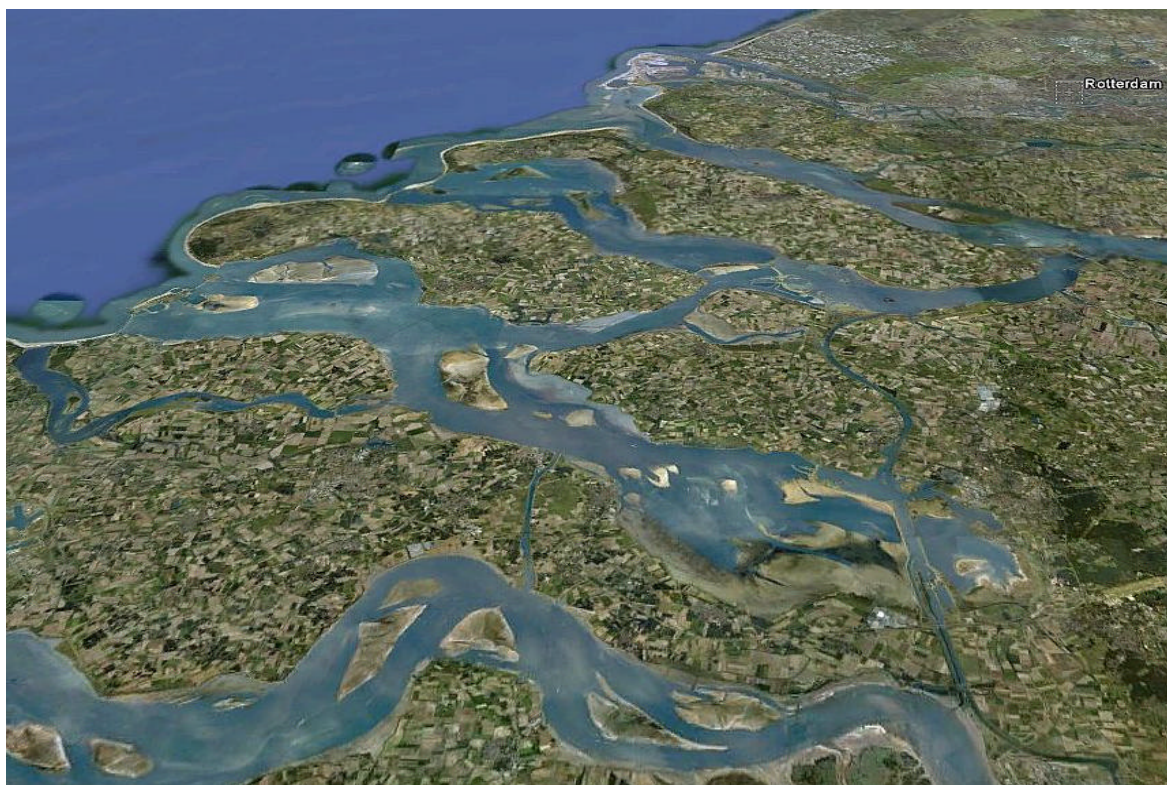


Opdrachtgever:
Ruimte voor de Rivier - Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer

3D-simulaties Volkerak-Zoommeer

Zout-zoetverdeling tijdens en na waterberging



Auteurs: W. van Balen
P. Termes

Inhoud

Lijst van tabellen	iii
Lijst van figuren	iii
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Onderzoeksaanpak	2
2 Rekenmodellen en randvoorwaarden	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Rekeninstrumentarium	5
2.3 Randvoorwaarden Volkerak-Zoommeermodel	9
2.3.1 Debietrandvoorwaarden	9
2.3.2 Saliniteit, chloriniteit en dichtheid	10
2.3.3 Atmosferische omstandigheden	11
2.3.4 Overige instellingen	11
2.4 Randvoorwaarden Oosterscheldemodel	12
2.4.1 Debietranden en waterstandsrand	12
2.4.2 Saliniteit en chloriniteit	15
2.4.3 Atmosferische omstandigheden	15
2.4.4 Overige instellingen	16
2.5 Uitgevoerde berekeningen	16
3 Resultaten	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Resultaten berging op zout Volkerak-Zoommeer	17
3.3 Resultaten lozen vanuit zoet Volkerak-Zoommeer	26
4 Conclusies en aanbevelingen	33
4.1 Conclusies	33
4.2 Aanbevelingen	35
Referenties	37
Bijlage A: Afleiding randvoorwaarden scenario A en B	41
A.1 Inleiding	41
A.2 Eigenschappen doorlaatmiddelen	42
A.3 Randvoorwaarden	43
A.4 Afgeleide randvoorwaarden voor 3D-model, scenario A	46
A.5 Afgeleide randvoorwaarden voor 3D-model, scenario B	49
Bijlage B: Gehanteerde windreeksen	53

Lijst van tabellen

Tabel 2-1	Overzicht uitgevoerde berekeningen en parameters instellingen.....	16
-----------	--	----

Lijst van figuren

Figuur 1-1	Overzicht zuidwestelijke delta met Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde (links) en rekenroosters van de twee gebruikte Delft3D modellen (rechts).....	1
Figuur 2-1:	Rekenrooster Oosterscheldemodel (paars) en Volkerak-Zoommeermodel (blauw).	5
Figuur 2-2	Buitendijkse gebieden langs het Volkerakmeer die buiten het rekenrooster vallen	6
Figuur 2-3	Buitendijkse gebied langs het Rijn-Scheldekanaal die buiten het rekenrooster vallen.	7
Figuur 2-4	Volkeraksluizen (links) en Bathse spuisluis (rechts).	8
Figuur 2-5	Locatie P300 nabij Krammersluizen.	8
Figuur 2-6	Delft3D Oosterscheldemodel met verre zeerand (zwart) en zeerand net buiten de Oosterscheldekering (wit).	9
Figuur 2-7	Debietranden voor het Delft3D Volkerak-Zoommeer, eerste 12 dagen	10
Figuur 2-8	Standaard getij op de zeerand net buiten de Oosterscheldekering, eerste 31 dagen.	13
Figuur 2-9	Standaard getij op de zeerand net buiten de Krammersluizen, eerste 31 dagen.	13
Figuur 2-10	Debietrand bij Krammersluizen, standaardgetij	14
Figuur 2-11	Debietrand bij Krammersluizen, Zuno-getij.....	15
Figuur 3-1	Instromend zoet water in een zout Volkerak-Zoommeer, 2 dagen na opening van de Volkeraksluizen. Getoond is de dichtheidsverdeling nabij de bodem van het meer (blauw komt overeen met een dichtheid van 1005 kg/m ³ , rood met 1020 kg/m ³). Het rood omstippelde gebied is verder onderzocht in Figuur 3-2.....	17
Figuur 3-2	Dichtheidsverdeling (in kg/m ³) in het oostelijk deel van het Volkerakmeer 2 dagen na (bovenste figuur) en 8 dagen na (onderste figuur) de opening van de Volkeraksluizen. Het getoonde gebied komt overeen met het rood omstippelde gebied in Figuur 3-1.....	18
Figuur 3-3:	Dichtheidsverdeling in Volkerak (in kg/m ³) nabij de bodem (figuren links) en nabij het vrij oppervlak (figuren rechts) op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen (van boven naar beneden: na 2, 4, 8 en 16 dagen)	19
Figuur 3-4:	Chloriniteiten (in g/l) nabij de bodem (figuren links) en nabij het vrij oppervlak (figuren rechts) in Volkerak op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen (van boven naar beneden: na 2, 4, 8 en 16 dagen)	20
Figuur 3-5	Dichtheidsverdeling in Volkerak (rode lijnen: σ -model, zwarte lijnen: z-model) in verticale richting op enkele observatiepunten (rechtsonder getoond samen met bodemligging in m +NAP) 21	
Figuur 3-6	Variatie van de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) in de tijd op locaties nabij de Volkeraksluizen, nabij de P300 en nabij de Bathse spuisluis.....	22
Figuur 3-7	Verticale verdeling van de chloriniteit (in g/l) ter plaatse van de drie open randen van het model na 2, 4, 8 en 16 dagen na opening van de Volkeraksluizen	23
Figuur 3-8	Variatie van de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) in de tijd op locaties nabij de Volkeraksluizen, nabij de P300 en nabij de Bathse spuisluis, bij gebruik van een realistische windreeks, saliniteitsrandvoorwaarden uit Sobek gegenereerd met eenvoudige windreeks (links)en saliniteitsrandvoorwaarden uit Sobek gegenereerd met realistische windreeks (rechts)	24

