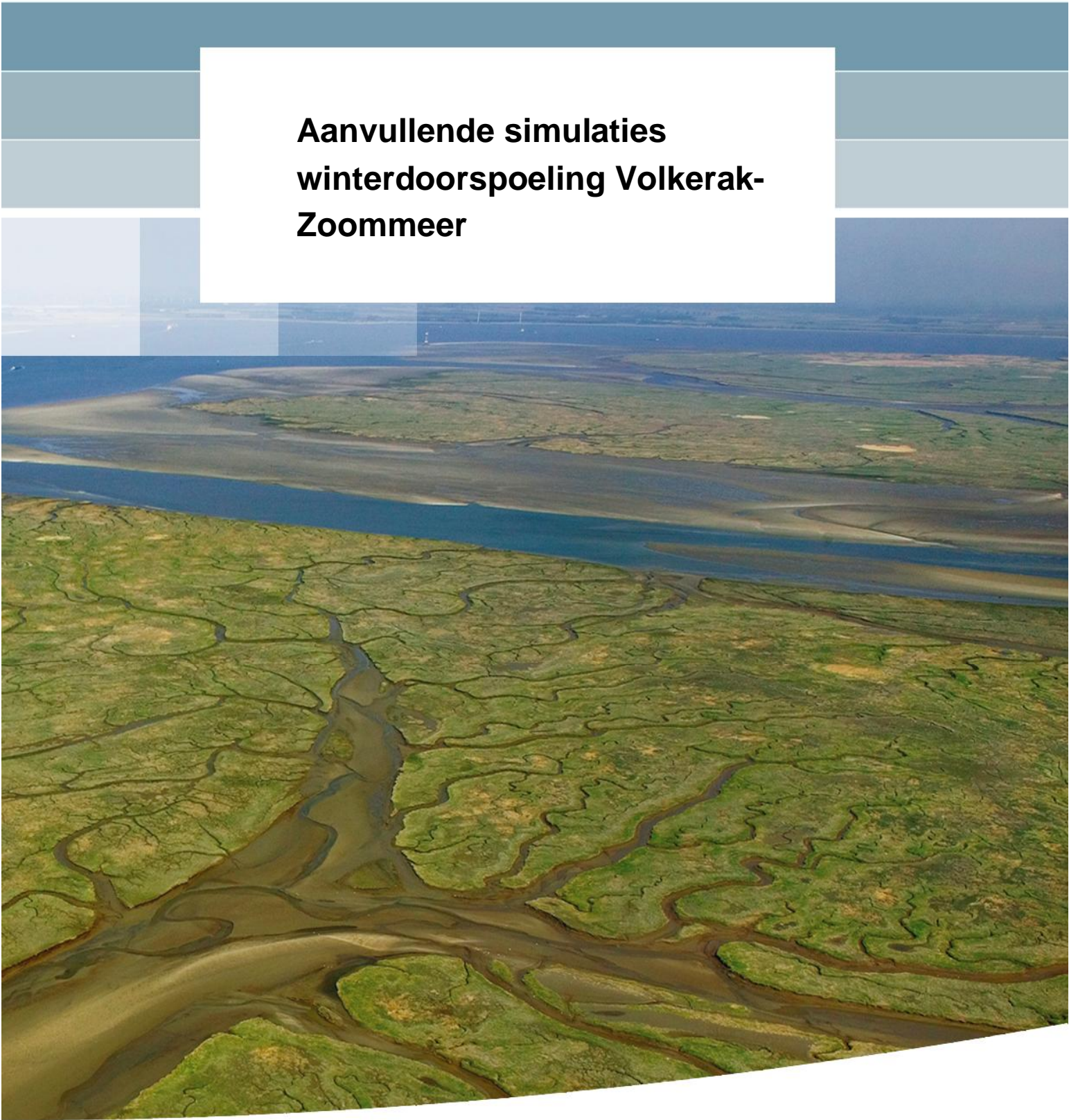


**Aanvullende simulaties  
winterdoorspoeling Volkerak-  
Zoommeer**





**Aanvullende simulaties  
winterdoorspoeling Volkerak-  
Zoommeer**

Yann Friocourt

1209937-000



**Titel**

Aanvullende simulaties winterdoorspoeling Volkerak-Zoommeer

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat WVL	1209937-000	1209937-000-ZKS-0005	73

**Trefwoorden**

Volkerak-Zoommeer, Oosterschelde, verzilting, 3D modellering

**Samenvatting**

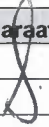
Om de verzilting van het Volkerak-Zoommeer in het (landbouw)groeiseizoen te beperken is eerder onderzocht hoe effectief de zogenaamde winterdoorspoeling effectief was (Nolte e.a., 2013). Naar aanleiding van de eerdere studie zijn aanvullende vragen geformuleerd met betrekking tot (1) het hogere zoutgehalte in 2011 aan het begin van het groeiseizoen in het Volkerak-Zoommeer en (2) de effecten van zoetwaterbelasting op de stratificatie in de Oosterschelde en wat dit betekent voor de mosselhangcultures nabij de Krammersluizen in de Oosterschelde.

De eerste vraag is beantwoord door middel van een 3D hydrodynamisch model van het Volkerak-Zoommeer. Er is geconcludeerd dat zelfs met een verhoogde zoutlast via de Krammersluizen de winterdoorspoeling een verlaging van de chlorideconcentraties veroorzaakt ten opzichte van de referentie, maar dat de winterdoorspoeling gedurende 2 maanden met een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s niet voldoende is om in alle jaren een overschrijding van chlorideconcentratie 450 mg/l te voorkomen. Hoe de waterbalans na 15 maart zich ontwikkelt speelt hierin een essentiële rol. Daarom wordt aanbevolen de winterdoorspoeling na 15 maart te laten doorgaan, zolang er een watervoorraad is, om normoverschrijdingen later in het jaar te voorkomen. Hoe meer water via de Krammersluizen in plaats van via de Bathse Spuisluis wordt afgevoerd, hoe effectiever de winterdoorspoeling.

Voor de tweede vraag is uitsluitend het effect van de zoetwateraanvoer op de stratificatie beschouwd met een 3D hydrodynamisch model van de Oosterschelde. Volgens het model leidt de verhoogde zoetlast tot een versterking van verticale saliniteitsverschillen in het Krammer en in het Zijpe/Mastgat. Door zoutwater aan te voeren via de Flakkeese Spuisluis kan dit effect deels worden gecompenseerd, alhoewel verticale saliniteitsverschillen in het Krammer lokaal toenemen. Met het innovatieve zoet-zoutscheidingsstelsel in werking (en wel of niet Flakkeese Spuisluis) neemt volgens het model het zoutgehalte in de Oosterschelde in haar geheel af tot het niveau dat voor de afsluiting van de Oosterschelde werd gemeten.

**Referenties**

31093815/Van den Broek

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	Sep. 2014	Yann Friocourt		Kees Kuijper		Frank Hoozemans	
2	Okt. 2014	Yann Friocourt		Kees Kuijper		Frank Hoozemans	

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Algemene context	1
1.2 Afbakening van deze studie	2
1.3 Leeswijzer	2
<b>2 Afleiding van de zoutlast via de Krammersluizen</b>	<b>3</b>
2.1 Inleiding	3
2.2 Theoretische bepaling van de zoutlast	3
2.3 Validatie van de aanpak voor 2006-2007	4
2.4 Schatting van de zoutlast voor 2010-2011	4
2.5 Numerieke berekening met de geschatte zoutlast voor 2010-2011	8
2.6 Interpretatie van de gekozen aanpak	9
<b>3 Modelling van de winterdoerspoeling</b>	<b>13</b>
3.1 Scenariodefinitie	13
3.2 Modelresultaten: Tijdseries	13
3.3 Modelresultaten: Duur van verlaging en maximale verlaging	24
3.4 Conclusies	24
<b>4 Naar een indicatie van effecten in de Oosterschelde</b>	<b>35</b>
4.1 Uitgangspunten	35
4.2 Modelbeschrijving	35
4.3 Scenariodefinitie	36
4.4 Modelresultaten	38
4.5 Conclusies	70
<b>5 Conclusies</b>	<b>71</b>
5.1 Effect van winterdoerspoeling op het Volkerak-Zoommeer	71
5.2 Fysisch effect van winterdoerspoeling op de Oosterschelde	72
<b>6 Referenties</b>	<b>73</b>





# 1 Inleiding

## 1.1 Algemene context

Naar aanleiding van de droogte van 2011 is door de toenmalige Waterdienst een evaluatie uitgevoerd met betrekking tot het beheer van het hoofdwatersysteem. De lessen uit de evaluatie zijn besproken in de Landelijke Coördinatiecommissie Waterverdeling (LCW) en één onderwerp had te maken met winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer. In het Waterakkoord Volkerak-Zoommeer (VZM) is vastgelegd dat het doorspoelbeheer ten behoeve van het chloridebeheer (< 450 mgCl/l) start aan het begin van het groeiseizoen (15 maart). Het advies uit de evaluatie was om de mogelijkheden te onderzoeken om eerder te beginnen met doorspoelen van het VZM (winterdoorspoeling). Dit zou kunnen resulteren in een lager chloridegehalte aan het begin van het groeiseizoen waardoor minder rivierwater nodig is voor doorspoelen tijdens het groeiseizoen. Met name als er lage afvoeren zijn tijdens de maanden april/mei kan dit mogelijk leiden tot een lager doorspoeldebiet. In het voorjaar 2011 was deze situatie actueel waarbij het doorspoeldebiet voor het VZM was gelimiteerd vanwege de verdringingsreeks. De drinkwaterbelangen in het Haringvliet hebben een hogere prioriteit in de landelijke verdringingsreeks ten opzichte van het Volkerak-Zoommeer, waarin geen drinkwaterbelangen spelen.

Ook in voorjaar 2013 zijn er vanuit de omgeving weer vragen gesteld om eerder te beginnen met doorspoelen vanwege hoge chloridegehalten in het VZM. Het argument hierbij is dat over het algemeen in het vroege voorjaar het aanbod van rivierwater ruim voldoende is. Het waterakkoord geeft echter geen verplichting om eerder door te spoelen. Voor RWS is het allereerst van belang goed zicht te hebben op de effectiviteit van de maatregel voor het VZM zelf voor wat betreft de chlorideconcentraties, maar ook op de effecten voor de waterkwaliteit van het VZM.

Het doorspoelwater wordt normaliter afgevoerd via de Bathse Spuisluis naar de Westerschelde. Maar er zijn ook vragen in hoeverre afvoer naar de Oosterschelde effecten zouden kunnen hebben op productiviteit van de Oosterschelde. Dit onderwerp is al deels onderzocht in de Green Deal Oosterschelde maar in dit kader zou het onderzoek wellicht tot nieuwe inzichten kunnen leiden.

Naar aanleiding van die vragen heeft Deltares in 2013 een modelstudie uitgevoerd naar de effectiviteit en effecten van een winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer. Het rapport (rapport kenmerk 1208550-000-ZKS-0008, Nolte e.a., 2013; hierna de hoofdstudie) is eind 2013 opgeleverd, en op 21 januari 2014 door Deltares uitgebreid toegelicht in een bijeenkomst met deelnemers die betrokken zijn bij de actualisatie van het Waterakkoord Volkerak-Zoommeer.

De studie heeft geleid tot heldere conclusies met betrekking tot doorspoelstrategieën, maar desondanks zijn er nog aanvullende vragen geformuleerd die relevant zijn voor de actualisatie van het waterakkoord. Deze vragen hebben betrekking op (1) het hogere zoutgehalte de laatste jaren aan het begin van het groeiseizoen en (2) de effecten van zoetwaterbelasting op de stratificatie in de Oosterschelde en wat dit betekent voor de mosselhangcultures nabij de Krammersluizen in de Oosterschelde.

## 1.2 Afbakening van deze studie

Op basis van die vragen is Deltares verzocht:

- 1 Extra scenarioberekeningen uit te voeren met het 3D hydrodynamisch model van het Volkerak-Zoommeer, rekening houdend met hogere aanvangsconcentraties van chloride in het groeiseizoen;
- 2 Een gevoeligheidsanalyse uit te voeren met verschillende zoutvrachten vanuit de Krammersluizen. Hiervoor is gekozen naar de omstandigheden van 2010-2011, waarin relatieve hoge chlorideconcentraties zijn gemeten in het Volkerak-Zoommeer.
- 3 Een drietal scenarioberekeningen uit te voeren met een 3D hydrodynamisch model van de Oosterschelde voor het schatten van stratificatierisico's en effecten.
- 4 Specifiek te beoordelen of de stratificatie en zoutgehalteverlaging als gevolg van winterdoerspoeling gevolgen op de mosselhangcultuur nabij de Krammersluizen kunnen hebben.

De hier gepresenteerde studie sluit aan op de eerdere studie die Deltares in 2013 heeft uitgevoerd (rapport kenmerk 1208550-000-ZKS-0008, Nolte e.a., 2013), en maakt dus gebruik van het model dat toen is toegepast zonder verdere aanpassing. Voor verdere informatie verwezen naar Nolte e.a., 2013.

## 1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft hoe chloridemetingen zijn gebruikt om tot een schatting van de in deze studie te hanteren zoutlast via de Krammersluizen te komen. In hoofdstuk 3 worden de 3D model scenarioberekeningen voor de winterdoerspoeling beschreven en geanalyseerd. In hoofdstuk 4 worden de 3D model scenarioberekeningen voor het effect van de zoetlast op de gelaagdheid in de Oosterschelde beschreven en geanalyseerd. Hoofdstuk 5 sluit af met beknopte concluderende opmerkingen.

## 2 Afleiding van de zoutlast via de Krammersluizen

### 2.1 Inleiding

In het groeiseizoen van 2011 is de chlorideconcentratie 450 mg/l in het Volkerak-Zoommeer op meerdere locaties overschreden. Dit is mede een gevolg van hydrologische omstandigheden in 2011, waarbij het voorjaar tot de maand juni bijzonder droog was en de zomer bijzonder nat was, en mede van een verhoogde zoutbelasting via de Krammersluizen. Echter, de zoutlast via de Krammersluizen wordt niet gemeten en kan alleen uit gemeten chlorideconcentraties in het Volkerak-Zoommeer en gemeten aan- en afvoeren worden afgeleid.

In het kader van de hierin beschreven studie is gekozen om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren naar de effectiviteit van de winterdoorspoeling met een hogere zoutlast vanuit de Krammersluizen dan door Nolte e.a. (2013) gebruikt, zonder de waterbalans verder aan te passen. Er is gekozen om een fictieve zoutlast te berekenen op basis van de door Nolte e.a. (2013) gebruikte waterbalansen (2000-2001 en 2006-2007) om chlorideconcentraties te verkrijgen die overeen komen met het bereik van in 2011 gemeten chlorideconcentraties. Hiervoor is de volgende procedure gevolgd:

- 1 Theoretische bepaling van de zoutlast via de Krammersluizen;
- 2 Validatie van de methodiek op basis van meetgegevens van 2006-2007;
- 3 Berekening van een fictieve zoutlast volgens de theoretische methodiek op basis van de chloridemetingen van 2010-2011 en de waterbalansen van 2000-2001 en 2006-2007;
- 4 Numerieke berekening met de fictieve zoutlast en vergelijking met metingen;
- 5 Gevoeligheidsonderzoek naar de effectiviteit van de winterdoorspoeling.

Dit hoofdstuk gaat in op stappen 1 t/m 4. Stap 5 wordt in het volgende hoofdstuk verder beschreven.

### 2.2 Theoretische bepaling van de zoutlast

De totale massa aan zout in het Volkerak-Zoommeer  $M_{zout}$  varieert volgens de volgende relatie:

$$\frac{dM_{zout}}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_V C(x, y, z, t) dx dy dz = \sum_{aanvoeren} Q_{aanvoer} C_{aanvoer} - \sum_{afvoeren} Q_{afvoeren} C + Z_{Krammer} \quad (2.1)$$

waarin  $C$  is de zoutconcentratie in het meer,  $Q_{aanvoer}$  zijn alle aanvoeren van water met concentratie  $C_{aanvoer}$  in het meer, en  $Q_{afvoer}$  zijn alle afvoeren vanuit het meer. De zoutlast vanuit de Krammersluizen wordt als  $Z_{Krammer}$  genoteerd, en komt overeen met een netto toevoeging van zout maar geen netto verandering in de waterbalans. Formeel maakt neerslag onderdeel van de aanvoeren ( $Q_{aanvoer}$ ) en verdamping onderdeel van de afvoeren ( $Q_{afvoer}$ ), maar dit blijft buiten beschouwing.

In eerste benadering kan de totale massa aan zout in het meer op een willekeurig moment worden geschat als:

$$M_{zout} \approx V_{VZM} \bar{C} \quad (2.2)$$

waarin  $V_{VZM}$  is het gemiddelde totale volume van het meer (zonder peilvariaties) en  $\bar{C}$  de ruimtelijk-gemiddelde zoutconcentraties in het meer.

De zoutlast kan dus worden benaderd met:

$$Z_{\text{Krammer}} = V_{\text{VZM}} \frac{d\bar{C}}{dt} - \sum_{\text{aanvoeren}} Q_{\text{aanvoer}} C_{\text{aanvoer}} + \bar{C} \sum_{\text{afvoeren}} Q_{\text{afvoer}} \quad (2.3)$$

Aanvoeren naar het Volkerak-Zoommeer komen voornamelijk uit de Dintel (orde 10 à 50 m<sup>3</sup>/s) en de Volkeraksluizen (orde 5 à 20 m<sup>3</sup>/s). De andere aanvoeren (Bovensas, orde 2 à 3 m<sup>3</sup>/s, en gemalen Eendracht, Volkerak en Zoommeer, orde 1 m<sup>3</sup>/s elk) zijn veel kleiner. Water vanuit het meer wordt voornamelijk via de Bathse Spuisluis afgevoerd (orde 10 à 100 m<sup>3</sup>/s). De andere afvoeren via de Krammersluizen (orde 5 à 10 m<sup>3</sup>/s), en de Kreekraksluizen (orde 5 à 15 m<sup>3</sup>/s) zijn ook kleiner.

De gemiddelde zoutconcentratie  $\bar{C}$  in het meer kan worden bepaald uit het gemiddelde van alle gemeten zoutconcentraties in het meer.

### 2.3 Validatie van de aanpak voor 2006-2007

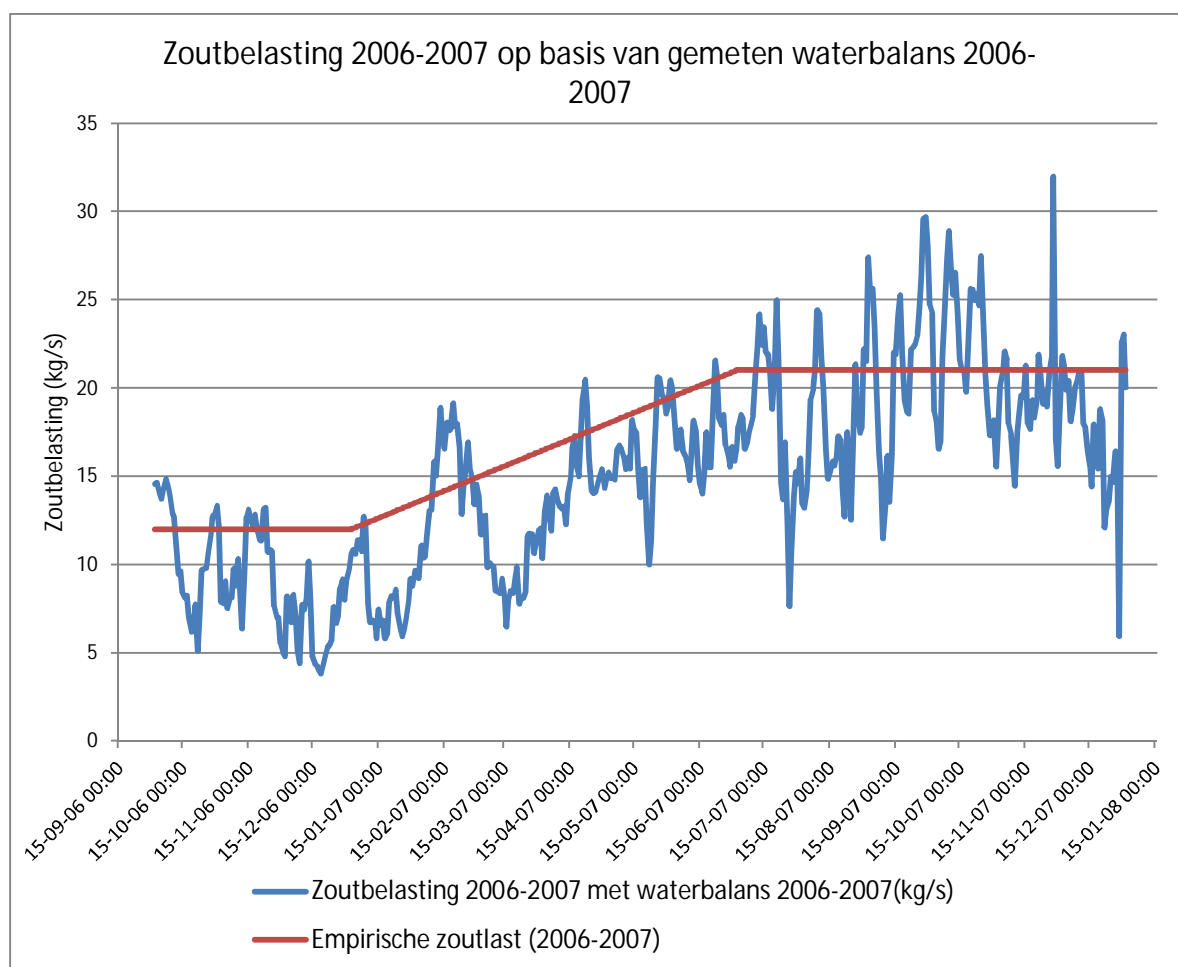
Als validatie voor deze aanpak wordt de zoutlast berekend met vergelijking (2.3) op basis van gemeten (daggemiddelde) chlorideconcentraties bij Volkerak Galathea, Vossemeer, Inloop Bathse spuikanaal, en Bathsebrug spuikanaal, en van gemeten afvoermetingen bij de Volkeraksluizen, de Dintelsas, en de Bathse Spuisluis. Omdat de daggemiddelde chlorideconcentraties en afvoeren nog sterk variëren van dag tot dag wordt de zoutlast berekend op basis van maandgemiddelde waarden (allemaal berekend met voortschrijdende gemiddeldes). De met vergelijking (2.3) berekende zoutlast wordt in Figuur 2.1 weergegeven, samen met de zoutlast bepaald in Nolte en De Vries (2012) en gebruikt in Nolte e.a. (2013).

De resultaten van beide benaderingen stemmen bijzonder goed overeen gelet op de eenvoud van de aanpak. De empirische zoutbelasting zoals gebruikt in Deltares (2013) is ongeveer 3 kg/s groter dan de met vergelijking (2.3) berekende waarde. Dit komt mogelijk door de manier waarop de gemiddelde zoutconcentratie wordt gebruikt (op basis van een paar meetpunten) om de totale hoeveelheid zout in het meer te schatten.

### 2.4 Schatting van de zoutlast voor 2010-2011

In eerste instantie is de zoutlast vanuit de Krammersluizen berekend met vergelijking (2.3) op basis van de gemeten chlorideconcentraties en aan-/afvoeren voor de periode oktober 2010-december 2011 (zie Figuur 2.2).

Het met het numerieke model berekenen van de periode 2010-2011 vereist een complete herberekening van de waterbalans voor deze periode, wat niet mogelijk is in deze studie vanwege de beperkte doorlooptijd. In plaats hiervan zal uiteindelijk worden gewerkt met de waterbalansen van 2000-2001 en 2006-2007 zoals gedaan door Nolte e.a. (2013). Daarom wordt de zoutlast ook berekend met vergelijking (2.3) op basis van de gemeten chlorideconcentraties voor 2010-2011 en de gemeten aanvoeren voor de jaren 2006-2007, resp. 2000-2001. In alle gevallen worden weer maandgemiddelde waarden gebruikt in plaats van de oorspronkelijk dagwaarden. De resultaten worden gepresenteerd in Figuur 2.3 en Figuur 2.4.

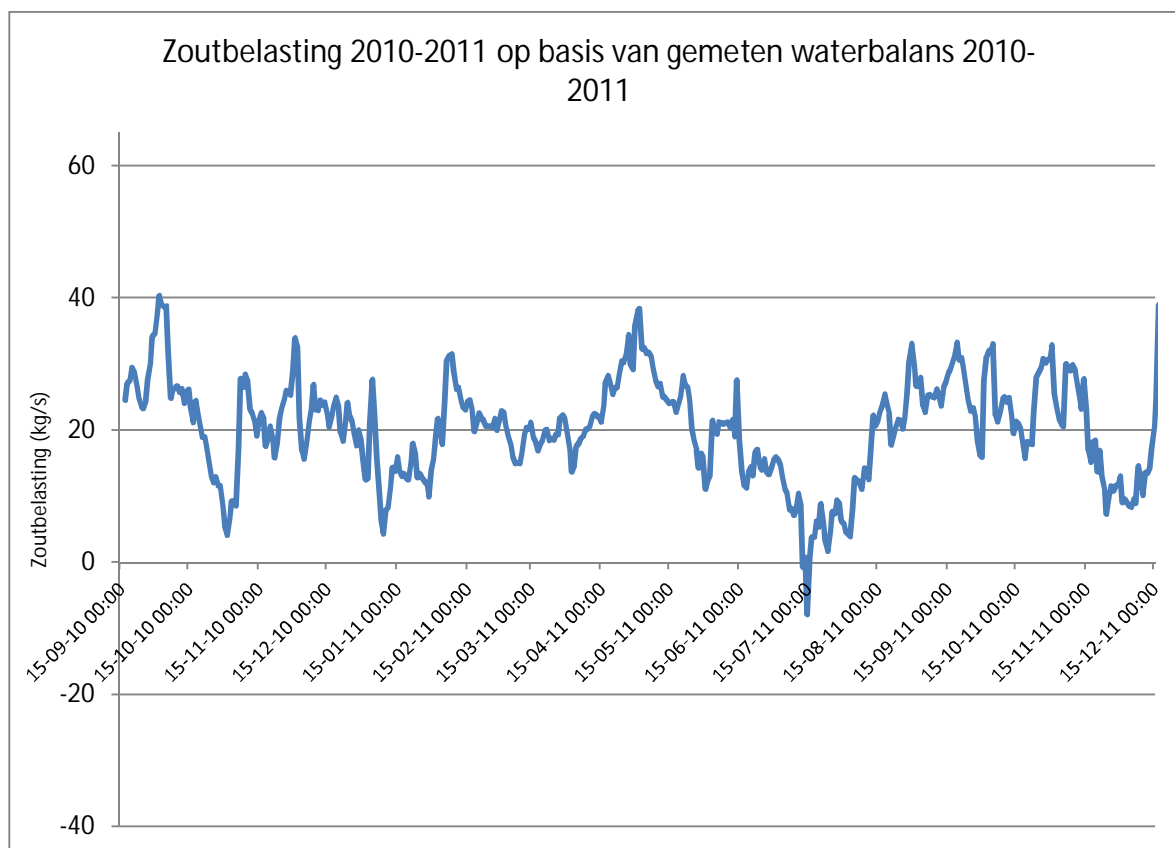


Figuur 2.1 Met vergelijking (2.3) berekende zoutlast op basis van maandgemiddeldes van de chloridemetingen voor 2006-2007 en van de debietmetingen bij de Volkeraksluizen, de Dintelsas, en de Bathse Spuisluis (blauw). De empirische zoutlast zoals bepaald in Deltares (2012) en gebruikt in Deltares (2013) (rood).

De zoutlast op basis van de aan-/afvoeren van 2010-2011 bedraagt 15 à 30 kg/s (Figuur 2.2). Alleen in de zomer van 2011 wordt een aanzienlijk lagere zoutlast berekend, rond 5 kg/s. Die periode was in werkelijkheid nat, met een hoge aanvoer vanuit de Dintel, en als gevolg (ten behoeve van peilbeheer) een hoge afvoer naar de Bathse Spuisluis.

De fictieve zoutbelasting berekend op basis van de waterbalans voor 2000-2001 en 2006-2007 varieert sterker, met waarden tussen 20 en 30 kg/s in het voorjaar 2011, en van 30 à 60 kg/s in het najaar van 2011. In deze fictieve situatie toont de berekende zoutlast sterke temporele variaties en extreme waarden.

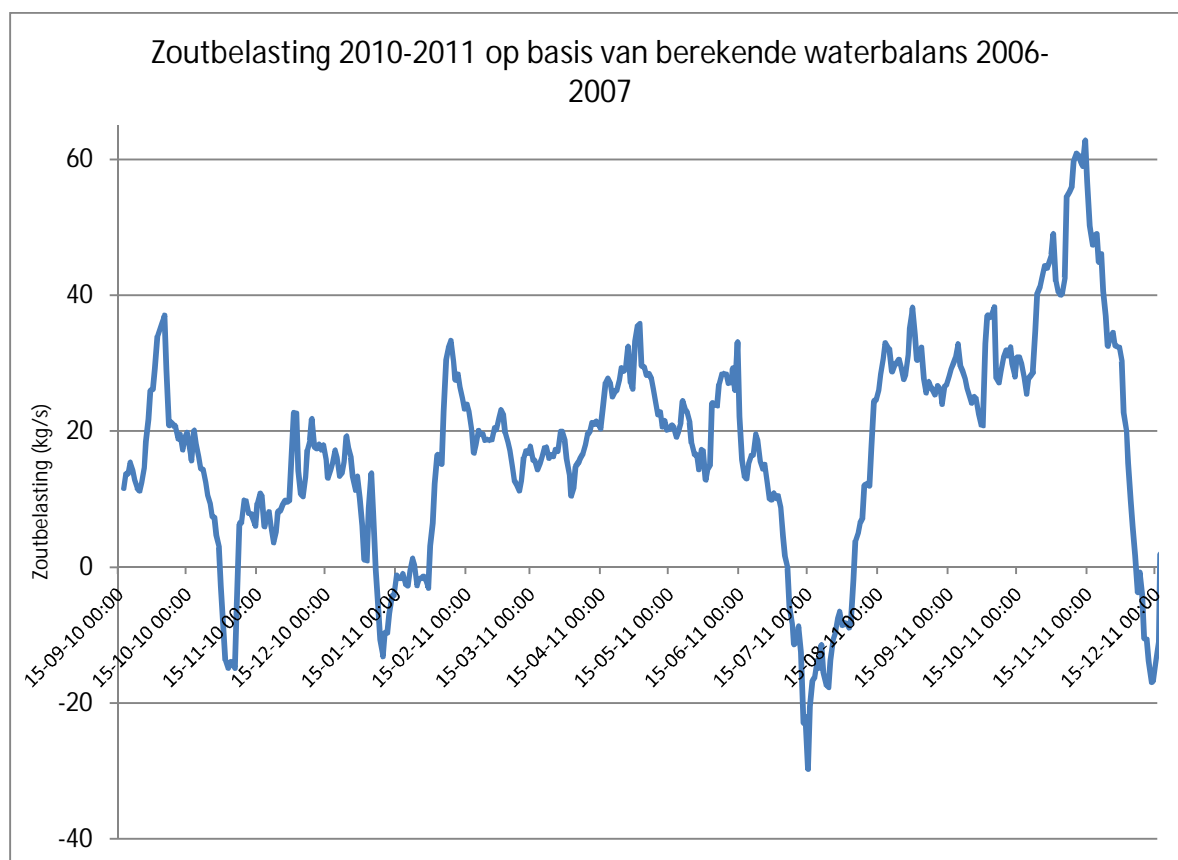
Dit is een gevolg van de hier gekozen aanpak om de zoutlast te bepalen. In werkelijkheid is het peilbeheer van het Volkerak-Zoommeer sterk gerelateerd aan de hydrologische omstandigheden in het Zuidwestelijke Delta. Tijdens natte periodes ontstaat een vrijwel continue doorvoer van zoetwater vanuit de polders van Noord-Brabant en Zeeland naar de Bathse Spuisluis ten behoeve van peilbeheer; de verblijftijd in het meer is dan relatief kort en de chlorideconcentraties blijven relatief laag. Tijdens droge periodes wordt weinig zoetwater aangevoerd, de verblijftijd in het meer is dan relatief lang. Chlorideconcentraties lopen op tot de volgende natte periode.



Figuur 2.2 Zoutlast berekend met vergelijking (2.3) op basis van maandgemiddeldes van de chloridemetingen voor 2010-2010 en de debietmetingen bij de Volkeraksluizen, de Dintelsas, en de Bathse Spuisluis voor de periode 2010-2011.

