, Uranium en Boor voldoen wel. In het Volkerak-Zoommeer voldoen Kobalt en Koper niet (locaties Steenberg en Oesterdam).

Er ontstaan nu vier potentiële situaties die ieder tot twee verschillende afwegingen leiden:

1. De stofconcentratie voldoet in het Hollandsch Diep en in het Volkerak-Zoommeer (in ons voorbeeld Zink).  
→ Bij welke rivierafvoer wordt de normconcentratie overschreden, zodat eventueel dan de inlaat stopgezet zou moeten worden?
2. De stofconcentratie voldoet wel in het Hollandsch Diep en niet in het Volkerak-Zoommeer (geen voorbeeld).  
→ Bij welke rivierafvoer wordt de concentratie in het Hollandsch Diep hoger dan de concentratie in het Volkerak-Zoommeer, zodat eventueel dan de inlaat stopgezet zou moeten worden?
3. De stofconcentratie voldoet niet in het Hollandsch Diep en wel in het Volkerak-Zoommeer (in ons voorbeeld Som PAK).  
→ Waarom wordt inlaat toegestaan? Is er een normconcentratie voor inlaat als dat niet de KRW-norm is?
4. De stofconcentratie voldoet niet in het Hollandsch Diep en niet in het Volkerak-Zoommeer (in ons voorbeeld Kobalt en Koper).  
→ Waarom wordt inlaat nu toegestaan? Is er een normconcentratie voor inlaat als dat niet de KRW-norm is?

In het kader van dit rapport heeft geen verdere uitwerking van deze vragen plaatsgevonden. De oorspronkelijke vraagstelling of rivierwater bij een Rijnaafvoer van meer dan 3.500 m<sup>3</sup>/s voor winterdoorspoeling benut kan worden, blijkt te leiden tot een vrij complexe afweging. Hoewel een toename van de concentratie van sommige stoffen bij een toenemende rivierafvoer is getoond, heeft het onderzoek in het kader van dit rapport geen onderbouwing voor een grenswaarde van 3.500 m<sup>3</sup>/s aangetoond. Evenmin is er onderbouwing op basis van meetgegevens voor een hogere of lagere grenswaarde.

In overleg met Rijkswaterstaat WV (contactpersoon Bert Bellert) is het volgende advies opgesteld. Vanuit de Memo in bijlage A kan worden geconcludeerd:

1. dat er ook risico's zijn op verhoogde concentraties onder de grens van 3.500 m<sup>3</sup>/s.
2. De risico's voor de verhoogde concentraties gelden vooral voor de meer hydrofobe stoffen zoals Pak's maar ook PCB's en de meer opgeloste stoffen als zink en koper.

3. Toepassing van winterdoorspoeling kan voor sommige stoffen leiden tot verhoogde concentraties in Volkerak-Zoommeer omdat de concentratie in het Hollandsch Diep hoger is dan in het Volkerak-Zoommeer.
4. Toepassing van winterdoorspoeling gaat voor Volkerak-Zoommeer inhouden dat voor sommige stoffen de concentraties (tijdelijk) hoger worden dan als er geen winterdoorspoeling zou zijn. Een dergelijke verhoging treedt op ongeacht de Rijnafvoer, maar neemt voor sommige stoffen wel toe bij hogere Rijnafvoer.
5. Of een verhoging ook daadwerkelijk tot gevolg heeft dat de KRW-doelen (chemische toestand) verslechteren is op basis van de uitgevoerde data-analyse nog onbekend.

De beheerder heeft het initiatief genomen om de kansen en risico's van winterdoorspoeling te verkennen. Voor een juiste en goede afweging van deze kansen en risico's voor het waterbeheer en gebruik van het Volkerak-Zoommeer kan op basis van de huidige kennis, zoals verwoord in de Memo in bijlage A, nog geen definitieve beoordeling gemaakt worden. Ook is de ontwikkeling van het kader waarin de beoordeling en toetsing voor de KRW vanaf 2018 zal worden uitgevoerd, nog niet meegenomen. Verder ontbreekt nog inzicht over de lange termijn risico's van de mogelijke verhoging van gehalten verontreiniging in zwevend stof en het sediment van het Volkerak-Zoommeer.

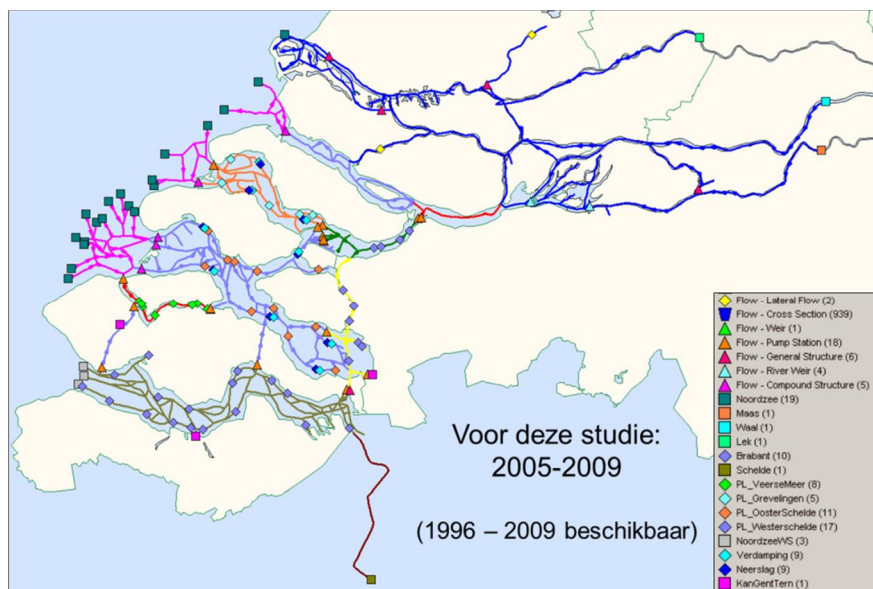
De volgende aanbevelingen voor een verder traject moeten de beheerder kennis en handvatten geven om de kansen en risico's van winterdoorspoeling in te schatten en af te wegen.

- A. De huidige situatie op basis van KRW-toetsing met betrekking tot stoffen verder te onderzoeken, waaronder de stoffen die niet voldoen aan de norm in het Volkerak-Zoommeer en/of Hollandsch Diep (met als uitgangspunt stoffen in zwevend stof en in water). Hieronder vallen de metalen Zink, Koper, PCB's en PAK's en TBT.
- B. Het KRW toetsingskader gaan toepassen voor het initiatief tot winterdoorspoeling. Hierin toetsen of verhoogde concentraties ertoe zouden kunnen leiden dat ecologische en chemische toestand verslechteren en/of doelen niet meer te bereiken zijn, zodat extra maatregelen genomen moeten worden om doelen te bereiken. Een mogelijke maatregel is het (opnieuw) instellen van een grenswaarde voor doorspoeling met betrekking tot de Rijnafvoer.
- C. De ontwikkelingen voor de KRW beoordeling en toetsing (nieuwe toetsingskader vanaf 2018) meenemen en zo mogelijk vooraf in te schatten in de doorwerking binnen het KRW toetsingskader.
- D. Uitvoering van extra onderzoeksmetingen voor het beter vaststellen van onder andere de relatie tussen verhoogde concentraties van stoffen en verhoogde rivierafvoer in de winter naar het Volkerak-Zoommeer en verhoogd transport/sedimentatie van zwevende stof naar en door het Volkerak-Zoommeer voor de tussentijd (2014-2018) om de risico's beter in te schatten bij toepassing van nieuwe normen en nieuwe stoffen.

*(Einde advies in overleg met Rijkswaterstaat WVL).*

### 3.3 Effect van winterdoorspoeling op waterkwaliteit in Volkerak-Zoommeer, Oosterschelde en Westerschelde

#### 3.3.1 Gebruikte model en definitie scenario's



In deze studie is gebruikt gemaakt van het 1D SOBEK Zuidwestelijke Delta model dat in Deltares (2013a) is toegepast. Recentere verbeteringen zoals beschreven in Deltares (2013b) waren ten tijde van deze berekeningen nog niet beschikbaar. Hiervoor relevant is dat voor chlorofyl-a in het Volkerak-Zoommeer inmiddels verbeteringen zijn aangebracht.

Met het 1D model zijn twee (van de acht) alternatieven doorgerekend (Tabel 3.2). Gekozen is voor de alternatieven met een 50%:50% debietverdeling over de Bathse spuisluis en de Krammersluizen, omdat dan de effecten op Oosterschelde en Westerschelde onderzocht kunnen worden. Door het 50 m<sup>3</sup>/s doorspoeldebiet en het 100 m<sup>3</sup>/s doorspoeldebiet te simuleren kan de variabiliteit van het effect ingeschat worden.

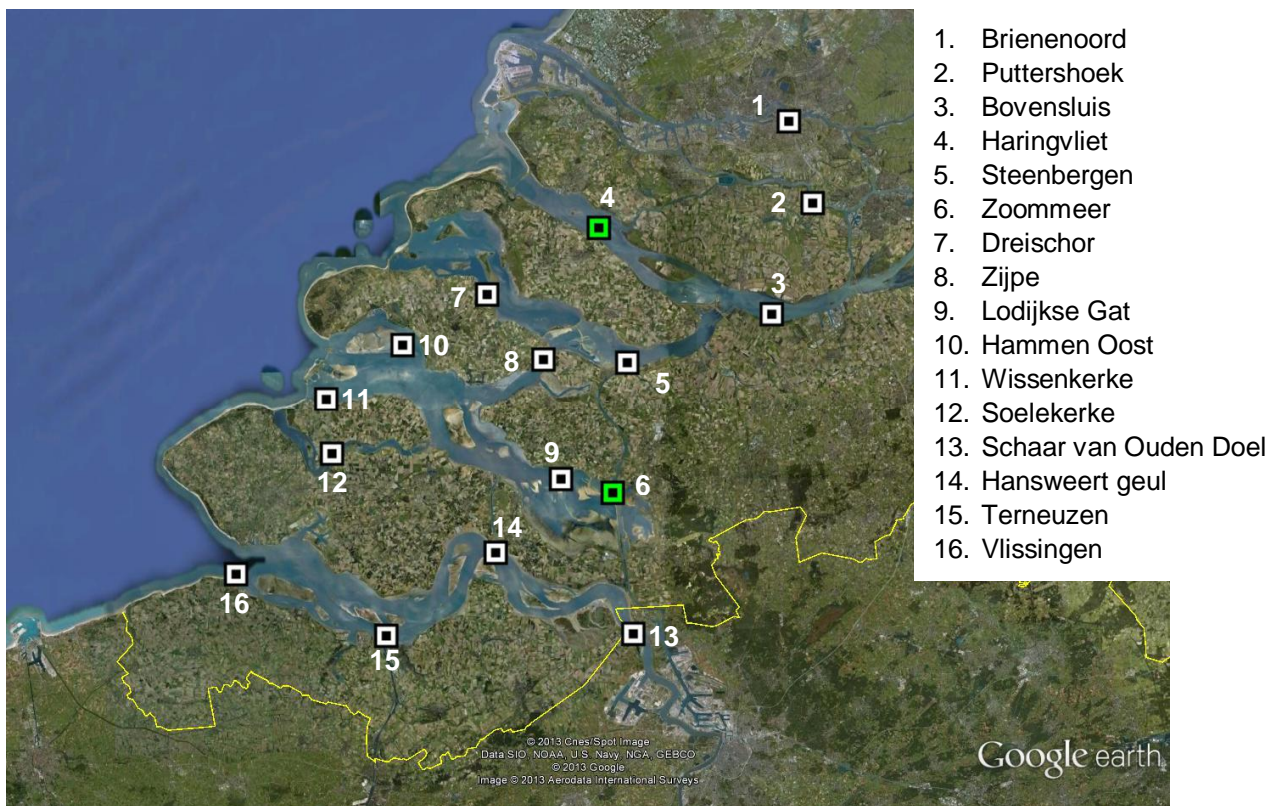
Tabel 3.2 Definitie van alternatieven (voor 1D model).

		Doorspoeldebiet (m <sup>3</sup> /s)			Doorspoelperiode (maand)		Debietverdeling Bathse spuisluis : Krammersluizen	
		25	50	100	1 mnd	2 mnd	100%:0%	50%:50%
5	Middel_lang_mix		x			x		x
6	Hoog_lang_mix			x		x		x

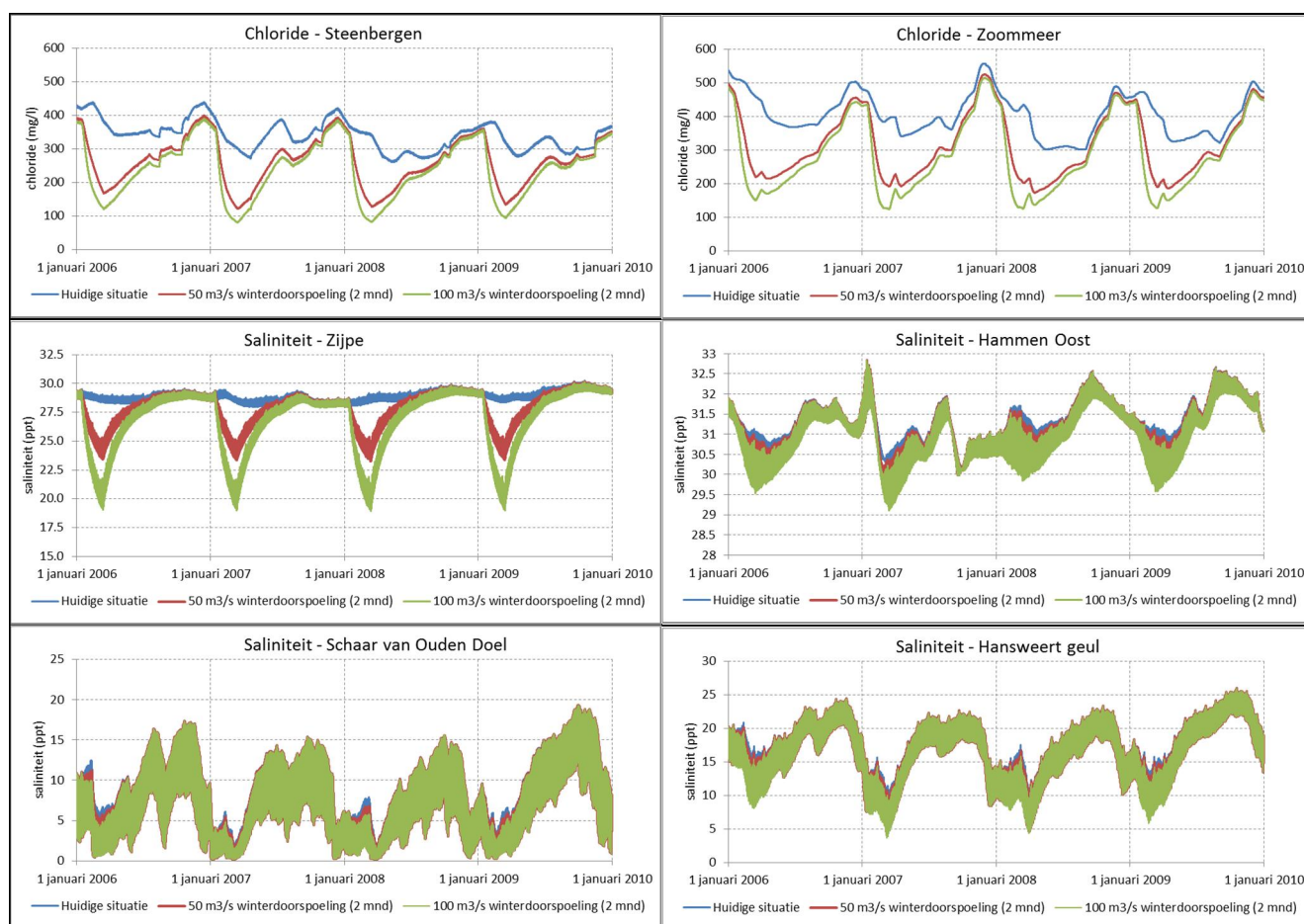
#### 3.3.2 Modelresultaten

Modelresultaten worden gepresenteerd als tijdseries op locaties Steenberg en Zoommeer voor het Volkerak-Zoommeer, Zijpe en Hammen Oost voor de Oosterschelde, en Schaar van Ouden Doel en Hansweert geul voor de Westerschelde (zie Figuur 3.8 voor locaties). Tijdseries van de chlorideconcentratie (Figuur 3.9), de totaal-stikstofconcentratie (Figuur 3.12) en de chlorofyl-a concentratie (Figuur 3.13) worden gepresenteerd.





Figuur 3.8 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.