Figuur 3-9	Verticale verdeling van de chloriniteit (in g/l) ter plaatse van de drie open randen van het model na 2, 4, 8 en 16 dagen na opening van de Volkeraksluizen, bij gebruik van realistische windstatistiek.....	25
Figuur 3-10	Dichtheidsverdeling aan het oppervlak in de Oosterschelde, variërend van 1016 kg/m ³ (blauw Chloridegehalte 11 g/l) tot 1026 kg/m ³ (rood Chloridegehalte 17,8 g/l), één dag na het openen van Volkeraksluizen, de Krammersluizen zijn zojuist open gegaan.....	26
Figuur 3-11	Dichtheidsverdeling oostzijde Oosterschelde in verticale richting op enkele observatiepunten (rechtsonder getoond samen met bodemligging in m +NAP)	27
Figuur 3-12	Debiet door de doorsnede ter plaatse van observatiepunt 6 (zie Figuur 3-11)	28
Figuur 3-13	Chloriniteiten oostzijde Oosterschelde (in g/l) nabij het vrij oppervlak op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen: na 2, 3, 4 en 6 dagen	28
Figuur 3-14	Diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) op vier verschillende locaties in de Oosterschelde, bij een standaard getij	29
Figuur 3-15	Verticale chloriniteitsverdeling op drie verschillende locaties in de Oosterschelde, na 2, 4, 8 en 16 uur na opening van de Volkeraksluizen, standaard getij	30
Figuur 3-16	Diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) op vier verschillende locaties in de Oosterschelde, Zuno-getij	31
Figuur 3-17	Verticale chloriniteitsverdeling op drie verschillende locaties in de Oosterschelde, na 2, 4, 8 en 16 uur na opening van de Volkeraksluizen. Voor de corresponderende simulatie is gebruik gemaakt van de Zuno-randvoorwaarden.....	31
Figuur A-1	Overzicht takken in het kleine Sobek-model (totale model links-boven en detail links-onder) en grote Sobek-model (totale model rechts-boven en detail rechts-onder)	41
Figuur A-2	Waterstandsranden op de Noordzee voor de Maasmond en Haringvlietkering.....	43
Figuur A-3	Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering en op de Westerschelde voor de Bathse sluis	44
Figuur A-4	Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering, standaard getij	45
Figuur A-5	Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering, Zuno-getij	45
Figuur A-6	Gegenereerde waterstandsranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer	46
Figuur A-7	Gegenereerde debietranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer.....	47
Figuur A-8	Debieten door Oosterscheldekering en stormverloop	48
Figuur A-9	Gegenereerde saliniteitsranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer	49
Figuur A-10	Gegenereerde waterstandsranden met het Sobek-model op de modelranden, met standaard getij voor de Oosterschelde	50
Figuur A-11	Gegenereerde waterstandsranden met het Sobek-model op de modelranden, met Zuno-getij voor de Oosterschelde	50
Figuur A-12	Gegenereerde debietranden voor het Delft3D model rond het Volkerak-Zoommeer, met standaard getij	51
Figuur A-13	Gegenereerde debietranden voor het Delft3D model rond het Volkerak-Zoommeer, met Zuno-getij	51
Figuur B-1	Gemeten windsnelheden in m/s (bovenste figuur) en windrichtingen in graden (onderste figuur) voor zowel de locatie Tholen, als voor de standaard modelstorm	53
Figuur B-2	Gemeten windsnelheden in m/s (bovenste figuur) en windrichtingen in graden (onderste figuur) voor zowel de locatie Goeree, als voor de standaard modelstorm.....	54

1 Inleiding

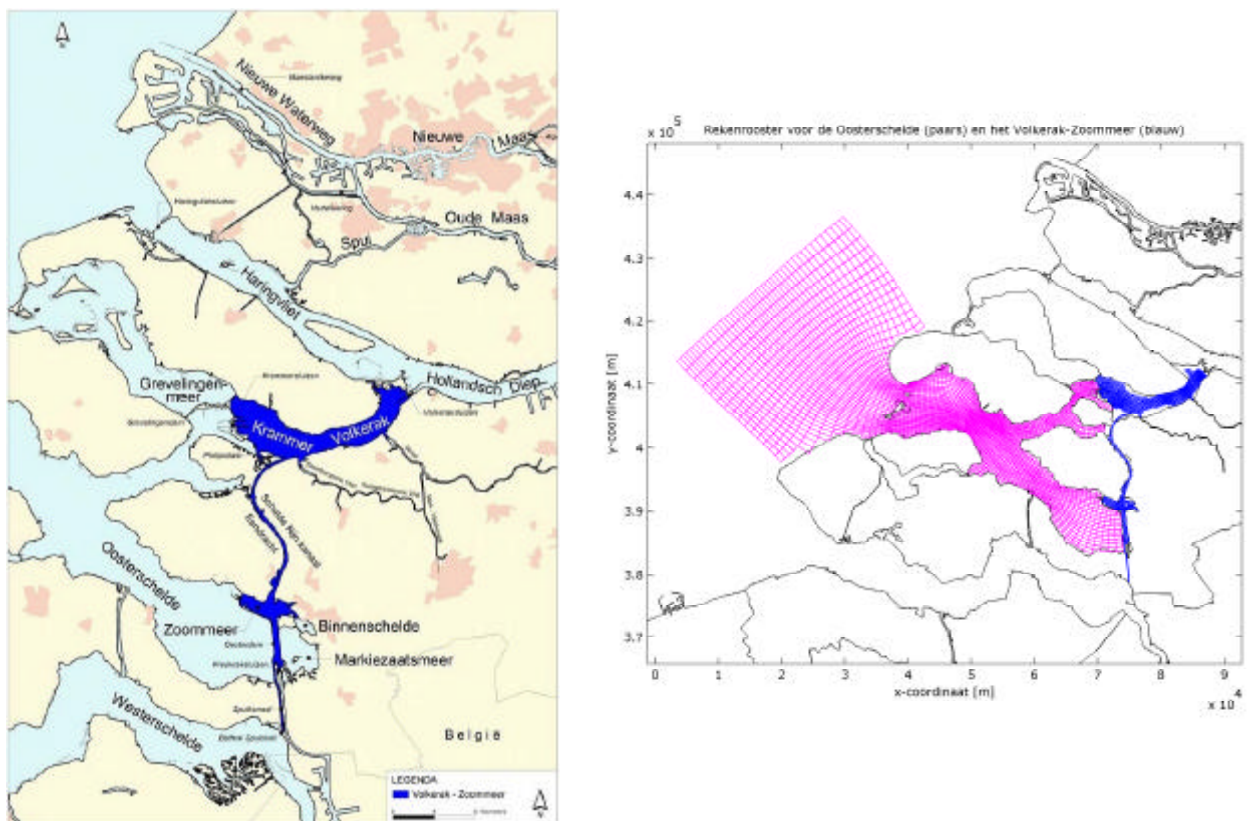
1.1 Aanleiding

Als onderdeel van het Programma Ruimte voor de Rivier is onderzocht of en in hoeverre het Volkerak-Zoommeer (VZM) ingezet kan worden om water te bergen ten tijde van extreem hoge waterstanden op de Noordzee in combinatie met hoge rivierafvoeren. De Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg en de Hartelkering in het Hartelkanaal (samen de Europoortkering) en Haringvlietsluizen zullen dan zijn gesloten. Rivierwater kan dan tijdelijk niet naar zee stromen en er kan een dreiging voor overstroming ontstaan in delen van de Rijn-Maasmonding. Inzet van Volkerak-Zoommeer gedurende een korte periode kan deze dreiging wegnemen.

In de zomer heeft het Volkerak-Zoommeer last van blauwalgen. Er zijn plannen om het water in de toekomst weer te verzilten. Daarom omvat deze studie een zoet én een zout scenario. Het betreffende gebied is weergegeven in Figuur 1-1. Deze studie beoogt een inzicht te verkrijgen in de ruimtelijke zoet-zout waterverdeling ten gevolge van de inzet van VZM in een dergelijke omstandigheden.

In de eerste fase van de Planstudie Waterberging Volkerak-Zoommeer wordt rekening gehouden met twee scenario's voor het Volkerak-Zoommeer:

- A. Een zoutscenario waarbij het Volkerak-Zoommeer, via een doorlaatmiddel in de Philipsdam, in open verbinding staat met de Oosterschelde.
- B. Een zoetscenario waarbij het Volkerak-Zoommeer een afgesloten zoetwatersysteem is.



Figuur 1-1 Overzicht zuidwestelijke delta met Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde (links) en rekenroosters van de twee gebruikte Delft3D modellen (rechts)

In beide scenario's wordt tijdens extreem hoogwater in de Rijn-Maasmonding zoet water geborgen op het Volkerak-Zoommeer. Na het hoogwater wordt water vanuit het Volkerak-Zoommeer onder andere geloosd op de Oosterschelde en teruggespuid naar het Hollandsch Diep.

In de planstudie is de menging van zoet- en zout water in het Volkerak-Zoommeer reeds onderzocht met een 1D-Sobek-model (DHV, 2010a). De Sobek-resultaten bevatten te weinig detail om voldoende inzicht te verkrijgen in het effect van de zoet-zoutverdeling op de waterkwaliteit en natuur.

In opdracht van de Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer heeft HKV LIJN IN WATER de menging van zoet en zout water voor beide scenario's onderzocht met twee Delft3D-modellen van het onderzoeksgebied. Ten opzichte van 1D modellen hebben 3D modellen minder vrijheidsgraden ('er zit meer fysica in'), waardoor verwacht mag worden dat 3D modellen een realistischer beeld en meer inzicht geven in de horizontale en verticale zoet-zoutverdeling tijdens een periode van waterberging dan 1D modellen. De 3D-simulaties geven inzicht in zoutconcentraties, het eventueel ontstaan van gelaagdheid, de verticale overgang tussen zoute en zoete waterlagen en het verloop van de zoutconcentratie in diepere geulen. Aangezien waterberging uiteraard nog niet in werkelijkheid heeft plaatsgevonden, zijn er geen veldmetingen en zijn de modellen dus niet voor deze specifieke situatie te kalibreren of te valideren. Omdat in dit onderzoek evenmin ruimte is voor een uitgebreid gevoeligheidsonderzoek, zijn de modelresultaten ondersteunend aan het deskundigenoordeel en dienen als indicatief beschouwd te worden.