Met de gekozen aanpak vormt de fictieve zoutlast de sluitingsterm tussen de waterbalans en de gemeten chlorideconcentraties. Dit betekent ook dat de berekende zoutlast eventuele incoherenties moet compenseren om de balans tussen de niet bijpassende waterbalans en chloridemetingen te sluiten. Op het moment dat de gebruikte waterbalans (in dit voorbeeld 2000-2001 of 2006-2007) niet overeen komt met het gedrag van de gemeten chlorideconcentraties (van 2010-2011) moet de berekende zoutlast die verschillen opvangen:

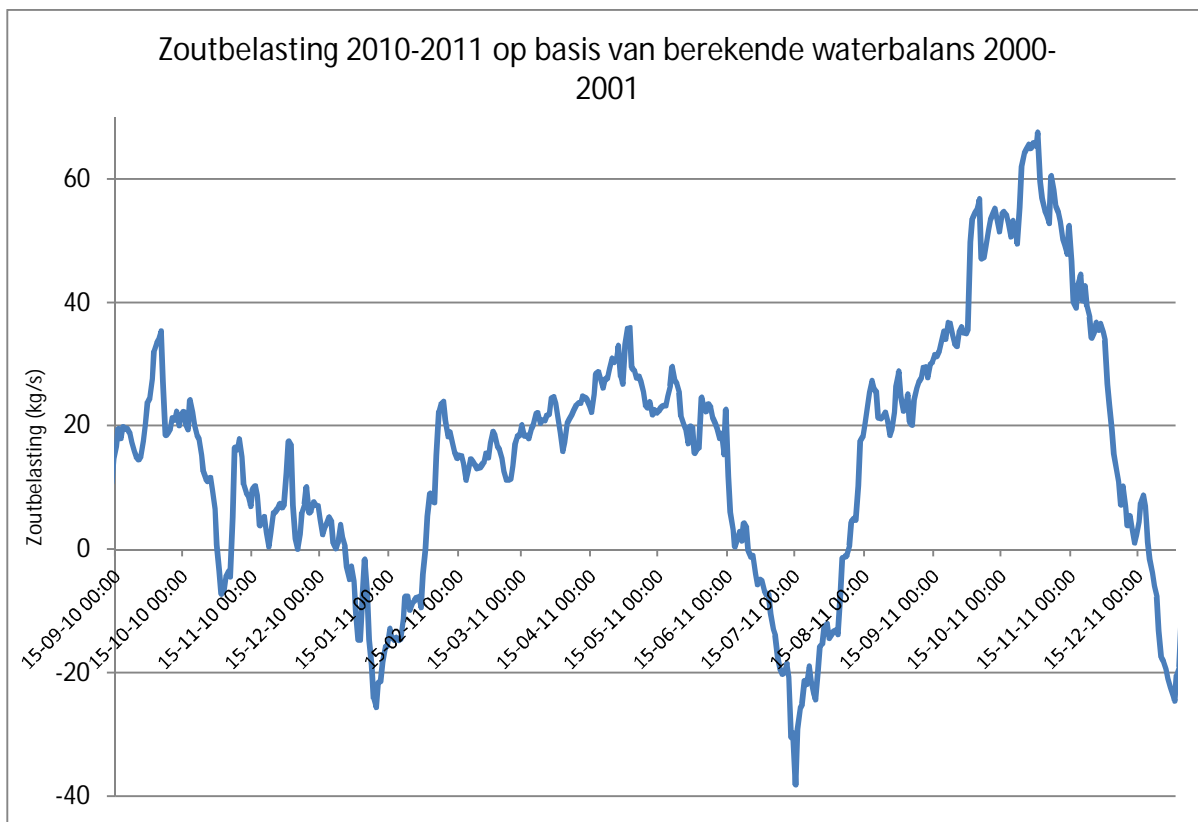
- Als de waterbalans die van een natte periode is (veel doorvoer van zoetwater, korte verblijftijd) maar de gemeten chlorideconcentraties het gedrag van een droge periode laten zien (hoge chlorideconcentraties), leidt de gekozen aanpak tot een hoge fictieve zoutlast: er is heel veel zout nodig vanuit de Oosterschelde om de gemeten chlorideconcentraties te reproduceren gezien de onderliggende waterbalans. Dit gebeurt bijvoorbeeld in november 2011.
- Als de waterbalans die van een droge periode is (weinig doorvoer van zoetwater, lange verblijftijd) maar de gemeten chlorideconcentraties het gedrag van een natte periode laten zien (lage chlorideconcentraties), leidt de gekozen aanpak tot een lage fictieve zoutlast en eventueel zelfs tot een negatieve zoutlast: er is heel weinig zout nodig vanuit de Oosterschelde om de gemeten chlorideconcentraties te reproduceren gezien de onderliggende waterbalans. Omdat de saliniteit van de Oosterschelde vast is (30 ppt, oftewel 16,7 g Cl/l), kan het zijn dat de Oosterschelde volgens de aanpak al te zout is om de balans te sluiten; in dat geval zou volgens de gebruikte methodiek zoutwater vanuit het Volkerak-Zoommeer naar de Oosterschelde moeten worden afgevoerd (negatieve zoutlast). Dit gebeurt bijvoorbeeld in juli-augustus 2011.



Figuur 2.3 Zoutlast berekend met vergelijking (2.3) op basis van maandgemiddeldes van de chloridemetingen voor 2010-2010 en de debietmetingen bij de Volkeraksluizen, de Dintelsas, en de Bathse Spuisluis voor de periode 2006-2007.

Uiteindelijk is gekozen voor een constante gemiddelde zoutlast van 30 kg/s. Er werd geredeneerd dat de sterke temporele variaties in de berekende zoutlast een kunstmatig gevolg van de aanpak zijn, en in werkelijkheid op systeemniveau moeilijk te onderbouwen zijn. Ten behoeve van de doelen van dit onderzoek, waarin moet worden geanalyseerd hoe effectief de winterdoorspoeling is bij een hogere zoutlast, is een constante zoutlast voldoende. De hier gebruikte schatting van 30 kg/s is ook consistent met de volgende opmerkingen:

- In Nolte e.a. (2013) zijn zoutlasten van 12 kg/s (voor 2000-2001) tot maximaal 21 kg/s (2006-2007) gebruikt; die zoutlasten zijn bepaald op basis van bijpassende waterbalansen en chloridemetingen voor die jaren. Sindsdien is de verwachting dat de zoutlek via de Krammersluizen is toegenomen als gevolg van het verder verouderen van het sluiscomplex. Ook is in 2011 het zoetzoutscheidingsstelsel tijdelijk defect geweest, waardoor er in die periode een nog groter zoutlek is opgetreden.
- Zoutlasten via de duwvaartsluizen zijn geschat op 5 kg/s in 1988, 15 kg/s in 2000, en 20 kg/s in 2007 door Rijkswaterstaat Zee & Delta op basis van metingen en numerieke simulaties. De zoutlast via de jachtensluizen is alleen voor het jaar 1988 berekend, en bedroeg toen 1,8 kg/s. De berekende trend doet vermoeden dat een zoutlast van 25 kg/s in 2011 (afgezien van het defecte zoetzoutscheidingsstelsel) niet irreëel is.



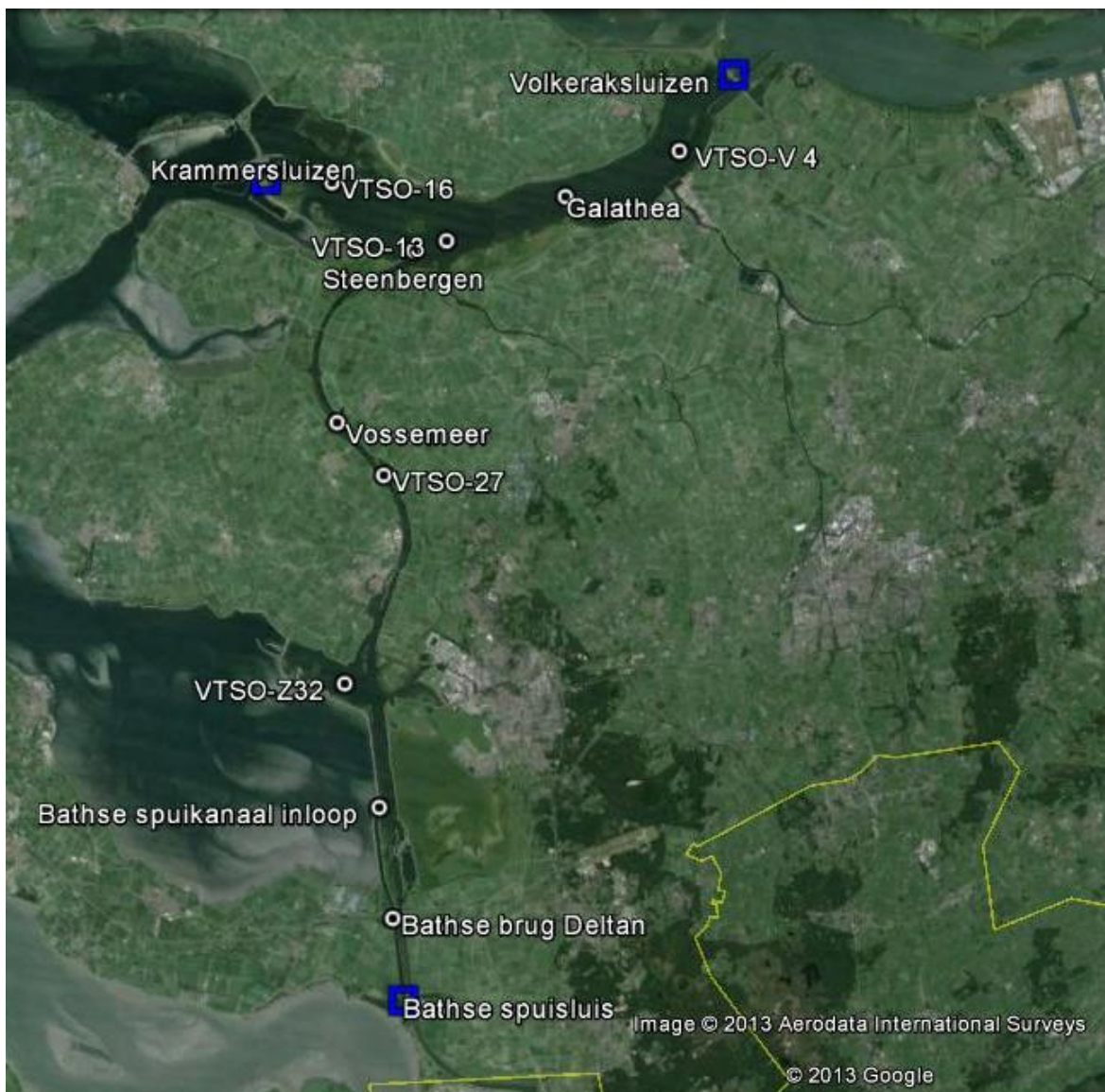
Figuur 2.4 Zoutlast berekend met vergelijking (2.3) op basis van maandgemiddeldes van de chloridemetingen voor 2010-2010 en de debietmetingen bij de Volkeraksluizen, de Dintelsas, en de Bathse Spuisluis voor de periode 2000-2001.

## 2.5 Numerieke berekening met de geschatte zoutlast voor 2010-2011

Ter verificatie van de geschatte zoutlast zijn numerieke berekeningen uitgevoerd met het Delft3D-FLOW model van het Volkerak-Zoommeer, met een fictieve (constante) zoutlast via de Krammersluizen van 30 kg/s. Voor de numerieke berekeningen worden de waterbalansen toegepast die ook door Nolte e.a. (2013) zijn gebruikt (2006-2007 en 2000-2001).

Figuur 2.6 t/m Figuur 2.8 laten het verloop zien van berekende concentraties met een zoutlast van 30 kg/s en de gemeten concentraties bij meetpunten Bathsebrug Spuikanaal, Galathea, en Vossemeer (een overzicht van de locaties is gegeven in Figuur 2.5). De berekende concentraties op 15 september 2010 beginnen aanzienlijk lager (tussen 200 en 300 mg Cl/l) dan de gemeten concentraties (rond 420 mg/l) maar nemen snel toe. Op 1 januari 2011 bedragen zowel de berekende als de gemeten concentraties ongeveer 400 mg/l. De berekende concentraties volgen niet precies de gemeten concentraties voor 2011 omdat de onderliggende waterbalans verschilt. Wel is het bereik van de berekende concentraties goed vergelijkbaar met dat van de gemeten concentraties. Alleen om de piekwaarden van het najaar van 2011 (meer dan 700 mg/l gemeten) te reproduceren zou blijkbaar nog een hogere zoutlast moeten worden gebruikt.



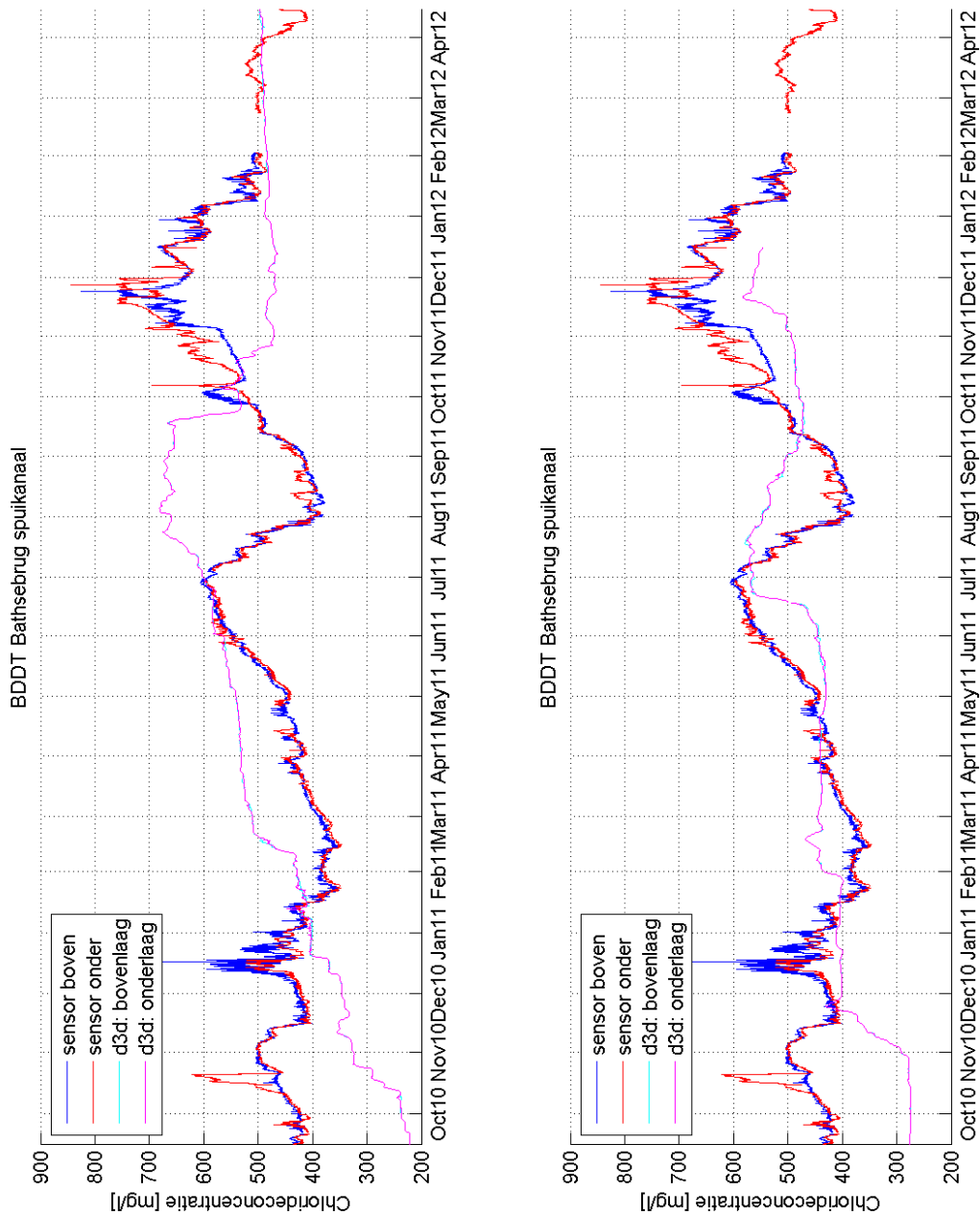


Figuur 2.5 Locatie van meetpunten en sluiscomplexen (bron Google Earth).

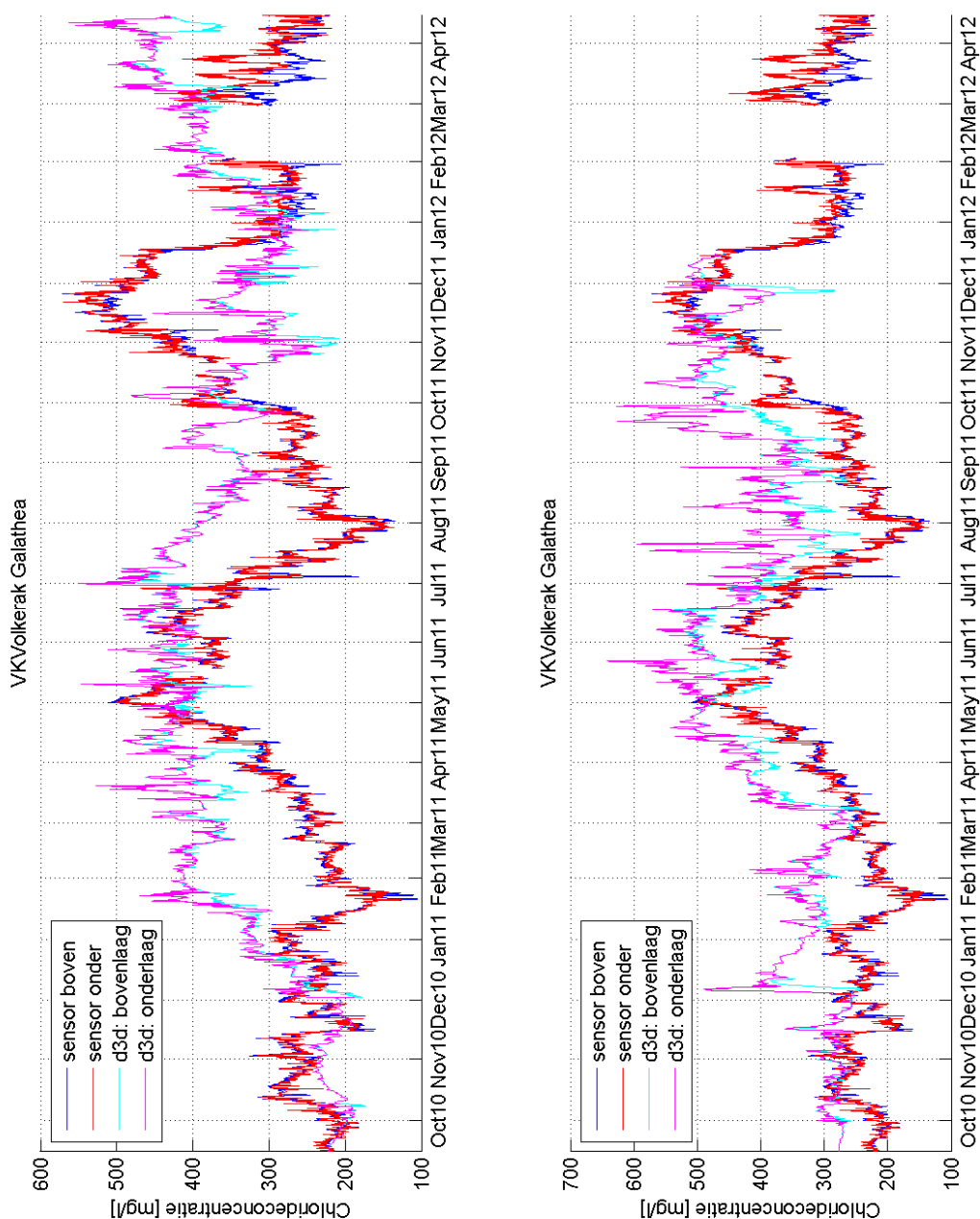
Op basis van de vergelijking lijkt een zoutlast via de Krammersluizen van 30 kg/s in het model consistent met het bereik van de gemeten chlorideconcentraties.

## 2.6 Interpretatie van de gekozen aanpak

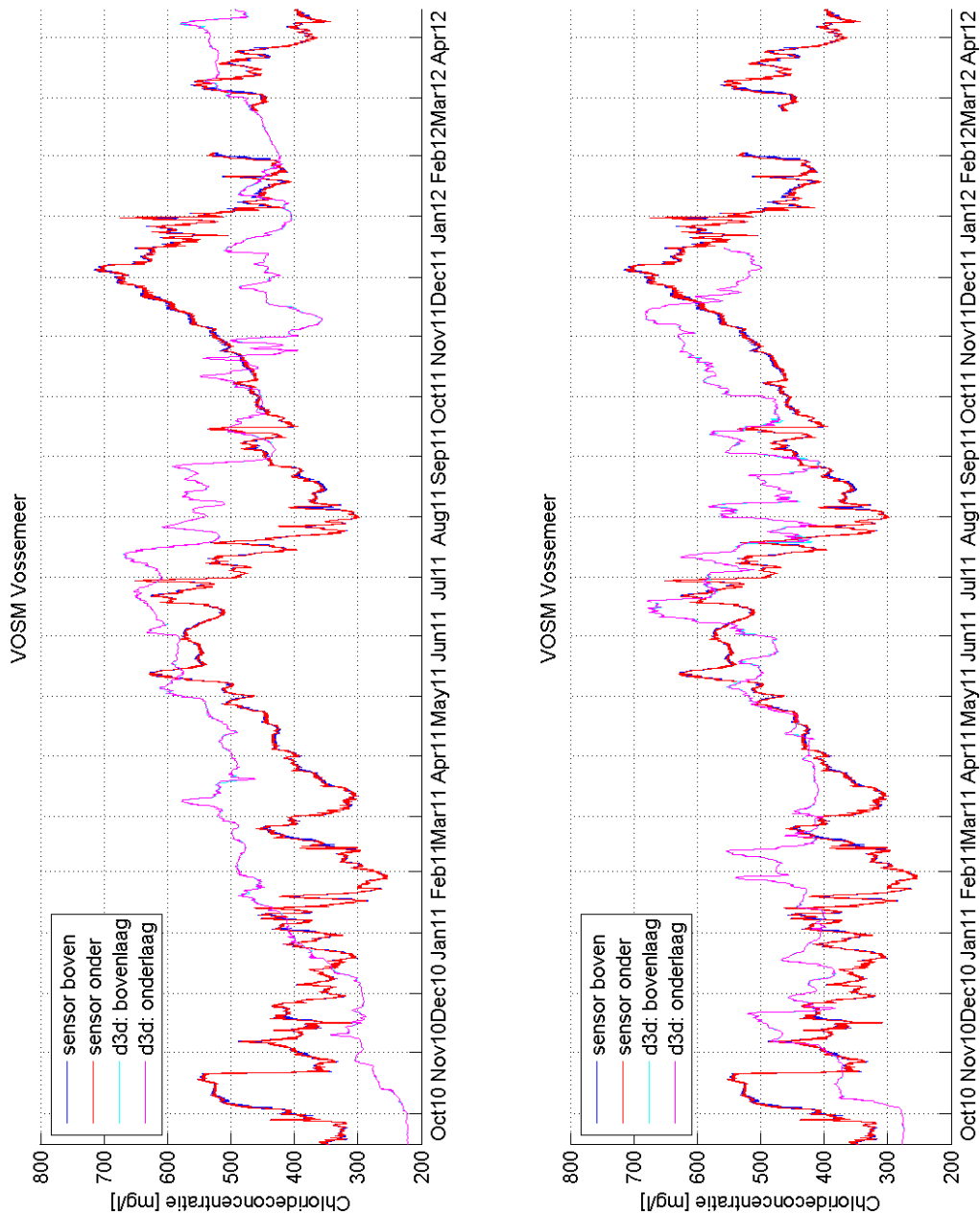
De hierna gepresenteerde scenarioberekeningen dienen als een gevoeligheidsanalyse van de resultaten van Nolte e.a. (2013) met een nog hogere zoutlast dan in het verleden is gebruikt. De bedoeling is niet om precies het jaar 2011 te reproduceren. Met de hierna gepresenteerde berekeningen wordt dus niet beschreven wat de chlorideconcentraties in het jaar 2011 zouden zijn geweest als de winterdoorspoeling toen was gebruikt. Wel is het mogelijk te analyseren hoe de winterdoorspoeling in staat is chlorideconcentraties in het meer bij hogere zoutlast tegen te gaan.



Figuur 2.6 Chlorideconcentraties berekend bij meetpunt Bathsebrug Spuikanaal (paars en lichtblauw) met het Delft3D-FLOW model voor de waterbalans van 2000-2001 (boven) en voor de waterbalans van 2007-2008 (onder) met een constante zoutlast van 30 kg/s. De gemeten chlorideconcentratie voor de periode 15/9/2010-15/4/2012 worden ook getoond (donkerblauw en rood).



Figuur 2.7 Chlorideconcentraties berekend bij meetpunt Galathea (paars en lichtblauw) met het Delft3D-FLOW model voor de waterbalans van 2006-2007 (boven) en voor de waterbalans van 2007-2008 (onder) met een constante zoutlast van 30 kg/s. De gemeten chlorideconcentratie voor de periode 15/9/2010-15/4/2012 worden ook getoond (donkerblauw en rood).



Figuur 2.8 Chlorideconcentraties berekend bij meetpunt Vossemeer (paars en lichtblauw) met het Delft3D-FLOW model voor de waterbalans van 2006-2007 (boven) en voor de waterbalans van 2007-2008 (onder) met een constante zoutlast van 30 kg/s. De gemeten chlorideconcentratie voor de periode 15/9/2010-15/4/2012 worden ook getoond (donkerblauw en rood).

### 3 Modelling van de winterdoorspoeling

#### 3.1 Scenariodefinitie

Ten behoeve van de gevoeligheidsanalyse worden aanvullende doorspoelalternatieven gedefinieerd, aanvullend op de alternatieven die door Nolte e.a. (2013) zijn onderzocht. Alle hier nader onderzochte alternatieven worden gebaseerd op de meest kansrijke alternatieven van Nolte e.a. (2013), dat wil zeggen een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s gedurende 2 maanden (zie Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Definitie van scenario's voor het 3D model van het Volkerak-Zoommeer – N.B.: Doorspoeldebiet is extra bovenop de referentiesituatie

		Doorspoel- debiet (m <sup>3</sup> /s)	Doorspoel- periode (maand)	Debietverdeling Bathse spuisluis : Krammersluizen		
				100%:0%	50%:50%	0%:100%
1	Middel_lang_Bath	X	X	X		
2	Middel_lang_mix	X	X		X	
3	Middel_lang_Krammer	X	X			X

Alle alternatieven worden berekend voor beide periodes die ook door Nolte e.a. (2013) zijn gebruikt, dat wil zeggen de periode 1/1/2000-1/8/2001 en de periode 1/10/2006-1/1/2008 (dus totaal 3 keer 2 simulaties).

Verschillen met de scenario's onderzocht door Nolte e.a. (2013) zijn dus:

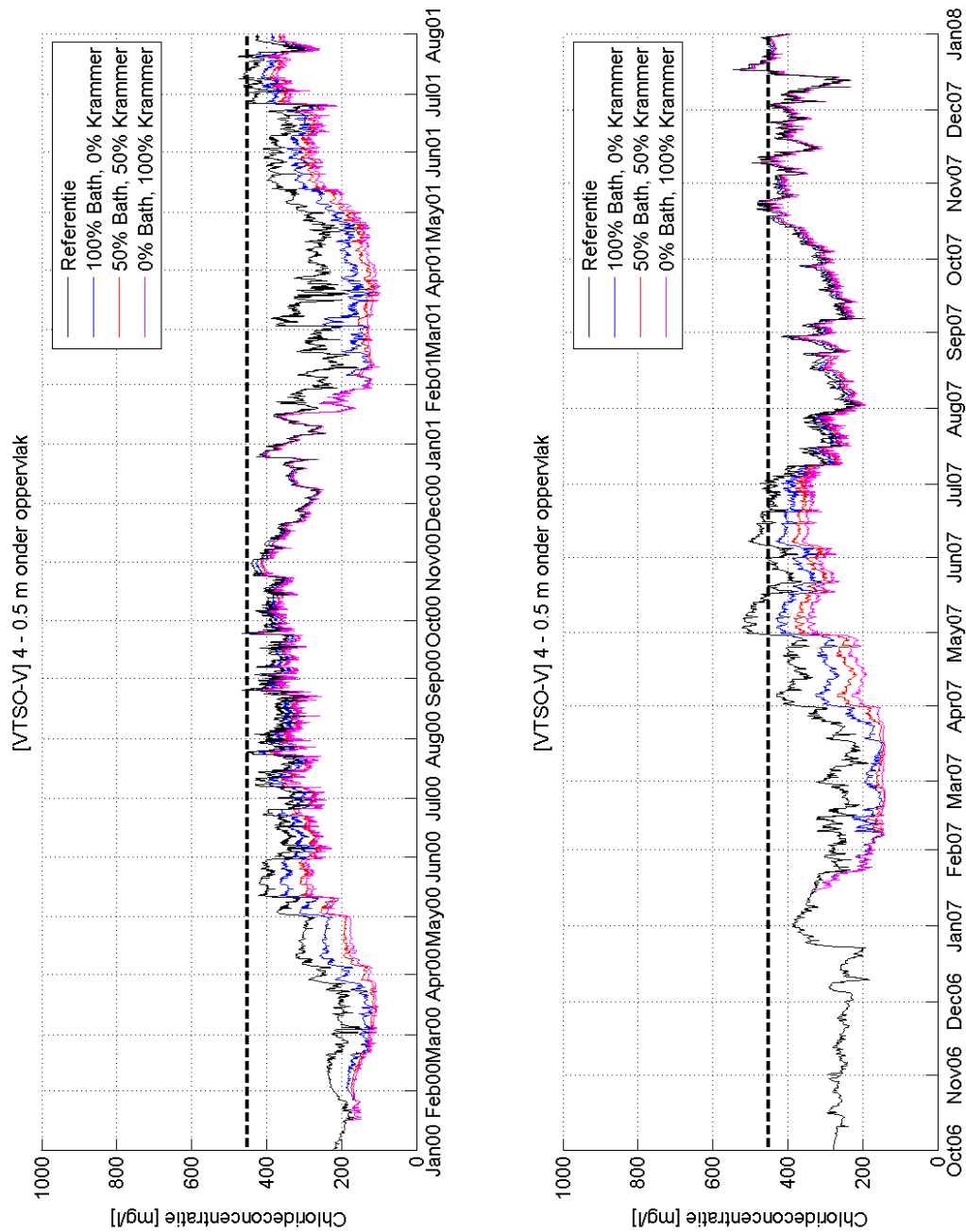
- 1 De hogere zoutlast vanuit de Krammersluizen;
- 2 Scenario 3 (Middel\_lang\_Krammer), waarbij de winterdoorspoeling integraal via de Krammersluizen wordt afgevoerd.