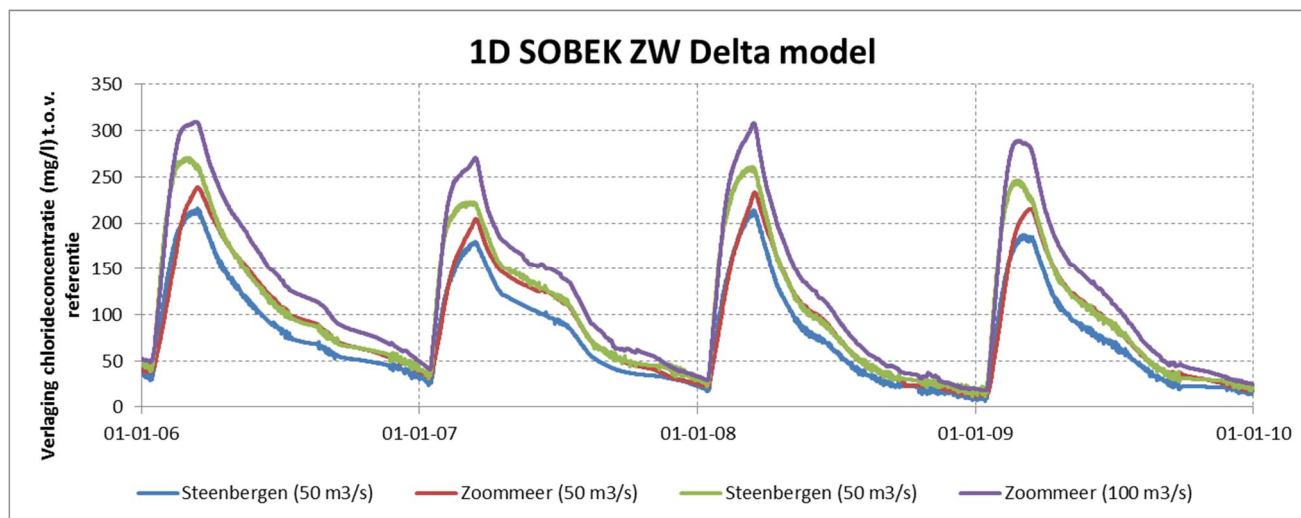


Figuur 3.9 Berekende chlorideconcentratie (in mg/l) voor Steenberg en Zoommeer (Volkerak-Zoommeer) en berekende saliniteit (in ppt) voor Zijpe en Hammen Oost (Oosterschelde) en voor Schaar van Ouden Doel en Hansweert geul (Westerschelde).

De met het 1D model berekende chlorideconcentratie toont in het Volkerak-Zoommeer hetzelfde patroon als in het 3D model. Echter, de duur van de verlaging en de maximale verlaging van de chlorideconcentratie zijn aanzienlijk groter dan in het 3D model. Het verschil tussen de referentie en de beide berekende scenario's wordt getoond in Figuur 3.10. De maximale verlaging in het 1D model varieert tussen circa 200 tot 300 mg/l, terwijl het 3D model voor 2007 een maximale verlaging van 113 en 141 mg/l bij Steenberg en van 96 en 123 mg/l in het Zoommeer berekent voor de vergelijkbare scenario's. De duur van 40 mg/l verlaging in het 1D model varieert van 140 tot 290 dagen, tegenover circa 120 voor Steenberg en circa 150 dagen voor Zoommeer in het 3D model voor 2007.

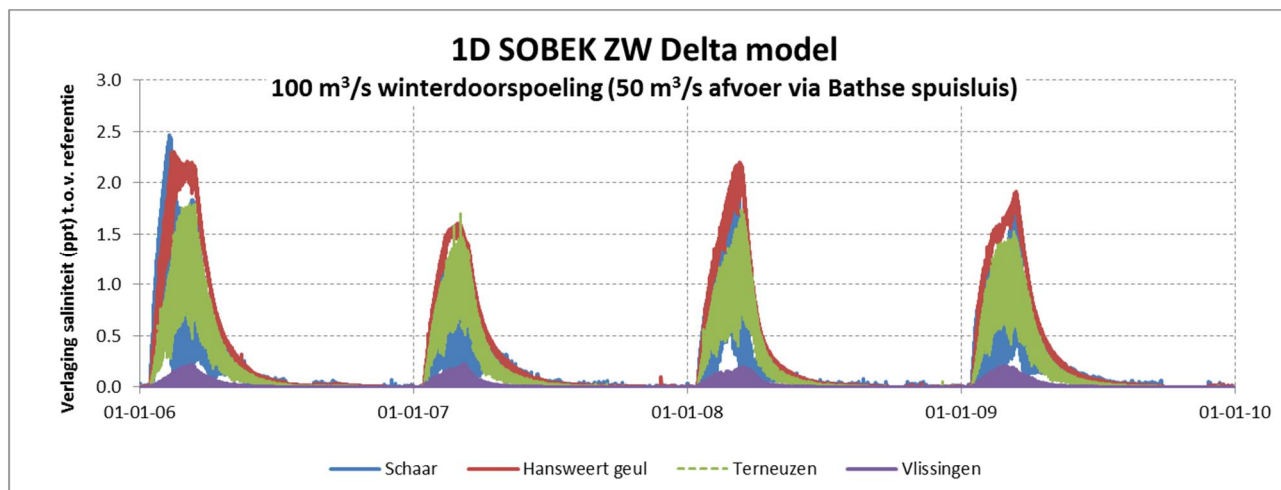
De oorzaak van afwijking tussen het 1D en het 3D model is niet in detail onderzocht. Er zijn twee aannemelijke verklaringen die beide te maken hebben met het ontbreken van de verticale dimensie in het 1D model. De zoutlekkage van de Krammersluizen is bij uitstek een 3D proces (zie ook bijlage C), waarbij de opslag van water met een hogere chlorideconcentratie in de diepere delen plaatsvindt. Het 1D model kan dit niet representeren. Ook de schematisatie van de sluis en de zoutlekkage worden in het 1D model door de modelmatige dimensies beperkt. Ten tweede wordt een chloridegradiënt in een 1D model sterk bepaald door de gekozen dispersiecoëfficiënt, die feitelijk een verzamelterm is voor processen die niet in het 1D model zitten. De afregeling geschiedt op basis van kalibratie aan metingen.

De coëfficiënt is daarmee bruikbaar als condities niet substantieel afwijken van de condities waarvoor metingen beschikbaar zijn. Een langdurige doorspoeling valt tenminste ten dele buiten de bandbreedte van normale condities. In ieder geval is de conclusie gerechtvaardigd dat, hoewel het model kwalitatief inzicht geeft in de veranderingen, voor kwantitatieve uitspraken een 3D model nodig is. Kwantitatieve uitspraken over de effectiviteit van winterdoorspoeling op basis van het 1D model geven een overschatting.



Figuur 3.10 Berekende verlaging van chlorideconcentratie (in mg/l) met het 1D SOBEK ZW Delta model voor locaties Steenberg en Zoommeer.

Winterdoorspoeling heeft volgens het 1D model een groot effect op de saliniteit op locatie Zijpe in de Oosterschelde. Deze locatie ligt dicht bij de Krammersluizen. De saliniteit wordt maximaal circa 4 ppt verlaagd bij 25 m<sup>3</sup>/s afvoer via de Krammersluizen en maximaal circa 8 ppt bij 50 m<sup>3</sup>/s afvoer via de Krammersluizen. Gezien de vergelijking tussen 1D en 3D hierboven, mogen deze getallen slechts als indicatief beschouwd worden. Het is niet ondenkbaar dat op het Zijpe enige stratificatie zal ontstaan. 3D Modelberekeningen van Bax (2003) laten dit zien, hoewel de doorgerekende omstandigheden niet vergelijkbaar zijn. Bovendien moet opgemerkt worden dat de studie met een oudere versie van TRIWAQ is gedaan waarin sindsdien softwarefouten zijn geconstateerd en verbeterd.



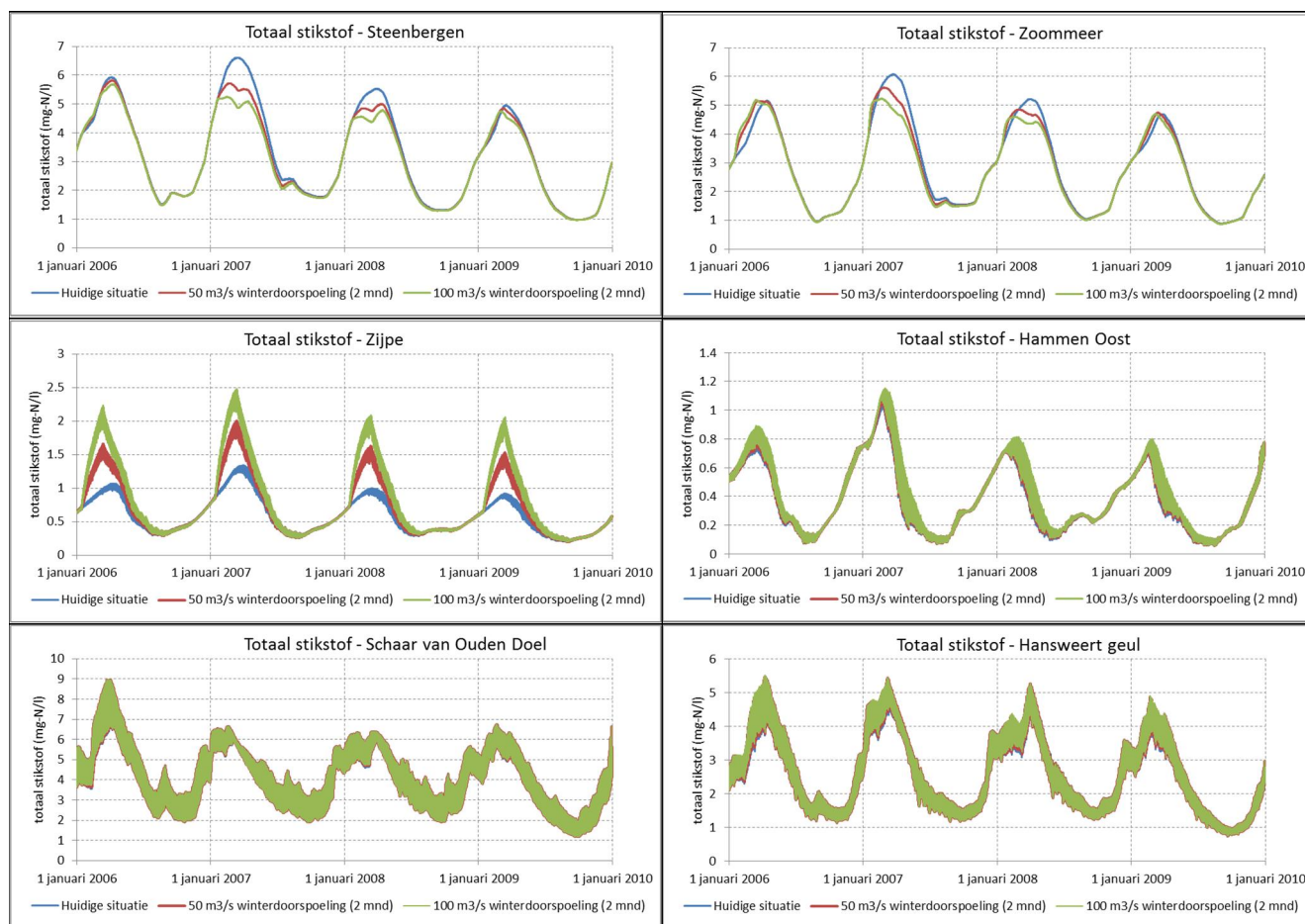
Figuur 3.11 Berekende verlaging van saliniteit (in ppt) met het 1D SOBEK ZW Delta model bij 100 m<sup>3</sup>/s winterdoorspoeling gedurende 2 maanden en 50 m<sup>3</sup>/s afvoer via de Bathse spuisluis.



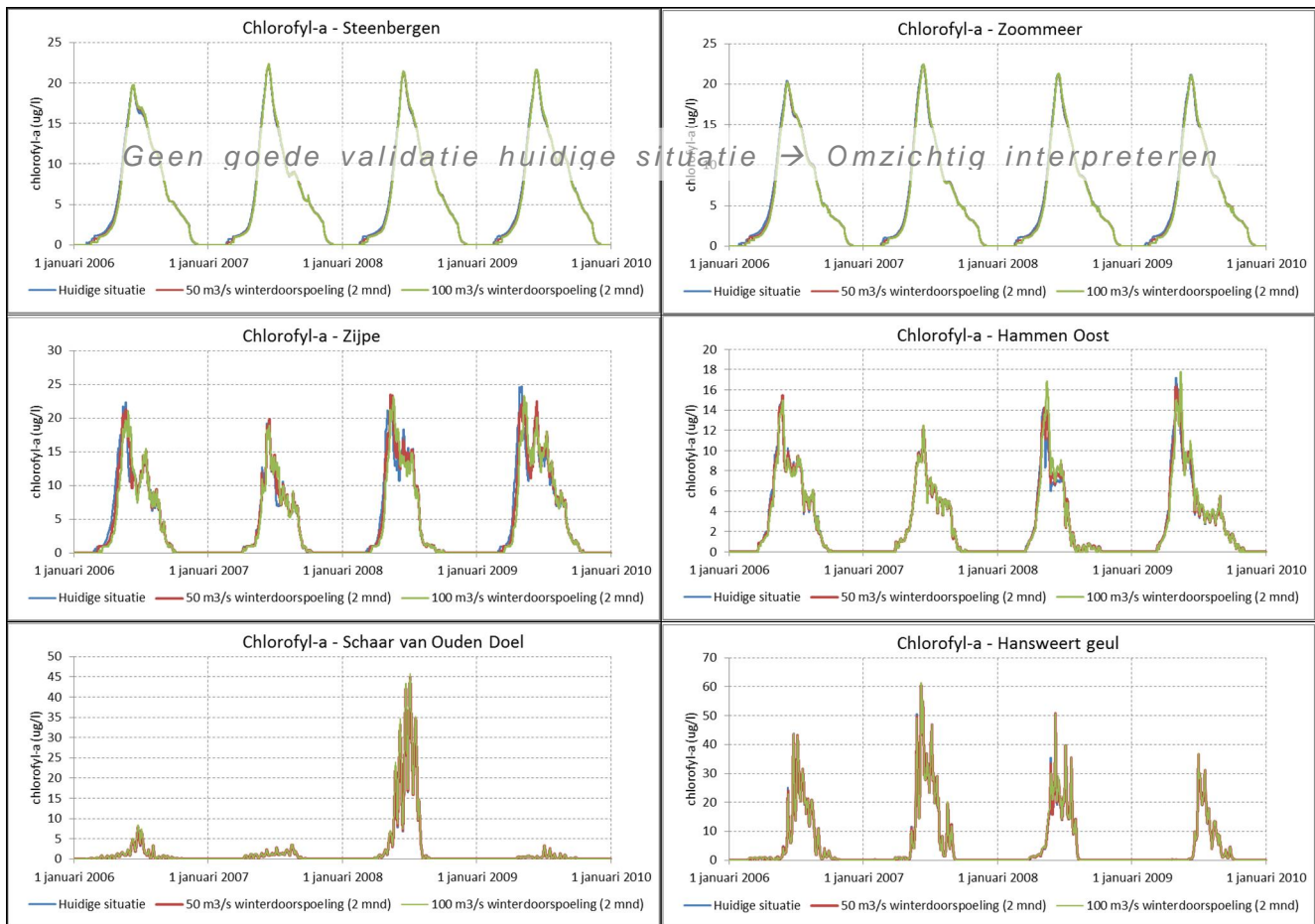
Winterdoorspoeling heeft volgens het 1D model een maximaal effect van 1,5 tot 2,5 ppt op de saliniteit in de Westerschelde (Figuur 3.11). De verlaging is orde-grootte consistent met eerdere 2D berekeningen (Rijkswaterstaat Zeeland, 2002), waarin het effect van een groter debiet (125 m<sup>3</sup>/s) over een langere periode (3 maanden, april-juni of mei-juli) is berekend. De voor deze situatie berekende maximale verlaging van chloride is 4 tot 5 g/l, ofwel circa 7 tot 9 ppt saliniteit.

Figuur 3.12 en Figuur 3.13 laten de 1D modelresultaten voor respectievelijk totaal-stikstof en chlorofyl-a zien. Totaal-stikstof volgt in essentie het patroon van chloride in het Volkerak-Zoommeer. Door de lagere totaal-stikstofconcentratie in het rivierwater van het Hollandsch Diep wordt de totaal-stikstofconcentratie door en tijdens de doorspoeling verlaagd. Omdat de grootste stikstofvracht door de Brabantse rivieren wordt geleverd, is de afname echter relatief beperkt.

Chlorofyl-a wordt door de winterdoorspoeling niet beïnvloed. De oorzaak hiervan is dat algengroei in het Volkerak-Zoommeer niet afhankelijk is van de chlorideconcentratie. In de Oosterschelde en de Westerschelde wordt de saliniteit niet of niet genoeg verlaagd om een effect te hebben op algengroei. Omdat het Volkerak-Zoommeer, de Westerschelde en de Oosterschelde niet stikstof gelimiteerd zijn, heeft een verlaging van de stikstofconcentratie ook geen effect.



Figuur 3.12 Berekende totaal-stikstofconcentratie (in mg-N/l) voor Steenberg en Zoommeer (Volkerak-Zoommeer), voor Zijpe en Hammen Oost (Oosterschelde) en voor Schaar van Ouden Doel en Hansweert geul (Westerschelde).



Figuur 3.13 Berekende chlorofyl-a concentratie (in µg/l) voor Steenberg en Zoommeer (Volkerak-Zoommeer), voor Zijpe en Hammen Oost (Oosterschelde) en voor Schaar van Ouden Doel en Hansweert geul (Westerschelde). De kalibratie van het 1D model voor chlorofyl-a in het Volkerak-Zoommeer is matig. Resultaten dienen uitsluitend ter illustratie.