Het doel van het onderzoek met de Delft3D-rekenmodellen is het verkrijgen van inzicht in de zoet-zoutverdeling in het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde na het bergen en het lozen van zoet water vanuit het Hollandsch Diep. De resultaten *kunnen* worden gebruikt ten behoeve van onderzoek naar de waterkwaliteit en effecten op de natuur tijdens en na waterberging.

1.2 Onderzoeksaanpak

Bij de inzet van het Volkerak-Zoommeer voor waterberging tijdens maatgevende afvoer- en stormcondities zijn twee scenario's onderscheiden: A) een zoutscenario en B) een zoetscenario.

A. Zoutscenario: effecten op het Volkerak-Zoommeer

Het water in het Volkerak-Zoommeer is in dit scenario zout en het meer staat in open verbinding met de Oosterschelde via een (nieuw) doorlaatmiddel in de Philipsdam met een doorstroomoppervlak van circa 300 m² (P300). Het getij op de Oosterschelde kan in het Volkerak-Zoommeer doordringen via dit doorlaatmiddel. Tijdens waterberging is de P300 gesloten en wordt vanuit het Hollandsch Diep zoet water ingelaten via de Volkeraksluizen in het Volkerak-Zoommeer. Deze situatie komt gemiddeld eens per 1.400 jaar voor. Na de waterberging wordt het geborgen water afgevoerd naar de Oosterschelde (via de P300), de Westerschelde (via de Bathse spuisluis) en terug naar het Hollandsch Diep (via de Volkeraksluizen). Het doel van het onderzoek met dit scenario is:

- Onderzoeken hoever het geborgen zoete water in het Volkerak-Zoommeer doordringt.
- Bepalen van de zoet-zoutverdeling (horizontaal en verticaal) in het Volkerak-Zoommeer tijdens en na de waterberging.
- De tijd die nodig is om de normale saliniteit gehaltes/chloride gehaltes in het Volkerak-Zoommeer te herstellen na waterberging.

B. Zoetscenario: effecten op de Oosterschelde

Het water in het Volkerak-Zoommeer is in dit scenario zoet. Tijdens waterberging wordt vanuit het Hollandsch Diep zoet water ingelaten vanuit het Hollandsch Diep via de Volkeraksluizen in het Volkerak-Zoommeer. Deze situatie komt gemiddeld eens per 1.400 jaar voor. Vervolgens wordt het geborgen water via de bestaande spuwmiddelen afgevoerd, te weten: via de Krammersluizen, de Bathse spuisluis, en de Volkeraksluizen (terugspuien). Het doel van het onderzoek met dit scenario is:

- Onderzoeken hoever het geborgen zoete water in de Oosterschelde doordringt.
- Bepalen van de zoet-zoutverdeling (horizontaal en verticaal) in de Oosterschelde na de waterberging.
- De tijd die nodig is om de normale saliniteit gehalten/chloride gehalten in de Oosterschelde te herstellen na waterberging.

Genereren modelrandvoorwaarden

Om de randvoorwaarden voor de Delft3D-modellen te genereren, zijn de volgende bestaande Sobek-modellen van de Rijn-Maasmonding gebruikt:

- het Rijn-Maasmondingmodel met Volkerak-Zoommeer (tevens in de DHV-studie gebruikt).
- het Rijn-Maasmondingmodel met Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde.

Met deze Sobek-modellen zijn voor een maatgevende stormsituatie de randvoorwaarden (afvoer- en waterstandsverloop in de tijd) voor, tijdens en na de storm gegenereerd voor de Delft3D-modellen.

Met deze methodiek wordt aangenomen dat Sobek en Delft3D modellen grofstoffelijk vergelijkbaar zijn bijvoorbeeld voor wat betreft de bodemligging, het watervolume, de gebiedsomvang en de waterbalans. Het effect van de afwijking zal waar nodig worden besproken bij de presentatie van de modellen en resultaten.

2 Rekenmodellen en randvoorwaarden

2.1 Inleiding

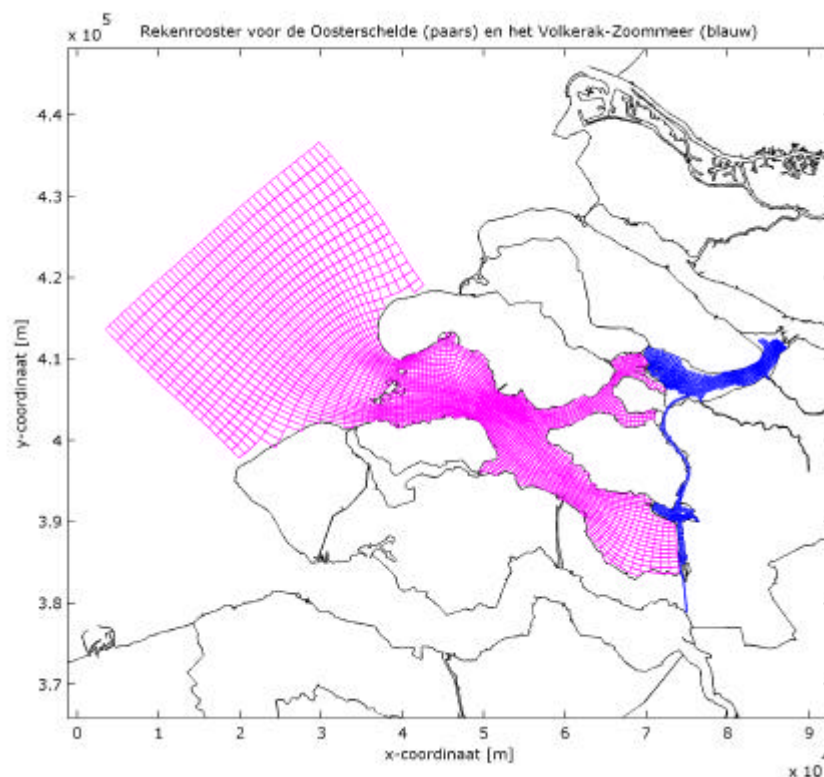
Voor het doorrekenen van de zoet-zoutverdeling in het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde zijn twee bestaande (zoals beschikbaar in oktober 2010) Delft3D-modellen gebruikt:

- i) het Delft3D-model van het Volkerak-Zoommeer en
- ii) het Delft3D-model van de Oosterschelde inclusief een deel van de Noordzee.

De karakteristieken van beide modellen zijn in paragraaf 2.2 beschreven. Om de randvoorwaarden voor de Delft3D-modellen te genereren zijn bestaande Sobek-modellen van de Rijn-Maasmonding gebruikt: i) het Sobek-model van de Rijn-Maasmonding met Volkerak-Zoommeer en ii) het Sobek-model van de Rijn-Maasmonding met Volkerak-Zoommeer en Oosterschelde. De karakteristieken van beide modellen zijn beschreven in Bijlage A. De gegenereerde randvoorwaarden voor de scenario A berekeningen zijn beschreven in paragraaf 2.3 en voor scenario B in paragraaf 2.4. Een overzicht van de uitgevoerde berekeningen met de Delft3D-modellen per scenario is opgenomen in paragraaf 2.5.

2.2 Rekeninstrumentarium

Voor de modelschematisatie van het Volkerak-Zoommeer en de Oosterschelde zijn de door Deltares aangeleverde rekenroosters, zie Figuur 2-1, en bodemligging gebruikt. Voor beide Delft3D-modellen is zowel een schematisatie met σ -lagen¹ beschikbaar als met z-lagen².



Figuur 2-1: Rekenrooster Oosterscheldemodel (paars) en Volkerak-Zoommeermodel (blauw).

¹ σ -lagen: daarbij is de verticaal in n-lagen verdeeld en passen de verticale coördinaten tussen bodem en wateroppervlak zich tijdens de berekening aan, de laagdikte varieert tijdens de berekening en het aantal lagen in de verticaal is constant.

² Z-lagen: daarbij liggen de verticale coördinaten vast tijdens de berekening, is de laagdikte constant en varieert het aantal lagen met waterstandsfluctuaties.

In het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel is de bodemligging uit 2000 geschematiseerd en in het Delft3D Oosterscheldemodel de bodemligging uit 1998.

Modelbeperkingen door hooggelegen buitendijkse gebieden

Enkele hooggelegen buitendijkse gebieden langs het Volkerak-Zoommeer liggen niet binnen het rekenrooster, zie Figuur 2-2 en Figuur 2-3. De geulen van het buitendijksgebied A, nabij de Volkeraksluizen, zijn opgenomen in het rekenrooster, maar de hooggelegen gronden niet. De vier buitendijkse gebieden A, B, C en D zijn niet opgenomen in het rekenrooster en beslaan een oppervlak van circa 5 km². Vergeleken met het gehele oppervlak van het Volkerakmeer, circa 35 km², mist er ongeveer 15% in de modelschematisatie. Dit zijn echter hooggelegen gronden die alleen onderlopen tijdens de berging van zoet water in stormsituaties. Het bodemniveau van deze buitendijkse gebieden ligt tussen NAP+0,5 m en NAP+1 m. Het geborgen volume in het Volkerakmeer, boven het streefpeil van NAP-0,1 m en bij een waterstandsniveau van NAP+2,4 m, is circa 85 miljoen m³. Het gemiste volume boven de buitendijkse gebieden is circa 8 miljoen m³, minder dan 10%. Het buitendijkse gebied E nabij de Bathse spuisluis dat onder water kan lopen beslaat een oppervlak van minder dan 1 km². Het geborgen volume in dit gebied tijdens de waterberging is relatief gering, circa 1% van het totaal te bergen volume.