#### 3.2 Modelresultaten: Tijdseries

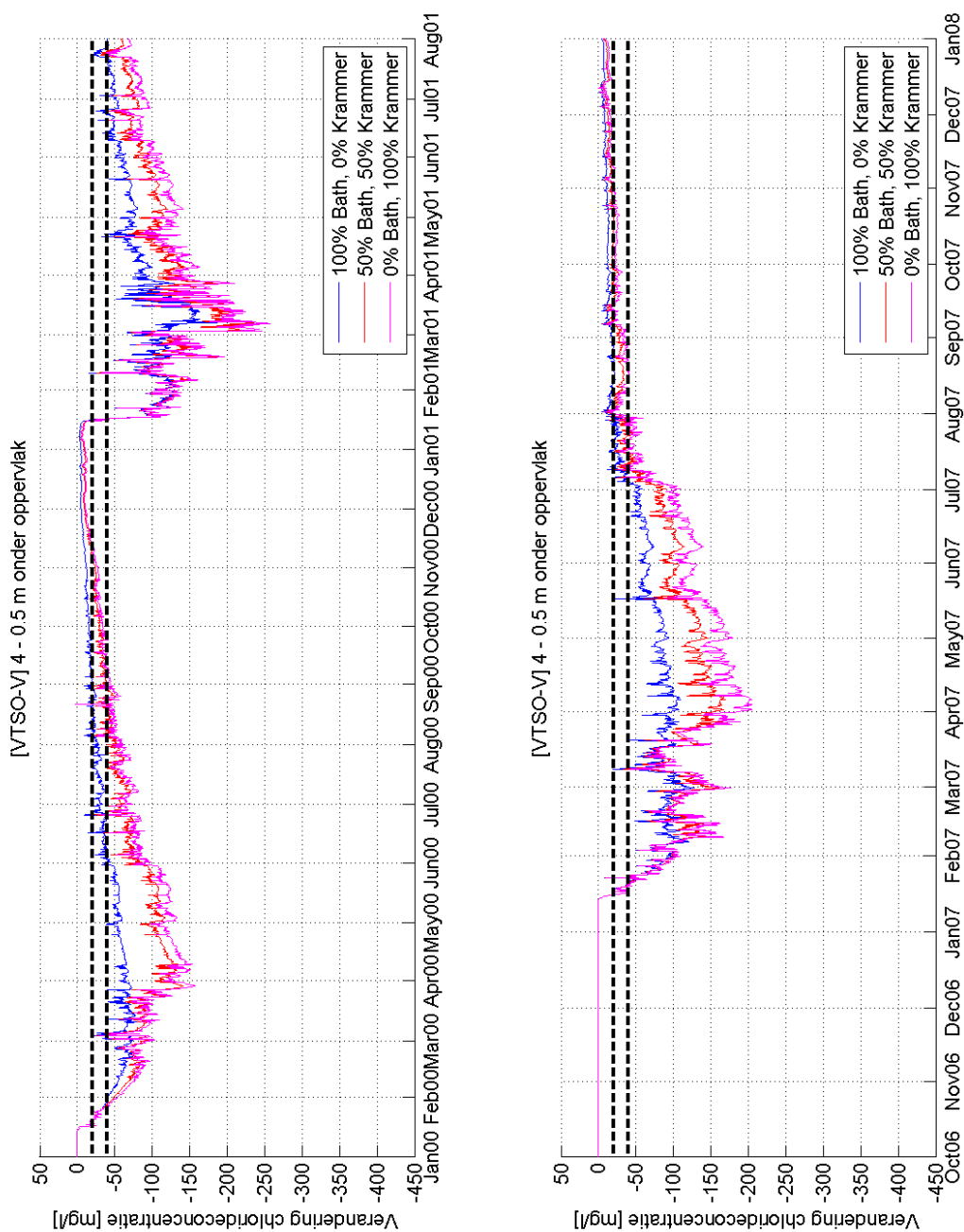
De modelresultaten worden gepresenteerd als tijdseries op bepaalde locaties en in tabelvorm. Tijdseries van de chlorideconcentraties nabij het wateroppervlak en veranderingen in chlorideconcentratie nabij het wateroppervlak ten opzichte van de referentieberekening worden voor enkele locaties getoond (Figuur 3.1 t/m Figuur 3.10).

In tegenstelling tot de tijdseries die in de hoofdstudie zijn gebruikt (Nolte e.a., 2013) wordt met de hier gehanteerde zoutlast vaak de concentratie 450 mg Cl/l op een aantal locaties overschreden.

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 met de debietverdeling tussen de Bathse spuisluis en de Krammersluizen.

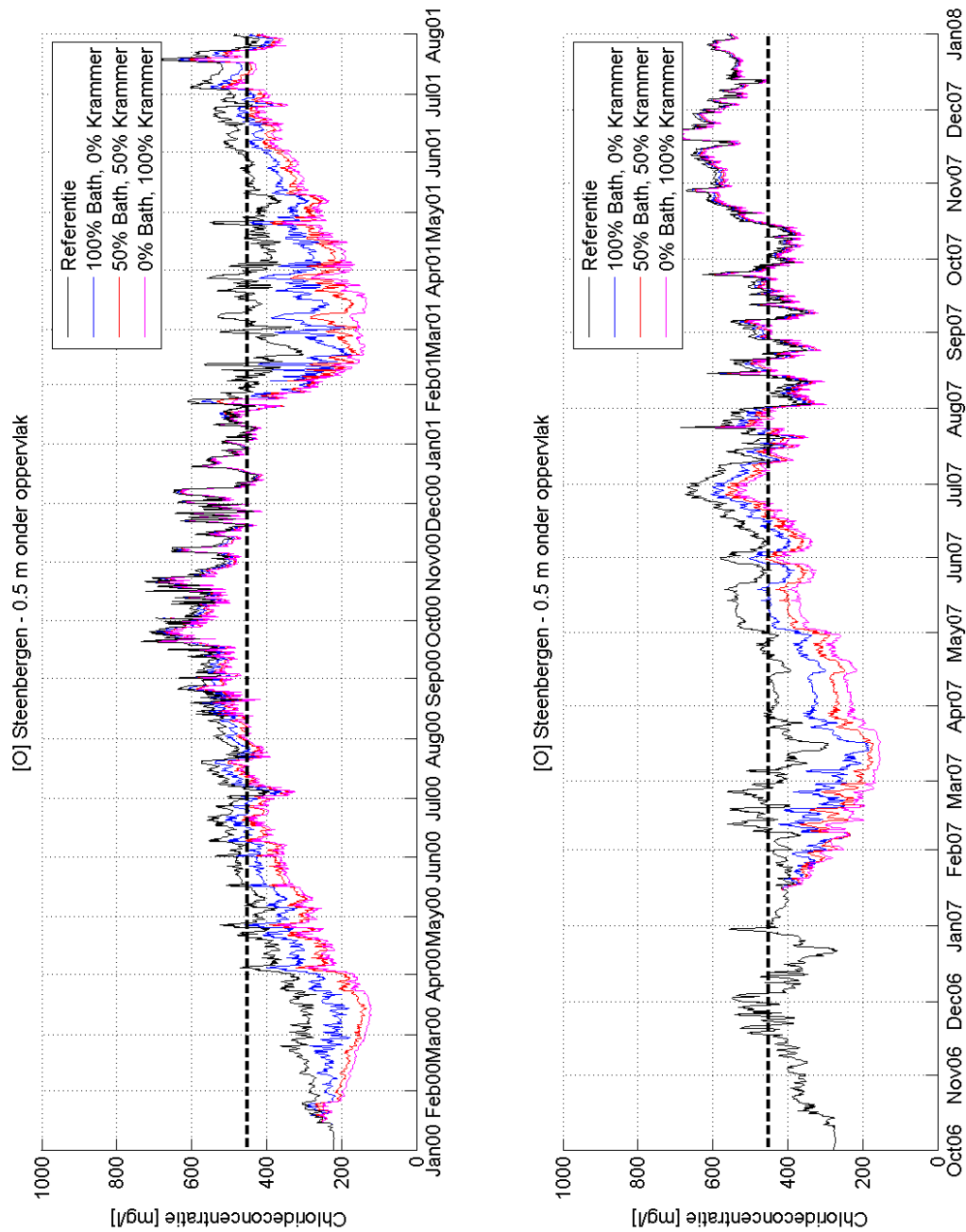


Figuur 3.1 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSO-V4 (bij Volkeraksluizen). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geeft de concentratie 450 mg/l aan.



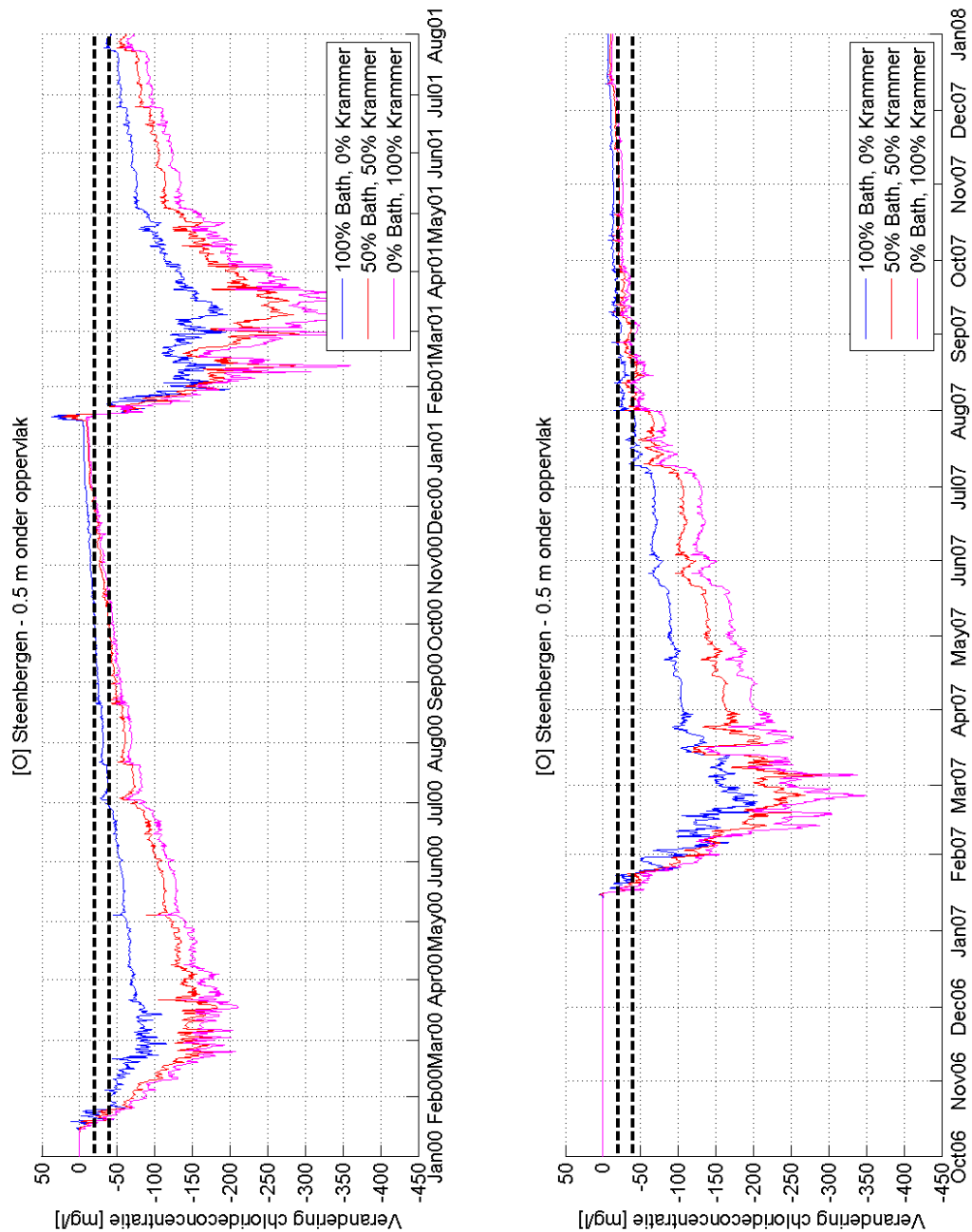
Figuur 3.2 Berekende tijdserie van de verandering in chlorideconcentratie (mg/l) ten opzichte van de referentie (zonder winterdoorspoeling) op 0,5 m onder het oppervlak voor locatie VTSO-V4 (bij Volkeraksluizen). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geven concentratieveranderingen -20 en -40 mg/l aan.



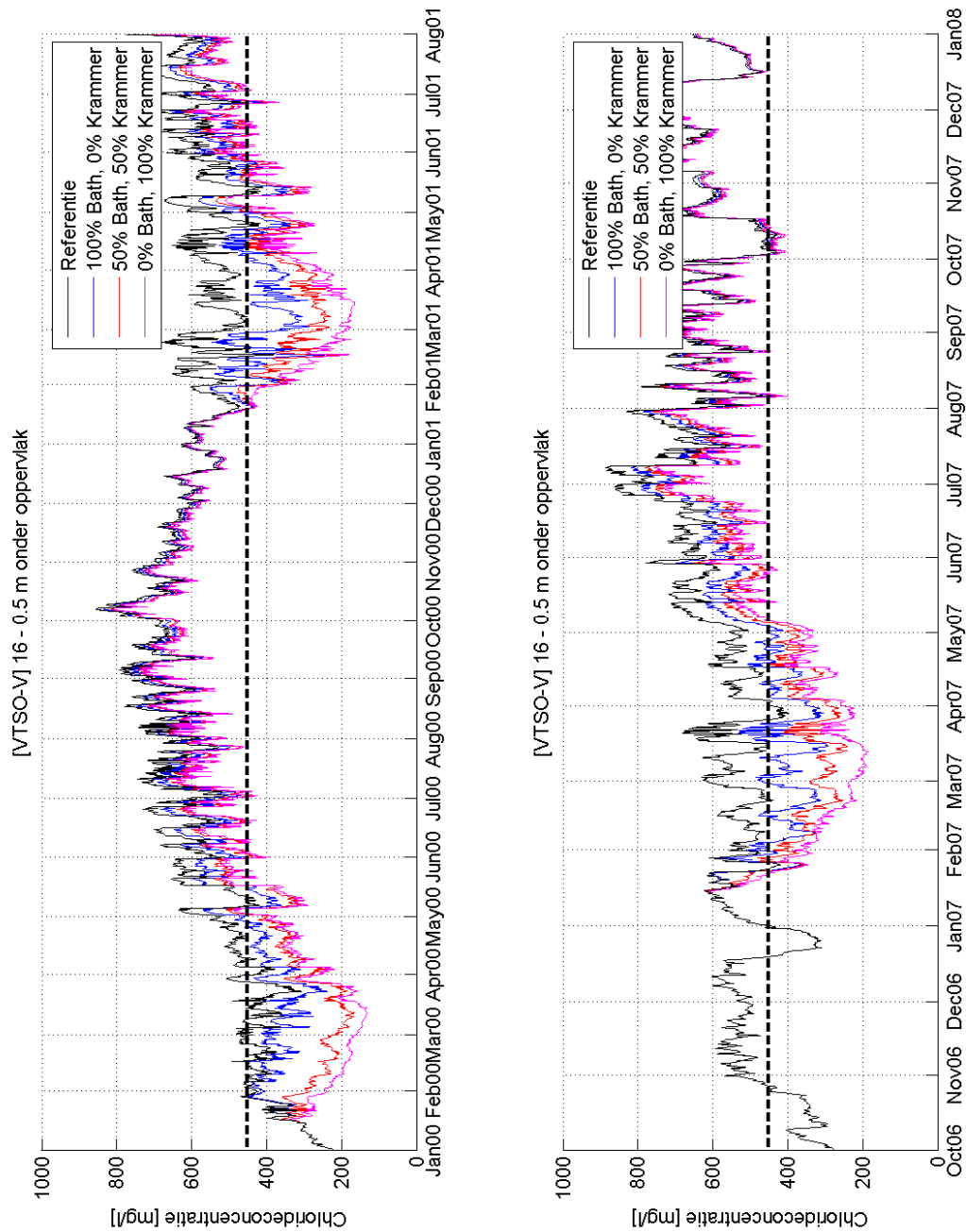


Figuur 3.3 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie Steenberg. Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geeft de concentratie 450 mg/l aan.

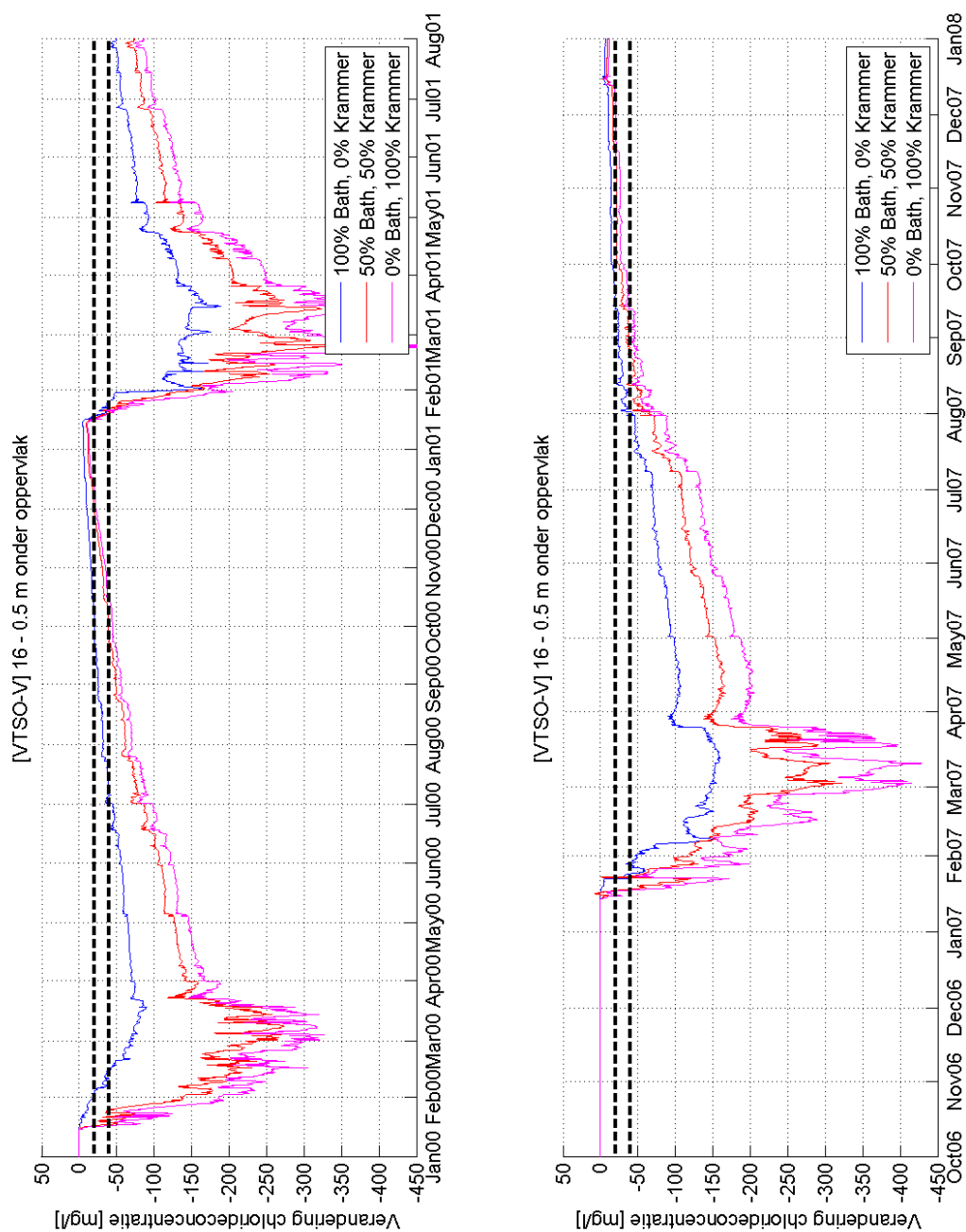




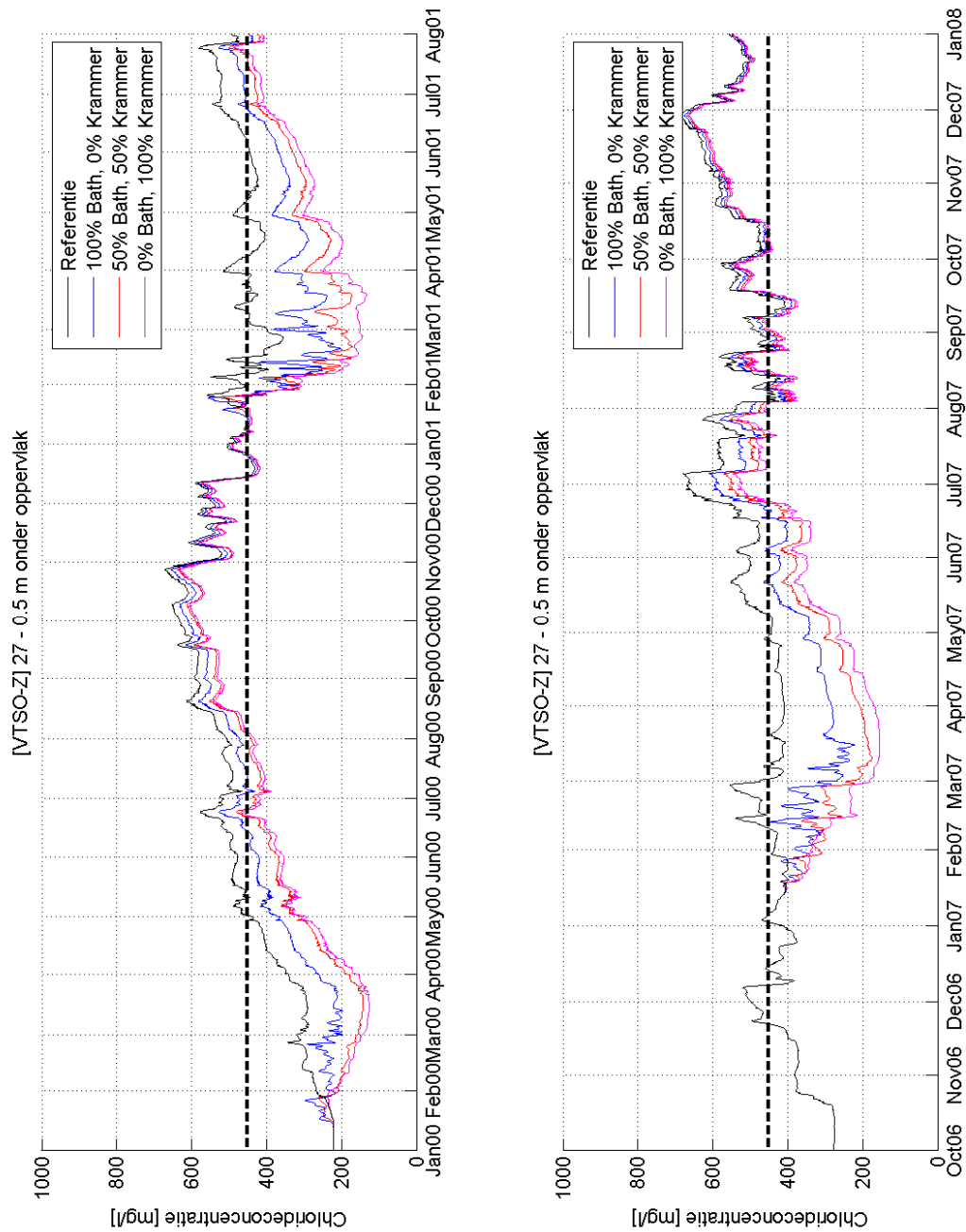
Figuur 3.4 Berekende tijdserie van de verandering in chlorideconcentratie (mg/l) ten opzichte van de referentie (zonder winterdoorspoeling) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie Steenberg. Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geven concentratieveranderingen -20 en -40 mg/l aan.



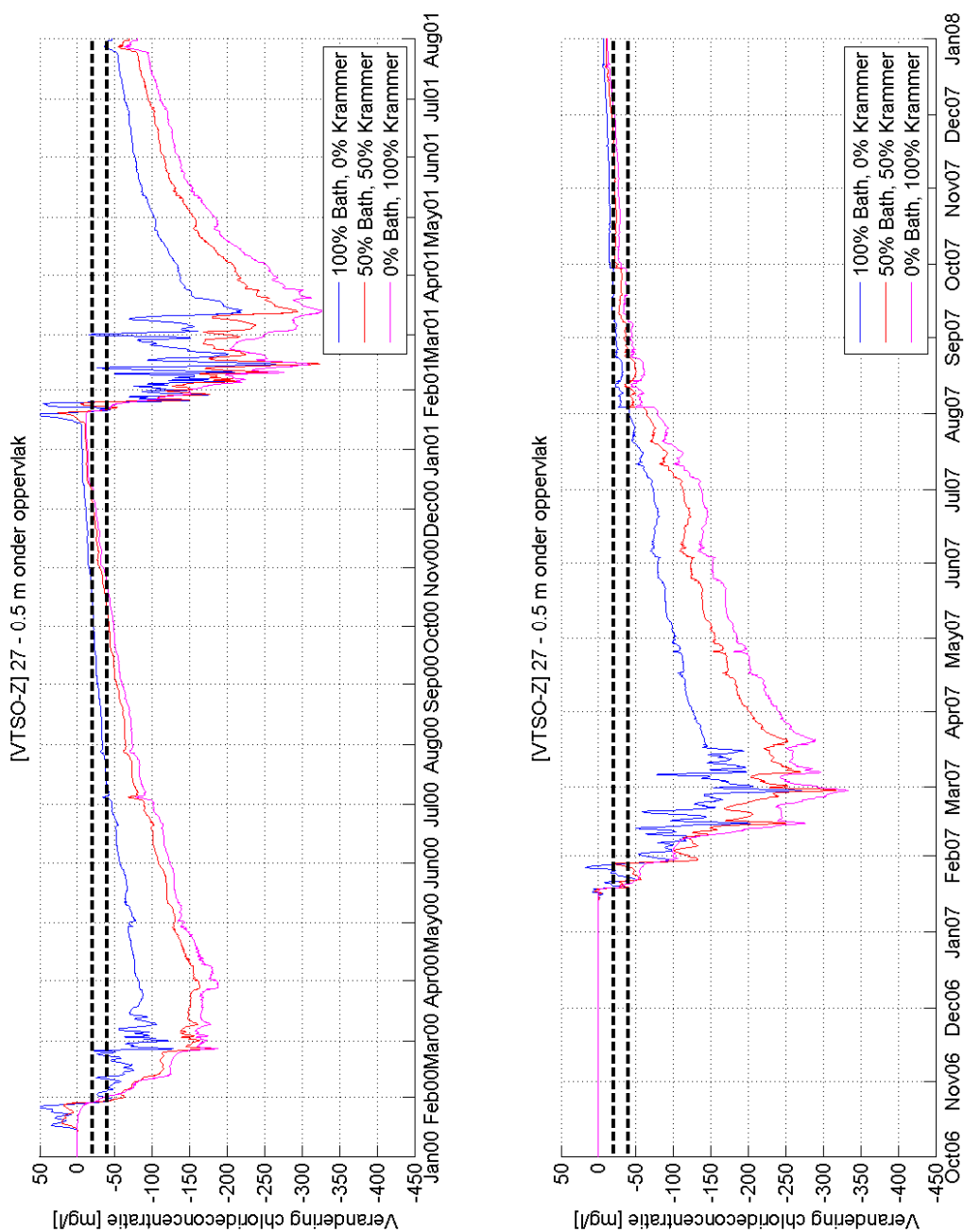
Figuur 3.5 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l) op 0,5 m onder het wateroppervlakt voor locatie VTSO-16 (bij Krammersluizen). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geeft de concentratie 450 mg/l aan.



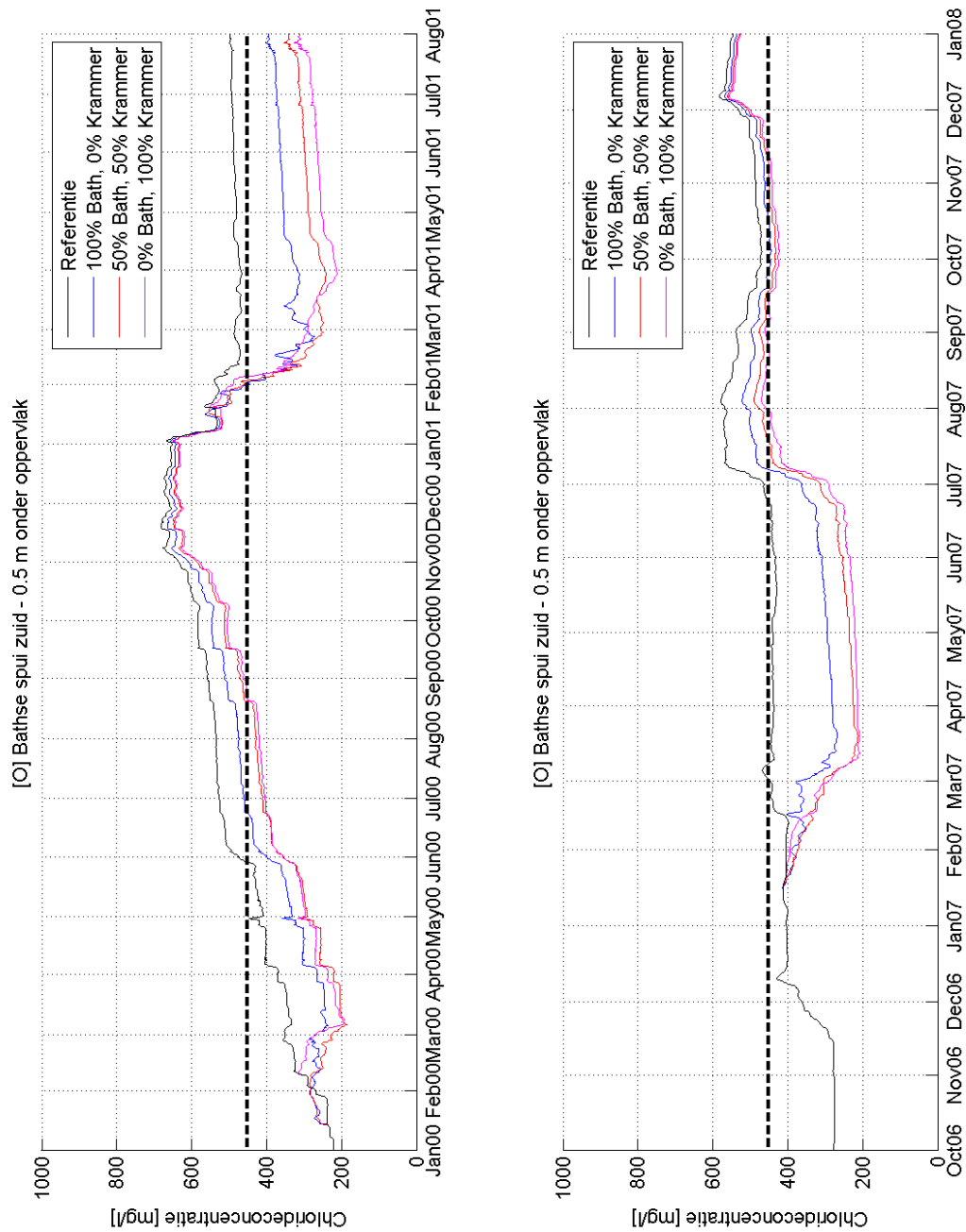
Figuur 3.6 Berekende tijdserie van de verandering in chlorideconcentratie (mg/l) ten opzichte van de referentie (zonder winterdoorspoeling) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSO-16 (bij Krammersluizen). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geven concentratieveranderingen -20 en -40 mg/l aan.



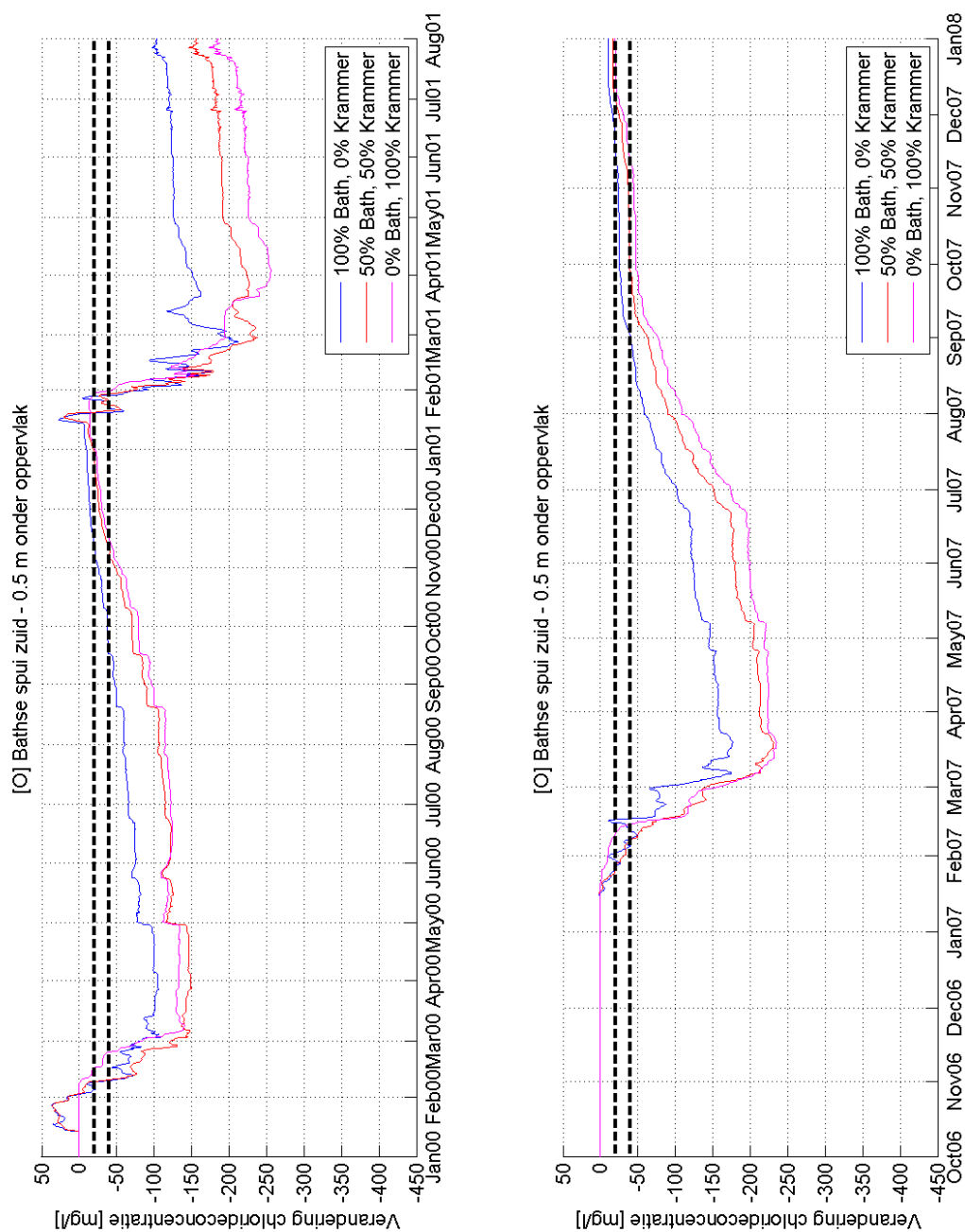
Figuur 3.7 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSO-Z27 (Eendracht). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geeft de concentratie 450 mg/l aan.