### 3.3.3 Conclusie 1D modelberekeningen

Op basis van de 1D modelberekeningen zijn de volgende conclusies te trekken:

- De waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer wordt niet substantieel beïnvloed door de winterdoorspoeling. Ook de waterkwaliteit op de Oosterschelde en de Westerschelde worden niet substantieel beïnvloed, met als mogelijke uitzondering de verlaging van de saliniteit op het Zijpe met mogelijkheid van stratificatie. Bij een eventuele keuze voor doorspoeling via de Krammersluizen is een controle met een 3D model aan te bevelen.
- Het 1D model overschat zowel de maximale verlaging als de duur van de verlaging. Een 1D model is daarmee alleen geschikt voor kwalitatieve analyses. Voor kwantitatieve analyses moet een 3D model gebruikt worden.

## 4 Samenvattende conclusies

### 1. Hoofdvraag: Wat is de effectiviteit van winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer?

Zoals verwacht wordt de chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer door winterdoorspoeling verlaagd. In dit onderzoek wordt winterdoorspoeling bepaald door drie variabelen:

- het doorspoeldebiet (25 m<sup>3</sup>/s, 50 m<sup>3</sup>/s of 100 m<sup>3</sup>/s)
- de doorspoelperiode (1 maand of 2 maanden voorafgaand aan 15 maart)
- de debietverdeling over de Bathse spuisluis en de Krammersluizen (100% via de Bathse spuisluis of 50% via de Bathse spuisluis en 50% via de Krammersluizen<sup>1</sup>).

Kort samengevat bevelen wij het volgende aan op basis van de 3D modelberekeningen:

- A. Afvoer via de Krammersluizen blijkt de meest effectieve variabele, omdat daarmee de zoutbelasting wordt beperkt. Zout dat niet in het Volkerak-Zoommeer komt, hoeft ook niet meer doorgespoeld te worden. Inzetten op beperking van de zoutbelasting via een innovatief zoet-zoutscheidingssysteem is dan ook aan te bevelen.
- B. Zolang afvoer via de Krammersluizen nog niet mogelijk is, zal het winterdoorspoeldebiet via de Bathse spuisluis worden afgevoerd. Een doorspoeldebiet van minimaal 50 m<sup>3</sup>/s gedurende 2 maanden of 100 m<sup>3</sup>/s gedurende 1 maand (NB: niet gemodelleerd) wordt aanbevolen. Bij deze doorspoeling wordt het gehele Volkerak-Zoommeer ongeveer 1 keer verversd. De chlorideconcentratie bij Bathse brug wordt gedurende ongeveer 4 maanden meer dan 40 mg/l en gedurende 5 tot 7 maanden meer dan 20 mg/l verlaagd.
- C. Omdat er geen sprake is van ideale verversing maar van menging, zal een hogere en/of langere doorspoeling effectiever zijn. De toename van de effectiviteit is echter niet lineair (dat wil zeggen twee keer zo veel doorspoeling is niet twee keer zo effectief). Of er sprake is van voldoende meerwaarde, hangt mede af van andere afwegingen als kosten, beschikbaarheid van rivierwater en/of mogelijk effect van verontreinigende stoffen.

In onderstaande alinea's gaan we iets dieper in op deze conclusies.

De effectiviteit is uitgedrukt in het aantal dagen dat de chlorideconcentratie meer dan 40 mg/l verlaagd wordt ten opzicht van de referentiesituatie zonder winterdoorspoeling. Het berekende aantal dagen is geldig voor de condities waarvoor het model is opgezet. De grootte van de zoutlekage door de Krammersluizen is een belangrijke conditie, die tegelijkertijd niet goed bekend is. Het berekende aantal dagen kan orde-grootte indicatief en voor de onderlinge vergelijking van maatregelen gebruikt worden, maar niet voor absolute getallen.

Uit de 3D modelberekening blijkt dat 25 m<sup>3</sup>/s winterdoorspoeling slechts kortdurend effectief is: 40 mg/l verlaging duurt 15 tot 45 dagen bij twee maanden doorspoeling.

<sup>1</sup> Afvoeren via de Krammersluizen is in de huidige situatie niet mogelijk. Doorspoelen via de Krammersluizen is mogelijk als het innovatieve zoet-zoutscheidingssysteem, dat nu onderzocht wordt, in gebruik genomen wordt. De uitgevoerde modelberekeningen waarin sprake is van afvoer via de Krammersluizen, gaan er dus vanuit dat zo'n systeem in gebruik genomen is.



De oorzaak hiervan is dat een deel van zout dat via de Krammersluizen in het Volkerak-Zoommeer komt, met het doorspoeldebiet terugspoelt naar de Oosterschelde. De zoutlekkage van de Krammersluizen is de belangrijkste zoutbron. Door de zoutbron te reduceren wordt de chlorideconcentratie efficiënt verlaagd.

Gedurende 2 maanden 50 m<sup>3</sup>/s doorspoelen en afvoeren via de Bathse spuisluis is ongeveer even effectief als 1 maand 50 m<sup>3</sup>/s doorspoelen met 50%:50% debietverdeling over de Bathse spuisluis en de Krammersluizen (110-125 dagen 40 mg/l verlaging vs. 125-135 dagen). Door 2 maanden door te spoelen met 50%:50% debietverdeling wordt de effectiviteit nog verder vergroot tot 145-185 dagen met meer dan 40 mg/l verlaging.

Een verdere verhoging van het doorspoeldebiet tot 100 m<sup>3</sup>/s met 50%:50% debietverdeling vergroot de effectiviteit met ongeveer 25 dagen (160-210 dagen).

Uit de berekeningen blijkt dat met 50 m<sup>3</sup>/s winterdoorspoeling een balans tussen grootte van de maatregel en rendement kan worden bereikt. Het zoveel mogelijk beperken van de zoutlekkage door de Krammersluizen is aan te bevelen, bijvoorbeeld afvoer van het doorspoeldebiet via de Krammersluizen. Wanneer dit (nog) niet mogelijk is, is een doorspoelperiode van 2 maanden aan te bevelen.

De volgende conclusies betreffen de aanvullende vragen.

## 2. Hoe snel stijgt de chlorideconcentratie in het meer uitgaande van de bestaande zoutlekkage en een gereduceerde zoutlek van de Krammersluizen?

Deze vraag is op basis van dit onderzoek niet goed te beantwoorden, omdat in de berekeningen met het 3D model de zoutlekkage niet is gevarieerd. De grootte van de zoutlekkage door de Krammersluizen is niet goed bekend. In het 3D model is de zoutlekkage een kalibratiegrootte. In het modeljaar 2007 is een grotere zoutlekkage aangenomen dan in de modeljaren 2000 en 2001. Een vergelijking tussen die jaren geeft indicatief aan dat de effectiviteit van winterdoorspoeling met 5% tot 20% gereduceerd wordt door een hogere zoutlekkage.

Een eenvoudig (denk)model geeft enig inzicht. In sterk versimpelde weergave (van een volledig gemengd systeem) is de evenwichts-chlorideconcentratie van het Volkerak-Zoommeer gelijk aan de verdunning van de zoutbelasting door het (doorspoel)debiet:

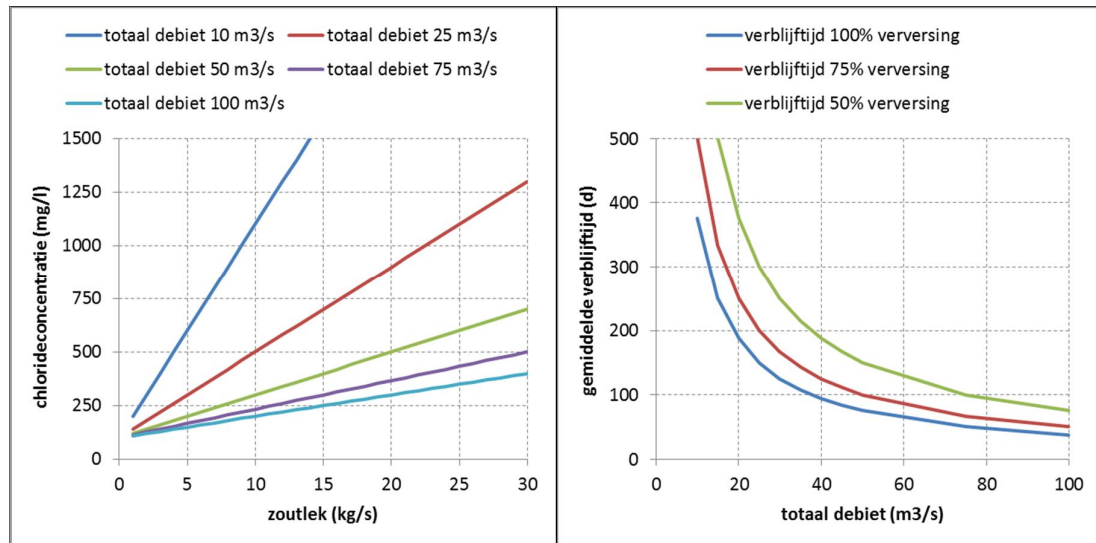
$$\text{Zoutbelasting} + \text{debiet}_{in} \times \text{Chlorideconcentratie}_{in} = \text{debiet}_{uit} \times \text{Chlorideconcentratie}_{VKZ \text{ evenwicht}}$$

$$\text{Chlorideconcentratie}_{VKZ \text{ evenwicht}} = \frac{\text{Zoutbelasting} + \text{debiet}_{in} \times \text{Chlorideconcentratie}_{in}}{\text{debiet}_{uit}}$$

Aannemende een chlorideconcentratie van het instromende water van 100 mg/l en dat het totaal instromende debiet gelijk is aan het uitstromende debiet, is de chlorideconcentratie in evenwicht gelijk aan (zie ook Figuur 4.1):

$$\text{Chlorideconcentratie}_{VKZ \text{ evenwicht}} = \frac{\text{Zoutbelasting}}{\text{debiet}_{in}} + 100$$

Uit de vereenvoudigde vergelijking volgt dat de toename (of afname) van de chlorideconcentratie boven de achtergrondwaarde van 100 mg/l lineair afhangt van de toename (of afname) van de zoutlekkage. Los van optredende horizontale en verticale gradiënten en variaties in de tijd is dit in zijn simpelste essentie de zoutbalans van het Volkerak-Zoommeer. Een aannemelijke vuistregel zou dus zijn dat de verhoging van de chlorideconcentratie boven de achtergrondwaarde (nagenoeg) lineair afhangt van de grootte van de zoutbelasting.



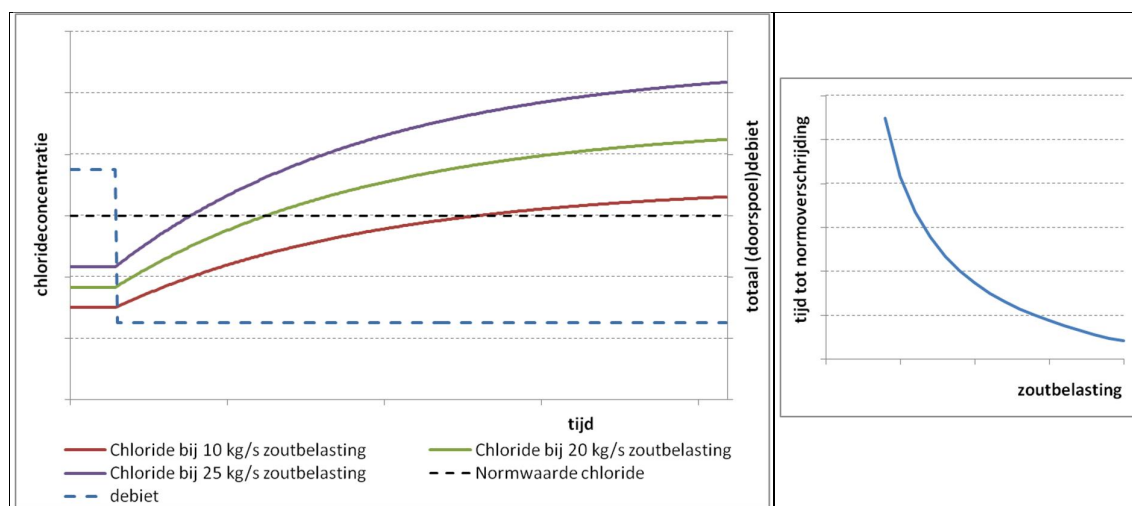
Figuur 4.1 Relatie tussen zoutlek en chlorideconcentratie in evenwichtssituatie voor verschillende totale (doorspoel)debieten (links) en relatie tussen totaal (doorspoel)debiet en gemiddelde verblijftijd voor verschillende verversingsefficiënties (rechts) in een sterk versimpelde weergave van het Volkerak-Zoommeer.

De vraag was echter hoe snel de chlorideconcentratie toeneemt. Als debiet en zoutlekkage constant zouden zijn, is de chlorideconcentratie ook constant. Het debiet verandert echter voortdurend, waardoor de chlorideconcentratie nooit in evenwicht zal zijn. De zoutlekkage zal evenmin constant zijn, maar de verandering op termijn van weken of maanden zal waarschijnlijk beperkt zijn.

Wederom redenerend vanuit de vereenvoudigde aanpak van een goed gemengd systeem stellen wij dat de snelheid van toename van de chlorideconcentratie een systeemkenmerk van het Volkerak-Zoommeer is die (vrijwel) uitsluitend bepaald wordt door het totale (doorspoel)debiet. Zoals het theoretisch voorbeeld in Figuur 3.3 laat zien, past de chlorideconcentratie zich aan aan het debiet. De aanpassingstijd is uitsluitend een functie van het debiet. Bij een hoger debiet gaat de aanpassing sneller, want de verversing en menging gaat sneller. De verblijftijd of verversingstijd kan derhalve gezien worden als een maat voor de snelheid van aanpassing. Figuur 4.1 laat zien dat de snelheid van aanpassing bij een debiet van 20 m<sup>3</sup>/s al gauw honderden dagen zal zijn. Bij debieten hoger dan 50 m<sup>3</sup>/s zal de snelheid van aanpassing ordegrootte 100 tot 150 dagen zijn.

Tenslotte is de vraag hoe snel de grens van 450 mg/l bereikt zal worden als het doorspoeldebiet te gering wordt. Deze snelheid is afhankelijk van de grootte van de zoutlekkage en wel op twee manieren, zoals in Figuur 4.2 geïllustreerd wordt.

Ten eerste heeft een hogere zoutlekkage een hogere evenwichts-chlorideconcentratie, waardoor de marge tot de 450 mg/l grens kleiner is. Na een verlaging van het debiet en de resulterende oplopende chlorideconcentratie is de grens dus eerder bereikt. Ten tweede is de tijd die het duurt tot de nieuwe evenwichtssituatie bereikt wordt, voor iedere zoutbelasting even lang want alleen afhankelijk van het debiet. Echter omdat bij een hogere zoutbelasting een grotere toename van de chlorideconcentratie tot de nieuwe evenwichtssituatie moet worden bereikt, is de toename per dag groter. De marge tot de normwaarde wordt dus sneller overbrugd. De combinatie van deze twee factoren resulteert in een niet lineaire afhankelijkheid van hoe snel de normwaarde bereikt wordt als functie van de zoutbelasting (rechtser grafiek in Figuur 4.2).



*Figuur 4.2 Illustratie van toename van chlorideconcentratie in een sterk versimpelde weergave van het Volkerak-Zoommeer (als volledig gemengd systeem) bij gelijkblijvende zoutbelasting en instantane verlaging van het doorspoeldebiet (links). De tijd tot de normwaarde wordt bereikt, hangt niet lineair af van de zoutbelasting (rechts). (NB: Er worden geen getallen op de assen getoond, omdat de grafiek niet afgelezen mag worden voor andere dan illustratieve doeleinden.)*

De werkelijkheid is uiteraard complexer. Niet alleen is het Volkerak-Zoommeer geen goed gemengd systeem, diepere geulen kunnen voor tijdelijke opvang van zouter, zwaarder water zorgen. Debieten zijn bovendien geen dag hetzelfde. Toch illustreert deze eenvoudige illustratie de belangrijkste kenmerken. De beheerruimte (= tijd om nog aanvullende maatregelen te nemen na het stoppen van de winterdoorspoeling) neemt sterker dan proportioneel afneemt bij toenemende zoutbelasting

Dat de werkelijkheid complexer en (veel) gevarieerder is blijkt ook uit de beknopte data-analyse van (verandering van) debiet en chlorideconcentratie. Een zwakke relatie tussen debiet en verandering van chlorideconcentratie gaf aan dat de chlorideconcentratie met circa 5 mg/l per week stijgt of daalt als het doorspoeldebiet 10 m<sup>3</sup>/s afneemt of toeneemt.

3. Wat zijn de effecten van het doorspoelen op de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer?
4. Wat zijn de effecten van het doorspoelen op de waterkwaliteit in de Westerschelde?
5. Wat zijn de effecten op de waterkwaliteit indien een deel van het doorspoeldebiet op de Oosterschelde wordt gespuid?

De waterkwaliteit in het Volkerak-Zoommeer wordt niet substantieel beïnvloed door de winterdoerspoeling. Ook de waterkwaliteit op de Oosterschelde en de Westerschelde worden niet substantieel beïnvloed, met als mogelijke uitzondering de verlaging van de saliniteit op het Zijpe met mogelijkheid van stratificatie. Bij een eventuele keuze voor doerspoeling via de Krammersluizen is een controle met een recent 3D model aan te bevelen<sup>1</sup>.

#### 6. Welke risico's heeft extra doerspoelen met betrekking tot de inlaat van nutriënten en microverontreinigingen voor het Volkerak-Zoommeer?