Het geborgen watervolume in de buitendijkse gebieden is beperkt tot circa 10% van de totale waterberging. In een zout Volkerak-Zoommeer zal in de buitendijkse gebieden voornamelijk zoet water worden geborgen. Een zoete laag van geborgen water ligt op de zoute onderlaag en zal, uitgaande van initieel weinig menging, bij toenemende waterstand dus de hooggelegen gebieden overstromen. De duur van inundatie van het Volkerak-Zoommeer is ruim 3 dagen. De inundatieduur van de hoger gelegen gebieden in het Volkerak-Zoommeer is korter. Een waterstand van NAP+1 m wordt circa 2 dagen overschreden en een waterstand van NAP+1,5 m circa 1 dag.



Figuur 2-2 Buitendijkse gebieden langs het Volkerakmeer die buiten het rekenrooster vallen

Deze gebieden ontbreken in de modelschematisatie waardoor de zoet-/zoutwater doordringing in deze hooggelegen gebieden niet kan worden gesimuleerd. De schatting voor de inundatietijd en inundatiediepte kan worden gebruikt bij het bepalen van bijvoorbeeld ecologische schade door waterberging. Uitgaande van het bergen van met name zoet water in deze gebieden.



Figuur 2-3 Buitendijkse gebied langs het Rijn-Scheldekanaal die buiten het rekenrooster vallen.

Modelbeperkingen door niet afsluitbare Oosterscheldekering

Een beperking is dat in het Delft3D Oosterscheldemodel, in de huidige opzet, geen afsluitbare Oosterscheldekering is opgenomen. Met het model kan dus geen stormsituatie met gesloten kering tijdens de storm worden doorgerekend. Dit heeft consequenties voor de situatie met voorspuien van het Volkerak-Zoommeer op de Oosterschelde voorafgaand aan de storm om extra bergingsvolume te creëren. Het voorspuien gebeurt ongeveer één dag voorafgaand aan de sluiting van de Oosterscheldekering. In die periode wordt ongeveer 16 miljoen m³ zoet water op de Oosterschelde geloosd. Het zoete water zal met name tijdens de storm worden gemengd met het zoute Oosterschelde water. Vervolgens wordt het geborgen zoete water vanuit het Volkerak-Zoommeer geloosd. Dat water zal worden gemengd door wind en de getijwerking op de Oosterschelde.

In het voorliggende onderzoek is alleen de spuiperiode na de storm berekend. In die periode wordt circa 42 miljoen m³ zoet water geloosd. Het volume tijdens het voorspuien is hiervan 40%, een niet te verwaarlozen hoeveelheid. De berekeningsresultaten met het Delft3D Oosterscheldemodel zijn te beschouwen als een ondergrens van het effect van het lozen van zoet water op de Oosterschelde vanuit het Volkerak-Zoommeer.

Modelranden

De modelranden van het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel liggen bij de Volkeraksluizen, de Bathse spuisluis en de Krammersluizen, zie Figuur 2-4 en Figuur 2-5. In het model worden de Krammersluizen niet gebruikt voor het lozen van water naar de Oosterschelde, maar een nieuw doorlaatmiddel, de P300. Dat is een doorlaatmiddel met een gemiddeld doorstroomoppervlak van 300 m².

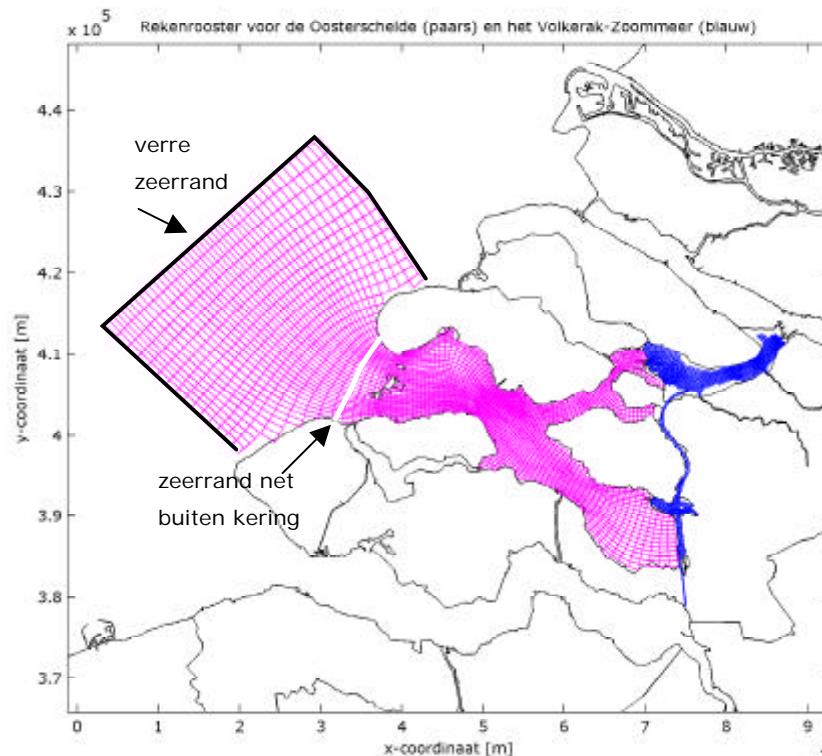


Figuur 2-4 Volkeraksluizen (links) en Bathse spuisluis (rechts).



Figuur 2-5 Locatie P300 nabij Krammersluizen.

De modelranden van het Delft3D Oosterscheldemodel liggen bij de Krammersluizen. In dit model, gebruikt voor scenario B, wordt water via de Krammerscheepvaartsluizen geloosd (berekend met het Sobek-model) naar de Oosterschelde. De zeerand in het model ligt ver buiten de Oosterscheldekering, zie Figuur 2-6. Er is ook een berekening gedaan met een zeerand net buiten de Oosterscheldekering, zie Figuur 2-6. Op de modelranden zijn afvoeren voorgeschreven die gegenereerd zijn met het Sobek-model van de Rijn-Maasmonding inclusief Volkerak-Zoommeer, zie paragraaf 2.3 en 2.4.



Figuur 2-6 Delft3D Oosterscheldemodel met verre zeerrand (zwart) en zeerrand net buiten de Oosterscheldekering (wit).

In het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel is bij de Volkeraksluizen en bij de P300 in de Philipsdam geen 'structure' geschematiseerd maar een in- en uitstroomrand waarop het debietverloop in de tijd is voorgeschreven. Op de modelrand bij de Bathse spuisluis ligt een uitstroomrand waarop het debietverloop in de tijd is voorgeschreven.

In het Delft3D Oosterscheldemodel is bij de Krammersluizen in de Philipsdam geen 'structure' geschematiseerd maar een uitstroomrand waarop het debietverloop in de tijd is voorgeschreven. De Oosterscheldekering is niet als zodanig in het model aanwezig. Op de zeerrand is een waterstandsverloop in de tijd voorgeschreven.

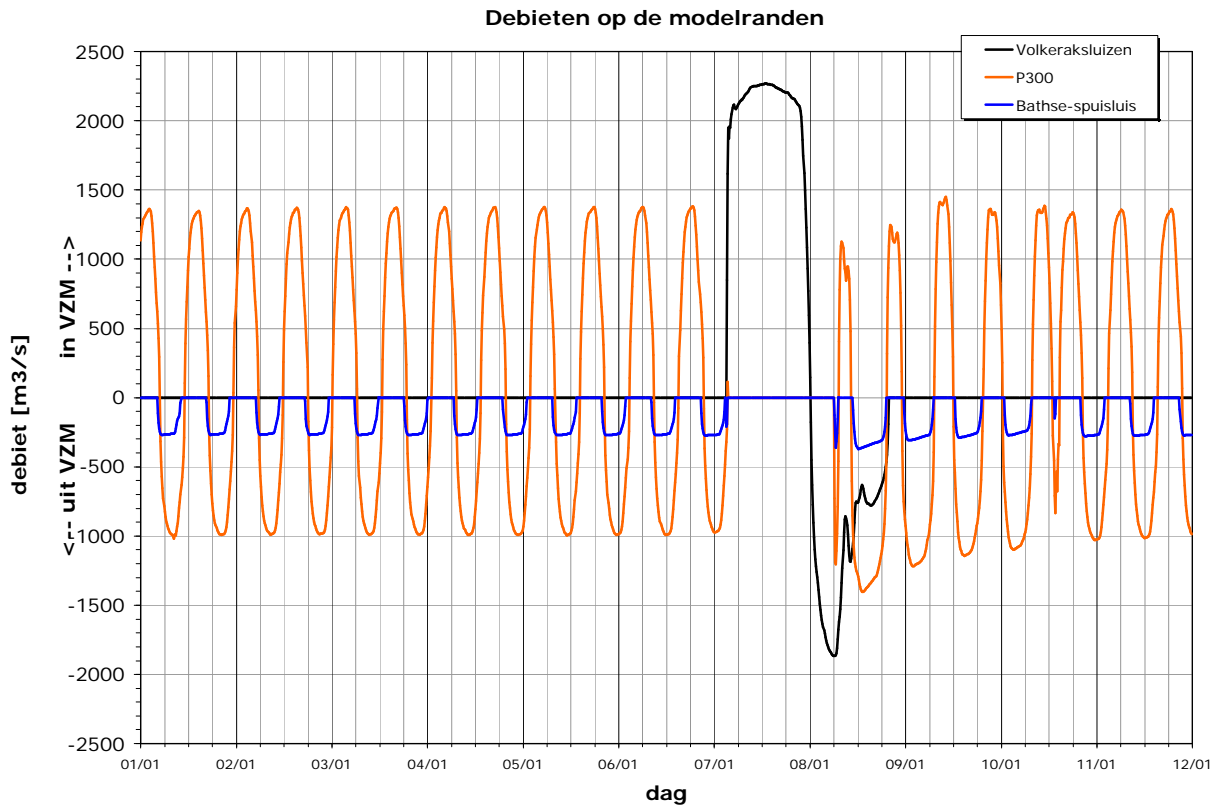
2.3 Randvoorwaarden Volkerak-Zoommeermodel

Alle debiet en saliniteitsrandvoorwaarden voor de Delft3D-modellen zijn met het Sobek-model van de Rijn-Maasmonding inclusief Volkerak-Zoommeer gegenereerd.