Figuur 3.8 Berekende tijdserie van de verandering in chlorideconcentratie (mg/l) ten opzichte van de referentie (zonder winterdoorspoeling) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie VTSO-Z27 (Eendracht). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geven concentratieveranderingen -20 en -40 mg/l aan.



Figuur 3.9 Berekende tijdserie van chlorideconcentratie (mg/l) op 0,5 m onder het wateroppervlak voor locatie Bathse brug (N.B.: in figuur aangegeven als Bathse spui zuid). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geeft de concentratie 450 mg/l aan.



Figuur 3.10 Berekende tijdserie van de verandering in chlorideconcentratie (mg/l) ten opzichte van de referentie (zonder winterdoorspoeling) op 0,5 m onder het oppervlak voor locatie Bathse brug (N.B.: in figuur aangegeven als Bathse spui zuid). Boven: periode 1/1/2000-1/8/2001; onder: periode 1/10/2006-1/1/2008. De zwarte stippellijn geven concentratieveranderingen -20 en -40 mg/l aan.

### 3.3 Modelresultaten: Duur van verlaging en maximale verlaging

Zoals in de studie van Nolte e.a., 2013 wordt het effect van winterdoorspoeling samengevat volgens 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.
- De maximale verlaging van de chlorideconcentratie ten opzichte van de referentie als gevolg van de winterdoorspoeling.

In Tabel 3.2 t/m Tabel 3.6 worden 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. De getalswaarden worden ook in Figuur 3.11 t/m Figuur 3.14 getoond.

Daarnaast wordt het aantal dagen dat de chlorideconcentratie de normconcentratie 450 mg/l overschrijdt ook geteld. Dit was in de studie van Nolte e.a. (2013) niet mogelijk omdat er geen overschrijding werd berekend door het model. Om de gevoeligheid van een normoverschrijding van 450 mg/l aan te geven, wordt ook aangegeven het aantal dagen dat de concentraties 425 en 475 mg/l worden overschreden. Met die drie overschrijdingsgrenswaarden kan de robuustheid van de modeluitkomsten beter in kaart worden gebracht.

De modelresultaten laten duidelijk zien dat chloride het meer via de Krammersluizen binnen komt. Door het meer door te spoelen wordt het zout ook afgevoerd. Daarom worden concentratieoverschrijdingen eerst bij locaties dicht bij de Krammersluizen gemeten en is op die locatie ook de grootste concentratieverlaging te merken op het moment dat de winterdoorspoeling in werking komt. Hoe meer tegendruk wordt geoefend op de chloridebron (bijvoorbeeld door water tijdens de doorspoeling via de Krammersluizen af te voeren), hoe efficiënter de doorspoeling.

### 3.4 Conclusies

Hoewel er verschillen zijn per locatie, is het volgende algemene beeld consistent voor alle locaties:

- Locaties in het oostelijke deel van het Volkerak (dicht bij de Volkeraksluizen) zijn veel minder kwetsbaar voor chlorideoverschrijdingen dan locaties in de rest van het Volkerak, in de Eendracht of in het Zoommeer.
- Zelfs met een verhoogde zoutlast veroorzaakt de winterdoorspoeling bij alle locaties een verlaging van de chlorideconcentraties ten opzichte van de referentie.
- De absolute concentratieverlaging in de Eendracht en het Zoommeer is relatief ongevoelig voor de debietverdeling tussen Bathse Spuisluis en Krammersluizen.
- De absolute concentratieverlaging bij locaties in het Volkerak is groter als het water via de Krammersluizen wordt afgevoerd in plaats van alleen via de Bathse Spuisluis (of allebei).
- Nadat de winterdoorspoeling is gestopt (15 maart) neemt het effect ervan af, zodat de chlorideconcentraties met en zonder winterdoorspoeling in het najaar (november) bijna niet meer te onderscheiden zijn.
- De winterdoorspoeling gedurende 2 maanden met een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s is niet voldoende om in alle jaren een overschrijding van de concentratie 450 mg/l te voorkomen. Hoe de waterbalans na 15 maart zich ontwikkelt speelt hierin een essentiële rol. Als gevolg hiervan wordt aanbevolen de winterdoorspoeling na 15 maart te laten doorgaan, zolang er een watervoorraad is, om normoverschrijdingen later in het jaar te voorkomen.



- Hoe meer water via de Krammersluizen wordt afgevoerd in plaats van de Bathse Spuisluis, hoe effectiever de winterdoorspoeling. Zoals al opgemerkt door Nolte e.a. (2013), is de oorzaak hiervan 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.

Tabel 3.2 Duur van overschrijdingen van de chlorideconcentraties 425, 450, en 475 mg/l, maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 10, 20, en 40 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-V4 (Bij Volkeraksluizen) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 425 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	14	20	93
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	3	0	30
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	0	0	24
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	0	0	23
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 450 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	1	7	51
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	0	10
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	0	0	9
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	0	0	8
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 475 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	0	0	24
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	0	0	3
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	0	0	3
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	0	0	3
<b>Scenario</b>	<b>Maximale verlaging (mg/l)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	79	187	128
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	141	240	170
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	157	258	205
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;10 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	238	> 139	235
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	272	> 139	280
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	285	> 139	286
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;20 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	163	> 139	144
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	237	> 139	190
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	243	> 139	230
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;40 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	79	130	111
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	159	> 137	121
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	173	> 138	136

Tabel 3.3 Duur van overschrijdingen van de chlorideconcentraties 425, 450, en 475 mg/l, maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 10, 20, en 40 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie Steenberg op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 425 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	245	> 158	278
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	209	> 68	191
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	179	47	159
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	172	42	148
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 450 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	227	> 115	225
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	187	44	157
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	156	29	134
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	148	28	120
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 475 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	202	> 84	194
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	158	28	126
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	126	21	107
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	120	18	94
<b>Scenario</b>	<b>Maximale verlaging (mg/l)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	116	199	205
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	187	292	291
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	211	366	349
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;10 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	262	> 139	264
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	292	> 139	279
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	292	> 139	291
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;20 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	200	> 139	172
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	261	> 139	233
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	269	> 139	260
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;40 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	106	> 133	134
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	195	> 139	149
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	212	> 139	168

Tabel 3.4 Duur van overschrijdingen van de chlorideconcentraties 425, 450, en 475 mg/l, maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 10, 20, en 40 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-16 (bij Krammersluizen) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

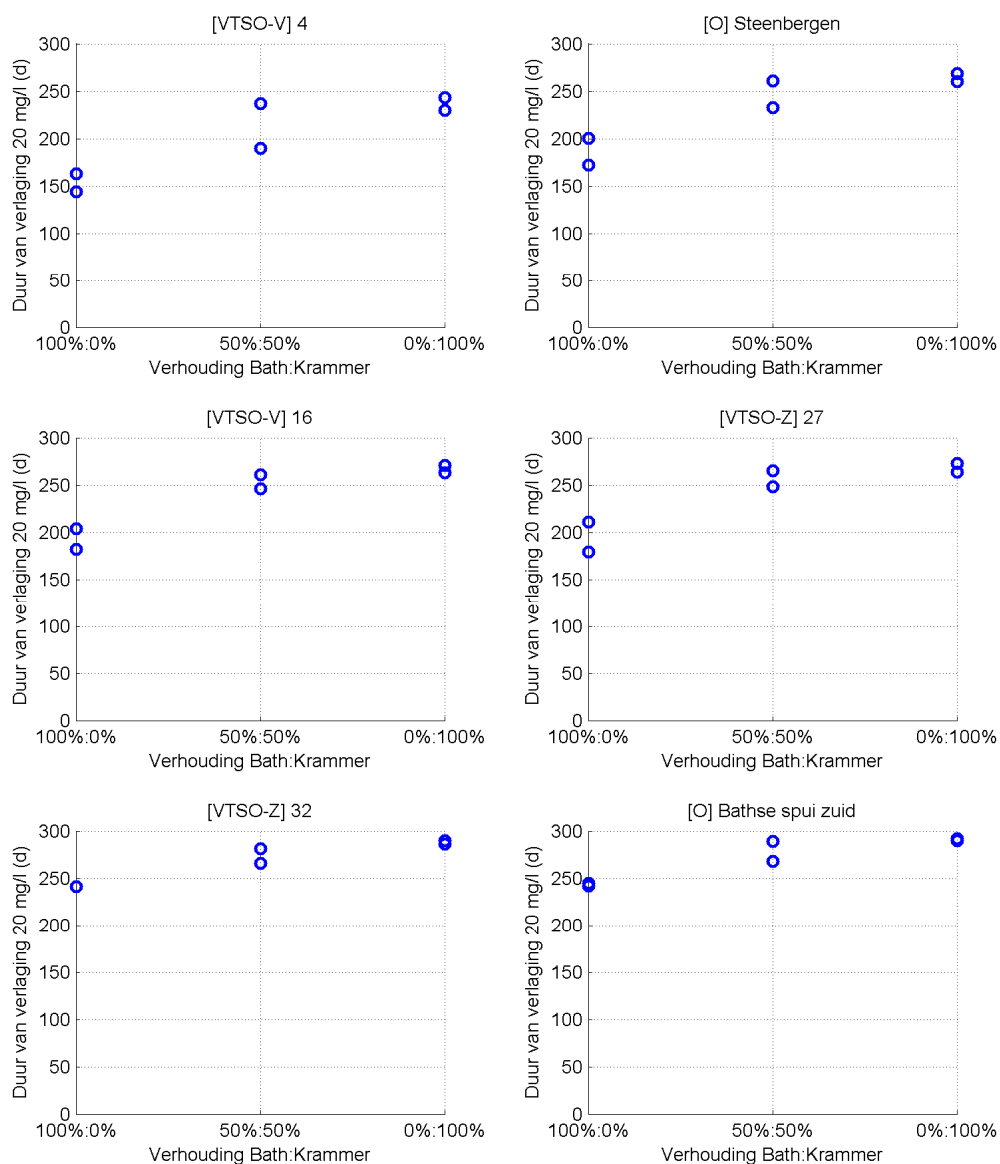
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 425 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	311	> 210	361
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	253	> 154	310
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	232	> 116	266
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	231	> 105	259
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 450 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	286	> 206	352
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	238	> 136	284
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	228	> 102	254
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	225	> 81	246
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 475 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	260	> 195	331
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	232	> 119	260
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	220	> 77	243
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	215	> 65	229
<b>Scenario</b>	<b>Maximale verlaging (mg/l)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	90	189	160
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	273	341	322
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	327	460	429
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;10 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	262	> 139	270
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	292	> 139	274
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	292	> 139	290
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;20 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	204	> 139	182
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	261	> 139	246
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	271	> 139	263
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;40 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	110	> 139	140
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	192	> 139	161
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	214	> 139	181

Tabel 3.5 Duur van overschrijdingen van de chlorideconcentraties 425, 450, en 475 mg/l, maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 10, 20, en 40 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie VTSO-27 (Eendracht) op 0,5 m onder het wateroppervlak.

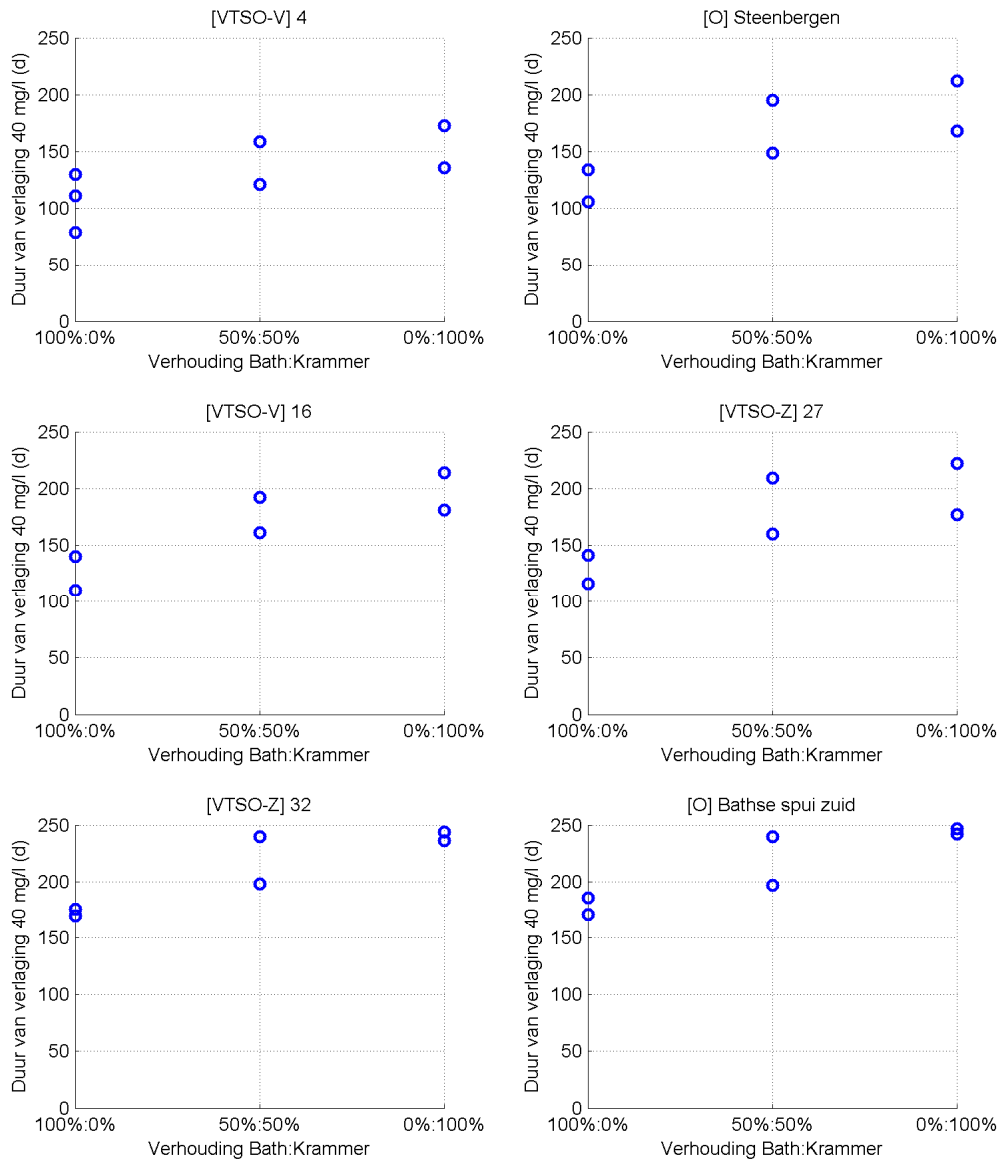
Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 425 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	247	> 174	302
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	214	> 70	212
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	174	56	183
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	163	41	179
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 450 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	234	> 122	251
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	189	55	181
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	143	28	163
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	140	17	150
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 475 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	218	> 79	220
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	152	24	144
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	130	9	133
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	125	4	122
<b>Scenario</b>	<b>Maximale verlaging (mg/l)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	127	265	271
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	181	324	317
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	188	327	333
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;10 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	266	> 139	268
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	292	> 139	290
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	292	> 139	292
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;20 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	211	> 139	179
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	265	> 139	248
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	273	> 139	264
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;40 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	116	> 137	141
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	209	> 139	160
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	222	> 139	177

Tabel 3.6 Duur van overschrijdingen van de chlorideconcentraties 425, 450, en 475 mg/l, maximale verlaging van de chlorideconcentratie en duur van meer dan 10, 20, en 40 mg/l verlaging ten opzichte van referentie voor locatie Bathse brug op 0,5 m onder het wateroppervlak.

Doorspoeldebiet – Doorspoelperiode – Debietverdeling Bath:Krammer	2000	2001	2007
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 425 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	232	> 212	319
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	209	33	179
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	159	33	177
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	139	36	159
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 450 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	217	> 212	199
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	192	31	160
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	134	33	121
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	133	35	85
<b>Scenario</b>	<b>Duur van overschrijding <math>\geq</math> 475 mg/l (dagen)</b>		
Referentie: 0 m <sup>3</sup> /s	214	> 174	165
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	155	28	112
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	116	29	49
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	107	34	34
<b>Scenario</b>	<b>Maximale verlaging (mg/l)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	109	212	176
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	150	238	231
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	141	256	235
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;10 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	292	> 139	292
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	292	> 139	292
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	292	> 139	292
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;20 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	242	> 139	245
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	289	> 139	268
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	292	> 139	290
<b>Scenario</b>	<b>Duur van &gt;40 mg/l verlaging na 15 maart (dagen)</b>		
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 100%:0%	186	> 139	171
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 50%:50%	240	> 139	197
50 m <sup>3</sup> /s – 2 mnd – 0%:100%	247	> 139	242

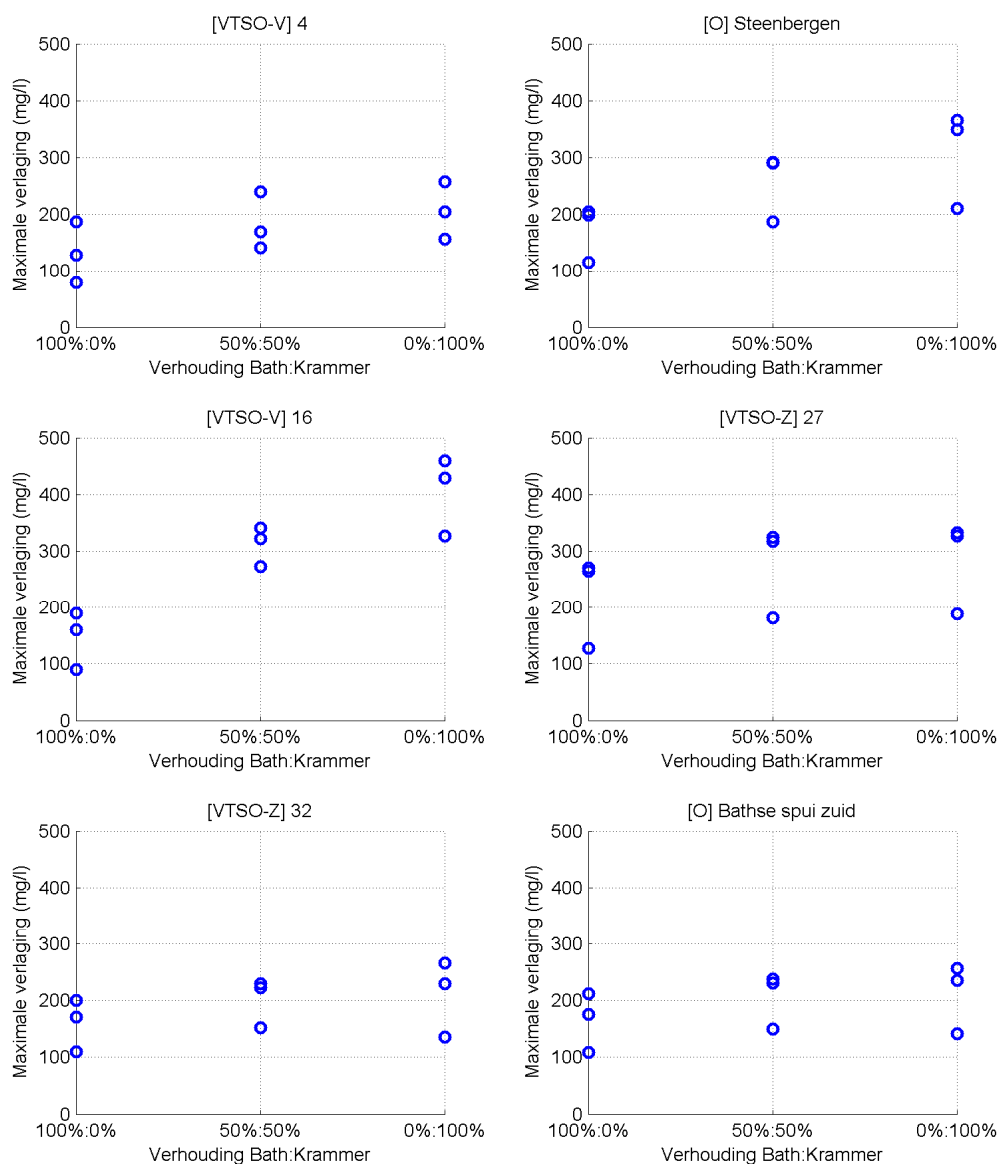


Figuur 3.11 Duur (in dagen) van verlaging van meer dan 20 mg/l na 15 maart ten opzichte van de referentiesituatie zonder winterdoerspoeling. NB1: De jaren 2000, 2001 en 2007 zijn niet te onderscheiden. NB2: De simulatie voor 2001 loopt tot 30 juni, ofwel 139 dagen na 15 maart. Als de duur van verlaging langer is dan 139 dagen, is het punt niet in de grafiek opgenomen.

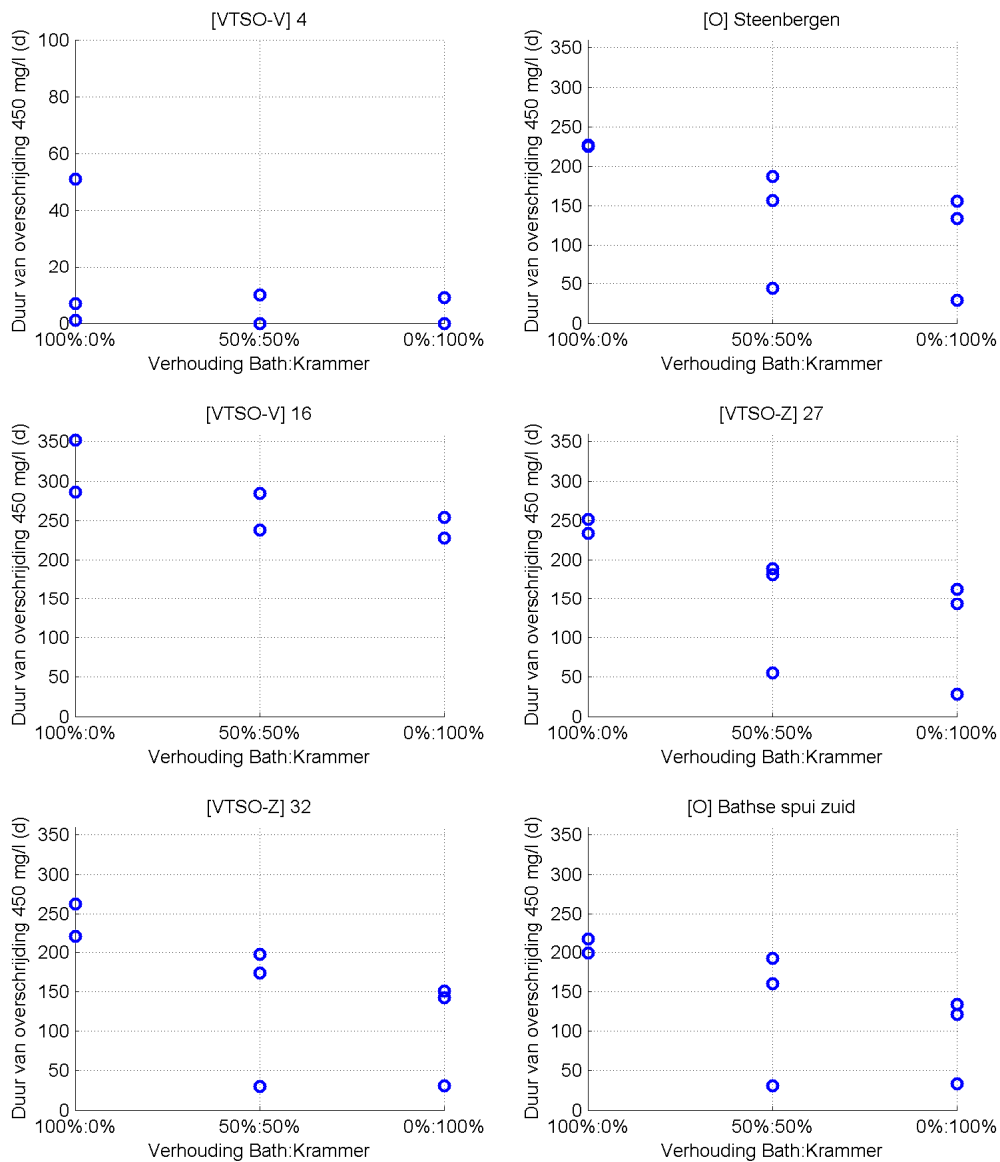


Figuur 3.12 Duur (in dagen) van verlaging van meer dan 40 mg/l na 15 maart ten opzichte van de referentiesituatie zonder winterdoorspoeling. NB1: De jaren 2000, 2001 en 2007 zijn niet te onderscheiden. NB2: De simulatie voor 2001 loopt tot 30 juni, ofwel 139 dagen na 15 maart. Als de duur van verlaging langer is dan 139 dagen, is het punt niet in de grafiek opgenomen.





Figuur 3.13 Maximale verlaging van de chlorideconcentratie (in mg/l) 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.



Figuur 3.14 Duur (in dagen) van overschrijding van de chlorideconcentratie 450 mg/l. 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. Let op de afwijkende verticale schaal van VTSO-V4.

## 4 Naar een indicatie van effecten in de Oosterschelde

### 4.1 Uitgangspunten

De winterdoorspoeling resulteert in het afvoeren van zoetwater naar de (zoute) Oosterschelde. De Oosterschelde is een belangrijk gebied voor schelpdiercultuur, waaronder mosselen. Zoetlast in een zout waterbekken kan leiden tot verhoogde gelaagdheid, waardoor eventueel zuurstofloosheid kan ontstaan.

De schelpdiercultuur in de noordelijke tak van de Oosterschelde betreft mosselhangcultuur, mosselzaadinvang (MZI) en mosselbodemcultuur. Het Slaak is in beheer bij het Zeeuws Landschap. Daar zijn mosselhangcultures en MZI-systemen aanwezig. Hangcultures en MZI-systemen gebruiken touwen of netten die maximaal tot 5 m onder het wateroppervlak reiken. De bodemcultures in het gebied bevinden zich op dieptes tot 15 m. Verder is het gebied commercieel van belang als leefgebied voor de Oosterschelde kreeft. Uiteraard zijn er daarnaast nog vele andere organismen die karakteristiek zijn voor het Oosterschelde ecosysteem, die gevoelig zijn voor verlaagde zoutgehalten.

Om een eerste indicatie te geven van het mogelijke effect van verhoogde zoetlast op de Oosterschelde is besloten indicatieve berekeningen uit te voeren met een hydrodynamisch model van de Oosterschelde. De berekeningen dienen uitsluitend een indicatie van het hydrodynamische effect van de zoetlast te geven, mogelijke effecten als gevolg van veranderingen in nutriënten en andere waterkwaliteits- of ecologische aspecten worden niet beschouwd.

### 4.2 Modelbeschrijving

Ten behoeve van de indicatieve berekeningen wordt gebruik gemaakt van een deel van een al beschikbaar hydrodynamisch model van de Oosterschelde, het zogenaamde Deltakennis model (Nolte en De Vries, 2013; Troost, 2009). Het Deltakennis model is een 3D hydrodynamisch model (dat wil zeggen een model dat waterstanden, stroming, zout en temperatuur berekent) en een model voor de berekening van nutriënten, primaire productie en secundaire productie in de vorm van kokkels, mosselen en/of oesters in de Oosterschelde. In de hier gepresenteerde studie wordt uitsluitend gebruik gemaakt van het hydrodynamische deel van het Deltakennis model.

Het hydrodynamische deel van het Deltakennis model is nooit volledig gekalibreerd noch gevalideerd door gebrek aan metingen. Wel is een gedeeltelijke kalibratie uitgevoerd door Nolte en De Vries (2013) op getijamplitudes. In deze kalibratie is vooral de bodemruwheid aangepast, waardoor de getijgolf iets moeilijker/trager de Oosterschelde binnenloopt als gevolg van de hogere weerstand of wrijving van de bodem. Echter, het is ondanks deze gedeeltelijke kalibratie niet gelukt om de gemeten getijamplitude overal goed te reproduceren. Gemiddeld wordt de getijslag bij Marollegat door het model nu circa 0,1 m onderschat. Voor locatie Oosterschelde 4 wordt de getijslag ongeveer 0,25 m onderschat.

Figuur 4.1 laat zien meerjarig maandgemiddelden van gemeten saliniteit voor 4 stations in de Oosterschelde (communicatie les de Vries, Deltares). De eerste metingen zijn uitgevoerd voor de (gedeeltelijke) sluiting van de Oosterschelde. De gradiënt van west (Wissenkerke) naar oost (Zijpe) was toen sterker dan in de huidige situatie: de saliniteit varieerde toen van 30 ppt bij Wissenkerke naar 26 ppt in het Zijpe. Nu is de saliniteit bij Wissenkerke ongeveer 32 ppt en in het Zijpe 30 ppt. De Oosterschelde is dus zouter geworden als gevolg van de

gedeeltelijke sluiting. De metingen laten ook vrijwel geen verschil tussen winter- en zomersaliniteit zien.

In Figuur 4.1 wordt ook de berekende maandgemiddelde saliniteit getoond (op basis van het ene jaar dat ten behoeve voor de hier gepresenteerde analyse is gebruikt). Het model onderschat de saliniteit met ongeveer 4 ppt in het Zijpe, en met ongeveer 2 ppt in de rest van de Oosterschelde. Het model overschat variaties tussen de zomer- en de wintersaliniteit. De berekende saliniteit voor het gebruikte jaar (2002) komt beter overeen met de range aan waarden die in de 70er jaren (voor de sluiting van de Oosterschelde) zijn gemeten. Een oorzaak hiervoor is in de hier gepresenteerde studie niet gevonden.

### 4.3 Scenariodefinitie

Bij de referentie situatie wordt uitgegaan van een continue zoetlast van 10 m<sup>3</sup>/s op de Oosterschelde vanuit het Volkerak-Zoommeer ten gevolge van schutverlies. Daarnaast wordt een aantal gemalen en andere afvoeren meegenomen in alle berekeningen.