De inlaat van nutriënten heeft geen substantiële invloed op de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer, omdat de nutriëntconcentratie voor een belangrijk deel door de aanvoer van de Brabantse rivieren wordt bepaald.

In een beknopte data-analyse is een beperkt aantal microverontreinigingen onderzocht. De oorspronkelijke vraagstelling of rivierwater bij een Rijnafoer van meer dan 3.500 m<sup>3</sup>/s voor winterdoerspoeling benut kan worden, blijkt te leiden tot een vrij complexe afweging. Ongeacht de Rijnafoer is de concentratie van sommige microverontreinigingen hoger in het Hollandsch Diep dan in het Volkerak-Zoommeer. Risico's voor de verhoogde concentraties gelden vooral voor de meer hydrofobe stoffen zoals PAK's maar ook PCB's en de meer opgeloste stoffen als zink en koper. Toepassing van winterdoerspoeling kan voor Volkerak-Zoommeer inhouden dat voor sommige stoffen de concentraties (tijdelijk) hoger worden dan als er geen winterdoerspoeling zou zijn. Een dergelijke verhoging treedt op ongeacht de Rijnafoer, maar neemt voor sommige stoffen wel toe bij hogere Rijnafoer. Of een verhoging ook daadwerkelijk tot gevolg heeft dat de KRW-doelen (chemische toestand) verslechteren is op basis van de uitgevoerde data-analyse nog onbekend. In overleg met Rijkswaterstaat WVL zijn aanbevelingen gedaan voor een nadere analyse (paragraaf 3.2).

---

<sup>1</sup> Een voorgaande 3D modelstudie met TRIWAQ (Bax, 2003) biedt onvoldoende inzicht, omdat sindsdien diverse softwarefouten zijn gevonden en gerepareerd.



## 5 Referenties

- Bax (2003): De terugkeer van de zoet-zoutgradiënt op het Krammer-Volkerak?, Een scenariostudie naar de effecten van de verzilting op zoutstratificatie, auteur Feddo Bax, Werkdocument RIKZ/ JS/20 03. 826.x, juni 2003
- Deltares (2012): Verkennend onderzoek haalbaarheid innovatief zout/zoet-scheidingsstelsel Krammersluizen, auteurs D. Dillingh, R.E. Uittenbogaard en G.H. Keetels, Rapport 1205977-000, i.o.v. Rijkswaterstaat Waterdienst, augustus 2012.
- Deltares (2013a): Samenhang in de Zuidwestelijke Delta: integrale beschouwing en kwantificering van estuariene dynamiek, auteurs A.J. Nolte, C.J. Sprengers en J.A.G. van Gils, Rapport 1208082-000-ZKS-0008, i.o.v. Planbureau voor de Leefomgeving, juni 2013.
- Deltares (2013b): Zuidwestelijke Delta-model voor stofstroomanalyses, Beschrijving en validatie, auteur J.A.G. van Gils, Rapport 1208495-000-ZKS-0010, i.o.v. Rijkswaterstaat WVL, december 2013.
- Deltares (2013c): Invloed van chloridevrachten van Tholen op de chlorideconcentraties in het VZM, auteur I. de Vries, MEMO, 7 p., 22 november 2013.
- Rijkswaterstaat Directie Zeeland (2001): Waterakkoord Volkerak/Zoommeer.
- Rijkswaterstaat Directie Zeeland (2002): Verwachte effecten doorspoelmaatregel Volkerak-Zoommeer op Westerschelde, RIKZ/AB/2002.805x, auteur Ed Stikvoort (ed.), 31 januari 2002.





## **A Memo Microverontreinigingen**



## MEMO

**Datum**  
29 oktober 2013

**Ons kenmerk**  
1208550-000-ZKS-0001

**Project**  
1208550-000

**Opgemaakt door**  
Cor Schipper,  
Joachim Rozemeijer,  
Nanette van  
Duijnhoven

**Datum bespreking**

**Aantal pagina's**  
11

**Betreft**  
Relatie winterdoorspoeling en waterkwaliteit in Volkerak -Zoommeer

---

### Inleiding

#### *Winterdoorspoeling*

De chlorideconcentratie in het Volkerak-Zoommeer mag volgens het Waterakkoord in het groeiseizoen (15 maart – 15 september) niet hoger dan 450 mg/l worden (meetlocatie Bathse Brug). De chlorideconcentratie is het gevolg van de balans tussen de zoutbelasting aan de ene kant en de aanvoer vanuit Hollandsch Diep en de Brabantse rivieren aan de andere kant. Bij een te langdurige hoge zoutbelasting of een te lage doorspoeling / rivierafvoer bestaat het risico dat de chlorideconcentratie te hoog oploopt. In het recente verleden is dat een aantal keren gebeurd dan wel dreigde dat te gebeuren. De winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer wordt overwogen om de chlorideconcentratie in het meer te verlagen door gebruik te maken van de grotere beschikbaarheid van rivierwater voor aanvang van het groeiseizoen. De effecten van winterdoorspoeling en water(bodem)kwaliteit mbt verontreiniging van het Volkerak-Zoommeer wordt in deze MEMO bediscussieerd.

#### *Probleemstelling*

De probleemstelling heeft betrekking op inzicht te verkrijgen bij de winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer in de mate van verontreiniging, onder invloed van de (zeer) hoge rivierafvoer vanuit de Rijn (en Maas). Dit is relevant voor de lopende discussies rond de Waterakkoord inrichting van dit watersysteem en de uitvoering van de KRW. Om een 'beknopte data-analyse' efficiënt aan te pakken is het van belang om bevindingen uit voorgaande studies mee te nemen, welke betrekking hebben op microverontreiniging in relatie tot de rivierafvoer.

#### *Waterkwaliteit Rijnstroomgebied*

Het vaststellen van de omvang aan chemische stoffen getransporteerd via rivieren naar de Noordzee geeft inzicht in het voldoen aan internationale verplichtingen zoals voor de KRW en van OSPAR, het maken van stoffenbalansen ten behoeve van bronnenanalyses en invulling geven aan afwentelingsvraagstukken. Er heeft in het afgelopen decennium beperkt onderzoek plaats gevonden naar potentiële microverontreiniging van oudere, afgedekte sedimentlagen in het Rijnsstroomgebied (SedNet, 2007). Vrachten van verontreinigende stoffen zijn bepaald met behulp van debietinformatie in combinatie met de beschikbare concentraties waterkwaliteitsgegevens.

Op basis van het patroon van verontreiniging in het Rijnstroomgebied zijn conclusies getrokken over de historische emissies, de dynamiek van het watersysteem en de kwaliteit van de gebruikte data. Microverontreinigingen zijn in de Boven-Rijn aangetroffen waar nog de invloed van de mijnbouw zichtbaar is in het sedimenten verontreinigd met nikkel, lood en zink (Evers,



1988). Maar ook onder invloed van zijrivieren van de Rijn zoals Moezel en Neckar hebben industriële activiteiten het sediment verontreinigd met stoffen als cadmium, koper en PCB's. Stroomafwaarts worden op locaties bij stuwen tot aan de Midden-Rijn contaminanten als kwik, DDT en hexachloorbenzeen aangetroffen. Geconcludeerd werd dat in de Rijn een verhoogd risico bestaat bij een hogere rivierafvoer waarbij de contaminanten door het watersysteem worden getransporteerd naar lager gelegen delta's. (SedNet, 2007).

### *KRW beoordeling, de Goede Chemische Toestand*

De doelstelling van de KRW is om te bewerkstelligen dat Europa in de toekomst over voldoende schoon en ecologisch gezond water kan beschikken. Concreet beoogt de KRW in 2015 een goede chemische en ecologische toestand van de Europese grond- en oppervlaktewateren te hebben bereikt, met uitloop naar 2027. Voor het analyseren van microverontreiniging is een aantal prioritare stoffen aangegeven in de Richtlijn Prioritaire stoffen waarvan de milieukwaliteitsnormen worden getoetst op zowel jaargemiddelden (JG-MKN) als maximaal aanvaardbare concentraties (MAC-MKN). Voor het vaststellen van de Goede Chemische Toestand zijn 41 prioritare stoffen benoemd, die aan een EU-norm moeten voldoen. Hiertoe zijn in EU-verband milieukwaliteitsnormen afgeleid (Lepper, 2002) en herzien voor de KRW (EC, 2011). Toetsing van concentraties van microverontreiniging is gedaan op basis van JGM van de KRW-normen en MAC-waarden. Van de parameters in het instromende water die voldoen aan de jaargemiddelden van de KRW-normen (JGM) is aangenomen dat ze geen problemen opleveren.

### *Waterkwaliteit op de Maas en Rijn*

In de huidige situatie mag geen water het Volkerak-Zoommeer ingelaten worden vanuit het Hollandsch Diep als de Rijnafvoer bij Lobith hoger is dan 3.500 m<sup>3</sup>/s (RWS, 2001). De reden hiervoor is een risico op het ontstaan van een verhoogde verontreiniging in het Volkerak, maar de oorspronkelijke bronvermelding of analyse hiervan is in de literatuur niet achterhaald. Om een indruk te krijgen van de waterkwaliteit bij de Maas en Rijn zijn meetgegevens bij Lobith en Eijsden van metalen en PAKs verzameld over de periode 2009-2012. Gekozen is om in deze verkenning de microverontreiniging te analyseren waarvan de JGM van de KRW norm in de Maas en Rijn overschrijd. Er treedt in Lobith (en Eijsden) overschrijding van de KRW norm op voor (Co) kobalt; (Cu) koper; (Zn) zink en (sBghiPInP) som benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. De overige twee stoffen (B) boor en (U) uranium zijn gekozen op basis van de beschikbaarheid van een frequente meetreeks (zie tabel 1). Overige microverontreiniging is niet geanalyseerd en gerapporteerd, aangezien een eerste indruk werd verkregen naar de relatie tussen waterkwaliteit en waterdebiet.

*Tabel 1. Getoetste waterkwaliteit metalen aan de JGM van de KRW gemeten in compartiment water van het Rijn en Maas in de periode 2009 tot 2012 (Deltares, 2013)*

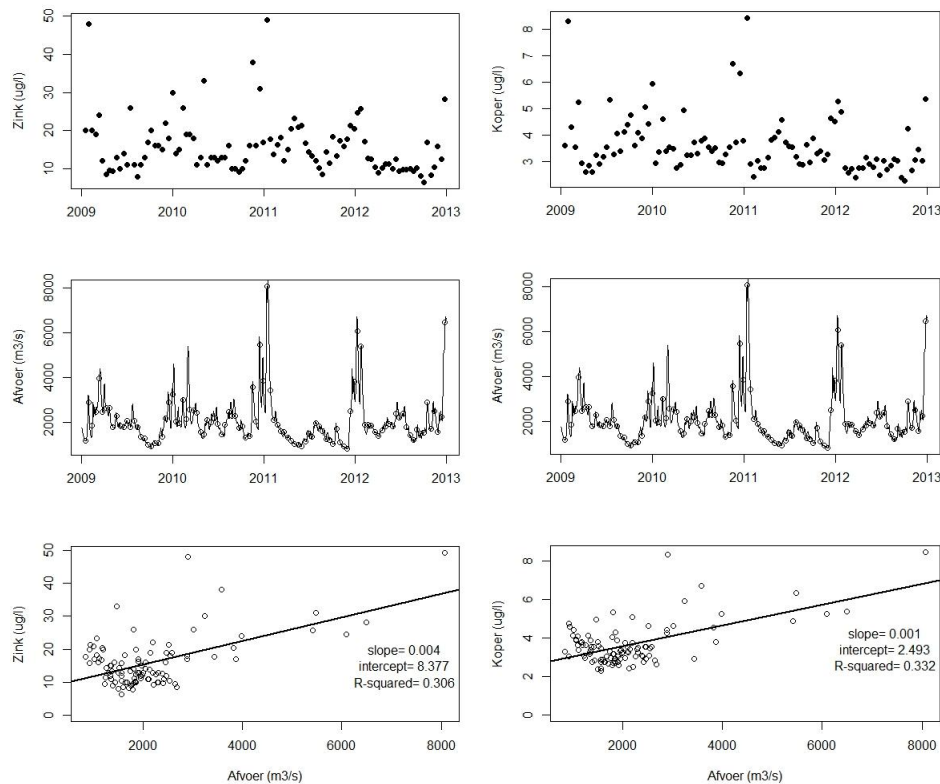
Location	Metalen	Gemidd. Conc.(µg/L)	KRW (µg/L)	JGM-MKN
Maas (Eijsden)	Co	0,16	0,089	Voldoet niet
	Cu	5,17	3,8	Voldoet niet
	Zn	7,57	7,8	Voldoet niet
	B	61,17	650	Voldoet
	U	0,63	1,0	Voldoet
Rijn (Lobith)	sBghiPInP	0,014	0,002	Voldoet niet
	Co	0,15	0,089	Voldoet niet

	Cu	6,01	3,8	Voldoet niet
	Zn	4,38	7,8	Voldoet
	B	75,18	650	Voldoet
	U	0,86	1,0	Voldoet
	sBghiPInP	0,005	0,002	Voldoet niet

Co: kobalt; Cu: koper; Zn: zink; B: boor; U: uranium; sBghiPInP: som benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen;

Voor de periode 2009-2012 zijn de gemeten rivierafvoeren in Lobith (en Eijsden) gecorreleerd aan de concentraties van kobalt, boor, uranium, koper, zink en de som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. In deze periode werd ruim tien keer een hoge rivierafvoer >4.000 m<sup>3</sup>/s vastgesteld (figuur 1B). Gekeken naar de waterkwaliteit voor koper en zink (figuur 1A) en blijkt er een matige correlatie (respectievelijk  $r^2 = 0,33$  en  $0,31$ ) te bestaan tussen de gehalten en de debieten (figuur 1 C). Dit betekent dat bij verhoogde Rijn rivierafvoer mogelijk een nadelig effect op de waterkwaliteit voor beide metalen te bestaan.

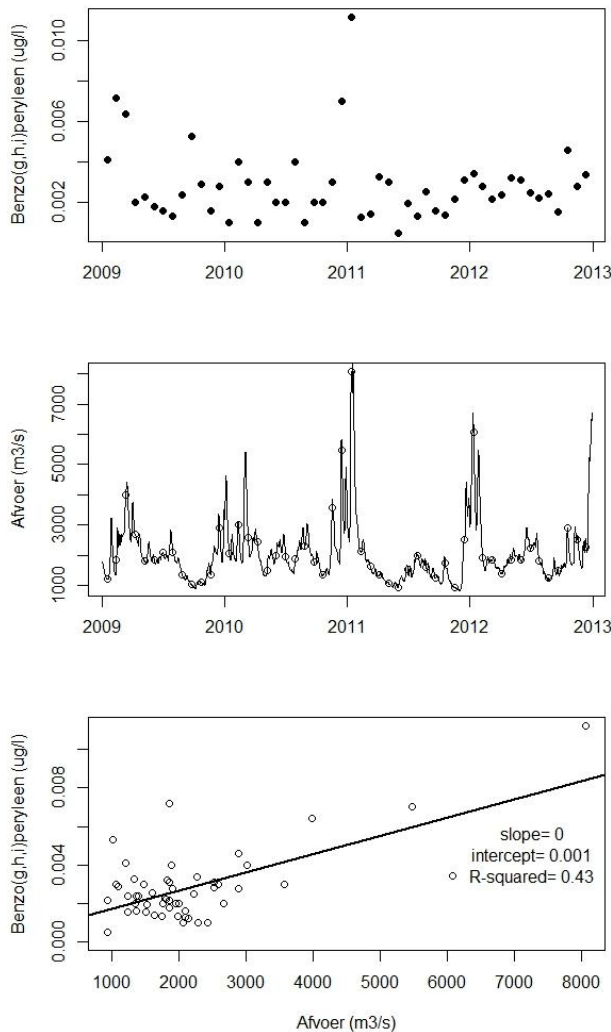
*Figuur 1. Koper en zink concentraties gemeten in Lobith (1A), bij verschillende rivierafvoeren in m<sup>3</sup>/s (1B) en gecorreleerd in oppervlaktewater (1C) in de periode 2009-2012.*







In de periode 2009-2012 zijn de rivierafvoeren in Lobith (en Eijsden) gemeten en gecorreleerd aan de concentraties van som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen in oppervlaktewater. Er blijkt voor het gehalte aan som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen (figuur 2A) een matige correlatie ( $r^2 = 0,43$ ) te bestaan tussen de gehalten en de debieten (figuur 2 C). Dit betekent dat bij verhoogde Rijn rivierafvoer mogelijk een nadelig effect op de waterkwaliteit voor het de som PAK bestaat.