2.3.1 Debitrandvoorwaarden

Het Delft3D-model voor het Volkerak-Zoommeer heeft drie modelranden waarop een debiet als functie van de tijd wordt opgelegd. De drie modelranden zijn:

1. de Volkeraksluizen,
2. het nieuw te bouwen spuisluis P300 in de Philipsdam,
3. de Bathse spuisluis.



Figuur 2-7 Debitranden voor het Delft3D Volkerak-Zoommeer, eerste 12 dagen

Het genereren van een voldoende lange tijdreeksen op de drie modelranden is gedaan met het Sobek-model van de Rijn-Maasmonding waarin het Volkerak-Zoommeer is opgenomen. In Bijlage A zijn de achtergronden van het genereren van de randvoorwaarden opgenomen. De hele tijdreeks beslaat een periode van 70 dagen, begint op 29/12 en eindigt op 8/3. De eerste 12 dagen van de tijdreeks zijn getoond in Figuur 2-7. De stormperiode duurt 48 uur en begint halverwege 6/1 en eindigt halverwege 8/1.

Onder normale omstandigheden is er getijwerking via de P300 op het Volkerak-Zoommeer. Tijdens de storm is de P300 gesloten en wordt water geborgen op het Volkerak-Zoommeer door water in te laten via de Volkeraksluizen. Via de Bathse spuisluis wordt dagelijks gespuid op de Westerschelde, tijdens de waterberging is deze spuisluis gesloten. Na de storm gaan alle spuismiddelen open als de waterstand op het Volkerak-Zoommeer hoger is dan erbuiten. Tevens wordt via de Volkeraksluizen teruggespuid op het Hollandsch Diep gedurende circa één dag.

2.3.2 Saliniteit, chloriniteit en dichtheid

Naast het begrip saliniteit (S), kg zout per m^3 water, wordt gebruik gemaakt van de chloriniteit (Cl), aantal kg chloorionen per 1000 kg water. Deze twee grootheden staan als volgt tot elkaar in verhouding:

$$S = 0,03 + 1,805 \cdot Cl \quad [\text{kg zout}/m^3 \text{ water of gr/l}] \quad \text{ofwel}$$

$$Cl = (S - 0,03) / 1,805 \quad [\text{kg Cl}/m^3 \text{ water of gr Cl/l}]$$

De dichtheid van het water wordt als volgt bepaald door de saliniteit en de watertemperatuur,

$$\rho = 1000 + 0,805 \cdot S - 0,0166 \cdot (T - 4 + 0,212 \cdot S)^{1,69} \quad [\text{kg}/m^3] \quad (0 < S < 40 \quad [\text{kg}/m^3] \text{ en } 0 < T < 20^\circ\text{C})$$

Het effect van de temperatuur op de dichtheid is beperkt tot circa $1 \text{ kg}/m^3$.

Initieel is in het Delft3D-model de saliniteit S van het Volkerak-Zoommeer 25 ppt (1 ppt = 1 kg zout/m³ water) of 13,8 kg Cl/m³ water. De waarde geldt als gemiddelde voor de Oosterschelde nabij de Krammersluizen (DHV, 2010a). De waarde van $S = 25$ ppt is ingesteld in het Delft3D-model voor zeewater. Deze waarde is ook gehanteerd op de open randen ter plaatse van de P300 en de Bathse spuisluis. Aan de open rand bij de Volkeraksluizen is een saliniteit $S = 0$ ppt opgegeven, omdat zoet water vanuit het Hollandsch Diep instroomt. In werkelijkheid heeft zoet water vanuit het Hollandsch Diep een lage saliniteit van circa 1 ppt, maar in de berekeningen is nul gehanteerd. De opgegeven saliniteitswaarden op de open randen worden alleen gebruikt op het moment dat de rand fungeert als een *instroomrand*; wanneer de open rand fungeert als een *uitstroomrand* wordt deze voorgeschreven waarde niet gebruikt.

2.3.3 Atmosferische omstandigheden

Voor de temperatuur is zowel initieel als op de randen een constante waarde van 10° C opgegeven. Deze waarde is fictief, aangezien het gaat om een fictieve situatie waarvoor geen meetdata beschikbaar zijn. Invloeden van in de tijd variërende temperatuur, neerslag en verdamping wordt thans buiten beschouwing gelaten.

Voor het opleggen van de windcondities zijn er twee windreeksen gebruikt. De eerste is een standaard stormverloop van 4 dagen met een maximum windsnelheid van 22 m/s uit de richting west-noordwest (292,5°) voor en na de storm is het windstil, zie Figuur A-8. De tweede windreeks is een, bij het Delft3D model aangeleverde, gemeten windreeks op Tholen in het jaar 1999.

Het standaard stormverloop is gehanteerd, aangezien deze instelling als zodanig overeenkomt met wat gehanteerd is in Sobek (DHV, 2010a). Het tweede stormverloop is gebruikt om de gevoeligheid aan te geven van de resultaten voor de gebruikte windinstellingen. De interactie tussen de wind en de stroming is gelegd door een windgerelateerde schuifspanning via de relatie van Smith & Banke, zie Bijlage B.

2.3.4 Overige instellingen

Als uitgangspunt is een beginwaterstand van NAP-0,1 m gehanteerd, waarna het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel gedurende 8 dagen hydraulisch kan inspelen. Opmerking: De randvoorwaarden zijn met het Sobek-model van het Volkerak-Zoommeer gegenereerd. In het Sobek-model klopt de waterbalans. Met de, met het Sobek-model gegenereerde, debiet-randvoorwaarden in het 3D Volkerak-Zoommeermodel is er initieel geen sluitende waterbalans, de afvoeren en waterstand moet inspelen. Daarom is in de resultaten te zien dat het Volkerak-Zoommeer initieel een waterstand van NAP-0,1 m kent die langzaam toeneemt met 0,2 m, zie Figuur A-6. Daarmee is de netto berging circa 10% kleiner. In het onderzoek is hiervoor niet gecorrigeerd en wordt het effect van de zoetwaterberging dus enigszins onderschat.

De parameters voor de turbulentie modellering, zijn reeds aanwezig in het Delft3D Volkerak-Zoommeer model aangeleverd door Deltares, met de volgende waarden:

- constante horizontale diffusiecoëfficiënt van 5 m²/s en
- constante verticale diffusiecoëfficiënt is $1 \cdot 10^{-5}$ m²/s.

2.4 Randvoorwaarden Oosterscheldemodel

2.4.1 Debiétranden en waterstandsrand

Het Oosterscheldemodel kent twee open modelranden: één aan de zeezijde en één ter plaatse van de Krammersluizen. Bij de Krammersluizen is een debietrand opgelegd, bij de zeerand is een waterstandsverloop in de tijd opgelegd. Bij de Krammersluizen wordt, na de berging op het Volkerak-Zoommeer, zoet water gespuid op de Oosterschelde. Dat gebeurt na de stormperiode en zodra de waterstand aan de Volkerakmeerzijde van de Krammersluizen hoger is dan aan de Oosterscheldezijde.

In de Delft3D-modelberekening is alleen de periode na de storm gebruikt met terugspuien via de Volkeraksluizen, Krammersluizen en Bathse spuisluis.³ Deze beperking heeft als reden dat in het Delft3D Oosterscheldemodel, in de huidige opzet, geen afsluitbare Oosterscheldekering is opgenomen. Met het model kan dus geen stormsituatie met gesloten kering tijdens de storm worden doorgerekend. Dit heeft consequenties voor de situatie met voorspuien van het Volkerak-Zoommeer op de Oosterschelde voorafgaand aan de storm om extra bergingsvolume te creëren. In het voorliggende onderzoek is alleen de spuiperiode na de storm berekend. In die periode wordt circa 42 miljoen m³ zoet water geloosd. Het volume tijdens het voorspuien is hiervan 40%, een niet te verwaarlozen hoeveelheid. De berekeningsresultaten met het Delft3D Oosterscheldemodel zijn te beschouwen als een ondergrens van het effect van het lozen van zoet water op de Oosterschelde vanuit het Volkerak-Zoommeer. Hoewel het effect van het voorgespuide zoet water volume op de Oosterschelde beperkt wordt geacht. Aangezien tijdens het voorspuien een storm opsteekt die er mede voor zorgt dat de Maeslantkering moet sluiten. Dat is een dermate zware storm dat ook op de Oosterschelde de mengende werking van wind een prominente rol zal spelen. Het is dan aannemelijk dat er na de storm al een behoorlijk gemengde situatie is bereikt. Het zoete water vanuit het Volkerak-Zoommeer komt dan op een vrijwel zoute Oosterschelde. Dat betekent dat de in dit rapport getoonde resultaten voor het lozen van geborgen zoet water op de Oosterschelde na een stormperiode een redelijke schatting is voor die situatie.