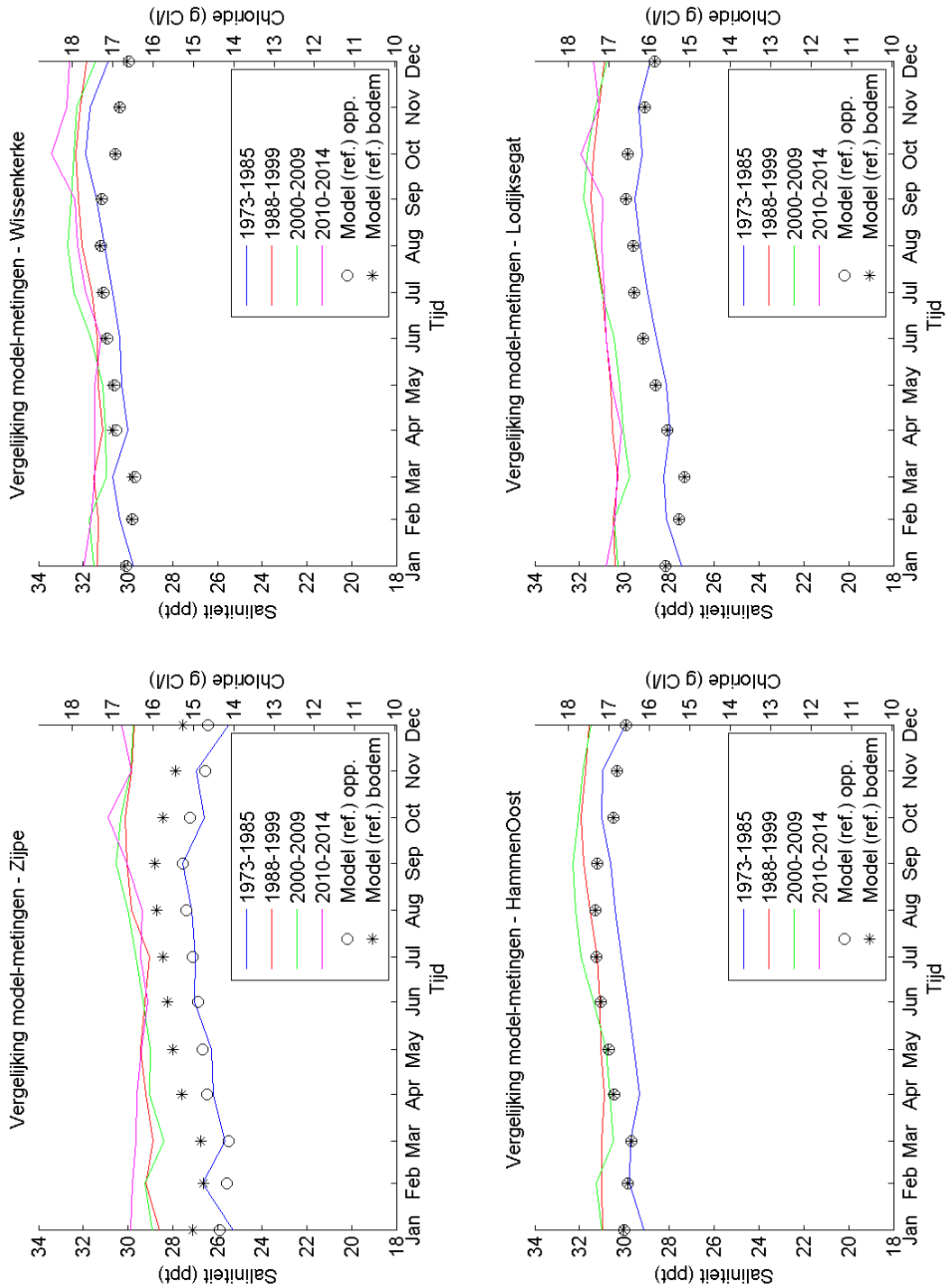
Naast een referentiesituatie zijn twee scenario's gedefinieerd.

- 1 Bij het eerste scenario wordt uitgegaan van een werkend innovatieve zoet-zout scheidingsysteem (IZZS) waardoor er (bovenop het schutverlies) een zoetlast vanuit het Volkerak-Zoommeer van 40 m<sup>3</sup>/s ontstaat in het winterhalfjaar (15 september tot 15 maart), en van 20 m<sup>3</sup>/s in het zomerhalfjaar (15 maart tot 15 september).
- 2 Het tweede scenario is wat de zoetlast op de Oosterschelde betreft, gelijk aan scenario 1. Wel wordt de Flakkeese Spuisluis ook gebruikt om water uit het Grevelingenmeer richting de Oosterschelde aan te voeren. De saliniteit van het Grevelingenmeer is 30 ppt. De aanvoer vanuit het Grevelingenmeer bedraagt 65 m<sup>3</sup>/s continu, het hele jaar rond.

Tabel 4.1 Definitie van scenario's voor het 3D model van de Oosterschelde.

	Scenario-naam	Aanvoer via Krammersluizen (zoet, S = 0 ppt)		Aanvoer via Flakkeese Spuisluis (zout, S = 30 ppt)	
		Debiet	Periode	Debiet	Periode
Ref.	Referentie	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12		
1	Innovatieve zoet-zout scheiding (IZZS)	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12	-	n.v.t.
		40 m <sup>3</sup> /s	15/9 tot 15/3		
		20 m <sup>3</sup> /s	15/3 tot 15/9		
2	Flakkeese Spuisluis	10 m <sup>3</sup> /s (schutsverlies)	1/1 t/m 31/12	65 m <sup>3</sup> /s	1/1 t/m 31/12
		40 m <sup>3</sup> /s	15/9 tot 15/3		
		20 m <sup>3</sup> /s	15/3 tot 15/9		

Ten behoeve van de analyse zijn twee getijperiodes van elk 14 dagen in de winter- (31/1-14/2) en zomer- (30/7-13/8) halfjaren gekozen. Voor beide periodes worden percentielen van saliniteit en saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak berekend.



Figuur 4.1 Maandgemiddelde saliniteit berekend met het Delft3D-FLOW model in de Oosterschelde vergeleken met maandgemiddelde saliniteit afgeleid uit de veldmetingen van Waterbase.

#### 4.4 Modelresultaten

De presentatie van de modelresultaten richt zich voornamelijk op een aantal locaties in de Oosterschelde. Een kaart van de locaties wordt getoond in Figuur 4.2.

De modelresultaten worden gepresenteerd als tijdseries van berekende saliniteit bij het wateroppervlak en bij de bodem, en als tijdseries van saliniteitsverschillen tussen de bodem en het wateroppervlak. Alle tijdseries worden getoond voor de referentie- en scenarioberekeningen voor enkele locaties (Figuur 4.3 t/m Figuur 4.20). De 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentielen van saliniteitsverschillen tussen de bodem en het wateroppervlak voor een aantal locaties in de Oosterschelde (Figuur 4.2) worden ook getoond (Tabel 4.2). Bij het beoordelen van mogelijke effecten op bijvoorbeeld schelpdier, zijn zowel de gemiddelde waarde als de variaties rond het gemiddelde en de duur van de variaties van belang. Zo kunnen sommige soorten pas overleven zolang de condities niet boven of onder bepaalde grenswaarden komen. De 10<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentielen dienen om aan te geven welke saliniteiten zelden worden over- of onderschreden. Daarnaast worden ook percentielen van absolute saliniteit bij de bodem voor een aantal locaties getoond (Tabel 4.3). Er is gekozen voor saliniteit bij de bodem omdat de schelpdiercultuur mosselhangcultuur en mosselbodembodemcultuur betreft, waardoor de schelpdieren vooral in de omgeving van de bodem leven.

Daarnaast worden ook kaarten van percentielen van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij het wateroppervlak en bij de bodem getoond (Figuur 4.21 t/m Figuur 4.26), en van saliniteitsverschillen tussen bodem en oppervlak (Figuur 4.27 t/m Figuur 4.29).

Alle resultaten laten het volgende beeld zien. Zoutwater stroomt de Oosterschelde binnen vanuit de zee. Al in de referentiesituatie vormt het schutverlies via de Krammerjachtensluizen de grootste bron van zoetwater in het systeem, omdat andere afvoeren (gemalen e.d.) verantwoordelijk zijn voor kleinere waterhoeveelheden. Daarom in de referentiesituatie wordt de sterkste zoutgelaagdheid in het Krammer gevonden, met een saliniteitsverschil van gemiddeld 1 à 1,5 ppt tussen bodem en wateroppervlak. Het nauwe Zijpe vormt een flessenhals met relatief hoge stroomsnelheden (0,5 m/s of meer, Figuur 4.30). Menging wordt versterkt door de hoge stroomsnelheden, waardoor de sterkte van de zoutgelaagdheid sterk af neemt in het Zijpe en het Mastgat. Al in het Mastgat bedraagt het mediane saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak minder dan 1 ppt. Verder in de Oosterschelde zijn saliniteitsverschillen tussen bodem en oppervlak gering of zelfs nihil.

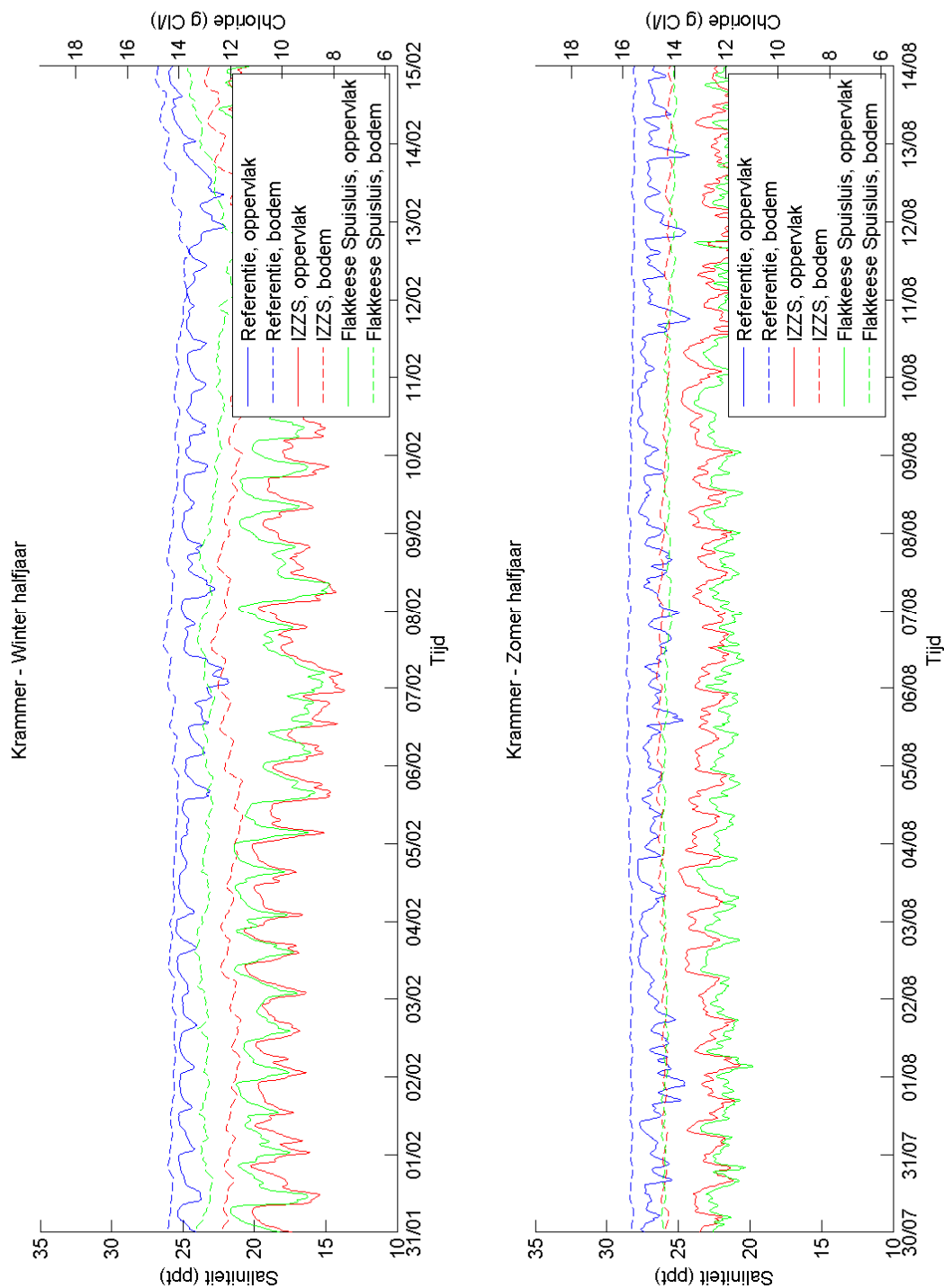
Met de IZZS in werking nemen de zoetlast vanuit het Volkerak-Zoommeer en de aanvoer van water in het Krammer toe. Als gevolg van de grotere zoetlast neemt het gelaagde gebied in omvang toe. De sterkste gelaagdheid wordt nog steeds in het Krammer gevonden, met een mediaan saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak van 3,1 à 3,7 ppt. De grotere doorvoer van water in het Zijpe (als gevolg van de extra aanvoer in het Krammer) leidt tot hogere zeewaarts stroomsnelheden (Figuur 4.30), waardoor menging wordt versterkt. Het mediane saliniteitsverschil varieert tussen 2,5 en 3,8 ppt in het Zijpe, en tussen 1,9 en 2,6 ppt in het Mastgat. De zoutgelaagdheid is sterker in de winter dan in de zomer als gevolg van de seizoenvariaties in wateraanvoer uit het Volkerak-Zoommeer. Verder richting de Oosterschelde neemt het saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak verder af, zodat het water in het algemeen daar nauwelijks gelaagd is. Wel kunnen af en toe hogere saliniteitsverschillen tussen bodem en oppervlak optreden dan in de referentie situatie, als aangegeven door hogere 90<sup>e</sup> percentielen dan in de referentiesituatie (bijv. Wissenkerke, Tabel 4.2). Met IZZS neemt de mediane saliniteit in het oostelijke deel van de Oosterschelde (Lodijkse Gat) ook af met ongeveer 2 ppt (2,4 ppt in winter, 1,7 ppt in zomer), als gevolg van de verhoogde (zoet)wateraanvoer (totaal 50 m<sup>3</sup>/s in de winter en 30 m<sup>3</sup>/s in de zomer in

plaats van  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  in de referentie). Dichter bij de monding is de afname van de mediane saliniteit kleiner, ongeveer 1 à 1,5 ppt.



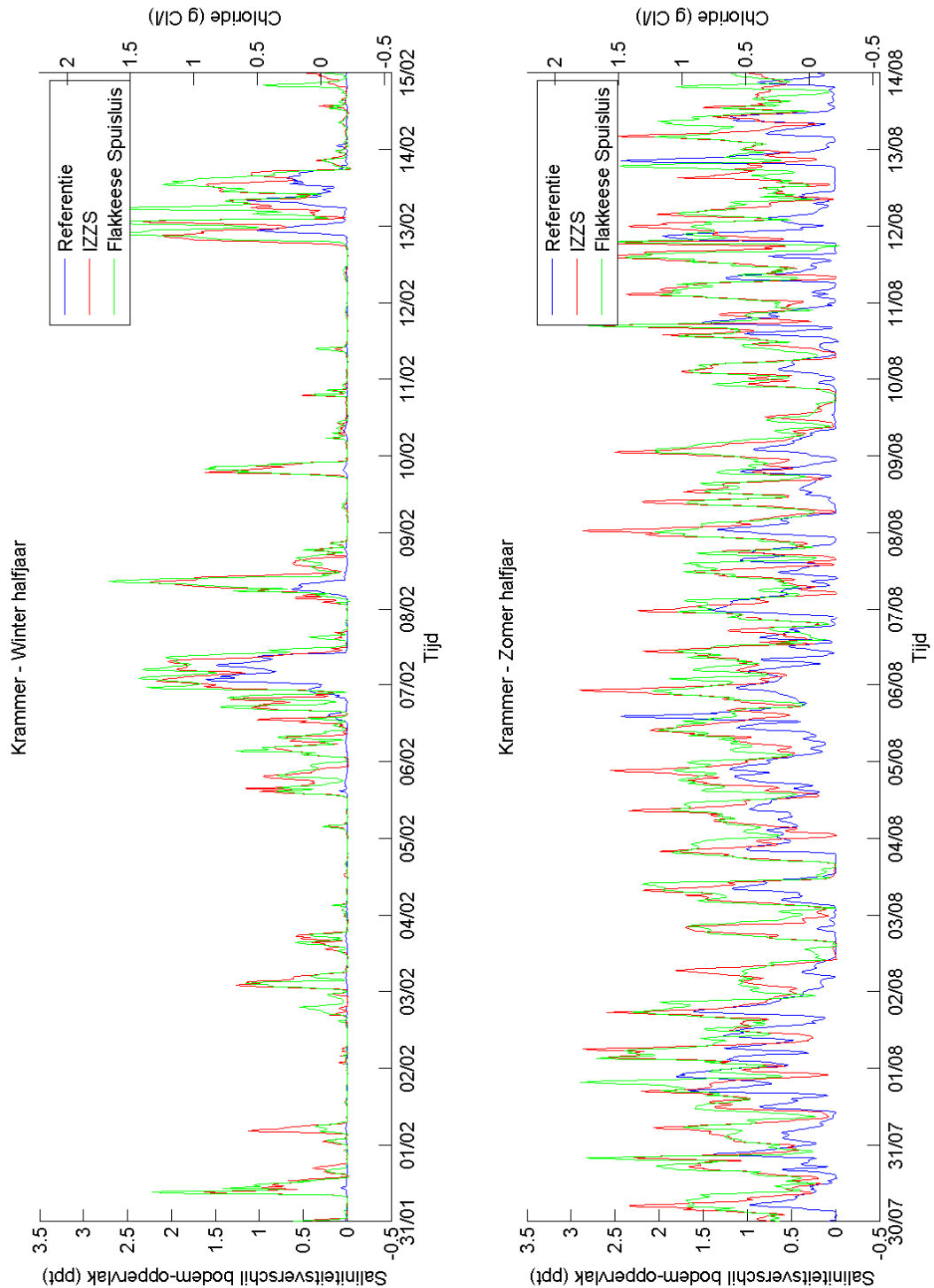
Figuur 4.2 Overzicht van alle locaties waarin model uitvoer in dit rapport wordt beschreven (bron: Google Earth).

Met de inzet van de Flakkeese Spuisluis wordt zoutwater aangevoerd uit het Grevelingenmeer. Daarmee neemt de totale aanvoer van water in het Krammer nog verder toe. Het verzoetingseffect van de zoetlast door de IZZS wordt gereduceerd, maar het saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak blijft wel sterker dan in de referentiesituatie. In het Krammer bedraagt het mediane saliniteitsverschil 3,9 ppt, iets groter dan in de situatie dat de Flakkeese Spuisluis niet wordt gebruikt. Lokale variaties in stromingsrichting en –snelheid in het Krammer nemen toe als gevolg van de aanvoer van water vanuit het Grevelingenmeer en het Volkerak-Zoommeer. Zoals bij de IZZS scenario, leidt de grotere doorvoer van water tot hogere zeewaartse stroomsnelheden in het Zijpe en Mastgat, waardoor verticale saliniteitsverschillen sterk afnemen. In het Zijpe varieert het mediane saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak tussen 2,1 en 2,8 ppt. In tegenstelling tot de situatie dat de Flakkeese Spuisluis niet wordt gebruikt is er weinig verschil tussen de winter- en zomerzoutgelaagdheid; wel zijn er verschillen in de absolute winter- en zomersaliniteiten. Verder richting de Oosterschelde nemen verticale saliniteitsverschillen snel af zodat de rest van de Oosterschelde op kleine tijdelijke variaties vrijwel gemengd blijft.

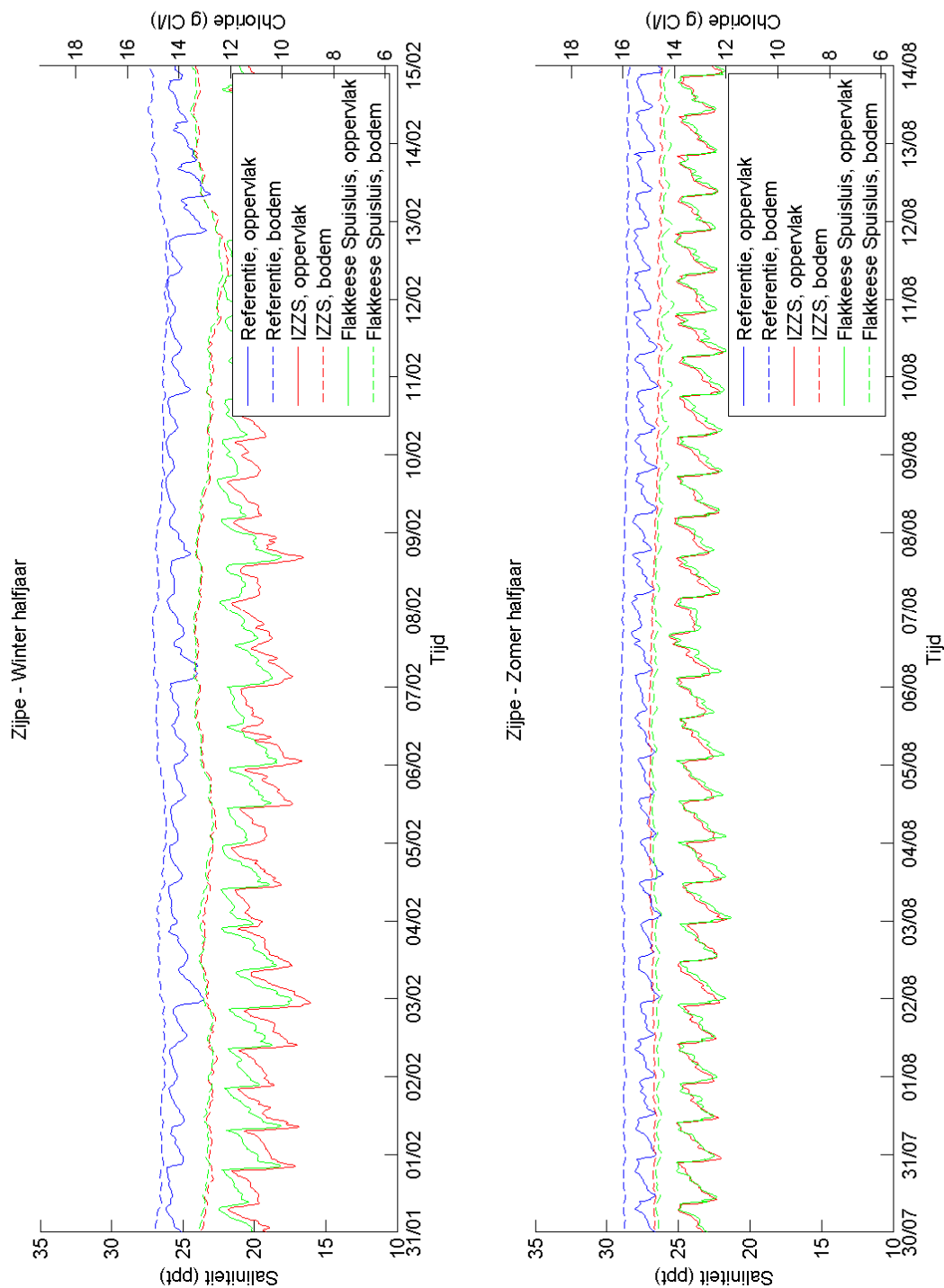


Figuur 4.3 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in het Krammer met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.

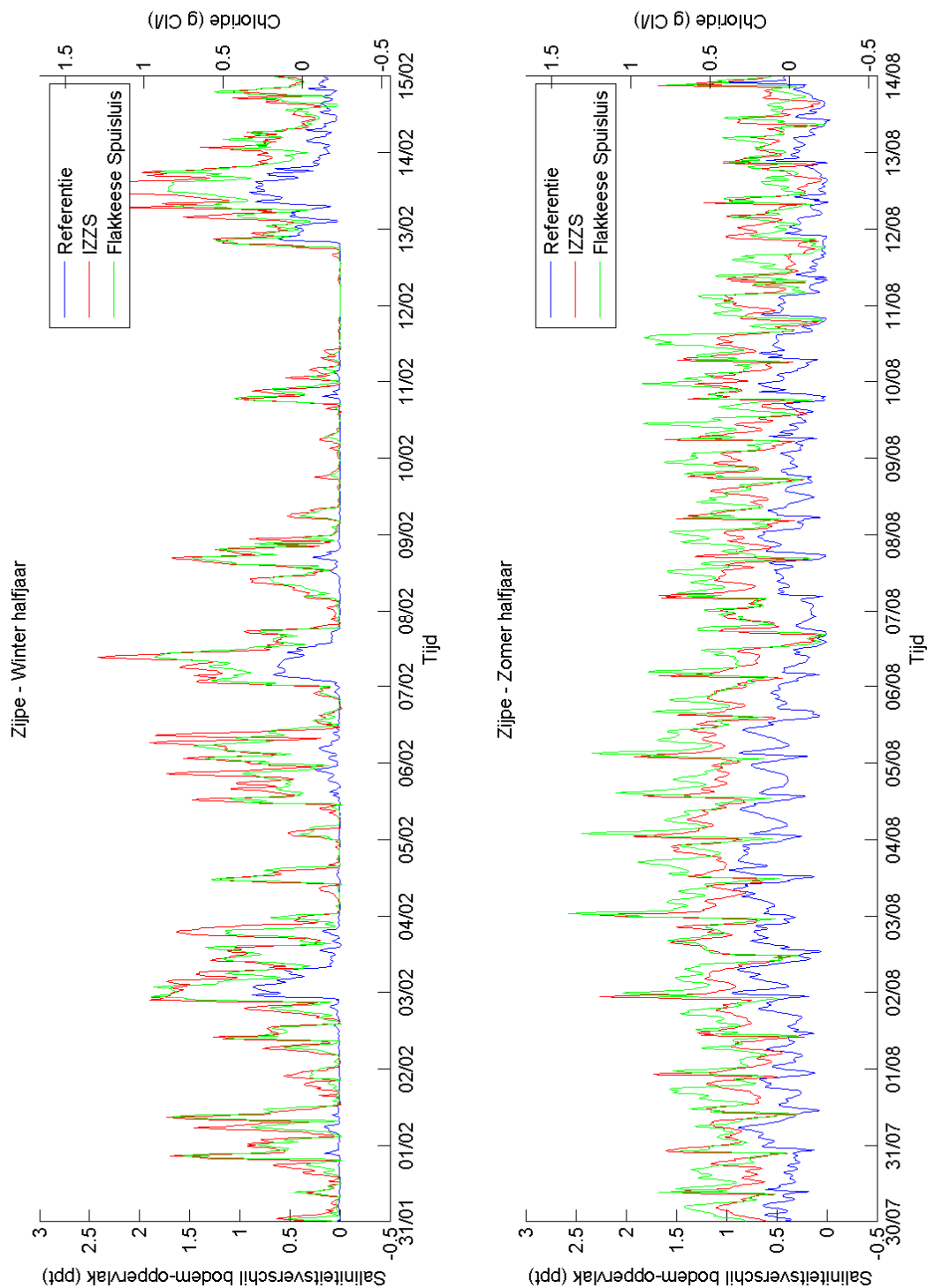




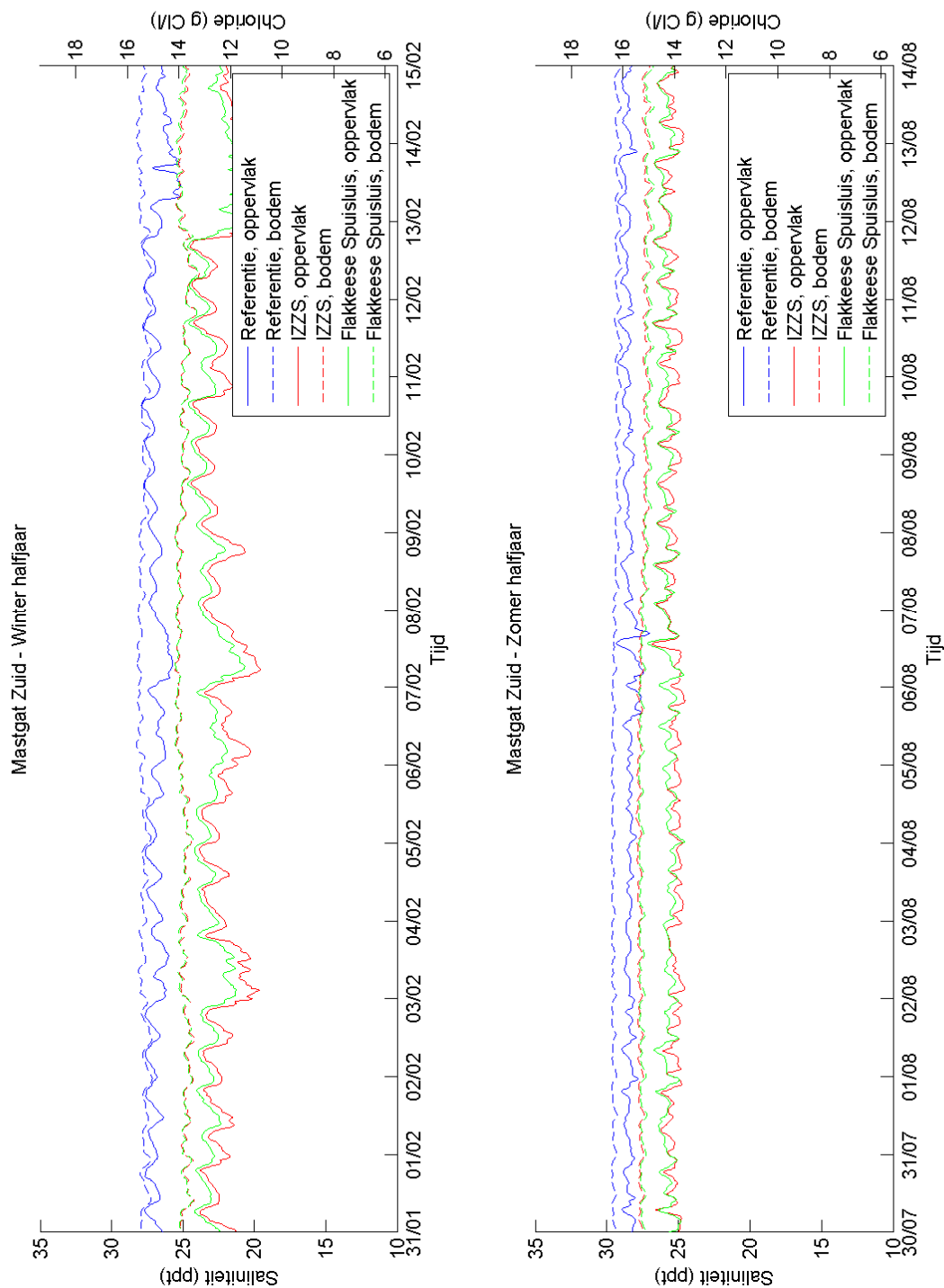
Figuur 4.4 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Krammer met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



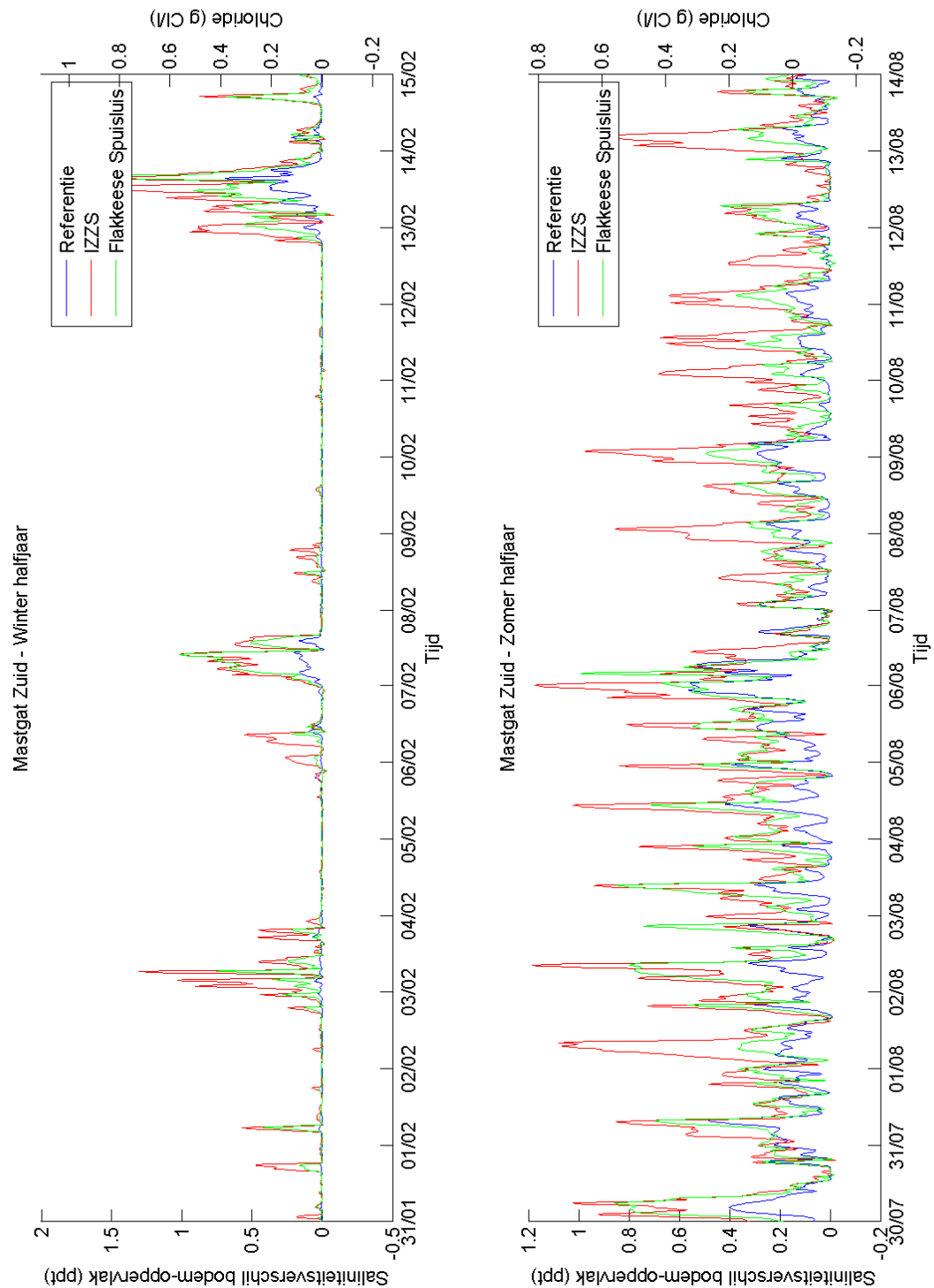
Figuur 4.5 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in het Zijpe met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.