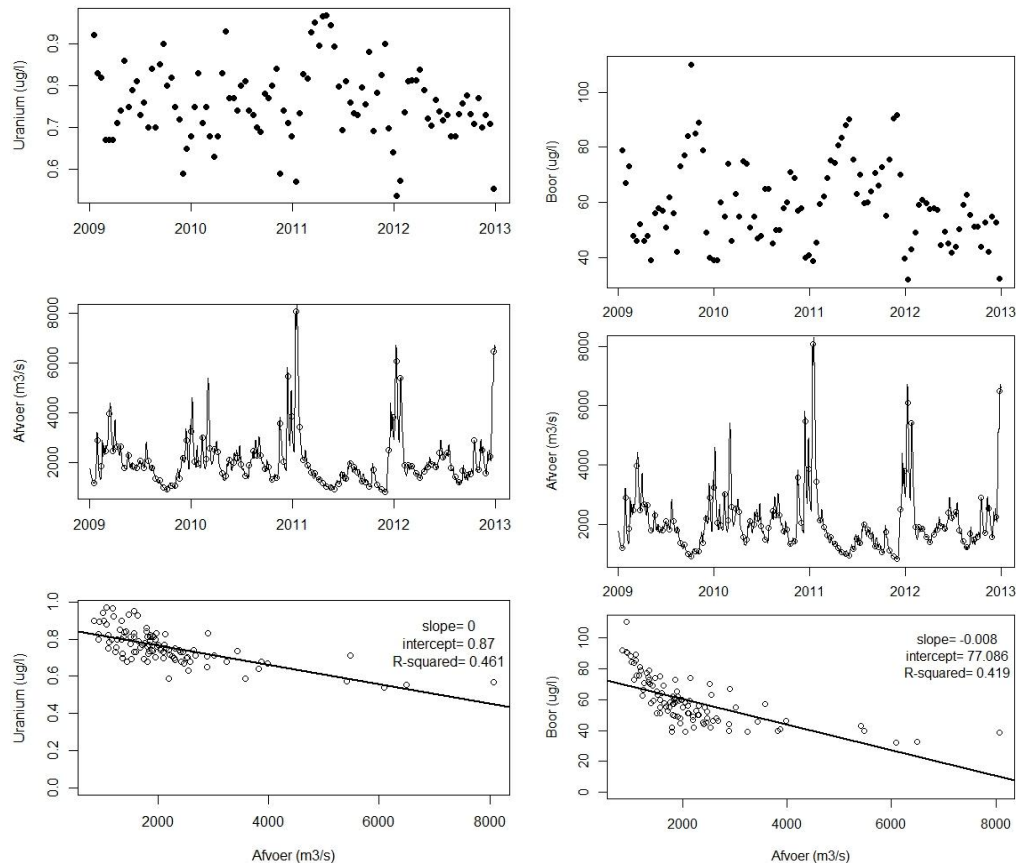


*Figuur 2. Som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen concentraties gemeten in Lobith (2A), bij verschillende rivierafvoeren in m<sup>3</sup>/s (2B) en gecorreleerd (2C) in oppervlaktewater in de periode 2009-2012*

In de periode 2009-2012 zijn de rivierafvoeren bij Lobith gemeten en gecorreleerd aan de metaal concentraties van kobalt in oppervlaktewater. Er blijkt voor boor en uranium (figuur 3A) een matige correlatie (respectievelijk  $r^2 = 0,42$  en  $0,46$ ) te bestaan tussen de gehalten en de debieten (figuur 3 C). Echter hier is een afwijkend beeld van de correlatie met negatieve

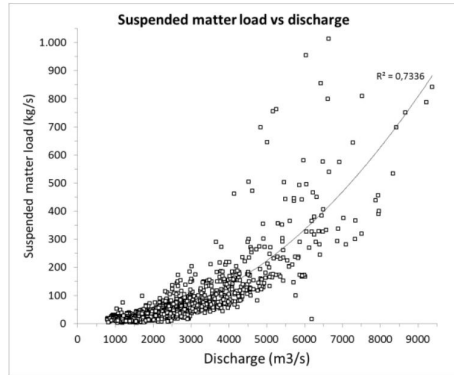
richtings coëfficiënt zichtbaar ten op zichte van koper, zink en som PAK. Hoe lager het debiet, des te hoger de concentratie in oppervlaktewater.

**Figuur 3. Boor en uranium concentraties gemeten in Lobith (3A), bij verschillende rivierafvoeren in m<sup>3</sup>/s (3B) en gecorreleerd in oppervlaktewater (3C) in de periode 2009-2012**



**Correlaties( $r^2$ ) tussen waterkwaliteit microverontreiniging en debieten**

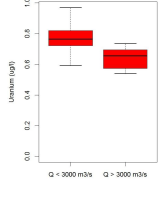
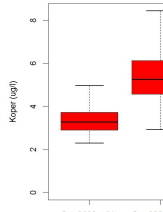
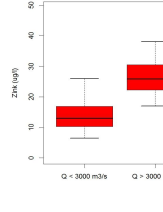
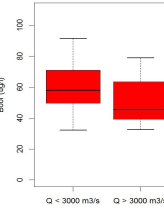
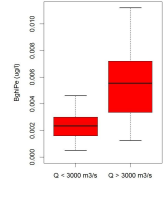
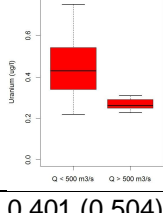
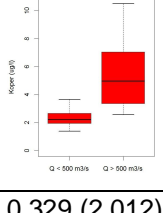
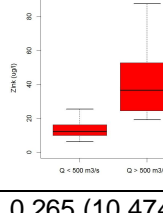
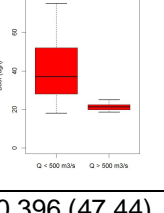
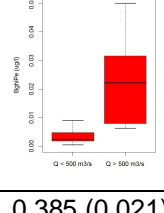
Onder hoge Rijn rivierafvoer >3.000 m<sup>3</sup>/s zijn de concentraties koper, zink en som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen in oppervlaktewater op de locatie Lobith hoger dan de gemiddelde concentraties bij normale rivierafvoer (zie tabel 2). Dit zelfde patroon doet zich ook voor bij een hoge rivierafvoer op de Maas >500 m<sup>3</sup>/s voor de concentraties koper, zink en som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen in oppervlaktewater op locatie Eijsden. De geochemisch eigenschap van deze stoffen is gecorreleerd met de verhoogde zwevend stof gehalten bij hoge debieten. Bij een verhoogde rivierafvoer zal een toenemende zwevende stof concentratie optreden (figuur 4) in het oppervlakte water (DHV, 2010; Scholten, 2013).



Figuur 4. Relatie tussen hoge rivierafvoer in m<sup>3</sup>/s en concentratie zwevend stof in kg/s op de Rijn in de jaren 1970-2011 (Scholten, 2013).

Echter de concentratie van metalen boor en uranium gedragen zich bij hoge rivierafvoer afwijkend (tabel 2) van koper en zink, aangezien de verhoogde concentraties niet gecorreleerd is met verhoogde debieten.

Tabel 2. Correlaties( $r^2$ ) tussen waterkwaliteit microverontreiniging en debieten gemeten in compartiment water bij Lobith en Eijsden tijdens zeer hoge rivierafvoer in  $m^3/s$  (Q) in de periode 2009-2012

	Kobalt	Uranium	Koper	Zink	Boor	sBghiPInP
<b>Lobith</b> Concentratie ( $\mu g/L$ )/debiet	NA					
<b>Lobith</b> Correlatie $r^2$ (intercept)	NA	0,461 (0,87)	0,332 (2,493)	0,306 (8,377)	0,419 (77,09)	0,43 (0,001)
<b>Eijsden</b> Concentratie ( $\mu g/L$ )/debiet	NA					
<b>Eijsden</b> Correlatie $r^2$ (intercept)	NA	0,401 (0,504)	0,329 (2,012)	0,265 (10,474)	0,396 (47,44)	0,385 (0,021)

NA: data niet beschikbaar

### Waterkwaliteit op Hollandsch Diep en Volkerak-Zoommeer

De effecten van hoge Rijn rivierafvoer op de waterkwaliteit zijn in het Hollandsch Diep en Volkerak Zoommeer getoetst aan de KRW. Op dit moment zijn de concentraties zware metalen kobalt en koper en som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen in het Hollandsch Diep (Bovensluis) dermate hoog dat ze niet voldoen aan de goede chemische toestand (Zie tabel 3). Eveneens zijn de locaties Oesterdam en Steenberg in het Volkerak-Zoommeer voor de metalen kobalt en koper verhoogt. In tegenstelling tot de locaties op de Maas en Rijn voldoen de JGM van de KRW voor zink en som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen aan de norm. Onder hoge rivierafvoer zijn de concentraties koper, zink en som PAK benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen in oppervlaktewater van het Hollandsch Diep doorgaans hoger dan de gemiddelde concentraties (zie tabel 2). De metaal concentraties van koper (5,18  $\mu g$  Cu/L) en kobalt (0,28  $\mu g$  Co/L) in totaal water in het Hollandsch Diep heeft op basis van jaargemiddelden in oppervlaktewater een concentratie die vergelijkbaar zijn aan de kwaliteit in het Volkerak-Zoommeer, respectievelijk 5,50  $\mu g$  Cu/L en 0,55  $\mu g$  Co/L.

Microverontreiniging is in het algemeen gecorreleerd met de verhoogde zwevend stof gehalten die optreden bij hoge rivier debieten (DHV,2010; Scholten, 2013). De metalen boor en uranium gedragen zich bij hoge rivierafvoer anders, waar de verhoogde zwevend stof concentraties niet gecorreleerd zijn met verhoogde metaal concentraties. Deze dalende trend lijkt strijdig met de relatie tussen hoge rivierafvoer en de concentratie zwevend stof aangezien verwacht wordt dat hoge afvoeren oude sedimenten geremobiliseerd worden, echter dit is het niet. De strijdige



waargenomen afnemende trends van uranium en boor kunnen worden verklaard op basis van twee belangrijke effecten waarvoor moet worden gecorrigeerd (Scholten, 2013). Uit het numeriek Delft-3D-WAQ model onderzoek is gebleken dat bij hoge rivierafvoer de zwevend stof samenstelling en de deeltjes grootte afwijkend is ten opzichte van lage rivierafvoer. Ten tweede treedt er een verdunnings-effect op, waardoor opgeloste concentraties microverontreiniging lijken af te nemen. Echter de vrachten aan stoffen nemen in het oppervlakte water toe.

Tabel 3. Getoetste metalen en somPAK gemeten in compartiment totaal water van het Hollandsch Diep (Bovensluis) en het Volkerak-Zoommeer (Oesterdam/Steenbergen) in de periode 2009 tot 2012.

Location	Metalen	Concentratie (µg/L)	KRW norm (µg/L)	Overschrijding JGM-MKN
Hollandsch Diep(Bovensluis)	Co	0,28	0,089	Voldoet niet
	Cu	5,18	3,8	Voldoet niet
	Zn	3,63	7,8	Voldoet
	B	65,57	650	Voldoet
	U	0,82	1,0	Voldoet
	sBghiPInP	0,004	0,002	Voldoet niet
Volkerak Zoommeer (Oesterdam)	Co	0,503	0,089	Voldoet niet
	Cu	5,65	3,8	Voldoet niet
	Zn	1,73	7,8	Voldoet
	B	225	650	Voldoet
	U	0,93	1,0	Voldoet
	sBghiPInP	0,0006	0,002	Voldoet
(Steenbergen)	Co	0,59	0,089	Voldoet niet
	Cu	5,35	3,8	Voldoet niet
	Zn	2,28	7,8	Voldoet
	B	199,67	650	Voldoet
	U	0,78	1,0	Voldoet
	sBghiPInP	0,0004	0,002	Voldoet

## Discussie

De effecten van winterdoerspoeling en waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer wordt vastgesteld op basis van de metaal toetsingen aan de KRW en gehalten bij verschillende rivierafvoeren. In de huidige situatie mag geen water het Volkerak-Zoommeer ingelaten worden vanuit het Hollandsch Diep als de Rijnaafvoer bij Lobith hoger is dan 3.500 m<sup>3</sup>/s. In principe zouden de KRW-normen voldoende bescherming moeten bieden bij winterdoerspoeling in het Volkerak-Zoommeer onder invloed van hoge rivierafvoer. Om de negatieve effecten van de winterdoerspoeling in delta wateren te voorkomen, dient inzicht te worden verkregen in de mogelijke verandering van de waterkwaliteit en mogelijk op de waterbodempkwaliteit. Toetsing van concentraties metalen en somPAK in totaal water is gedaan op basis van KRW-normen. Aangezien de KRW norm in de Maas, de Rijn en Hollandsch Diep frequent wordt overschreden voor metalen is deze studie deels gericht op de normtoetsing van metalen, aanvullend de som PAK in de periode 2009-2012.

Geconcludeerd wordt dat bij de winterdoerspoeling van het Volkerak-Zoommeer met oppervlakte water vanuit het Hollandsch Diep de mate van verontreiniging, onder invloed van de zeer hoge rivierafvoer (> 3.500 m<sup>3</sup>/s) vanuit de Rijn, potentieel voor de metalen koper en zink en som PAK de concentraties substantieel kan toenemen in het Volkerak-Zoommeer. Dit zelfde patroon van toename microverontreiniging bij extreem hoge rivierafvoer is ook aangetoond in de Maas. De zink en somPAK concentraties zijn bovenstrooms van de Rijn hoger dan op het Volkerak-Zoommeer. Bij extreme rivierafvoer zal de winterdoerspoeling >3.500 m<sup>3</sup>/s van het Volkerak-Zoommeer de uitvoering van de toetsing aan de KRW norm met name nadelig effect op de waterkwaliteit voor ondermeer zink en de som benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. In het algemeen geldt dat bij een hoge rivierafvoer een hoge concentratie zwevend stof met microverontreiniging in suspensie komt. Het maskerend effect van deeltjes groote en verdunning van waargenomen lagere concentraties contaminanten bij hoge debieten op locaties Lobith en Eijsden, gaat betekenen dat bij winterdoerspoeling met debieten >3.500 m<sup>3</sup>/s de waterkwaliteit op het Volkerak-Zoommeer zal verslechteren. Hoewel het niet is onderzocht in deze verkenning kunnen de toetsingsresultaten voor meer hydrofobe stoffen bij hoge debieten een potentiële verslechtering geven.



## Aanbeveling

### *1. Water- en stoffenbalans tussen water en waterbodem*

Er is in deze verkenning alleen gekeken naar de stoffen waarvoor normoverschrijdingen in de jaargemiddelde concentraties gevonden worden in de Rijn bij Lobith en Maas bij Eijsden. Het is echter goed mogelijk dat stoffen waarvoor het jaargemiddelde voldoet, bij hoge afvoeren veel hogere concentraties laten zien die wel een risico vormen voor het Volkerak-Zoommeer. Ook voor die stoffen geldt dat een grotere invloed van rivierwater bij hoge afvoeren op het Volkerak-Zoommeer voor hogere concentraties en mogelijk normoverschrijding kan zorgen.

Op basis van deze verkenning is verder alleen de richting van de concentratieverandering aan te geven. Om de verandering te kunnen kwantificeren en de gevolgen voor normoverschrijdingen te kunnen bepalen is een nadere analyse nodig. Het is dan nodig de water- en stoffenbalans en uitwisseling van stoffen tussen water en waterbodem voor het Volkerak-Zoommeer in beeld te brengen voor de huidige situatie en voor de situatie met winterdoorspoeling. De huidige gegevensbeschikbaarheid is onvoldoende voor een betrouwbare bepaling van de vrachten naar het Volkerak-Zoommeer (Rozemeijer en Schipper, 2012).

### *2. Nieuwe strengere normen*

In de nieuwe planperiode zal een groot deel van de normen uit de Ministeriele Regeling (BKMW, 2009) van stoffen die nu getoetst dienen te worden aan het 90-percentiel, vervangen worden door een norm die getoetst dient te worden aan het jaargemiddelde. Voor de stoffen behandeld in deze MEMO geldt dit alleen voor koper. De huidige norm waarbij geldt voor koper in totaal water en wordt getoetst aan het 90 percentiel. Deze norm wordt vervangen door een norm waarbij getoetst dient te worden aan het jaargemiddelde in de opgeloste fase. De huidige norm is 3,8 µg/l en wordt vervangen door de nieuwe norm van 2,4 µg/l koper opgelost in water. Naast nieuwe normen, wordt er op dit moment ook gekeken naar de achtergrondconcentraties van de zware metalen. Deltares voert voor RWS WVL een studie uit en eind dit jaar zal meer duidelijkheid komen over het toepassen van de achtergrondconcentraties voor de nieuwe planperiode.

Door de aanpassing van normen voor de nieuwe toetsperiode kan de toetsing voor een aantal stoffen mogelijk anders uit gaan pakken.

### *3. Waterbodem modellering*

Van Kessel et al. (2009) heeft een methode beschreven om een verbeterde schatting te maken op basis van zwevende stof metingen tijdens omstandigheden met veel opwerveling (extreme rivierafvoer, storm, veel scheepvaart). Daarbij wordt ook de totale hoeveelheid sediment die kan opwervelen gemaximeerd. Op enig moment zal de bodem met microverontreiniging weer worden opgeladen en het systeem weer in evenwicht komen met de (niet) verlaagde externe belasting (I&M, 2010; Oste, 2011). Om een goed beeld te krijgen kunnen poriewaterprofiel berekening van het transport van verontreinigingen van het sediment naar het oppervlaktewater worden uitgevoerd.



## **Referenties**

DHV (2010). Waterberging Volkerak- Zoommeer Waterkwaliteit en grondwater. Product 3.08.

DHV (2011). Passende Beoordeling Project Waterberging Volkerak-Zoommeer Beoordeling natuureffecten i.h.k.v. de Nbw 1998.

EC (2011). Guidance Document No. 27. Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards.

Evers, E.H.G., Ree, K.C.M. and Olie, K. (1988) Spatial variations and correlations in the distribution of PCDDs, PCDFs and related compounds in sediments from the River Rhine - Western Europe. Chemosphere, 17, 2271-2288.

Lepper, P. (2002). Towards the derivation of quality standards for priority substances in the context of the Water Framework Directive. Final report of the study contract No. B4-3040/2000/30637/MAR/E1: Identification of quality standards for priority substances in the field of water policy. Fraunhofer Institute, Germany.