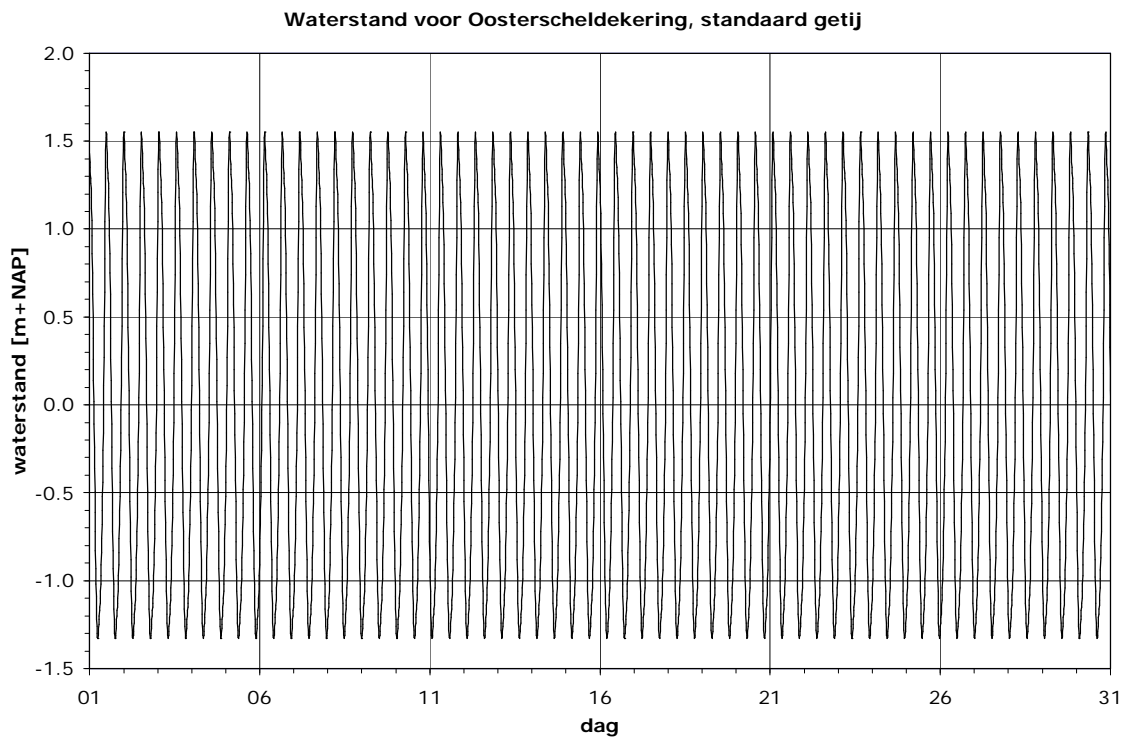
Er zijn twee zeerandvoorwaarden gebruikt in het onderzoek: i) een standaardgetij zoals in het Sobek-model is opgelegd en ii) een getij dat met het Zuno-model⁴ is gegenereerd en als zeerandvoorwaarde in het Delft3D-model is opgelegd. De randvoorwaarde op de zeerand is met beide getijdeverlopen als volgt voorgeschreven:

1. Het opleggen van de door Sobek gegenereerde randvoorwaarden in Delft3D is niet zondermeer toe te passen. In het Sobek-model liggen de modelranden vlak voor de Oosterscheldekering terwijl in het Delft3D-model liggen ze verder zeewaarts. Het getij vlak voor de Oosterscheldekering is in het Delft3D-model berekend aan de hand van deze 'ver gelegen' modelgetijranden, zie Figuur 2-6. Het getij aan de open randen kan, in principe, worden gerelateerd aan het getij bij de kering middels een fase en amplitude verhouding. Omdat deze amplitude en fase verhouding niet bekend zijn, is ervoor gekozen het gedeelte van het Delft3D-rooster dat in de zee ligt 'af te knippen' bij de monding van de Oosterschelde. Met het Sobek-model is een standaardgetij vlak voor de Oosterscheldekering gegenereerd dat vervolgens rechtstreeks in de aangepaste randligging bij Delft3D is gebruikt, zie Figuur 2-8.
2. Een realistischer getij in de monding van de Oosterschelde kan worden gegenereerd met een opgelegd waterstandsverloop langs de modelrand in het Delft3D-model op basis van het Zuno-model (model van de gehele Noordzee). Met het Zuno-model zijn voor de Delft3D-modelranden

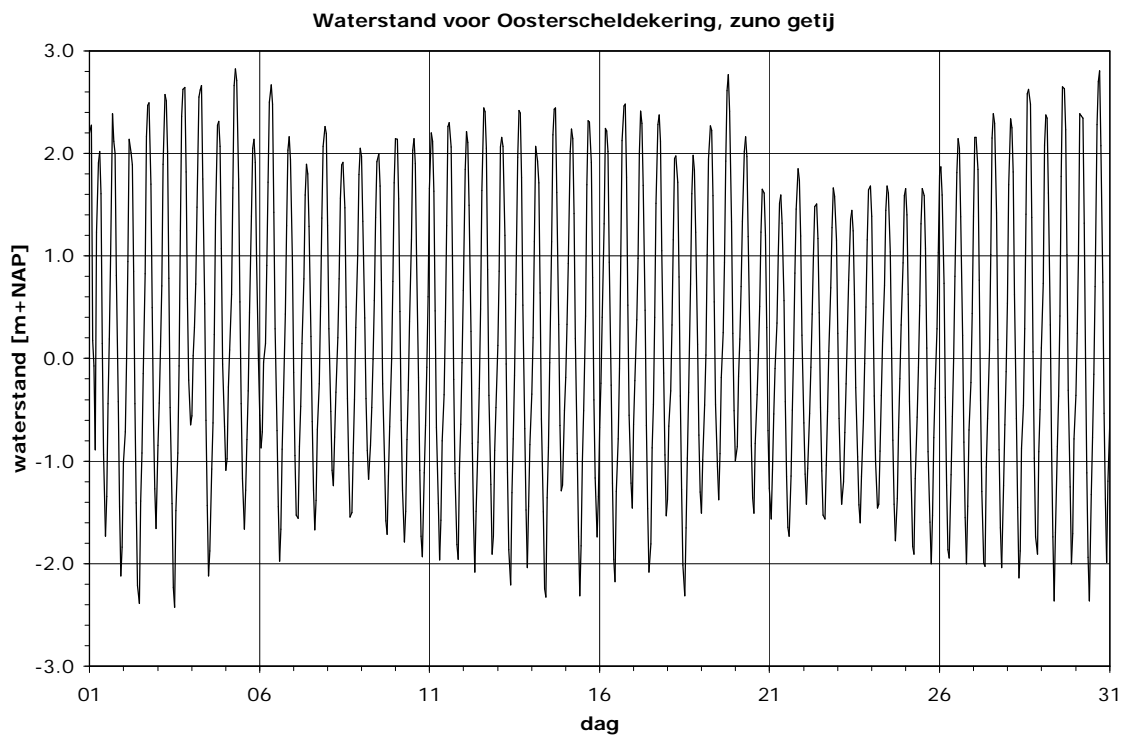
³ De reden daarvoor is dat de sluiting van de Oosterschelde tijdens de storm niet kan worden gesimuleerd met het huidige Delft3D Oosterscheldemodel, zonder aanpassingen in de invoer.

⁴ Zuno-model, het stromings- en golvenmodel van de zuidelijke Noordzee

getijrandvoorwaarden gegenereerd. Vervolgens is met het Delft3D-model een getijreeks in de Oosterschelde vlak voor de Krammersluizen gegenereerd, zie Figuur 2-9. Op die locatie ligt een modelrand van het Sobek-model.



Figuur 2-8 Standaard getij op de zeerand net buiten de Oosterscheldekering, eerste 31 dagen.



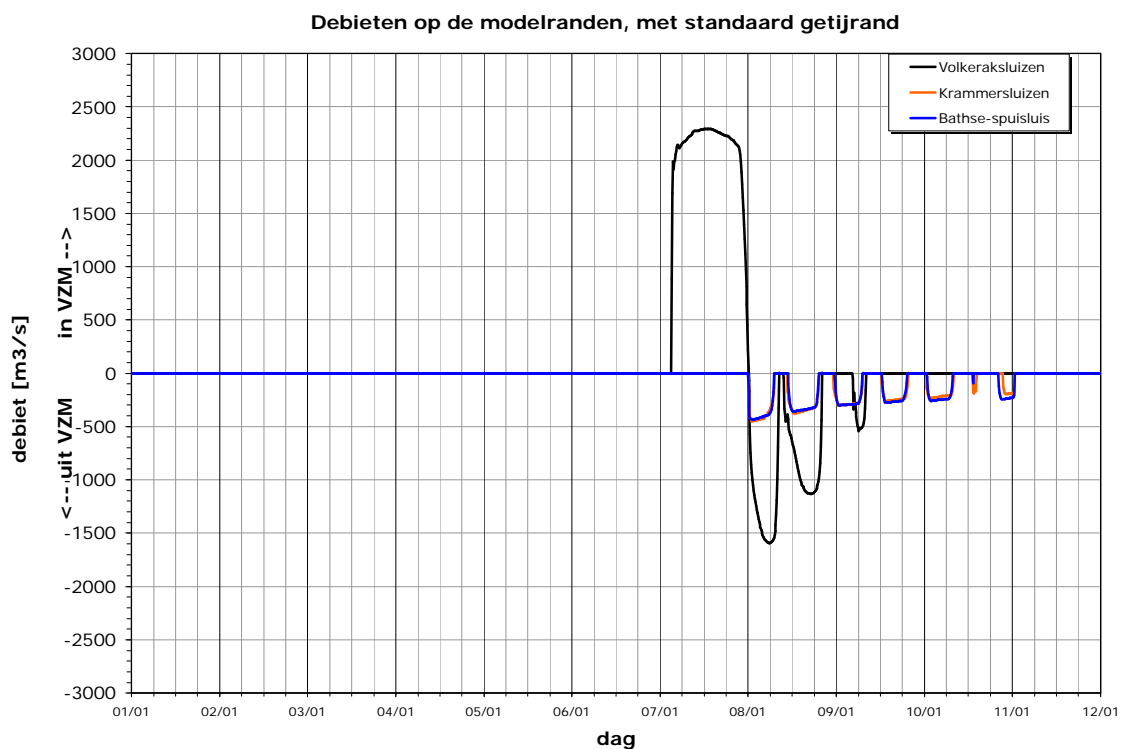
Figuur 2-9 Standaard getij op de zeerand net buiten de Krammersluizen, eerste 31 dagen.