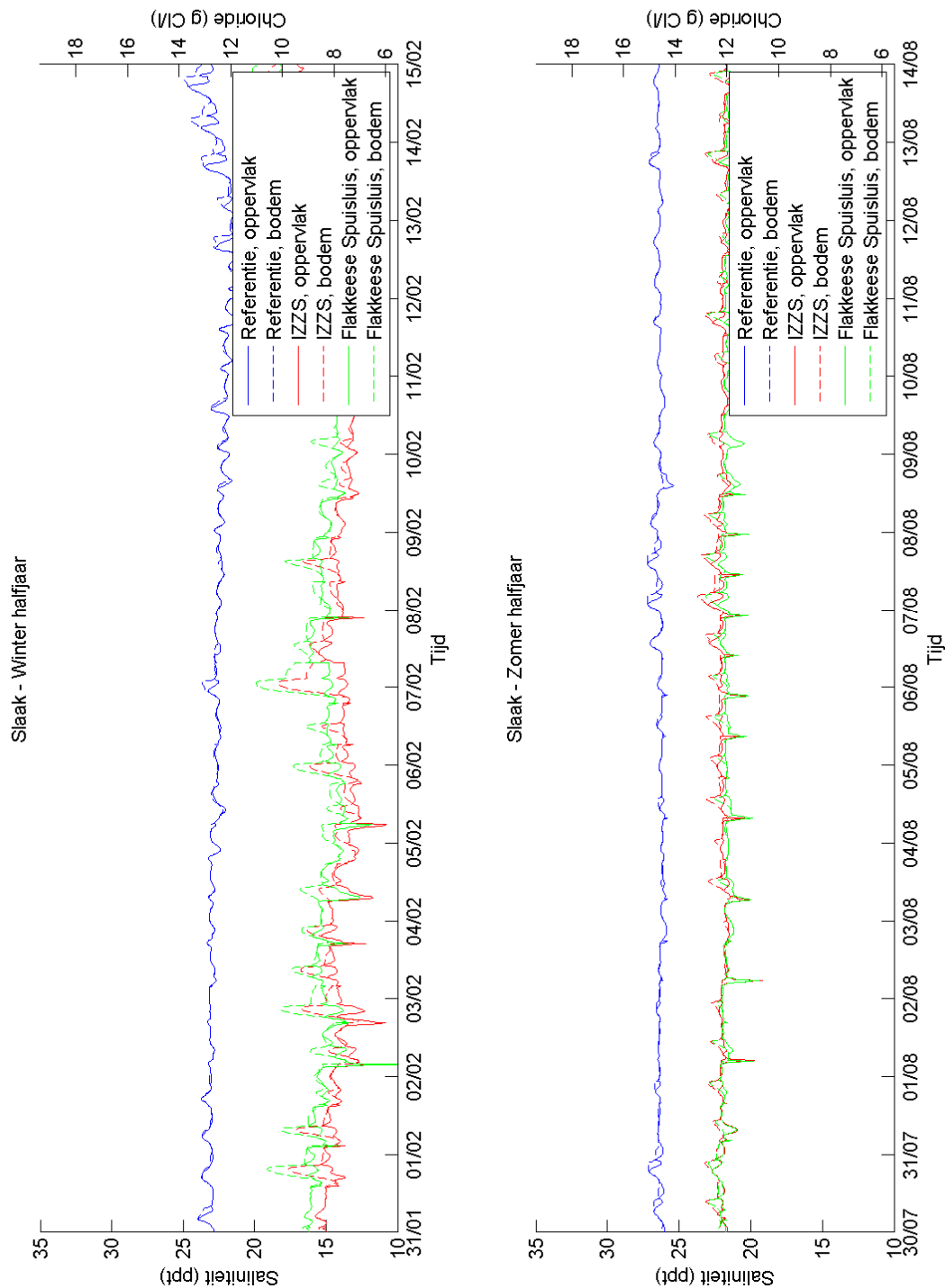
Figuur 4.6 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Zijpe met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



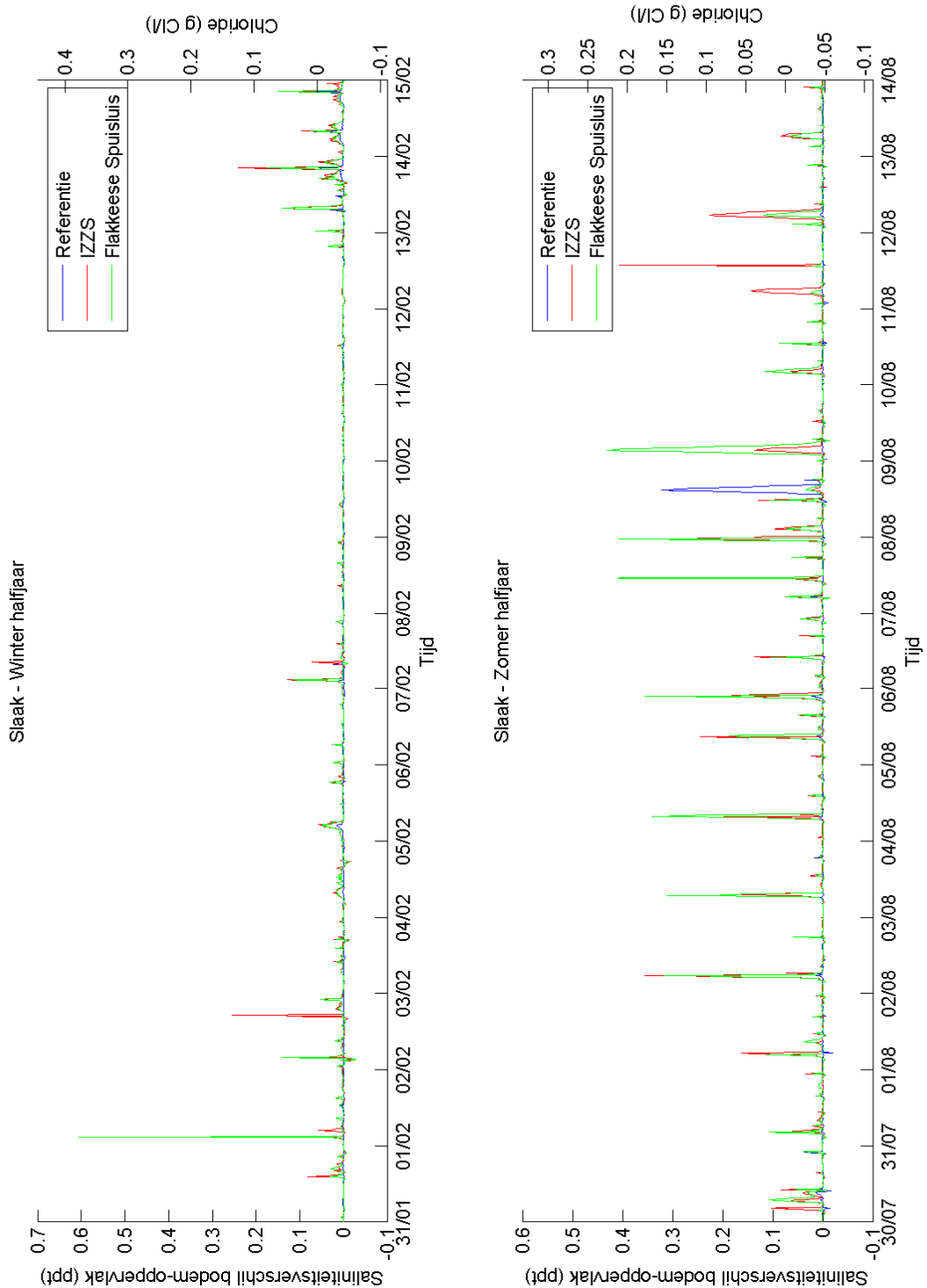
Figuur 4.7 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtere as) berekend in het Mastgat (Zuid) met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlaks (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.



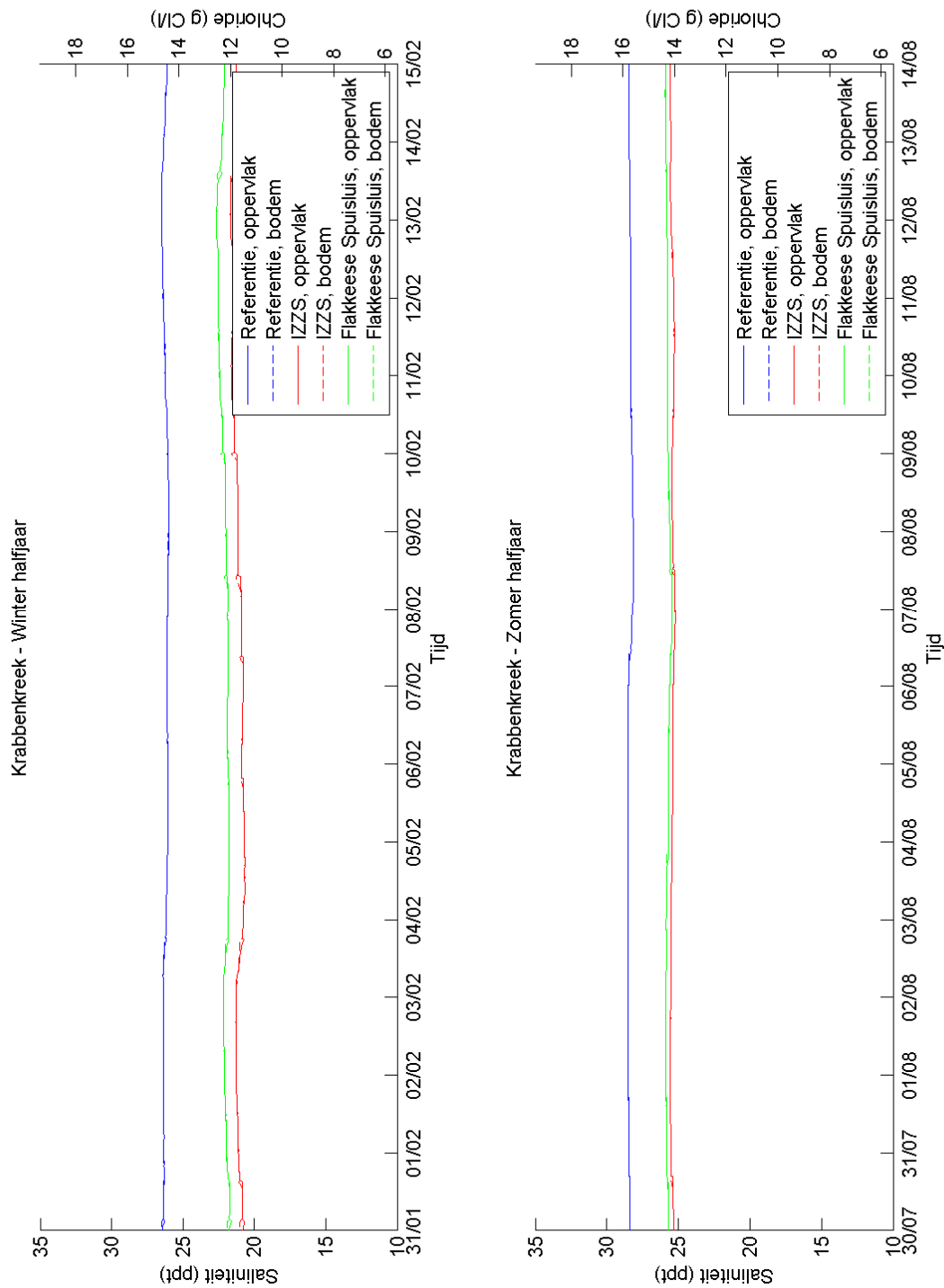
Figuur 4.8 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Mastgat (Zuid) met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



Figuur 4.9 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in het Slaak met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.

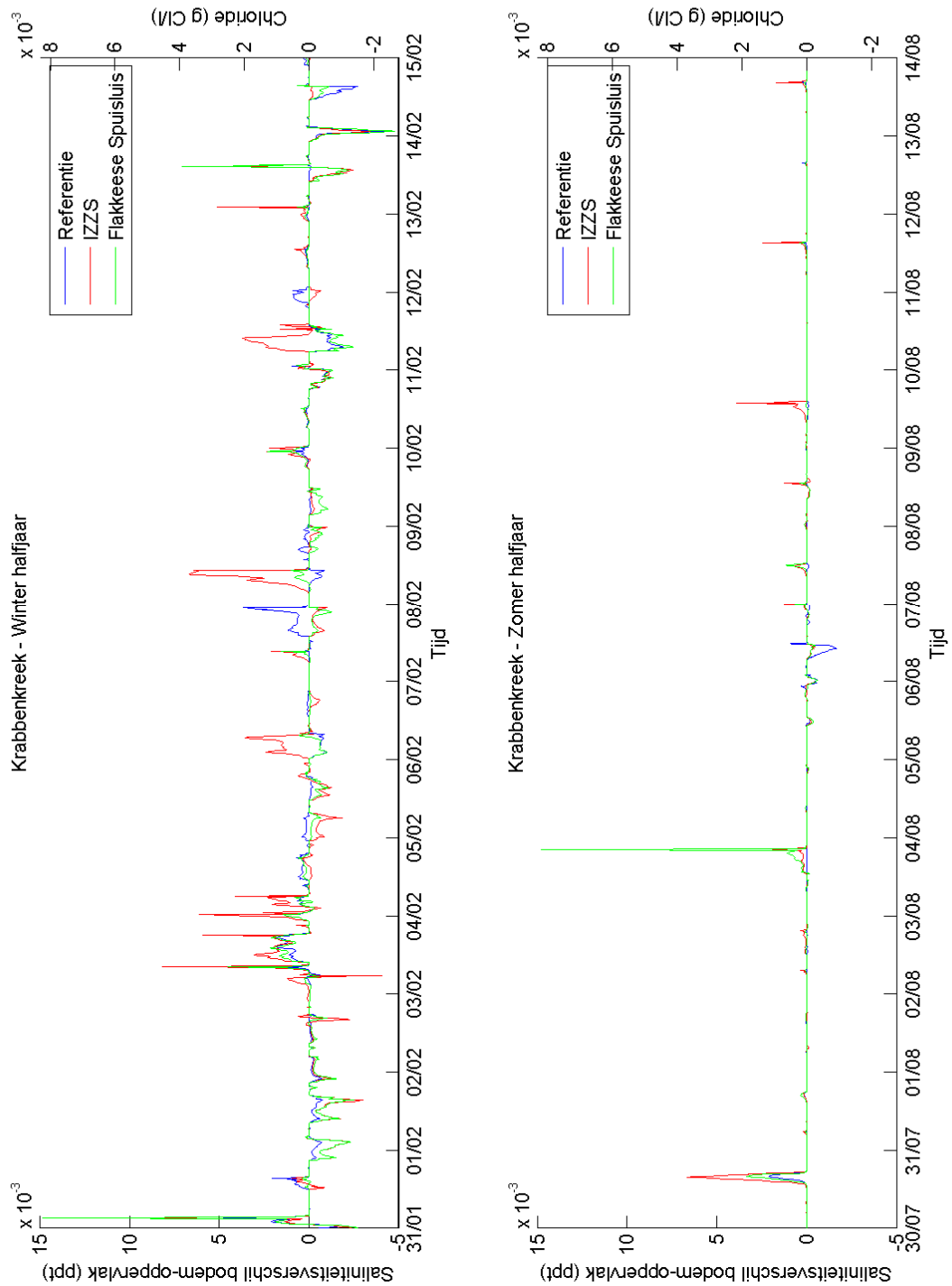


Figuur 4.10 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Slaak met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).

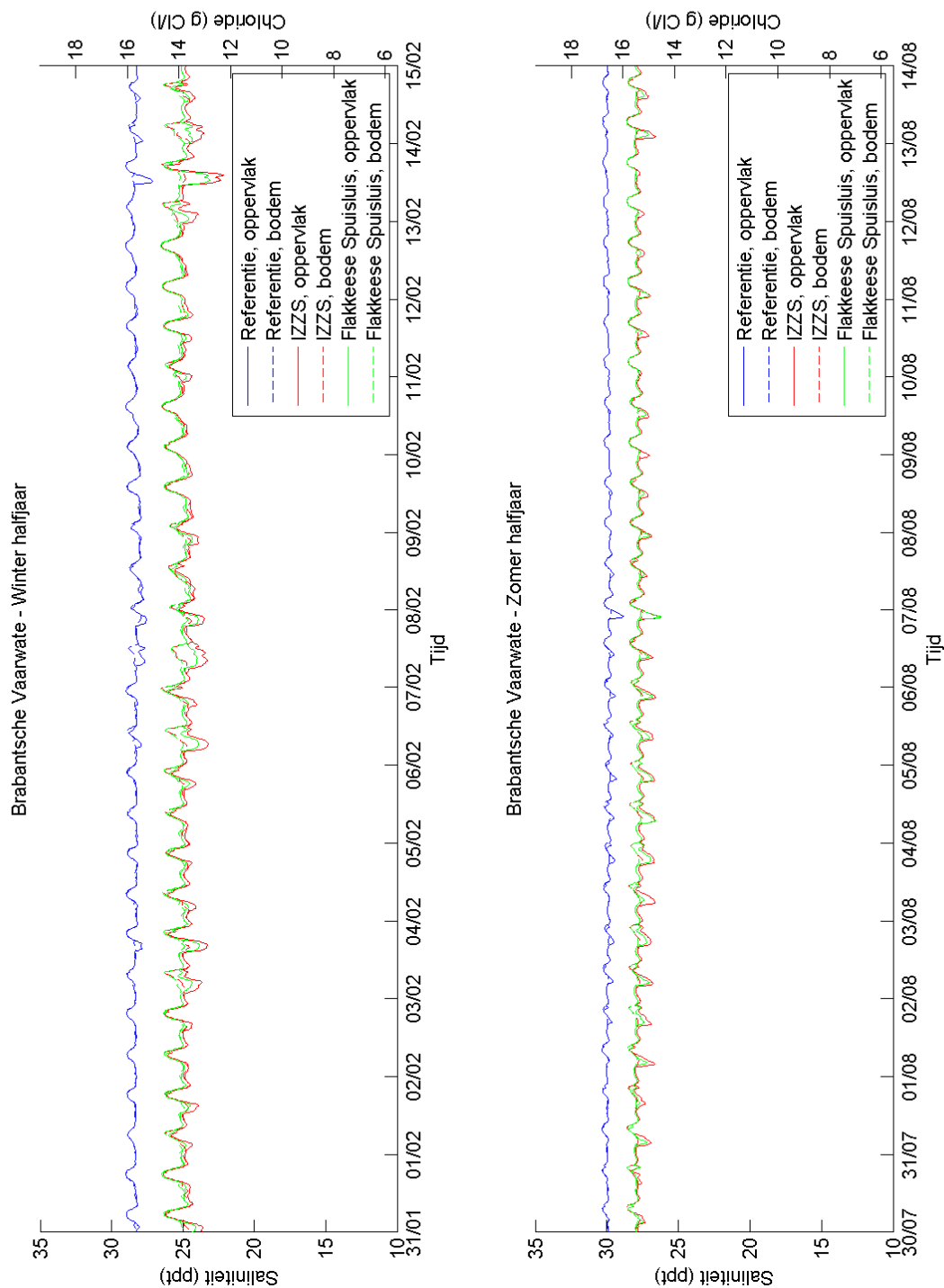


Figuur 4.11 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in de Krabbenkreek met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.

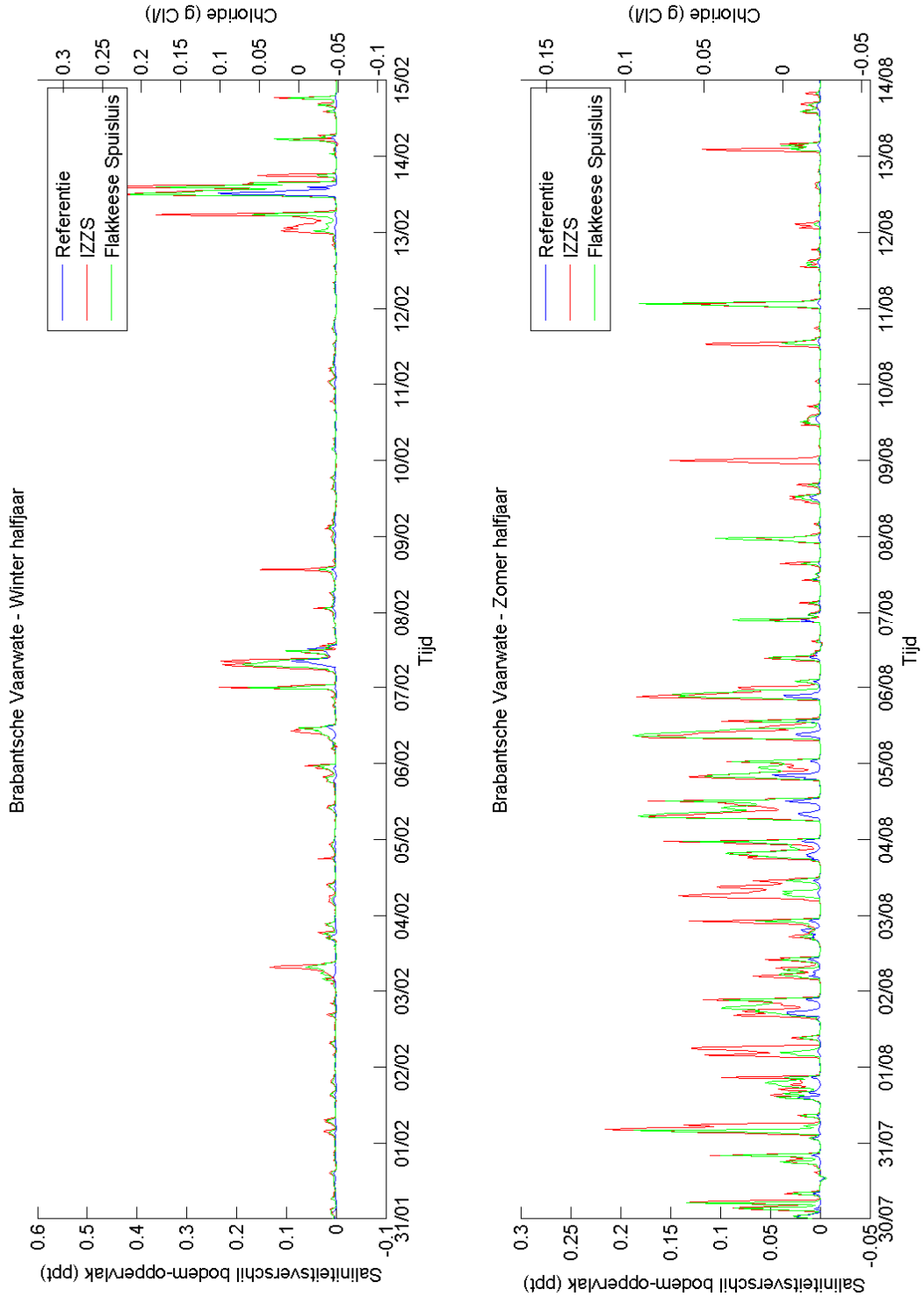




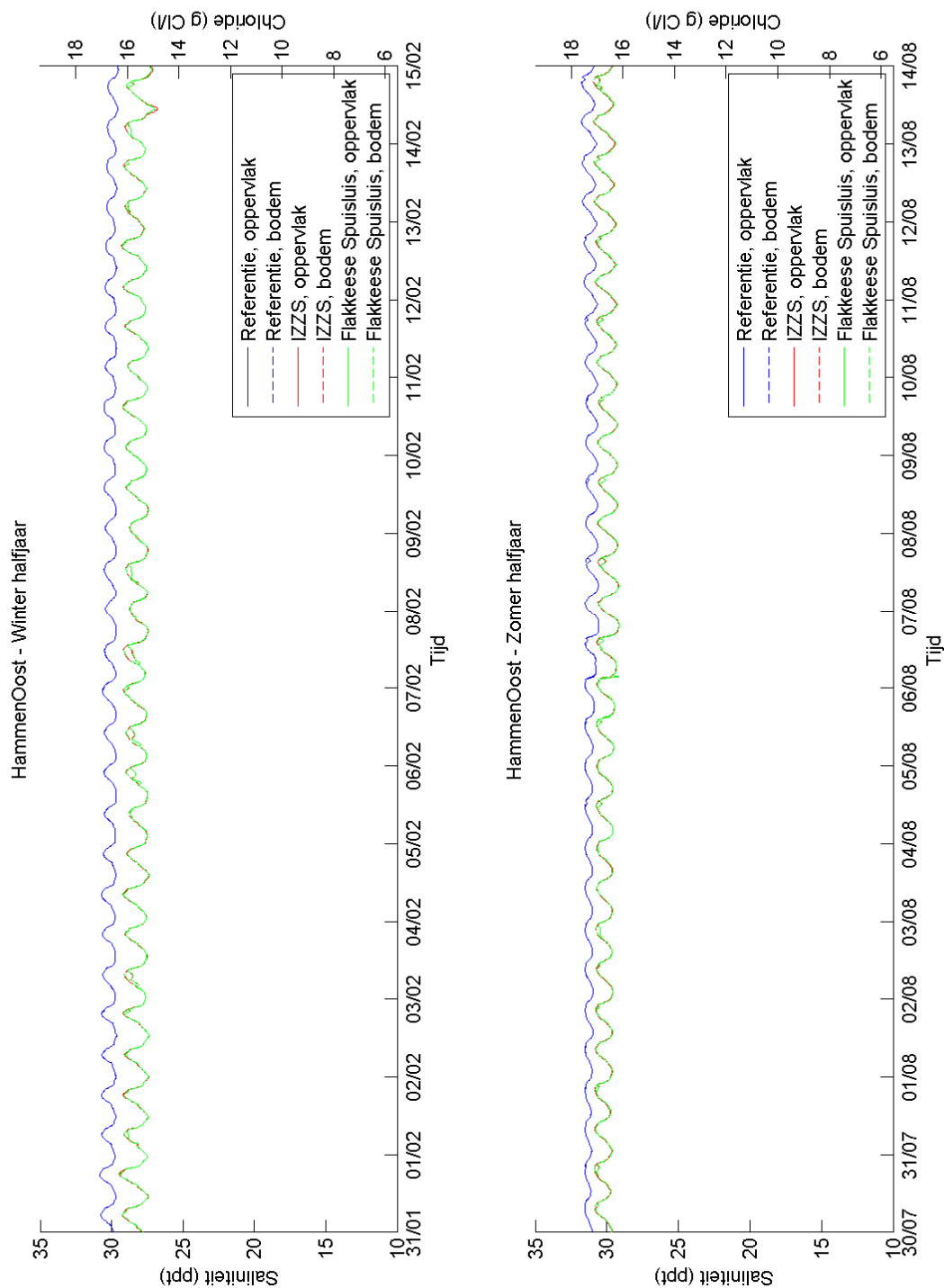
Figuur 4.12 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in de Krabbenkreek met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



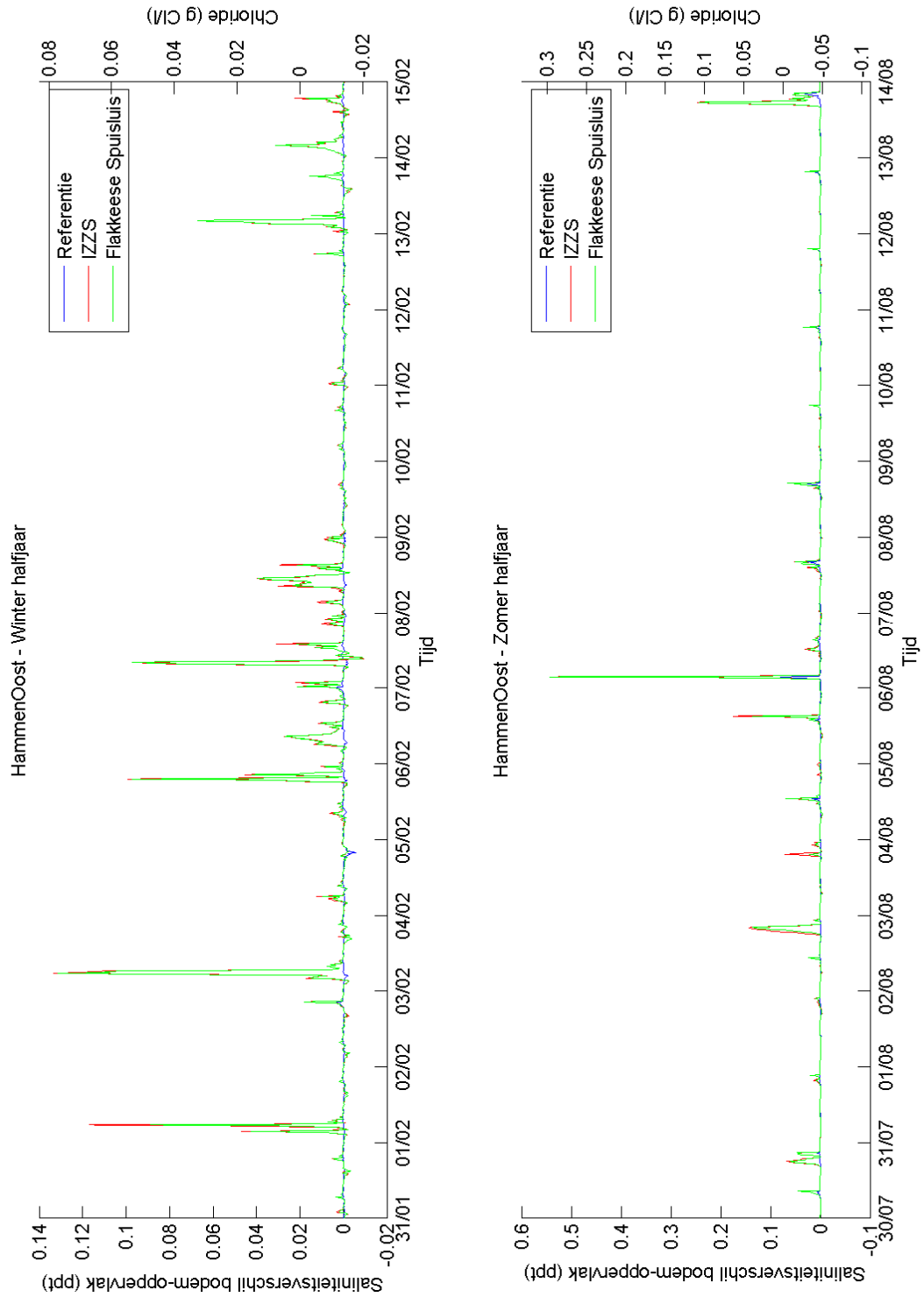
Figuur 4.13 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in het Brabantsche Vaarwater met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.