Oste L. (2011). Achtergronddocument bij Handreiking beoordelen waterbodems. Deltares rapport 1204085.

Rijkswaterstaat Directie Zeeland (2001). Waterakkoord Volkerak/Zoommeer.

Rozemeijer, J.C., Schipper, C.A., (2012). Mogelijkheden voor verbeterde schattingen van nutriëntenvrachten naar de Noordzee Deltares-rapportnr. 1206241-000-ZKS.

Scholten, M. (2013). Remobilization of historically contaminated sediments during high discharges in the river Rhine. MSc. Thesis University Utrecht. Deltares, Utrecht.

Schipper C.A. en Laane (2013). Verschilanalyse toetsingskaders voor de Noordzee. Deltares rapport 1206167-000.

SedNet (2007). Sustainable management of sediment resources. Sediment risk management and communication. vol 3, Oxford UK.

Van Gils J.A.G., Rozemeijer, J.C., Bakker, D.J. (2011). Vrachten beter schatten met toegepast meten. Deltares rapport 1203498-000-ZKS-0026.

Van Kessel, T., D.J. Bakker, K. Sloff, 2009. De invloed van waterbodems op de waterkwaliteit. Deltares-rapport.

## B Tabellen maximale verlaging chlorideconcentratie en duur van verlaging

Tabel 5.1 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 20 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-V4 (Bij Volkeraksluizen) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Scenario	Duur van >20 mg/l verlaging (d)			Maximale verlaging (mg/l)		
	2000	2001	2007	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer						
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	3	3	1	22	23	22
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	40	10	59	27	31	29
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	111	90	115	45	48	60
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	143	126	121	56	56	77
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	75	23	67	36	38	35
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	90	57	108	42	45	43
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	151	128	125	60	61	82
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	165	132	133	67	62	92

Scenario	Duur van >10 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	79	34	95
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	111	92	114
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	189	137	146
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	225	>139	165
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	136	121	115
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	167	133	126
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	229	>139	177
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	239	>139	193

Scenario	Duur van >40 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	0	0
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	20	3	52
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	75	10	94
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	2	2	7
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	78	16	100
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	84	26	106

Tabel 5.2 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 20 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie Steenberg op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Scenario	Duur van >20 mg/l verlaging (d)			Maximale verlaging (mg/l) Ten opzichte van referentie		
	2000	2001	2007	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer						
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	1	8	14	24	26	39
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	71	42	76	32	38	47
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	158	130	140	66	83	86
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	195	>139	150	88	110	113
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	99	51	100	42	47	61
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	127	96	121	51	60	69
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	199	>139	154	90	114	124
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	208	>139	163	104	125	141

Scenario	Duur van >10 mg/l verlaging (d)		
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	110	71	117
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	158	131	139
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	229	>139	184
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	247	>139	200
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	180	134	140
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	212	>139	157
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	253	>139	223
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	263	>139	246

Scenario	Duur van >40 mg/l verlaging (d)		
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	0	2
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	71	42	91
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	101	59	117
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	2	6
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	18	18	32
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	109	69	120
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	124	87	126

Tabel 5.3 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 20 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-16 (bij Krammersluizen) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Scenario	Duur van >20 mg/l verlaging (d)			Maximale verlaging (mg/l)		
	2000	2001	2007	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer						
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	10	15	<20	24	28
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	81	55	96	28	37	41
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	169	>139	147	84	103	122
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	201	>139	163	112	145	169
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	107	56	115	33	43	50
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	135	103	138	46	58	66
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	209	>139	173	113	144	188
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	218	>139	182	133	170	227

Scenario	Duur van >10 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	127	89	124
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	169	>139	146
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	239	>139	197
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	260	>139	208
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	192	>139	148
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	220	>139	178
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	265	>139	243
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	271	>139	249

Scenario	Duur van >40 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	0	5
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	82	55	115
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	119	73	126
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	1	6
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	25	30	48
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	121	80	136
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	133	99	139

Tabel 5.4 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 20 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-27 (Eendracht) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Scenario	Duur van >20 mg/l verlaging (d)			Maximale verlaging (mg/l)		
	2000	2001	2007	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer						
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	14	10	30	23	37	24
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	78	52	108	33	50	39
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	171	136	142	61	84	80
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	209	>139	161	81	104	99
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	104	67	113	40	62	46
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	135	111	132	54	75	63
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	211	>139	164	84	110	104
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	217	>139	173	96	115	112

Scenario	Duur van >10 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	126	94	125
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	171	136	142
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	232	>139	199
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	249	>139	237
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	188	>139	143
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	220	>139	166
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	253	>139	244
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	268	>139	261

Scenario	Duur van >40 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	4	0
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	77	53	112
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	115	79	127
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	5	15
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	63	25	54
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	120	87	127
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	135	105	137

Tabel 5.5 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 20 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie Bathse brug (bij Deltan) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Scenario	Duur van >20 mg/l verlaging (d)			Maximale verlaging (mg/l)		
	2000	2001	2007	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer						
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	101	36	75	38	30	38
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	159	>139	125	52	47	54
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	227	>139	175	62	69	68
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	236	>139	188	91	111	100
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	185	>139	133	66	63	63
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	210	>139	157	84	85	85
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	241	>139	198	101	120	102
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	245	>139	239	123	143	121

Scenario	Duur van >10 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	208	>139	145
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	228	>139	175
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	257	>139	258
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	274	>139	265
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	235	>139	178
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	247	>139	221
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	280	>139	268
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	292	>139	269

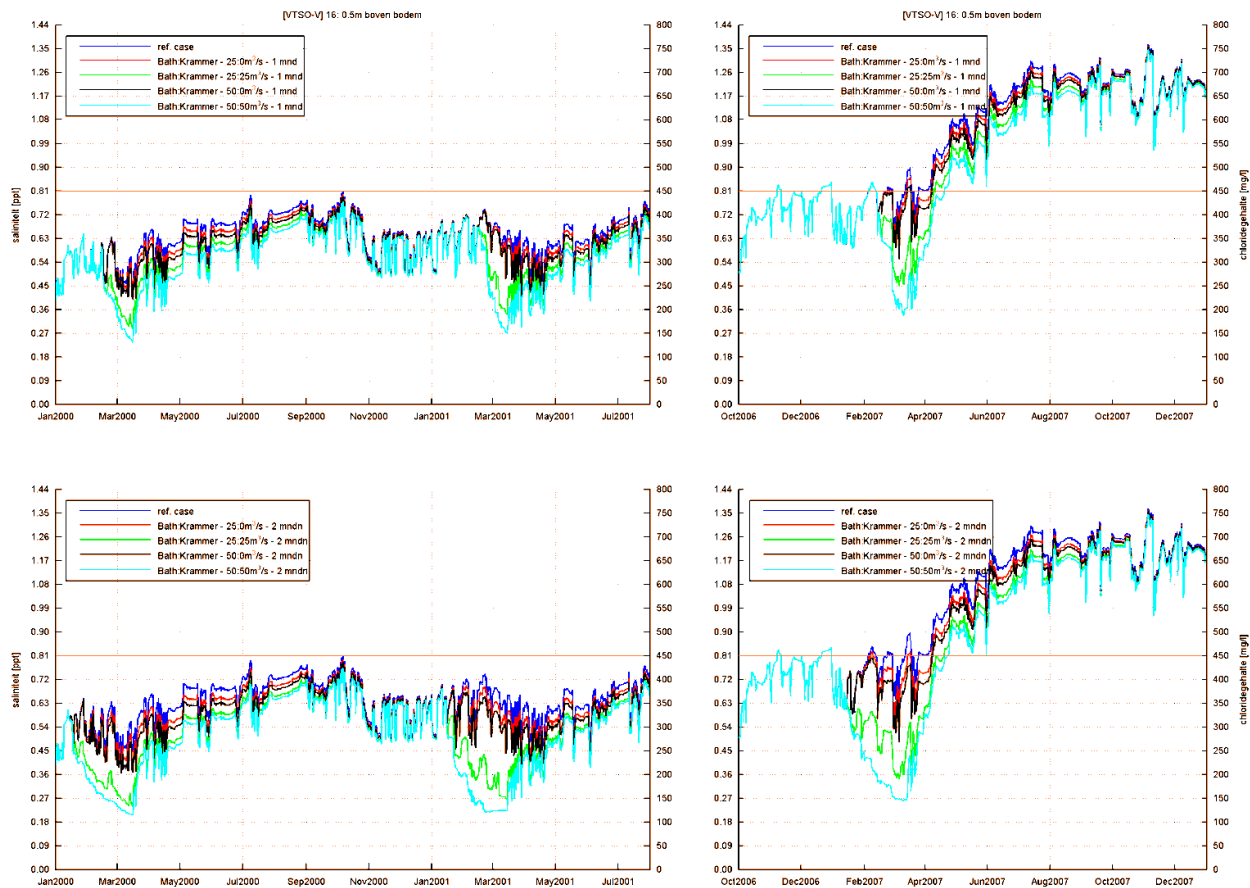
Scenario	Duur van >40 mg/l verlaging (d)		
	2000	2001	2007
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer			
25 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	0	0	0
25 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	46	14	45
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	135	>139	124
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	185	>139	146
50 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 100%:0%	77	21	54
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	116	125	111
100 m <sup>3</sup> /s – 1 mnd – 50%:50%	186	>139	150
100 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	209	>139	161





## C Leegspoelen van de put bij de Krammersluizen

Uit de VTSO metingen is bekend dat de chlorideconcentratie in de put ten oosten van de Krammersluizen hoge chlorideconcentraties kan bevatten. Bij de bodem kan de chlorideconcentratie oplopen tot 1.000 mg/l of meer. Water met een hoge chlorideconcentratie dat bij het schutproces van de Oosterschelde naar het Krammer-Volkerak 'lekt' heeft een hogere dichtheid dan het water in het Volkerak-Zoommeer. Het zwaardere water stroomt langs het bodemprofiel naar het diepste punt. Dat is als eerste de put ten oosten van de Krammersluizen. Als deze gevuld is, stroomt het zoutere water over de drempel verder naar de volgende put. Omdat bij deze stroming wel enige menging en dus verdunning optreedt, neemt het concentratieverschil af.



Figuur C.1 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l, rechter-as) op 0,5 m boven de bodem voor locatie VTSO-V16 (bij Krammersluizen). Boven: doorspoelperiode 1 maand; Onder: doorspoelperiode 2 maanden.

Figuur C.1 toont het berekende verloop van de chlorideconcentratie op locatie VTSO-16 wat de put ten oosten van de Krammersluizen representeert. Doorspoeling resulteert in een kortdurende grote verlaging van de chlorideconcentratie in de put. Vooral in 2007 is duidelijk dat de put zich snel vult met water met een hogere chlorideconcentratie, nadat de doorspoeling op 15 maart is beëindigd. De chlorideconcentratie blijft wel langdurige enkele tientallen mg/l tot circa 100 mg/l lager dan in de referentiesituatie.



## D Jaarreeksen debieten en chloride (HMCZ)

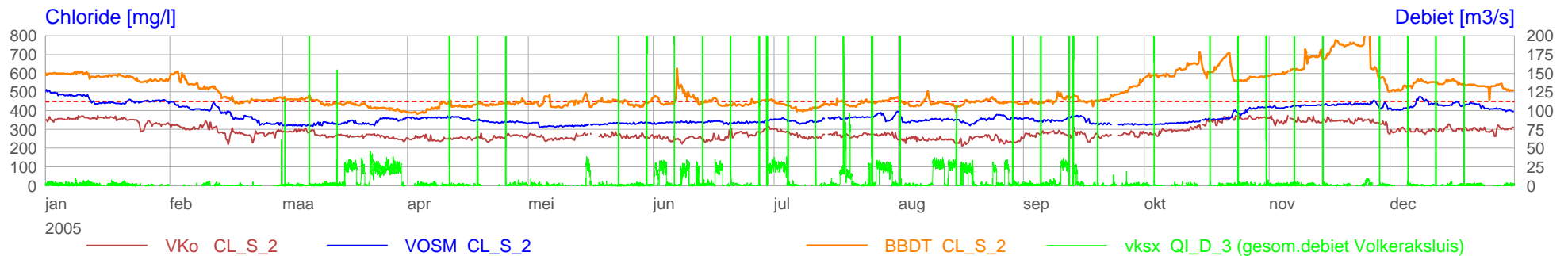
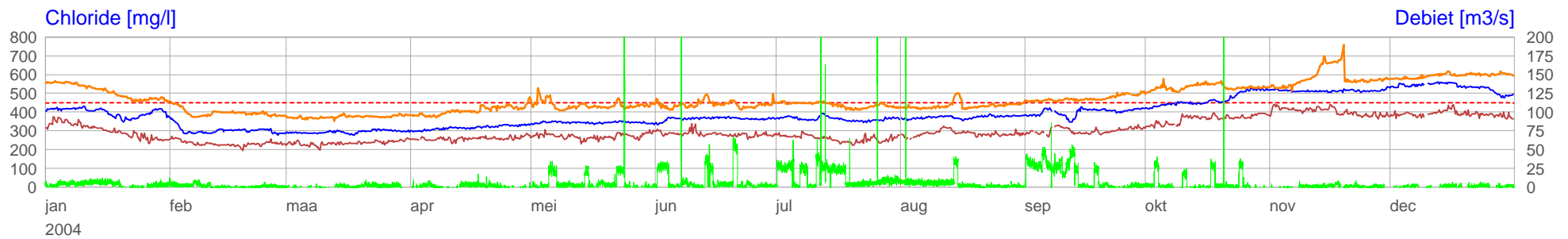
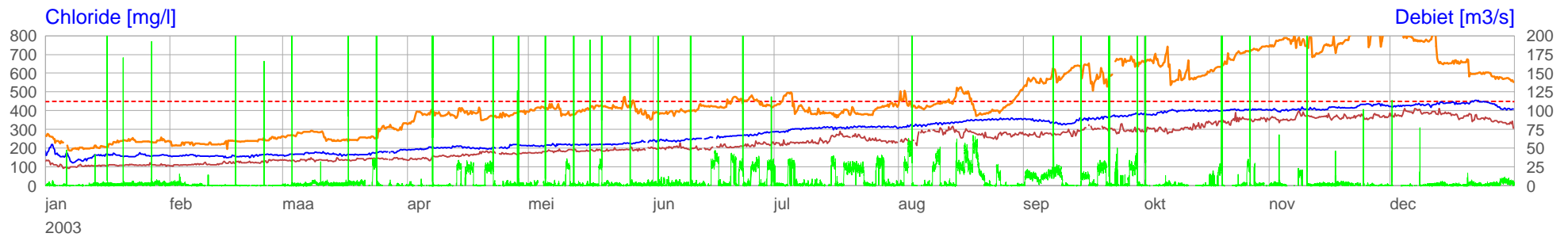
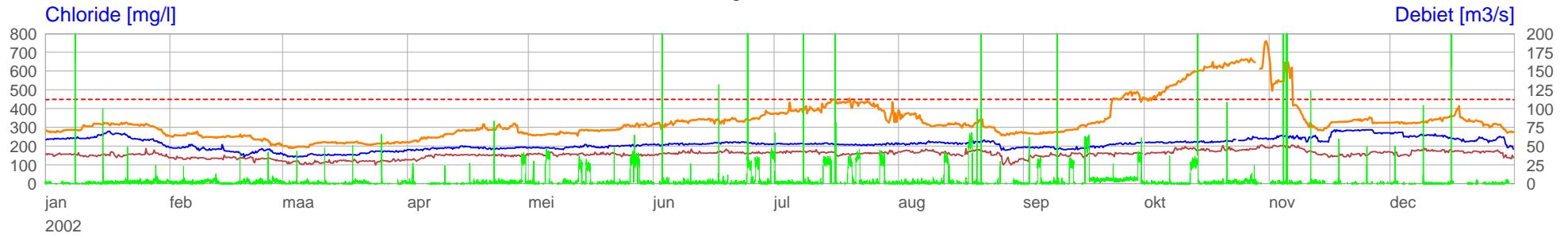
De volgende pagina's bevatten de tijdseriegrafieken van de gemeten chlorideconcentratie en debieten van Volkeraksluizen, Dintel en Bathse spuisluis (Bron: Hydro Meteo Centrum Zeeland).

De grafieken zijn gesplitst over drie perioden: 2002-2005, 2006-2008 en 2009-2013 (voor zover gemeten).

De getoonde meetstations zijn Galathea Volkerak (VKo CL\_S\_2), Vossemeer (VOSM CL\_S\_2) en Bathsebrug spuikanaal bij Deltan (BBDT CL\_S\_2).