Met beide zeerandvoorwaarden randvoorwaarde is met het Sobek-model de lozing via de Krammersluizen na de waterberging berekend. De met het Sobek-model berekende tijdreeks van

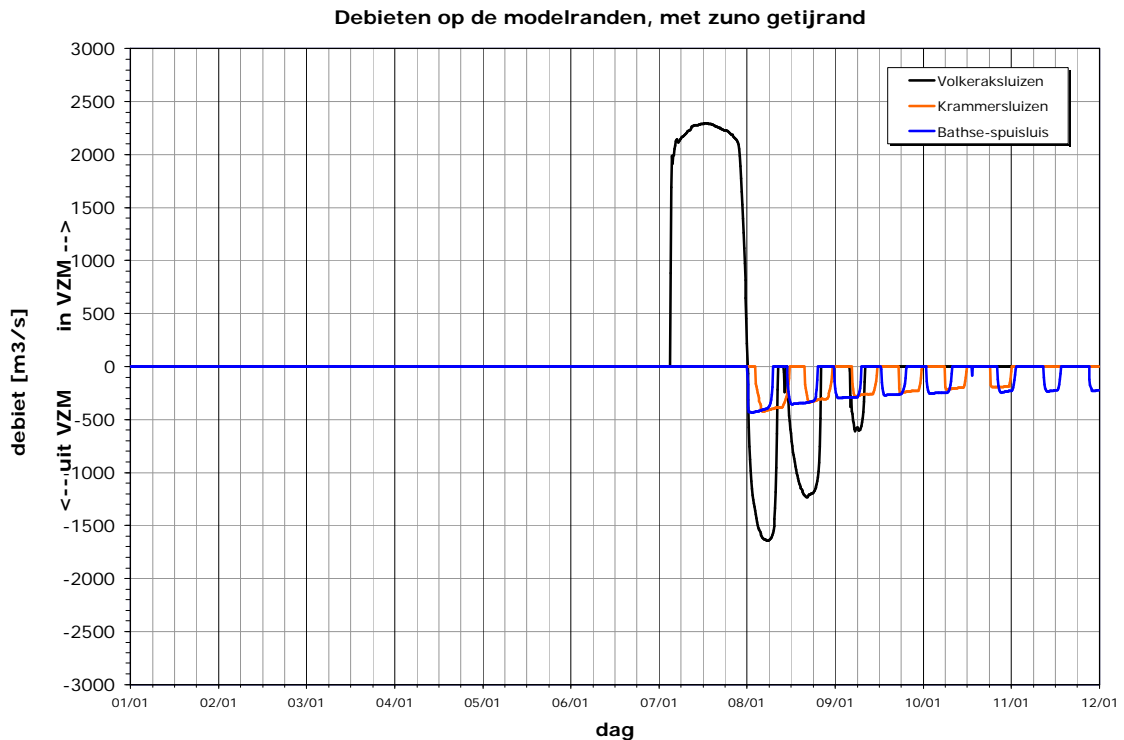
het debiet dat via de Krammersluizen wordt geloosd op de Oosterschelde, na de waterberging, is vervolgens als randvoorwaarde gebruikt in de Delft3D-berekening van de zoet-zoutverdeling.

Berekening 1: Voor het bepalen van de perioden waarin er daadwerkelijk zoet water wordt gespuid is een Sobek-model gebruikt, waarbij is uitgegaan van een standaard getij op zee. De hele debietreeks beslaat een periode van 70 dagen, begint op 29/12 en eindigt op 8/3. Figuur 2-10 toont het verloop van de debieten bij de Volkeraksluizen en de Krammersluizen gedurende de eerste 12 dagen. De stormperiode duurt 48 uur en begint halverwege 6/1 en eindigt halverwege 8/1.

Berekening 2: De met het Sobek-model, op basis van het Zuno-getij, gegenereerde debietrandvoorwaarde bij de Krammersluizen is weergegeven in Figuur 2-11 gedurende de eerste 12 dagen. De hele reeks beslaat een periode van 70 dagen, begint op 29/12 en eindigt op 8/3. De stormperiode duurt 48 uur en begint halverwege 6/1 en eindigt halverwege 8/1.



Figuur 2-10 Debitrand bij Krammersluizen, standaardgetij



Figuur 2-11 Debietrand bij Krammersluizen, Zuno-getij

2.4.2 Saliniteit en chloriniteit

Voor de saliniteit is uitgegaan van een waarde van 33 ppt (1 ppt = 1 kg zout per m³ water) ofwel 18,3 kg Cl/m³ water aan de zeezijde van het model. Een waarde van 0 ppt is aangenomen voor het instromende water ter plaatse van de Krammersluizen. Het Volkerak-Zoommeer is in scenario B immers zoet. In de praktijk is de saliniteit van het rivier water hoger (circa 1 ppt), maar dat is in de berekening niet gehanteerd.

2.4.3 Atmosferische omstandigheden

Bij de modellering van de Oosterschelde gaan we uit van de neerslag en verdampingsstatistiek zoals reeds aanwezig in het Delft3D-model van de Oosterschelde.

Het Delft3D-model voor de Oosterschelde bevat geen afsluitbare Oosterscheldekering. Het model is bedoeld voor situaties waarbij de Oosterscheldekering niet dicht gaat. Daarom is in het onderzoek de storm buiten beschouwing gelaten en de simulatie beperkt tot de tijdsduur na de storm en na de opening van de Krammersluizen. Op zich is dat een beperking, maar het effect ervan op de ontwikkeling van saliniteit(chloriniteit) wordt niet bijzonder groot verondersteld. De Krammersluizen gaan pas voor het eerst open één dag na het begin van de waterberging via de Volkeraksluizen, de windsnelheid is dan al sterk afgenomen. Het effect van de storm op het getij en de waterstanden in de Oosterschelde, vlak na de storm, zijn in de resultaten niet aanwezig.

Niettemin is voor de simulaties een inspeelperiode van één week en 4 weken na de standaard stormperiode gehanteerd, zie paragraaf 2.3.3. Om de gevoeligheid van wind op de resultaten te onderzoeken is tevens een simulatie uitgevoerd waarbij uitgegaan is van het windveld op Goeree gemeten in het jaar 1998. De interactie tussen de wind en de stroming is gelegd door een windgerelateerde schuifspanning via de relatie van Smith & Blake, zie Bijlage B.

2.4.4 Overige instellingen

De diffusiecoëfficiënt voor de turbulente modellering zijn overgenomen uit het door Deltares aangeleverde Delft3D Oosterschelde model, met de volgende instellingen:

- constante horizontale diffusiecoëfficiënt van $0,25 \text{ m}^2/\text{s}$ en
- constante verticale diffusiecoëfficiënt is $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.5 Uitgevoerde berekeningen

	Zoutscenario A	Zoetscenario B standaard getijranden	Zoetscenario B Zuno- getijranden
debietrand Volkeraksluizen	Figuur 2-7	-	-
debietrand Krammersluizen/P300	Figuur 2-7	Figuur 2-10	Figuur 2-11
debietrand Bathse spuisluis	Figuur 2-7	-	-
zeerand buiten Oosterschelde	-	Figuur 2-8	Figuur 2-9
tijdstap	1 minuut	1 minuut	1 minuut
rekenperiode	70 dagen	70 dagen	70 dagen

Tabel 2-1 Overzicht uitgevoerde berekeningen en parameters instellingen

3 Resultaten

3.1 Inleiding

De resultaten van de berekeningen met de Delft3D-modellen van het Volkerak-Zoommeer (scenario A) en de Oosterschelde (scenario B) zijn in dit hoofdstuk geanalyseerd. De resultaten van scenario A zijn opgenomen in paragraaf 3.2. De nadruk ligt in scenario A op de ontwikkeling van de saliniteit/chloriniteit in de tijd tijdens de zoet waterberging en erna totdat door de getijwerking de oorspronkelijke saliniteit/chloriniteit is hersteld. De nadruk ligt in scenario B op de ontwikkeling van de saliniteit/chloriniteit in de tijd door het lozen vanuit het Volkerak-Zoommeer op de Oosterschelde van het geborgene water. De resultaten van scenario B zijn opgenomen in paragraaf 3.3.