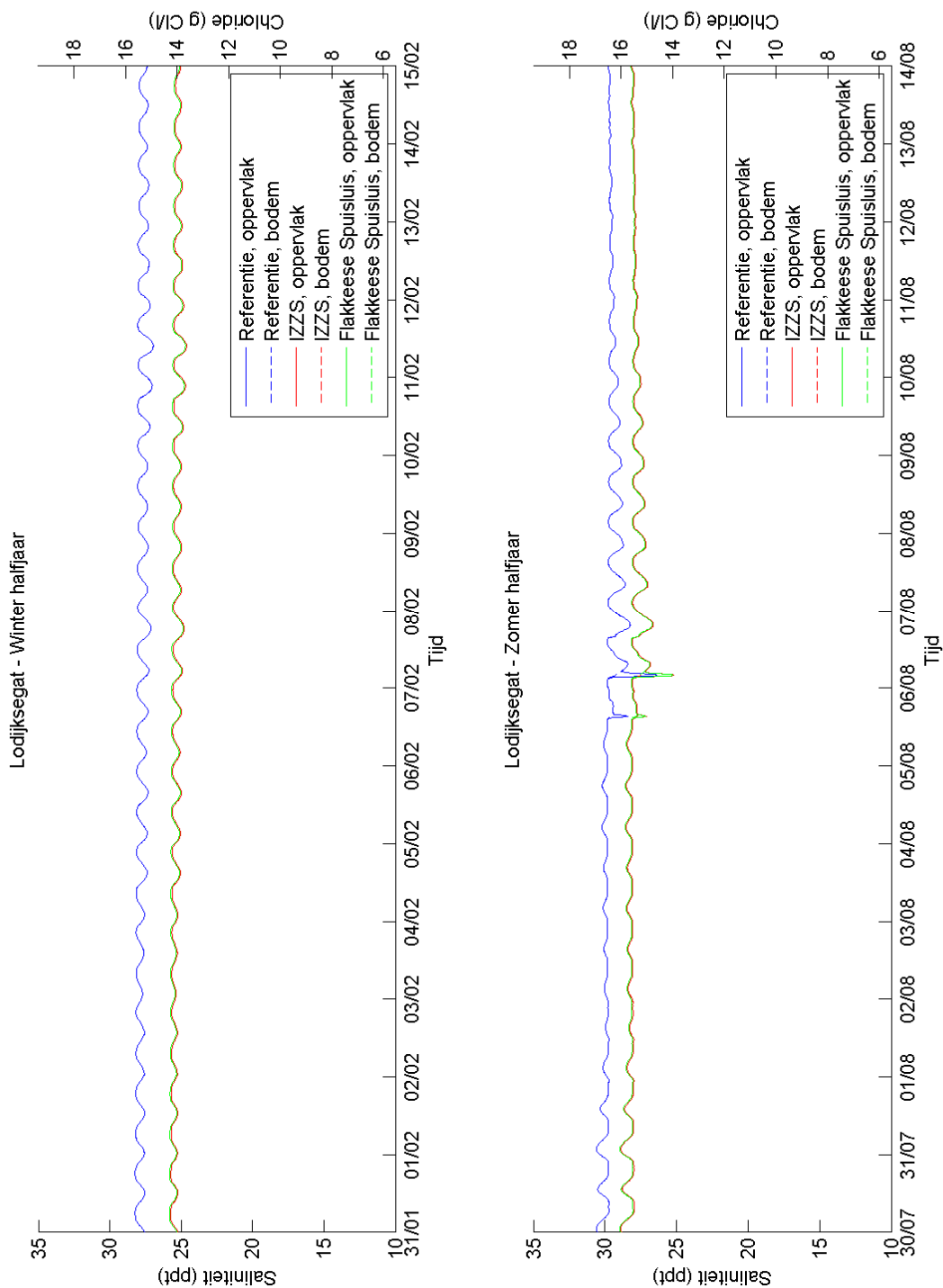
Figuur 4.14 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Brabantsche Vaarwater met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



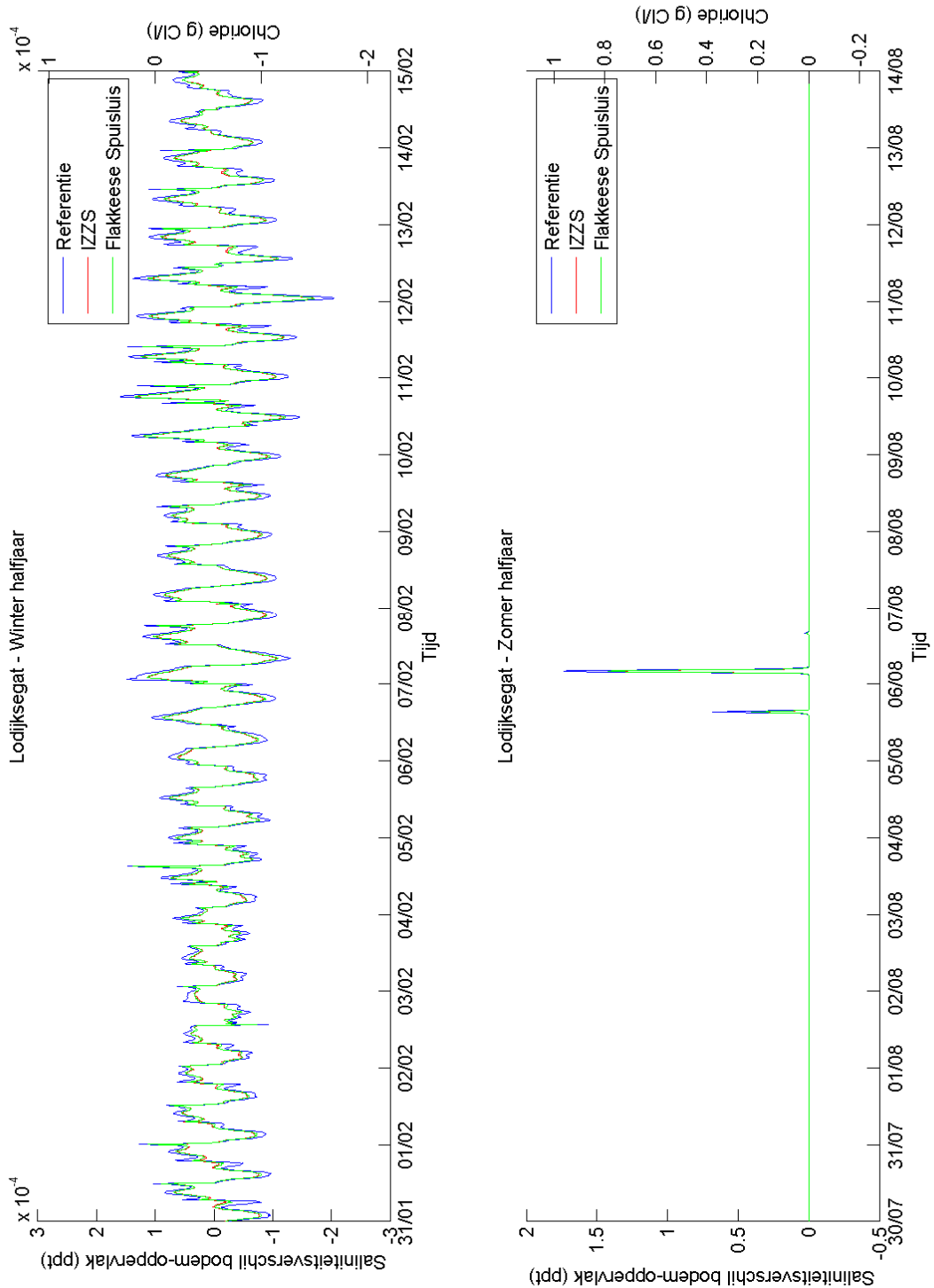
Figuur 4.15 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend bij Hammen-Oost met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.



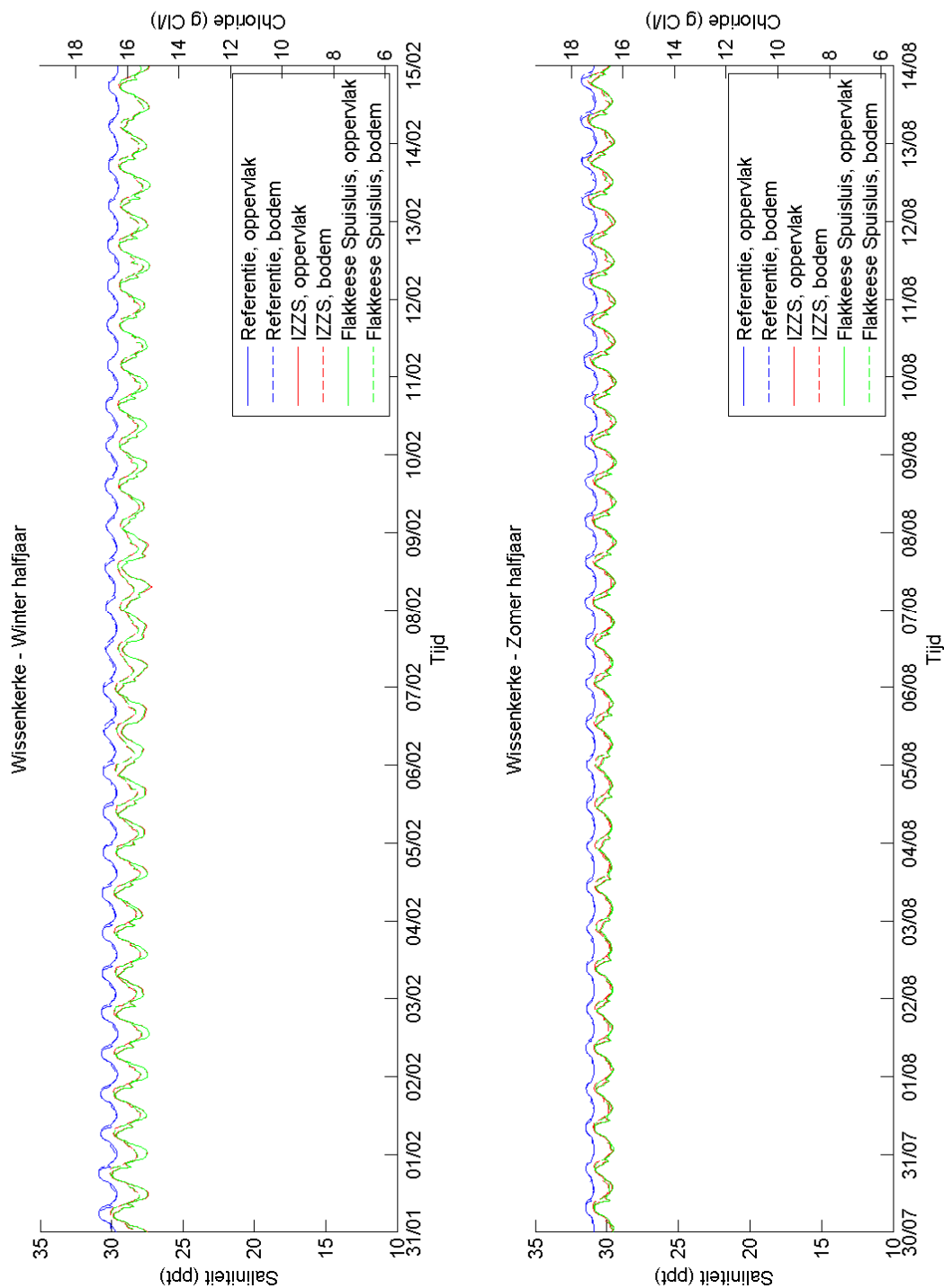
Figuur 4.16 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend bij Hammen-Oost met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



Figuur 4.17 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend in het Loodijkse Gat met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.

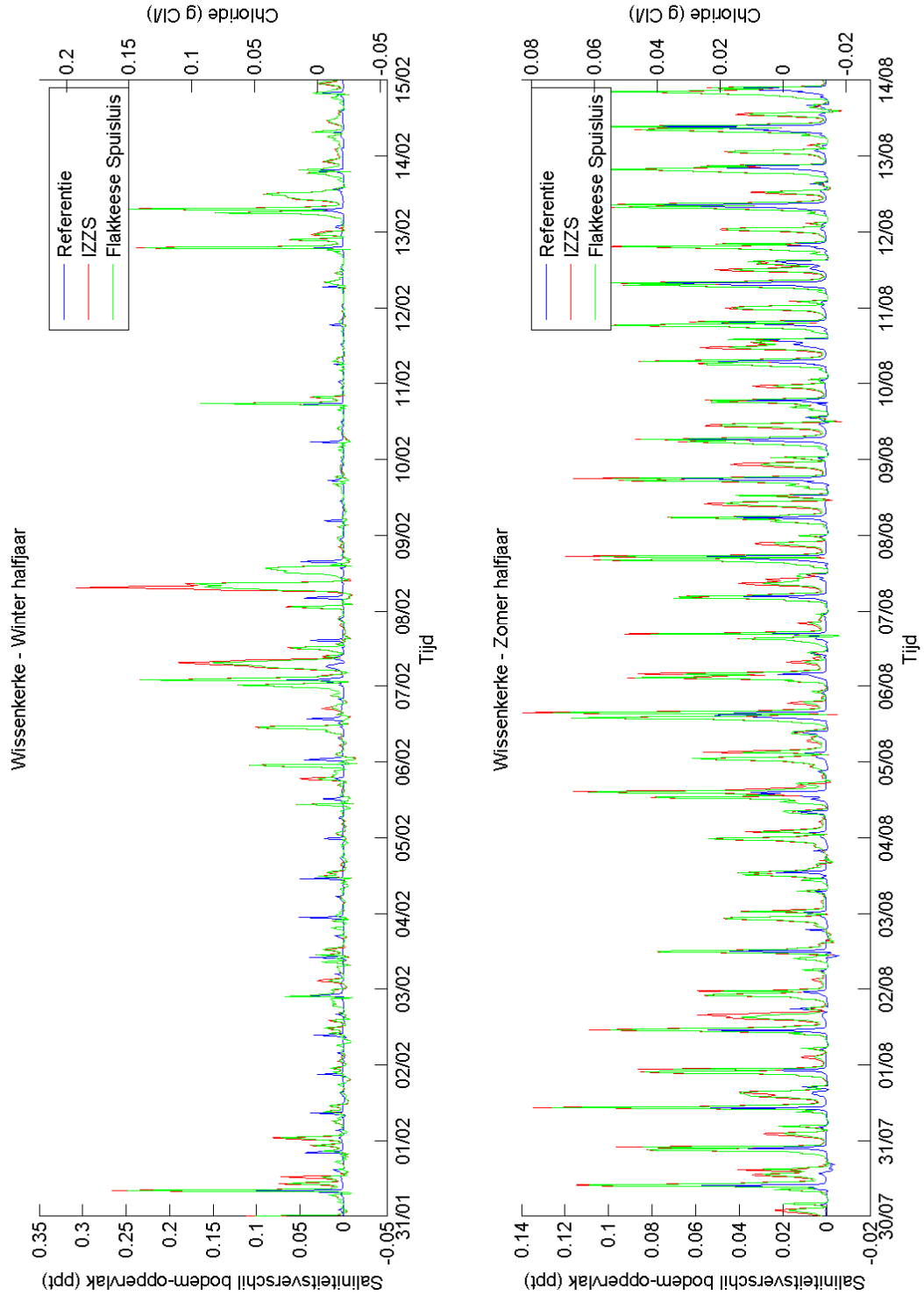


Figuur 4.18 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend in het Lodijkse Gat met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).



Figuur 4.19 Saliniteit (linkse as) en chlorideconcentratie (rechtse as) berekend bij Wissenerke met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder). Voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen) wordt de saliniteit bij het oppervlak (doorgetrokken lijn) en bij de bodem (gestreepte lijn) getoond.





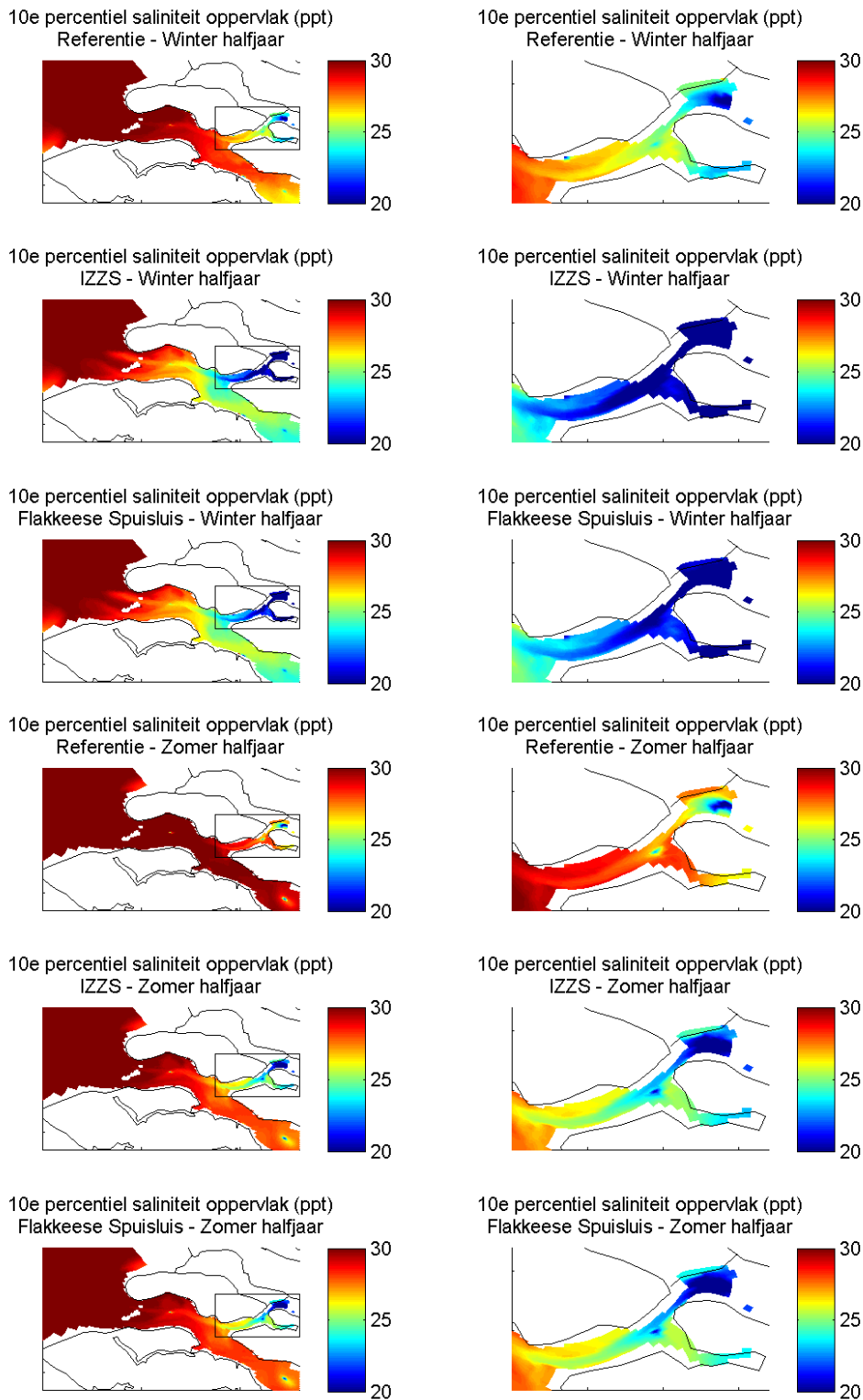
Figuur 4.20 Saliniteitsverschil (linkse as) en verschil in chlorideconcentraties (rechtse as) tussen bodem en oppervlak berekend bij Wissenerke met het Delft3D-FLOW model voor het winterhalfjaar (boven) en zomerhalfjaar (onder) voor de referentieberekening (blauw) en beide scenario's (rood en groen).

Tabel 4.2 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentielen van met Delft3D-FLOW berekende saliniteitsverschillen (in ppt) tussen bodem en oppervlak voor de referentieberekening en beide scenario's voor de winter- en zomerhalfjaren.  
N.B. negatieve waarden zijn numerieke onnauwkeurigheden van de methode.

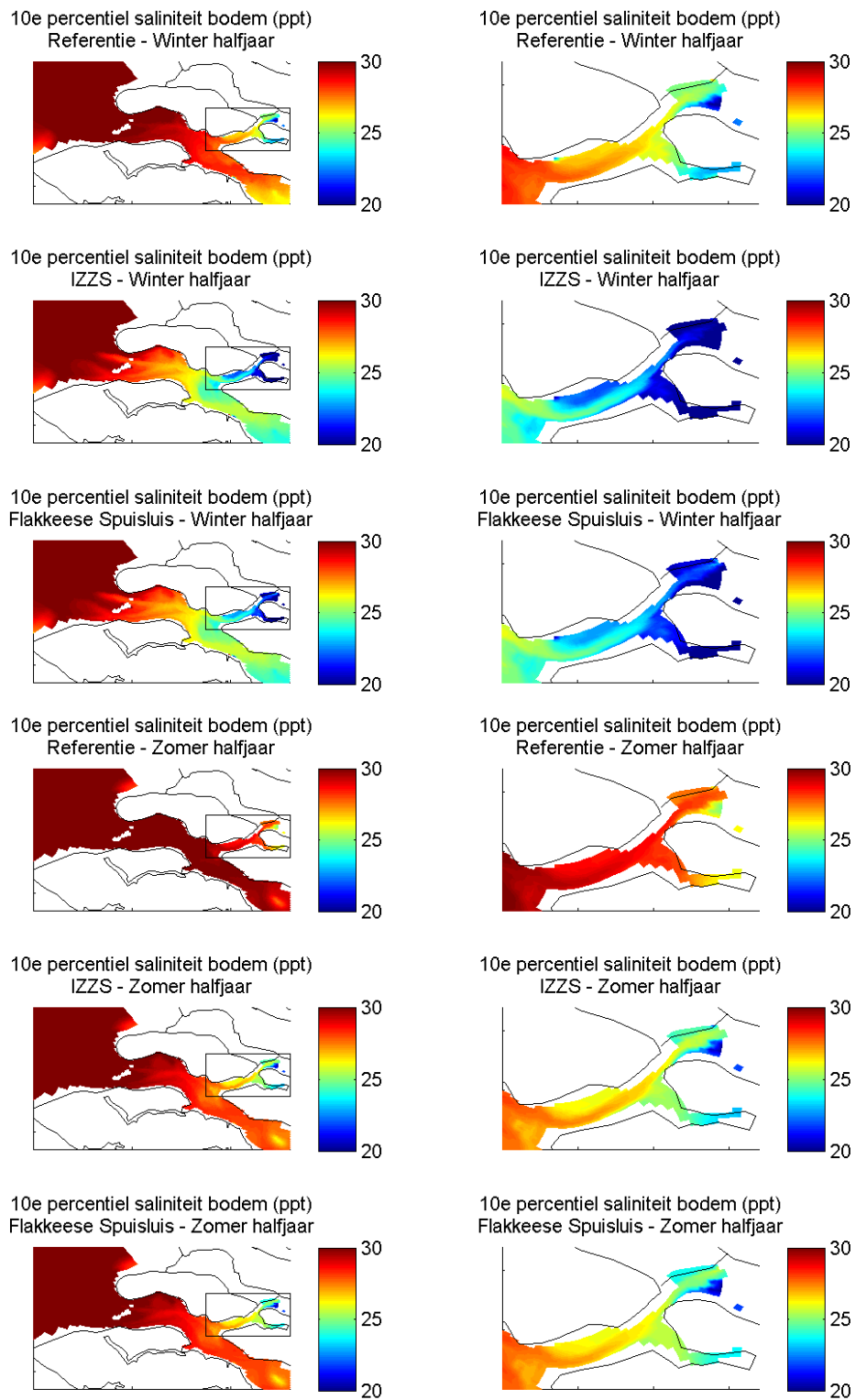
	Referentie		IZZS		Flakkeese Spuisluis	
	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer
<b>10<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	-0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01
Hammen Oost	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
Krabbenkreek	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krammer	0,43	0,70	1,88	1,92	2,08	2,89
Lodijksegat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mastgat Zuid	0,20	0,48	1,15	1,25	0,83	0,93
Slaak	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03
Wissenkerke	-0,01	-0,02	0,02	-0,01	0,02	-0,01
Zijpe	0,40	0,78	2,07	1,69	1,19	1,55
<b>50<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	0,02	0,00	0,11	0,02	0,08	0,01
Hammen Oost	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Krabbenkreek	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Krammer	0,97	1,44	3,71	3,08	3,88	3,86
Lodijksegat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mastgat Zuid	0,75	0,93	2,40	2,12	1,83	1,61
Slaak	0,02	0,00	0,21	0,07	0,21	0,03
Wissenkerke	0,03	0,01	0,42	0,13	0,38	0,11
Zijpe	1,04	1,34	3,78	2,84	2,75	2,76
<b>90<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	0,12	0,09	1,04	0,70	0,78	0,47
Hammen Oost	0,01	0,01	0,14	0,07	0,12	0,06
Krabbenkreek	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01
Krammer	2,17	2,57	6,33	4,26	6,59	4,88
Lodijksegat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mastgat Zuid	1,87	1,40	4,72	2,88	3,64	2,33
Slaak	0,32	0,22	2,42	0,81	2,58	0,78
Wissenkerke	0,16	0,15	0,79	0,50	0,74	0,49
Zijpe	2,22	1,99	5,73	4,04	4,59	3,79

Tabel 4.3 10<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> en 90<sup>e</sup> percentielen met Delft3D-FLOW berekende saliniteit (in ppt) bij de bodem voor de referentieberekening en beide scenario's voor de winter- en zomerhalfjaren.

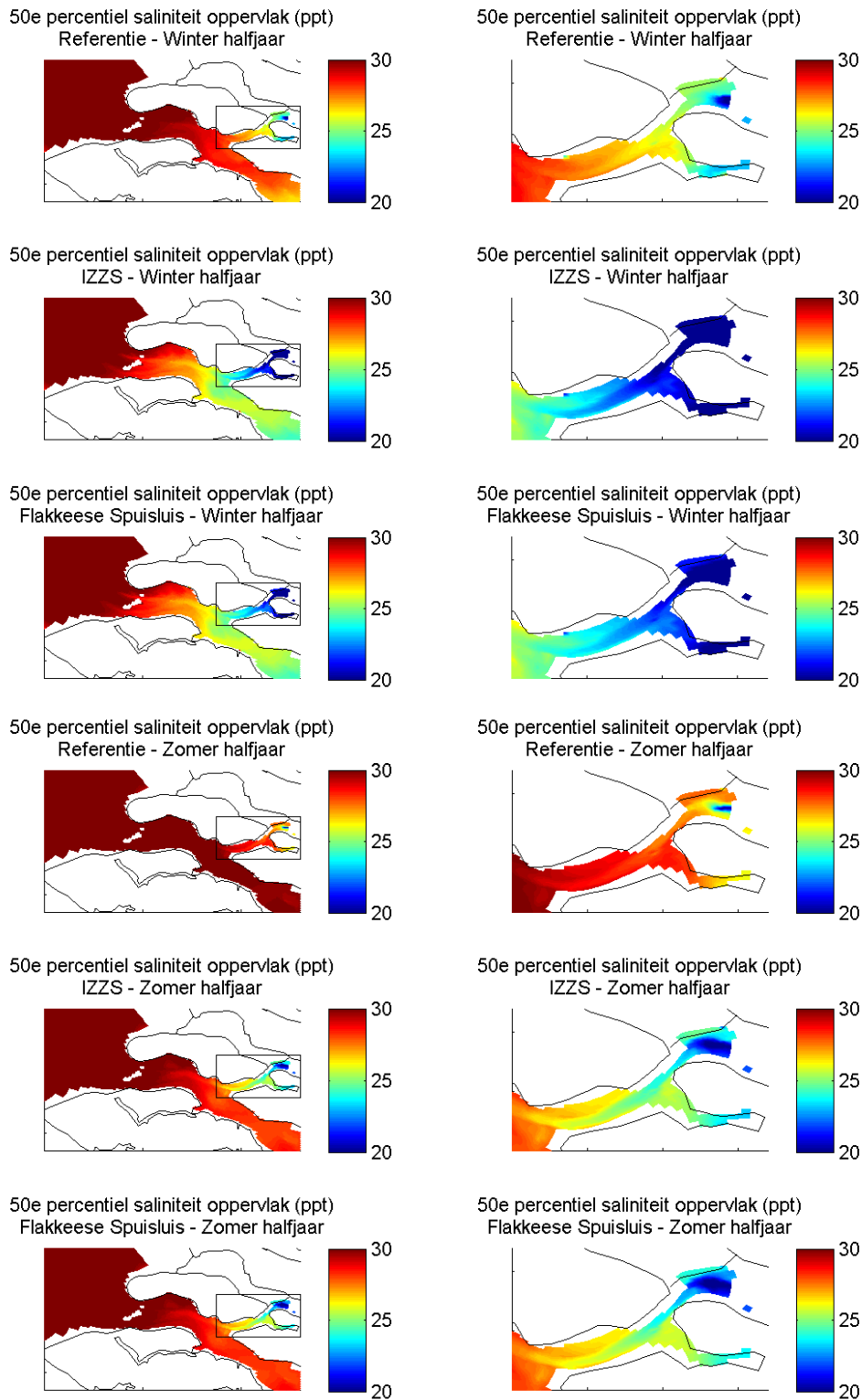
	Referentie		IZZS		Flakkeese Spuisluis	
	Winter	Zomer	Winter	Zomer	Winter	Zomer
<b>10<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,2	29,8	24,6	27,6	24,9	27,7
Hammen Oost	29,7	30,8	27,5	29,5	27,6	29,4
Krabbenkreek	26,0	28,2	20,8	25,3	21,8	25,6
Krammer	25,2	28,1	20,7	25,6	22,2	25,3
Lodijksegat	27,3	29,1	25,0	27,5	25,0	27,5
Mastgat Zuid	27,4	29,1	24,5	27,1	24,6	27,0
Slaak	21,8	26,2	12,6	21,7	13,9	21,5
Wissenkerke	29,7	30,8	28,1	29,8	28,1	29,7
Zijpe	26,2	28,5	22,7	26,2	22,9	25,8
<b>50<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,4	29,9	25,0	27,8	25,1	27,9
Hammen Oost	30,0	31,2	28,1	30,0	28,1	30,0
Krabbenkreek	26,2	28,4	21,2	25,4	22,0	25,8
Krammer	25,7	28,3	21,7	26,0	19,3	21,9
Lodijksegat	27,8	29,7	25,4	28,0	25,4	28,1
Mastgat Zuid	27,8	29,4	25,0	27,5	23,1	25,7
Slaak	22,8	26,4	14,3	22,1	14,9	21,7
Wissenkerke	30,0	31,0	28,9	30,2	28,4	29,9
Zijpe	26,5	28,8	23,3	26,7	20,9	23,6
<b>90<sup>e</sup> percentiel</b>						
Brabantsche Vaarwater	28,9	30,2	26,1	28,4	26,2	28,4
Hammen Oost	30,5	31,5	29,0	30,7	29,0	30,7
Krabbenkreek	26,4	28,5	21,6	25,6	22,5	25,9
Krammer	26,1	28,5	22,5	26,3	23,9	26,0
Lodijksegat	28,1	30,1	25,6	28,4	25,7	28,4
Mastgat Zuid	28,1	29,6	25,3	27,8	25,4	27,7
Slaak	23,5	26,7	16,7	22,7	18,0	22,3
Wissenkerke	30,6	31,5	29,7	31,0	29,6	30,9
Zijpe	27,0	29,0	24,0	27,0	24,1	26,7



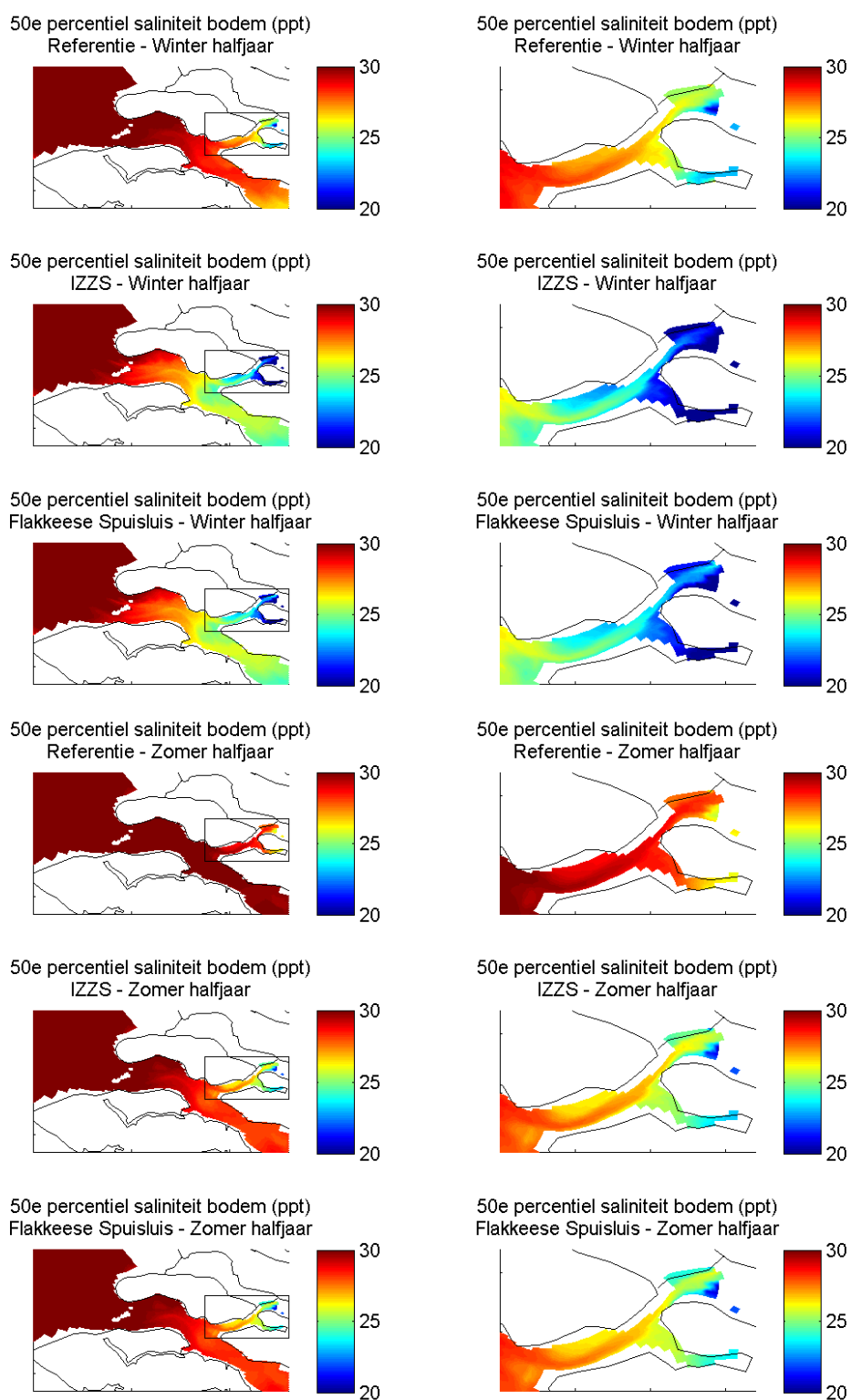
Figuur 4.21 10<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij het oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