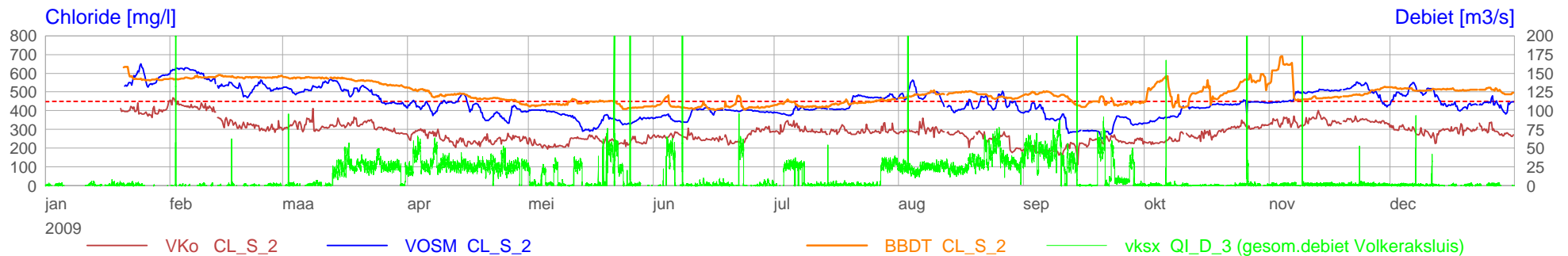
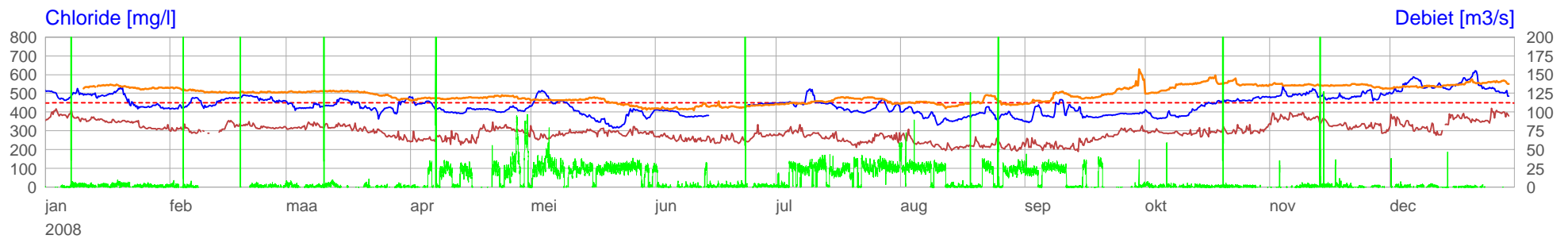
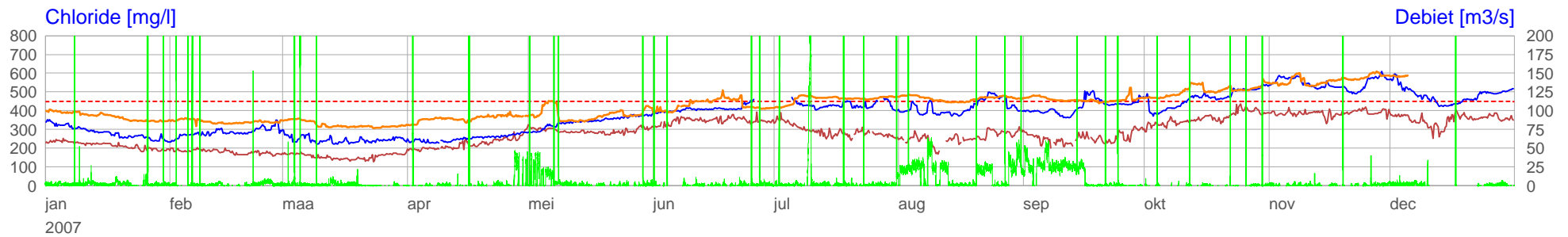
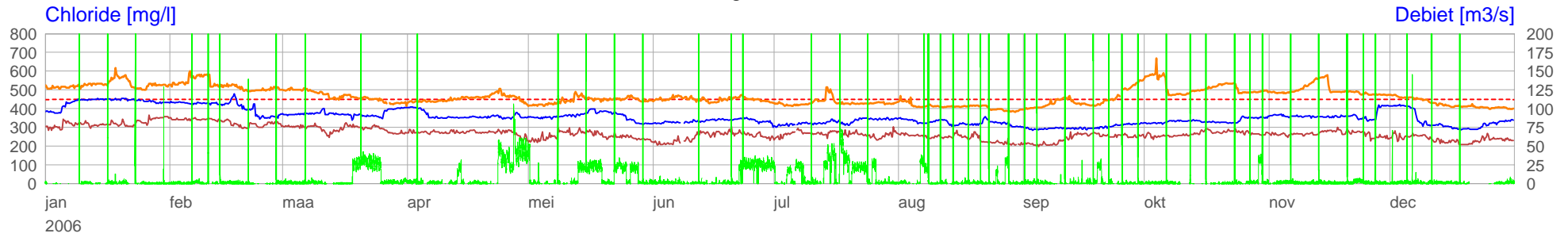
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



# Volkerak Zoommeer

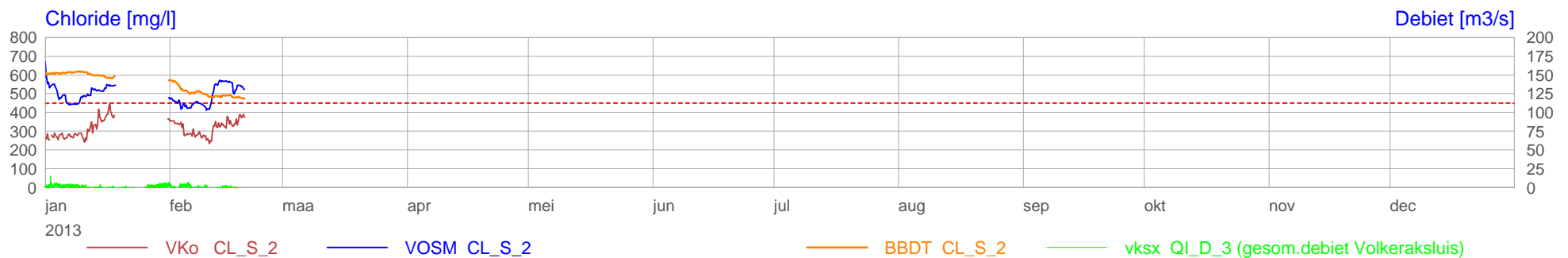
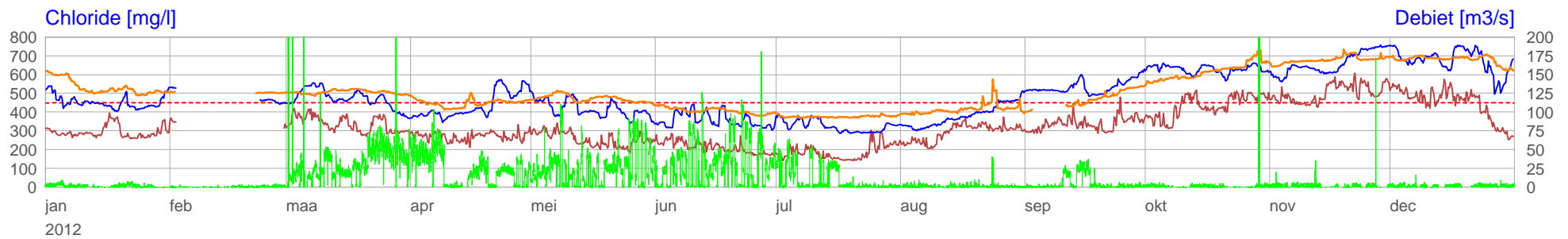
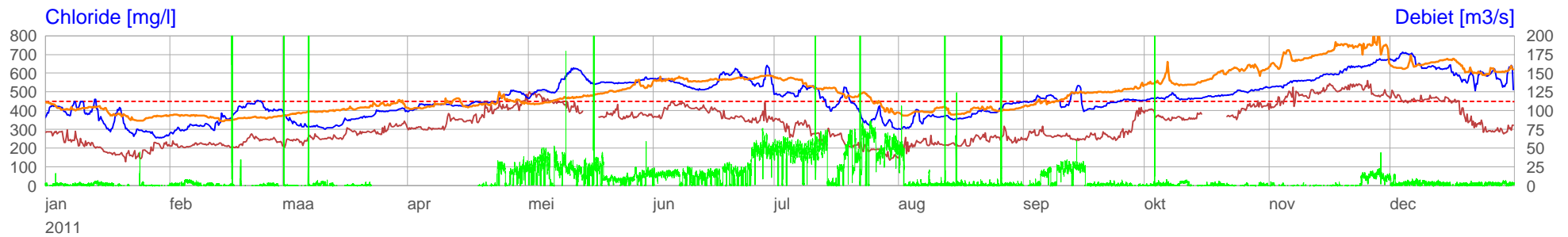
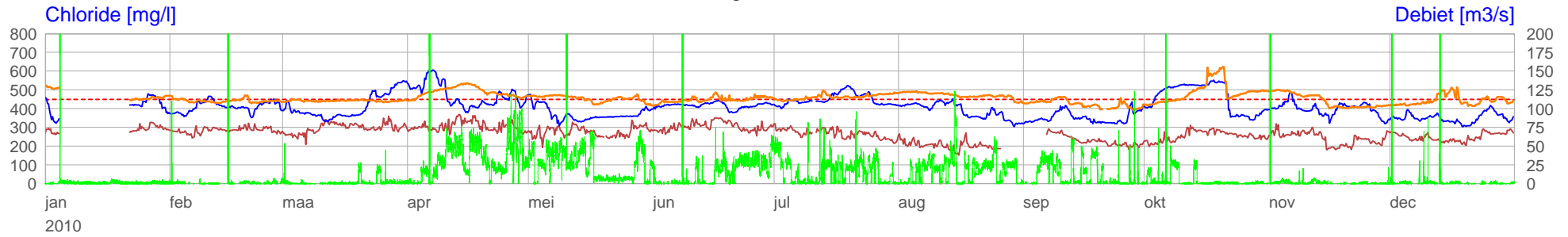
## Chloridegehalten en debieten





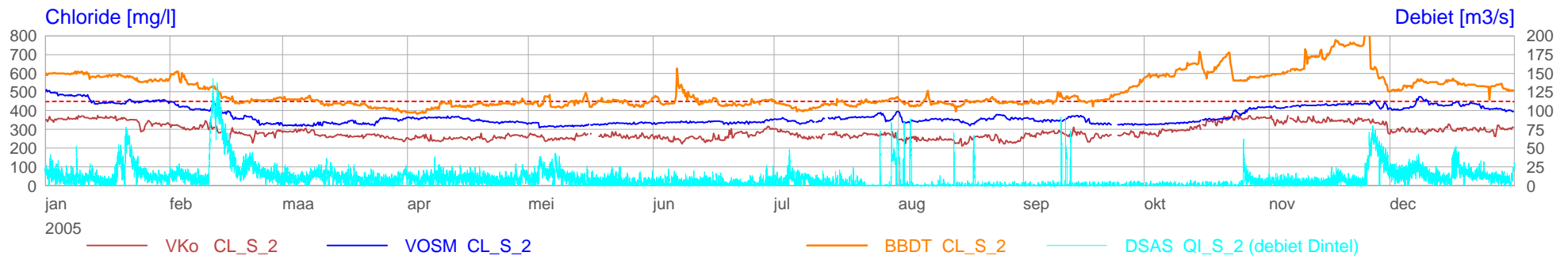
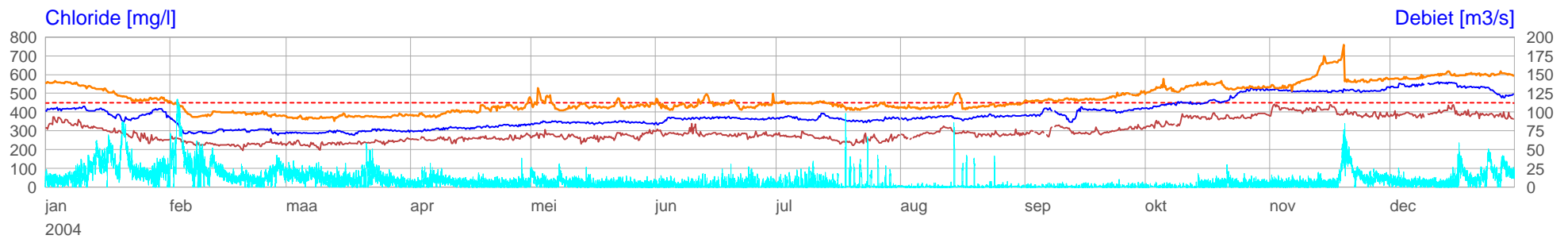
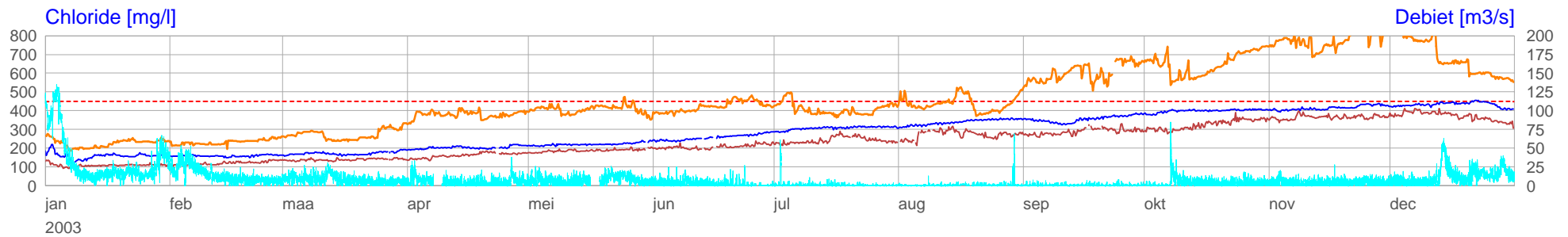
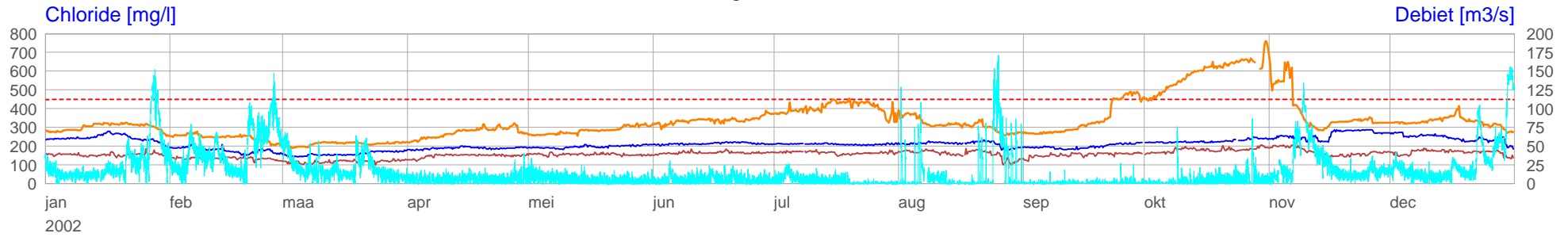
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



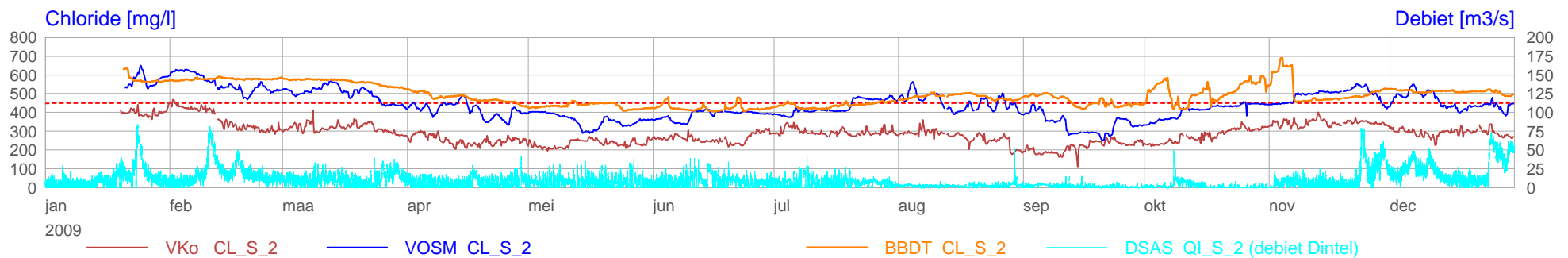
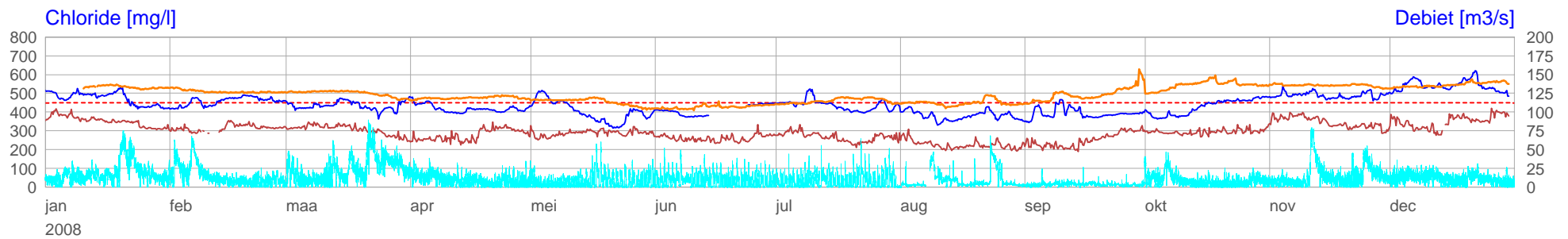
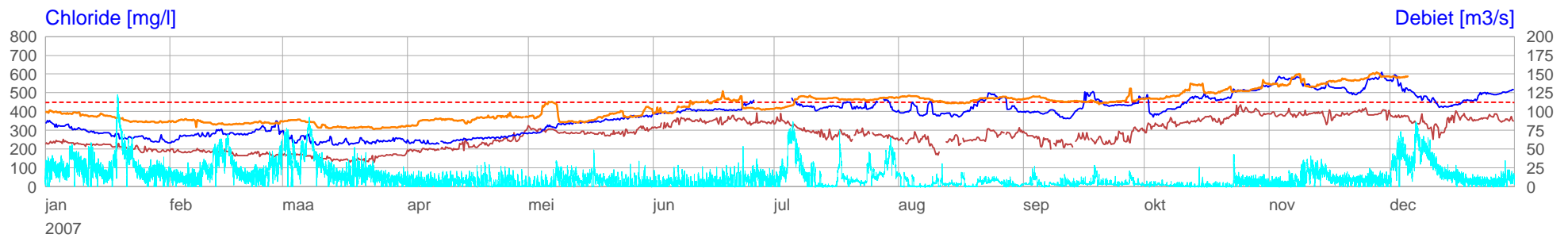
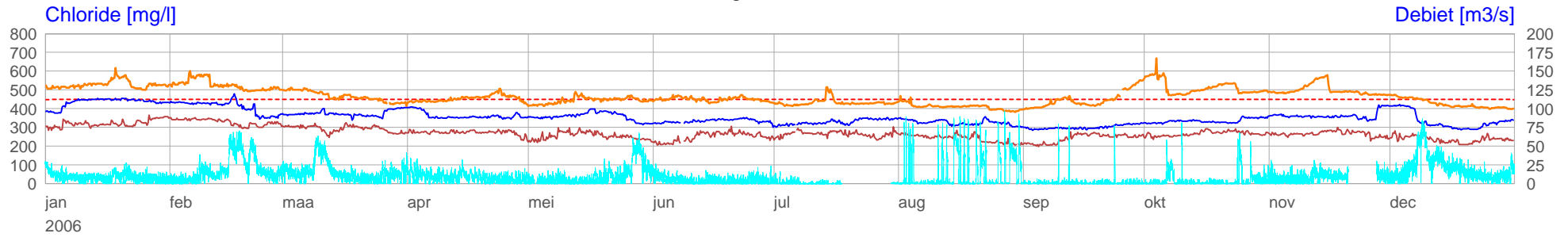
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



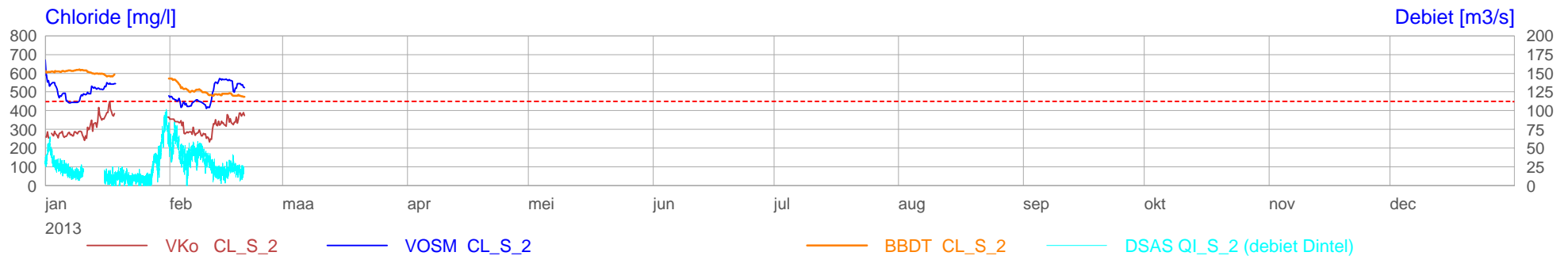
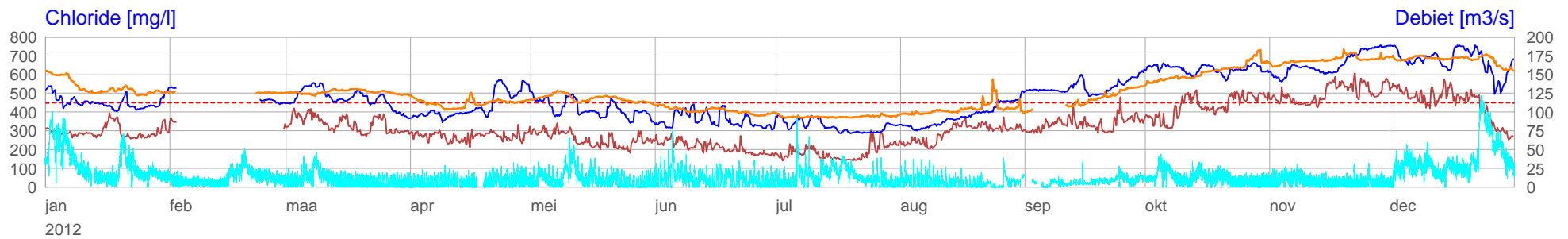
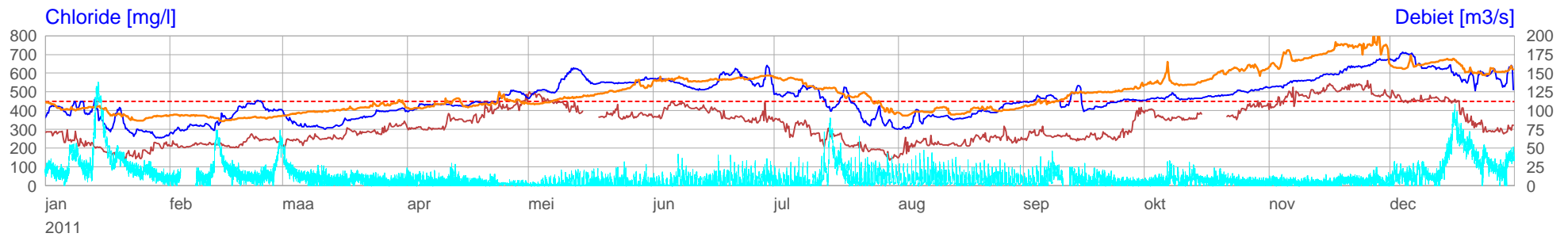
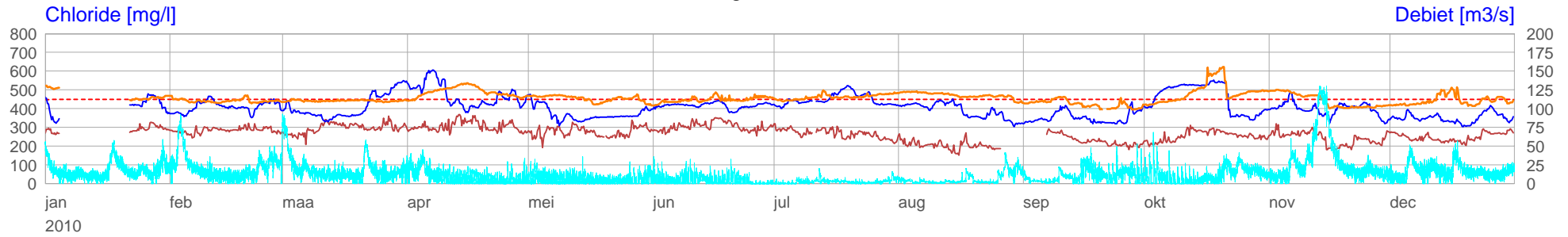
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



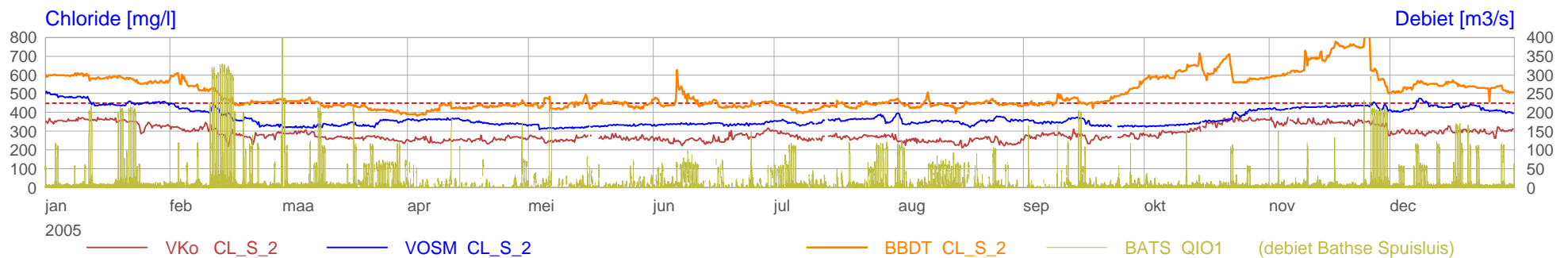
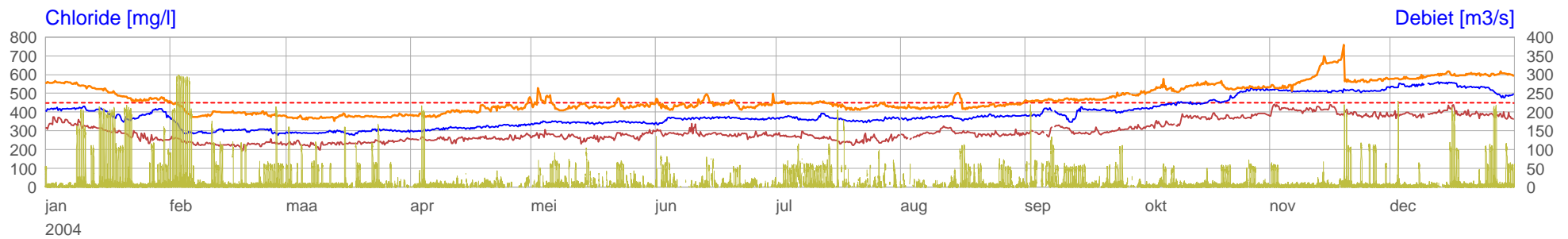
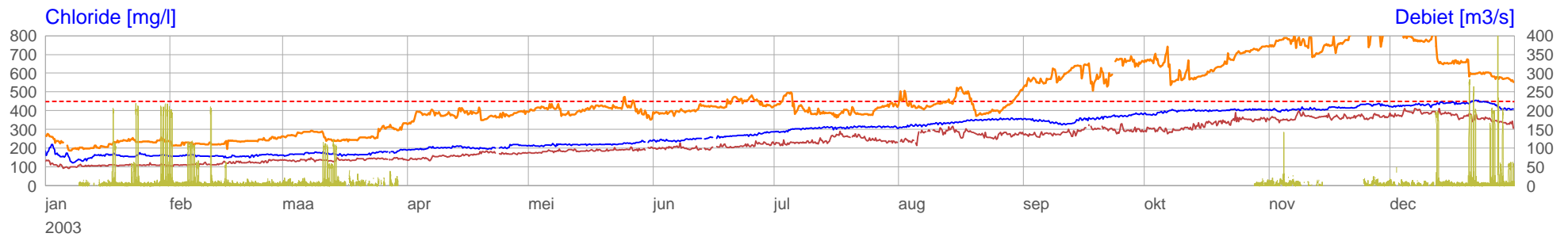
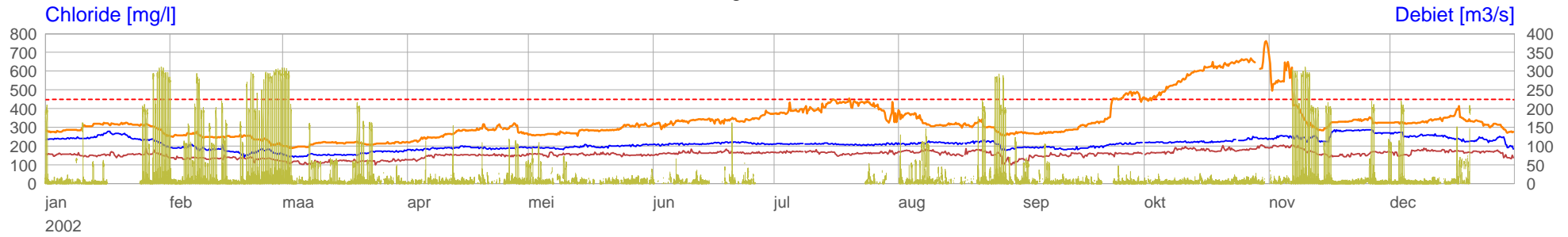
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



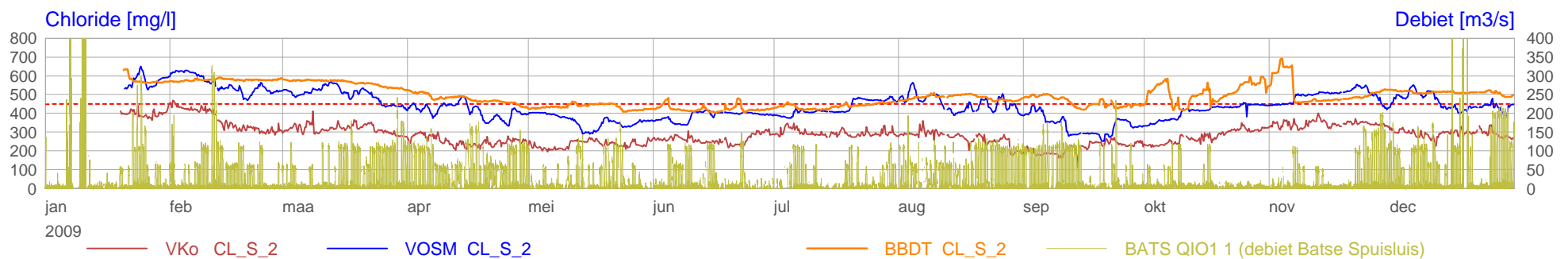
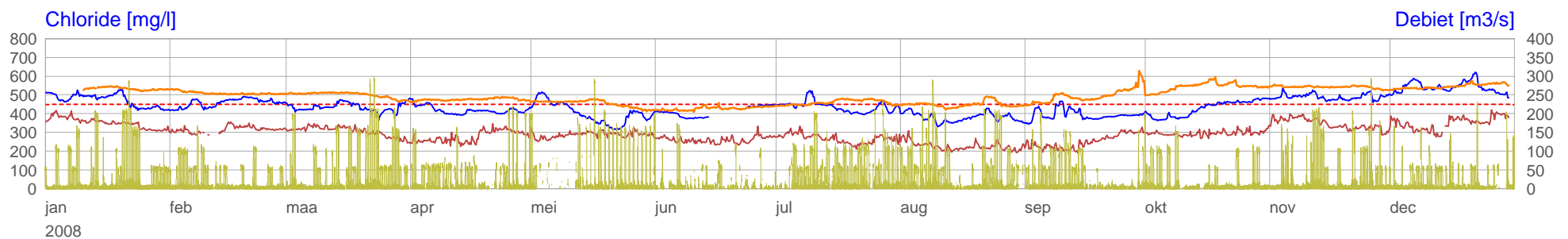
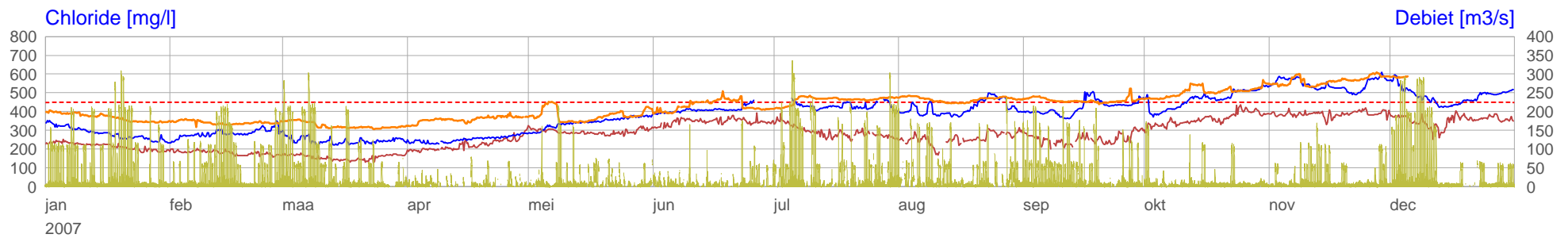
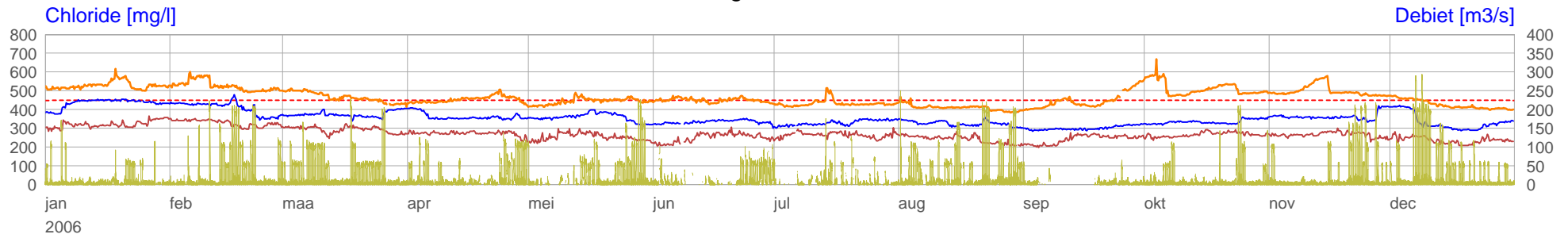
# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten



# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten





# Volkerak Zoommeer

## Chloridegehalten en debieten