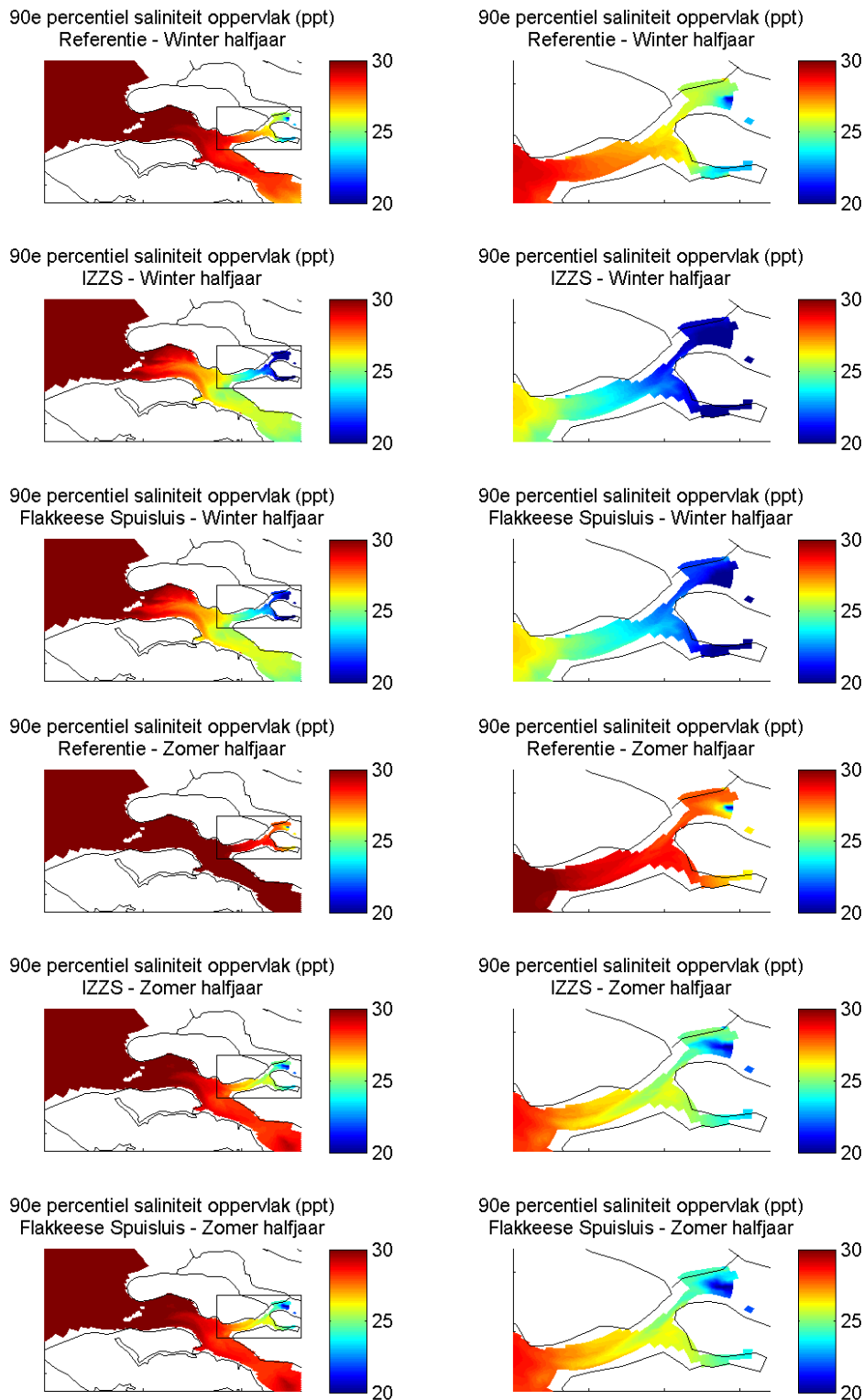
Figuur 4.22 10<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij de bodem (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



Figuur 4.23 50<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij het oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.

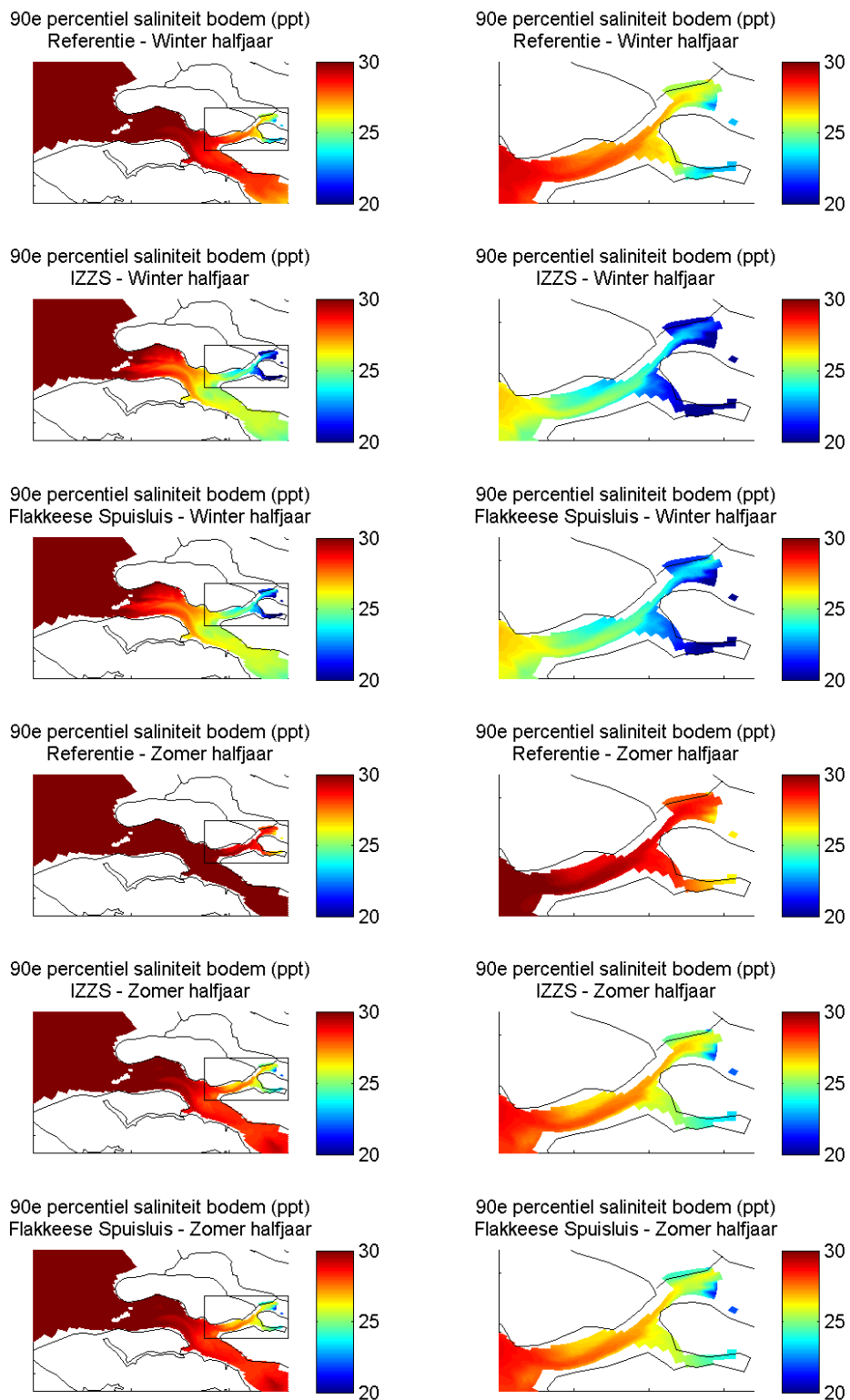


Figuur 4.24 50<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij de bodem (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.

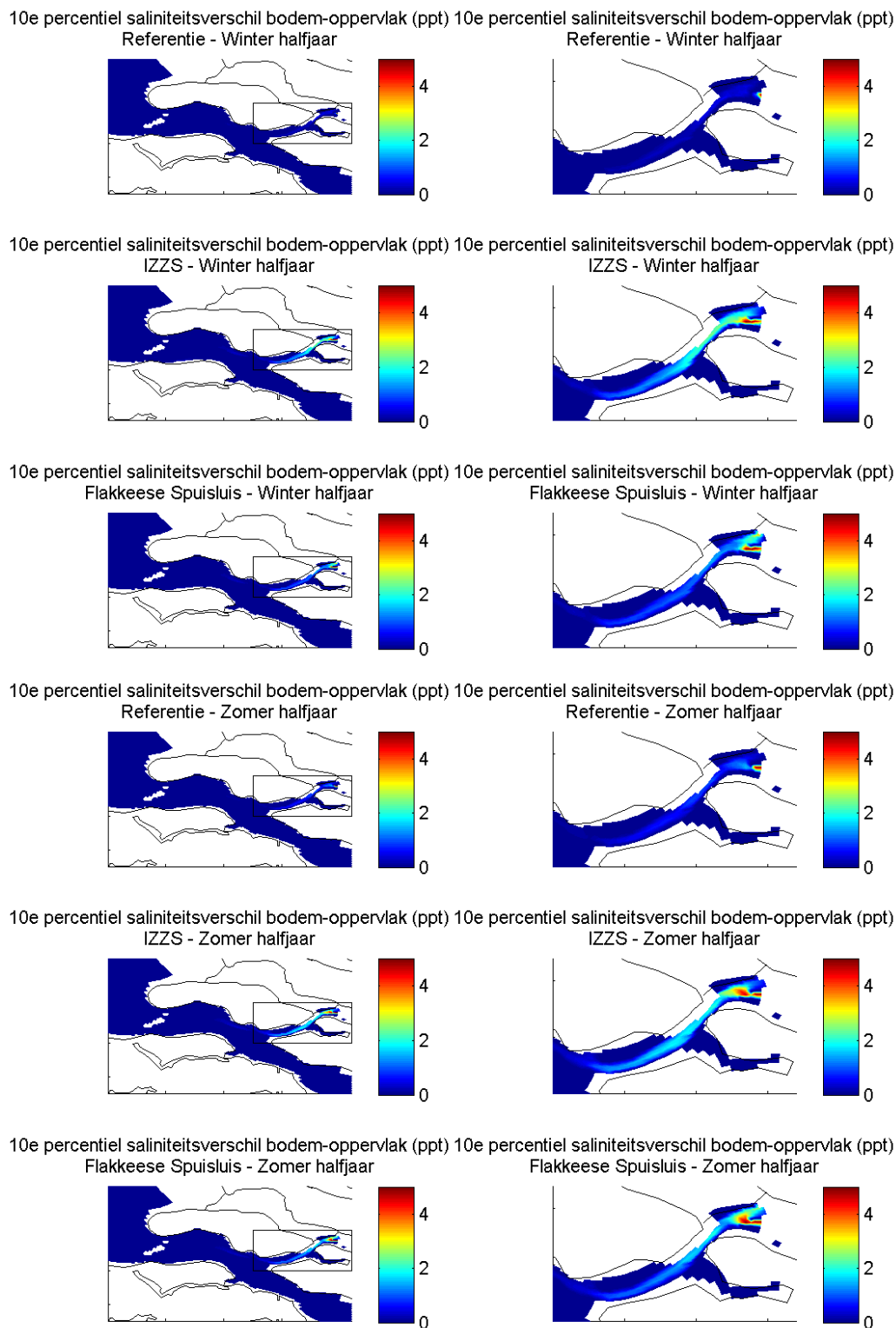


Figuur 4.25 90<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij het oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.

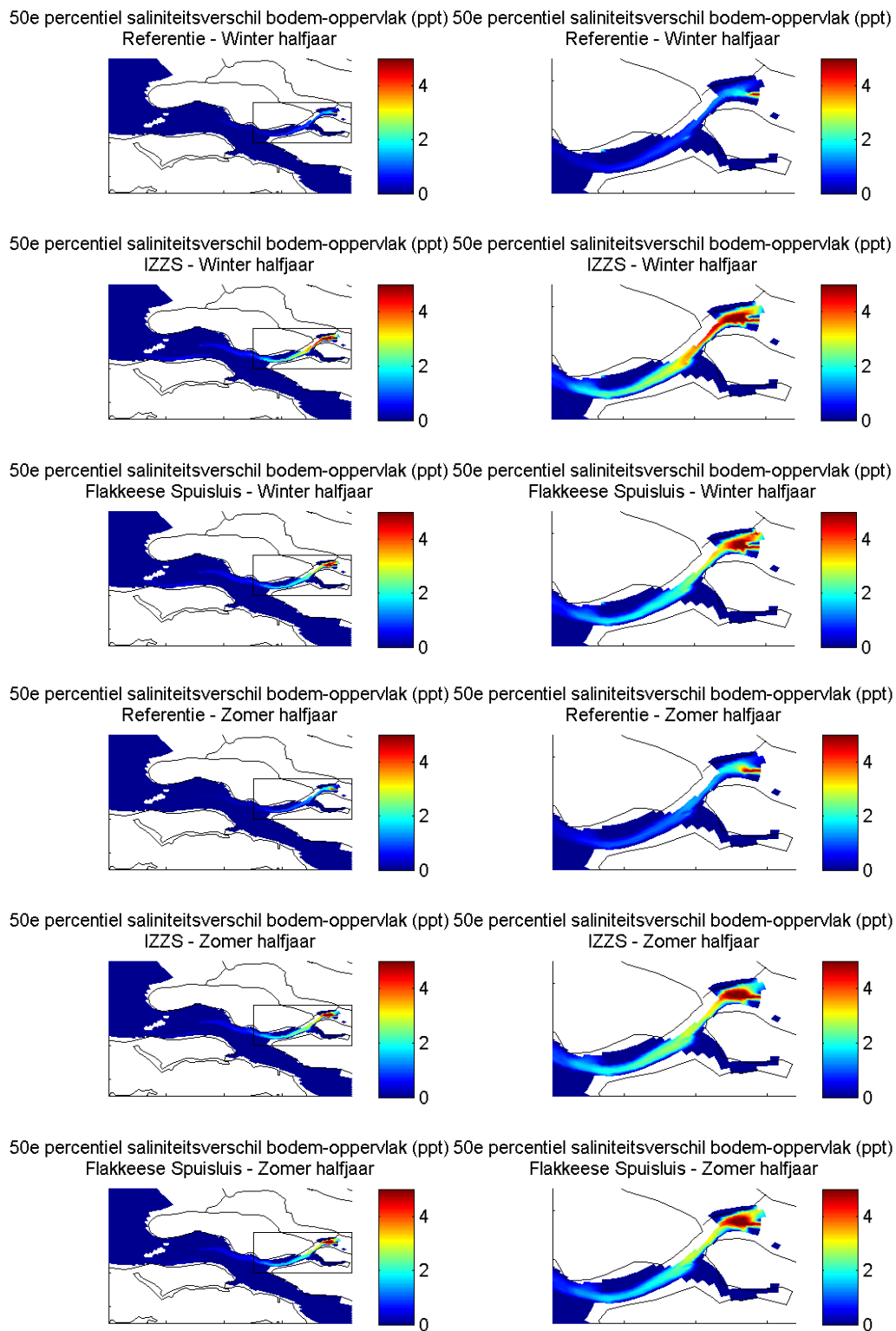




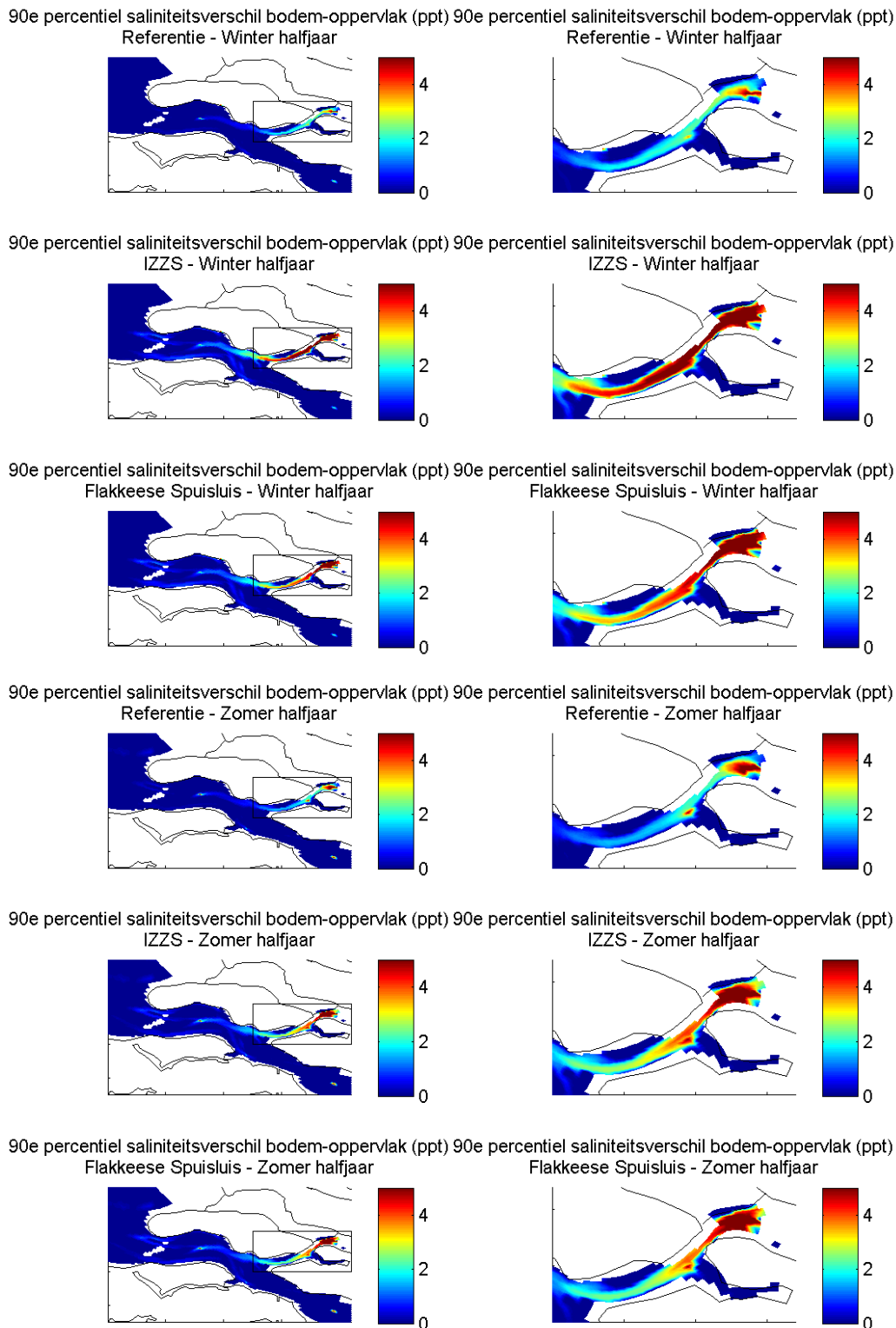
Figuur 4.26 90<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteit bij de bodem (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



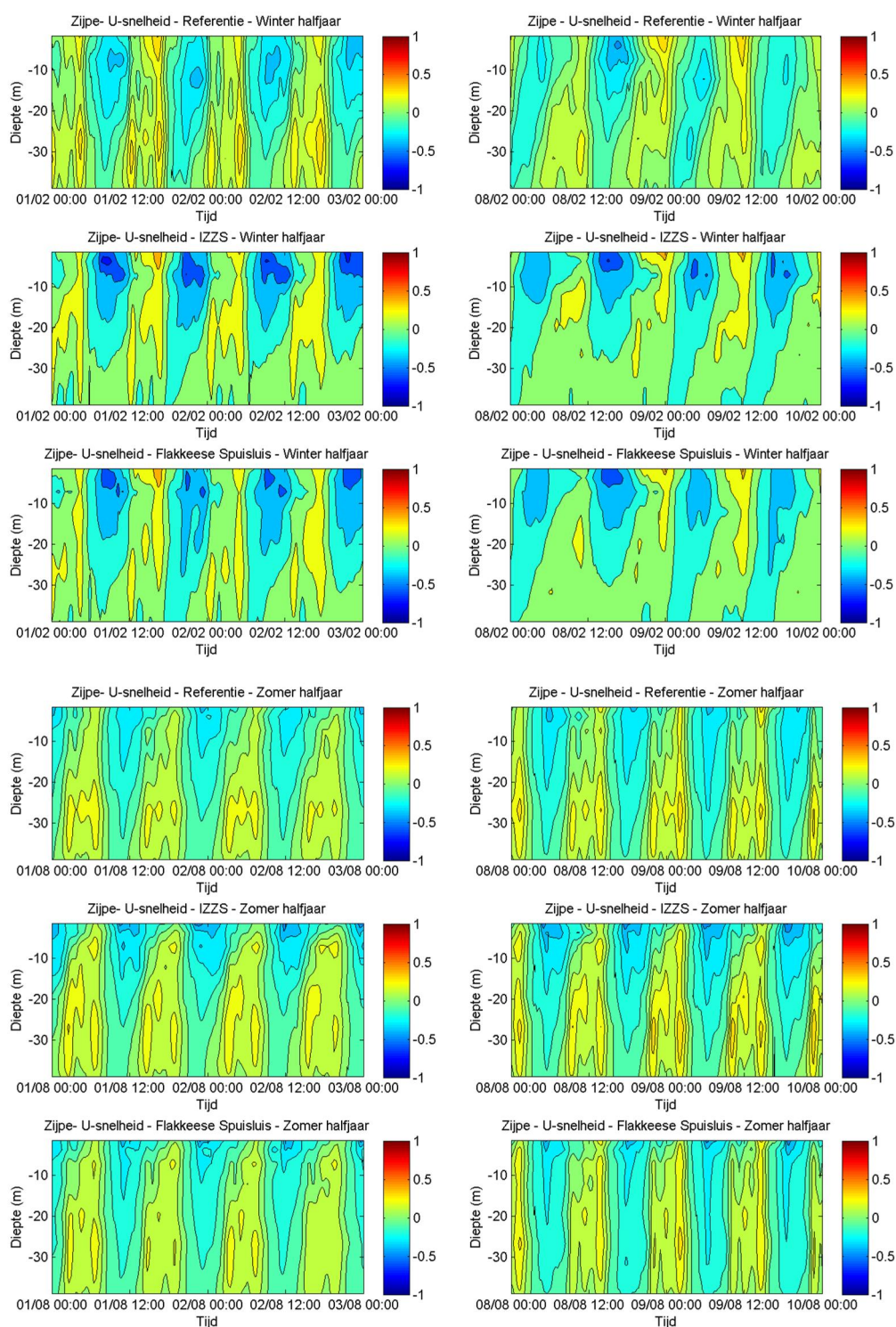
Figuur 4.27 10<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



Figuur 4.28 50<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



Figuur 4.29 90<sup>e</sup> percentiele van met Delft3D-FLOW berekende saliniteitsverschil tussen bodem en oppervlak (in ppt) voor de referentieberekening en beide scenario's voor het winterhalfjaar en het zomerhalfjaar.



Figuur 4.30 Door het model berekende stroomsnelheden (in m/s) in het Zijpe voor 4 tweedaagse periodes in de winter (boven) en in de zomer (onder) voor de referentiesituatie en beide scenario's. Negatieve snelheden geven aan een zeewaartse stroming.

## 4.5 Conclusies

In de huidige situatie treedt (volgens het model) de zoutgelaagdheid vooral in het Krammer op. Het Zijpe en het Mastgat vormen een flessenhals waarin de stroomsnelheden dusdanig groot zijn dat verticale saliniteitsverschillen grotendeels worden doorgemengd.

Met de IZZS in werking bij de Krammersluizen nemen de zoetlast en wateraanvoer in het Krammer toe, waardoor de zoutgelaagdheid in het Krammer, het Zijpe, en het Mastgat wordt versterkt ten opzichte van de referentie. De sterkte van de zoutgelaagdheid kan direct worden gerelateerd aan de grootte van de zoete aanvoer via de Krammersluizen, waardoor de zoutgelaagdheid sterker is in winter dan in zomer. Het Zijpe en Mastgat blijven een flessenhals vormen, die effectief verticale saliniteitsverschillen significant doormengt. Verder in de Oosterschelde kunnen af en toe grotere saliniteitsverschillen tussen bodem en oppervlak optreden dan in de referentiesituatie, maar het waterbekken blijft grotendeels goed gemengd. Wel resulteert de grotere zoetlast in een verzoeting van de Oosterschelde in haar geheel. Met de verzoeting zoals berekend door het model zou de saliniteit in de Oosterschelde overeen komen met de situatie die voor de afsluiting van de Oosterschelde werd gemeten.

Het aanvoeren van aparte stromen van zoet- (Krammersluizen) en zoutwater (Flakkeese Spuisluis) in een relatief klein gebied leidt tot een complexe situatie. Aan de ene kant neemt de turbulentie in het Krammer toe, maar deze toename is niet voldoende om beide aanvoeren volledig te mengen. Sterker nog, in de directe omgeving van de aanvoerlocaties (locatie Krammer in deze analyse) kunnen de verticale saliniteitsverschillen zelfs toenemen ten opzichte van de situatie dat de Flakkeese Spuisluis niet wordt gebruikt. De verhoogde turbulentie in het Krammer, samen met de hogere zeewaartse stroomsnelheden in het Zijpe en Mastgat als gevolg van de vergrote doorvoer van water, dragen bij om de verticale saliniteitsverschillen effectief door te mengen. Daardoor nemen verticale saliniteitsverschillen af in het Zijpe/Mastgat en verder stroomafwaarts ten opzichte van de situatie dat de Flakkeese Spuisluis niet wordt gebruikt, zodat de Oosterschelde een goed gemengd waterbekken blijft met relatief weinig zoutgelaagdheid. Het gebruik van de Flakkeese Spuisluis in combinatie met de IZZS resulteert volgens het model ook in een verzoeting van de Oosterschelde in haar geheel, waardoor de saliniteit terug zou keren tot de saliniteitswaarden die voor de afsluiting werden gemeten.



## 5 Conclusies

In 2013 is door Deltares een modelstudie uitgevoerd naar de effectiviteit en effecten van een winterdoorspoeling van het Volkerak-Zoommeer (Nolte e.a., 2013). De studie heeft geleid tot heldere conclusies met betrekking tot doorspoelstrategieën, maar desondanks zijn er nog aanvullende vragen geformuleerd die relevant zijn voor de actualisatie van het waterakkoord. Deze vragen hebben betrekking op (1) het hogere zoutgehalte de laatste jaren aan het begin van het groeiseizoen en (2) de effecten van zoetwaterbelasting op de stratificatie in de Oosterschelde en wat dit betekent voor de mosselhangcultures nabij de Krammersluizen in de Oosterschelde.

Om die nieuwe vragen te beantwoorden zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

- 1 Extra scenarioberekeningen met het 3D hydrodynamisch model van het Volkerak-Zoommeer, rekening houdend met hogere aanvangsconcentraties van chloride in het groeiseizoen;
- 2 Een gevoeligheidsanalyse met verschillende zoutvrachten vanuit de Krammersluizen.
- 3 Een drietal scenarioberekeningen met een 3D hydrodynamisch model van de Oosterschelde voor het schatten van stratificatierisico's en effecten.
- 4 Specifiek beoordelen of de stratificatie en zoutgehalteverlaging als gevolg van winterdoorspoeling gevolgen op de mosselhangcultuur nabij de Krammersluizen kunnen hebben.

### 5.1 Effect van winterdoorspoeling op het Volkerak-Zoommeer

- Locaties in het oostelijke deel van het Volkerak (dicht bij de Volkeraksluizen) zijn veel minder kwetsbaar voor chlorideoverschrijdingen dan locaties in de rest van het Volkerak, in de Eendracht of in het Zoommeer.
- Zelfs met een verhoogde zoutlast veroorzaakt de winterdoorspoeling bij alle locaties een verlaging van de chlorideconcentraties ten opzichte van de referentie.
- De absolute concentratieverlaging in de Eendracht en het Zoommeer is relatief ongevoelig voor de debietverdeling tussen Bathse Spuisluis en Krammersluizen.
- De absolute concentratieverlaging bij locaties in het Volkerak is groter als het water via de Krammersluizen wordt afgevoerd in plaats van alleen via de Bathse Spuisluis (of allebei).
- Nadat de winterdoorspoeling is gestopt (15 maart) neemt het effect ervan af, zodat de chlorideconcentraties met en zonder winterdoorspoeling in het najaar (november) bijna niet meer te onderschrijven zijn.
- De winterdoorspoeling gedurende 2 maanden met een doorspoeldebiet van 50 m<sup>3</sup>/s is niet voldoende om in alle jaren een overschrijding van de concentratie 450 mg/l te voorkomen. Hoe de waterbalans na 15 maart zich ontwikkelt speelt hierin een essentiële rol. Daarom wordt aanbevolen de winterdoorspoeling na 15 maart te laten doorgaan, zolang er een watervoorraad is, om normoverschrijdingen later in het jaar te voorkomen.
- Hoe meer water via de Krammersluizen wordt afgevoerd in plaats van de Bathse Spuisluis, hoe effectiever de winterdoorspoeling. Zoals al opgemerkt door Nolte e.a. (2013), is de oorzaak hiervan 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.

## 5.2 Fysisch effect van winterdoorspoeling op de Oosterschelde

- De verhoogde zoetlast op de Oosterschelde ten gevolge van een grotere afvoer van zoetwater uit het Volkerak-Zoommeer leidt tot een toename van verticale saliniteitsverschillen in het Krammer en in het Zijpe/Mastgat.
- De sterkte van deze zoutgelaagdheid is direct gerelateerd aan de grootte van de zoete aanvoer via de Krammersluizen.
- Het Zijpe en het Mastgat vormen een flessenhals waarin stroomsnelheden groot genoeg zijn om verticale saliniteitsverschillen grotendeels door te mengen. Dit effect wordt versterkt met IZZS (en nog meer met Flakkeese Spuisluis) als gevolg van de grotere doorvoer van water.
- De grotere aanvoer van zoetwater ten opzichte van de referentiesituatie leidt tot een verzoeting van het oostelijke deel van de Oosterschelde met een 2 à 4 ppt, waardoor de saliniteit volgens het model terug zou keren naar de situatie voor de afsluiting van de Oosterschelde.
- De inzet van de Flakkeese Spuisluis om zoutwater uit het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde aan te voeren versterkt lokaal de gelaagdheid in de directe omgeving van beide aanvoerlocaties (Krammer) omdat beide aanvoeren niet gelijk mengen, maar versterkt ook de turbulentie in het Krammer.
- Door de vergrote uitwisseling in het Zijpe/Mastgat nemen uitstroomsnelheden ter plekke toe, waardoor horizontale en verticale menging efficiënter worden; dit zorgt ervoor dat verticale saliniteitsverschillen in het Zijpe/Mastgat en verder stroomafwaarts afnemen ten opzichte van de situatie dat de Flakkeese Spuisluis niet wordt gebruikt.



## 6 Referenties

Nolte, A.J. en De Vries, I., 2013. *Overzicht van kennisbijdragen Deltares in de Green Deal Oosterschel. Ecosysteembekendheid, nutriëntenstromen, primaire productie en draagkracht.* Deltares rapport 1206232-000.

Nolte, A.J. Stengs, B. en Schipper, C.A., 2013. *Effectiviteit en effect van winterdoerspoeling van het Volkerak-Zoommeer. Modelstudie en beknopte data-analyse.* Deltares rapport 1208550-000.

Troost, T., 2009. *Deltakennis. Modelling carrying capacity.* Deltares rapport 1200314.001.