3.2 Resultaten berging op zout Volkerak-Zoommeer

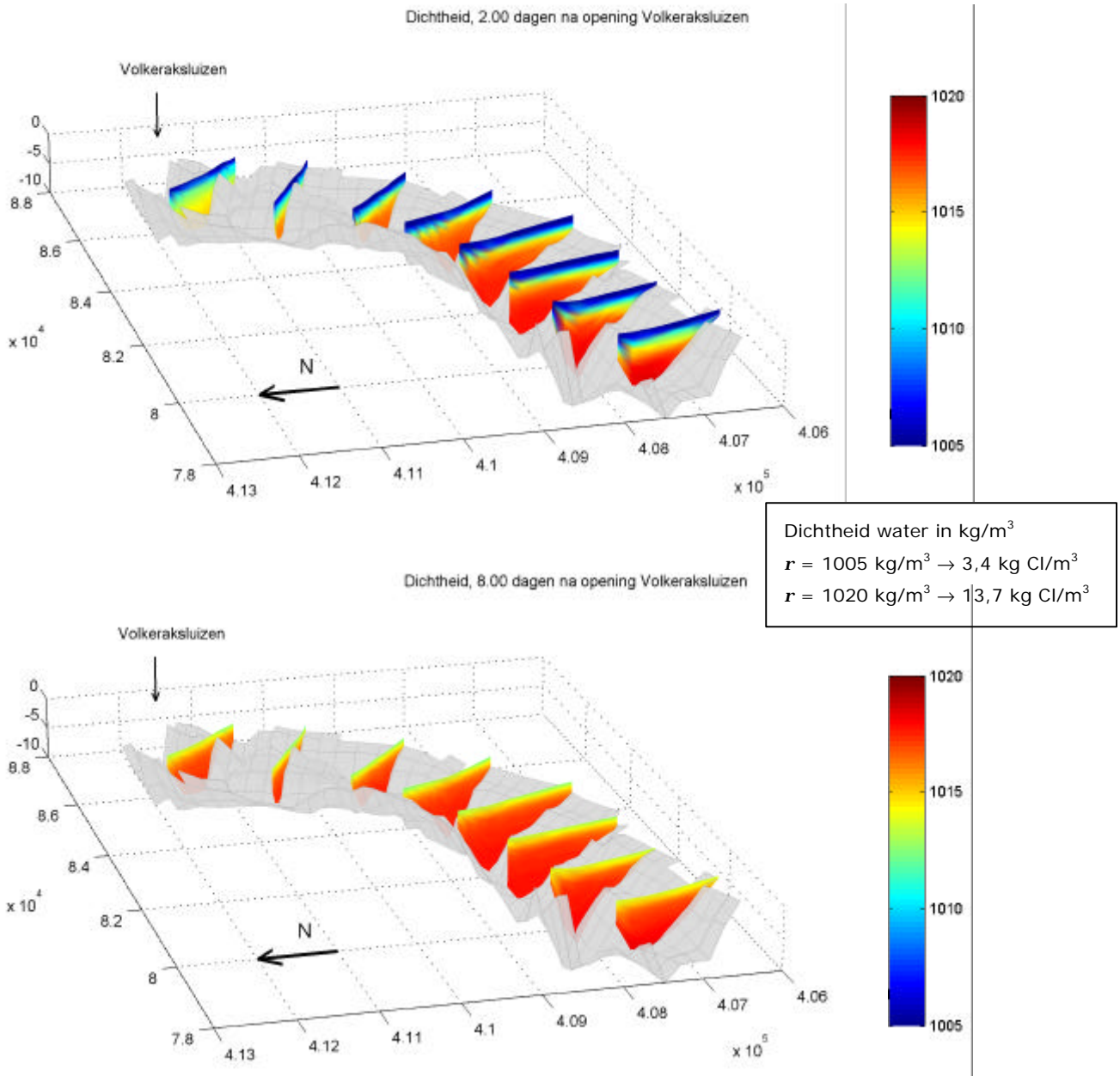
De resultaten van de berekeningen voor scenario A zijn in deze paragraaf behandeld. Een impressie van indringend zoet water in een zout Volkerak-Zoommeer is getoond in Figuur 3-1, waar de verdeling van de dichtheid van het water is getoond aan het oppervlak van het meer.



Figuur 3-1 Instromend zoet water in een zout Volkerak-Zoommeer, 2 dagen na opening van de Volkeraksluizen. Getoond is de dichtheidsverdeling nabij de bodem van het meer (blauw komt overeen met een dichtheid van 1005 kg/m^3 , rood met 1020 kg/m^3). Het rood omstippelde gebied is verder onderzocht in Figuur 3-2

Figuur 3-1 laat zien hoe enige dagen na opening van de Volkeraksluizen het water van het Volkerak-Zoommeer weer zout wordt, nadat gedurende de periode van waterberging 156 miljoen m^3 zoet water is ingelaten. Een dichtheid van 1005 kg/m^3 komt overeen met een Chloridegehalte van $3,4 \text{ kg Cl/m}^3$, een dichtheid van 1020 kg/m^3 komt overeen met een Chloridegehalte van $13,7 \text{ kg Cl/m}^3$. Voor de omrekening zie de formules in paragraaf 2.3.2.

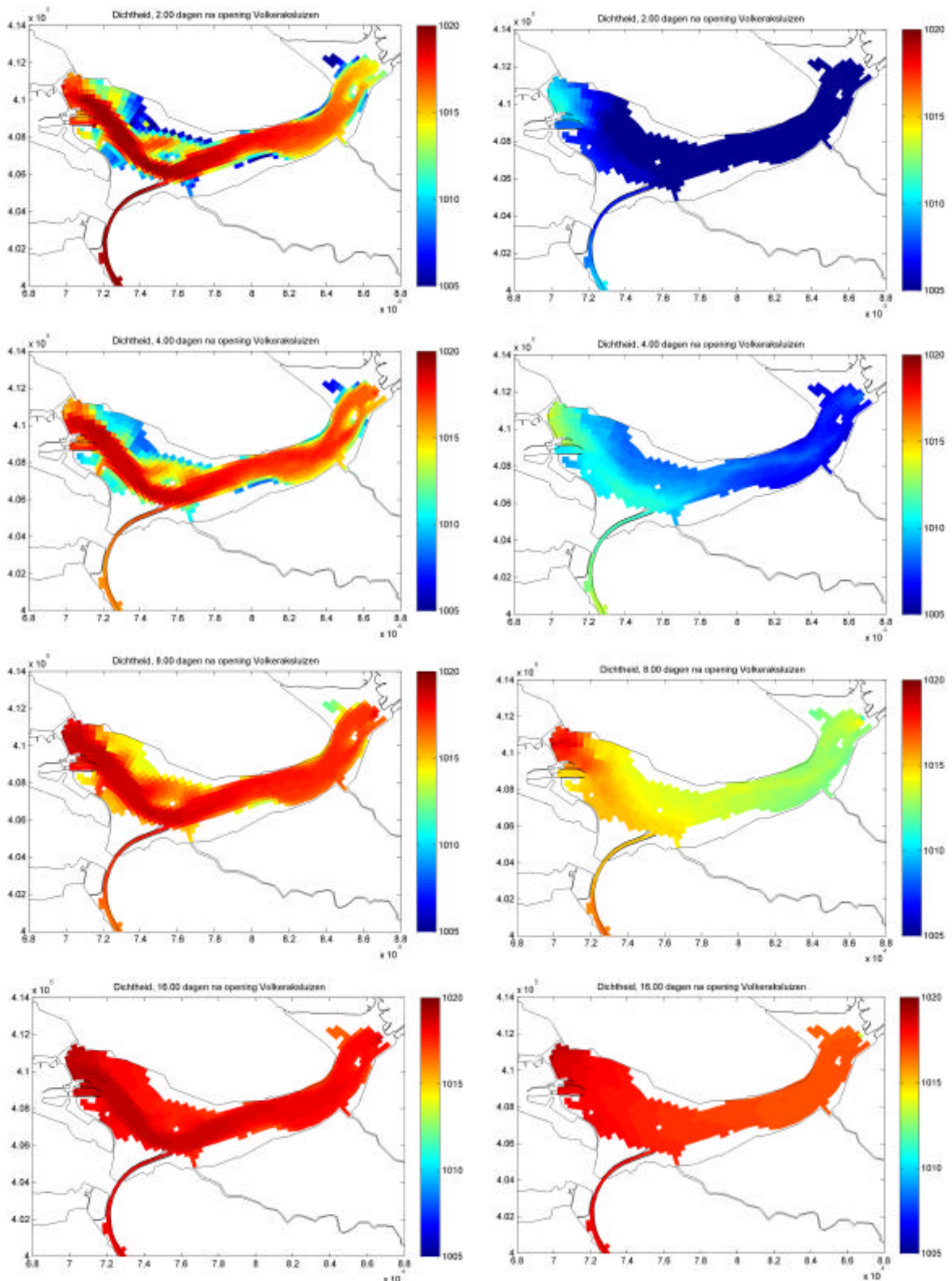
Een driedimensionale impressie van het oostelijke gedeelte van het Volkerakmeer (aangegeven met rode stippellijn in Figuur 3-1) is getoond in Figuur 3-2. Deze figuur laat zien dat 2 dagen na opening van de Volkeraksluizen een gelaagde structuur in het Volkerak-Zoommeer is ontstaan. Deze gelaagde structuur verzwakt en is na 8 dagen nog licht aanwezig.



Figuur 3-2 Dichtheidsverdeling (in kg/m^3) in het oostelijk deel van het Volkerakmeer 2 dagen na (bovenste figuur) en 8 dagen na (onderste figuur) de opening van de Volkeraksluizen. Het getoonde gebied komt overeen met het rood omstippelde gebied in Figuur 3-1.

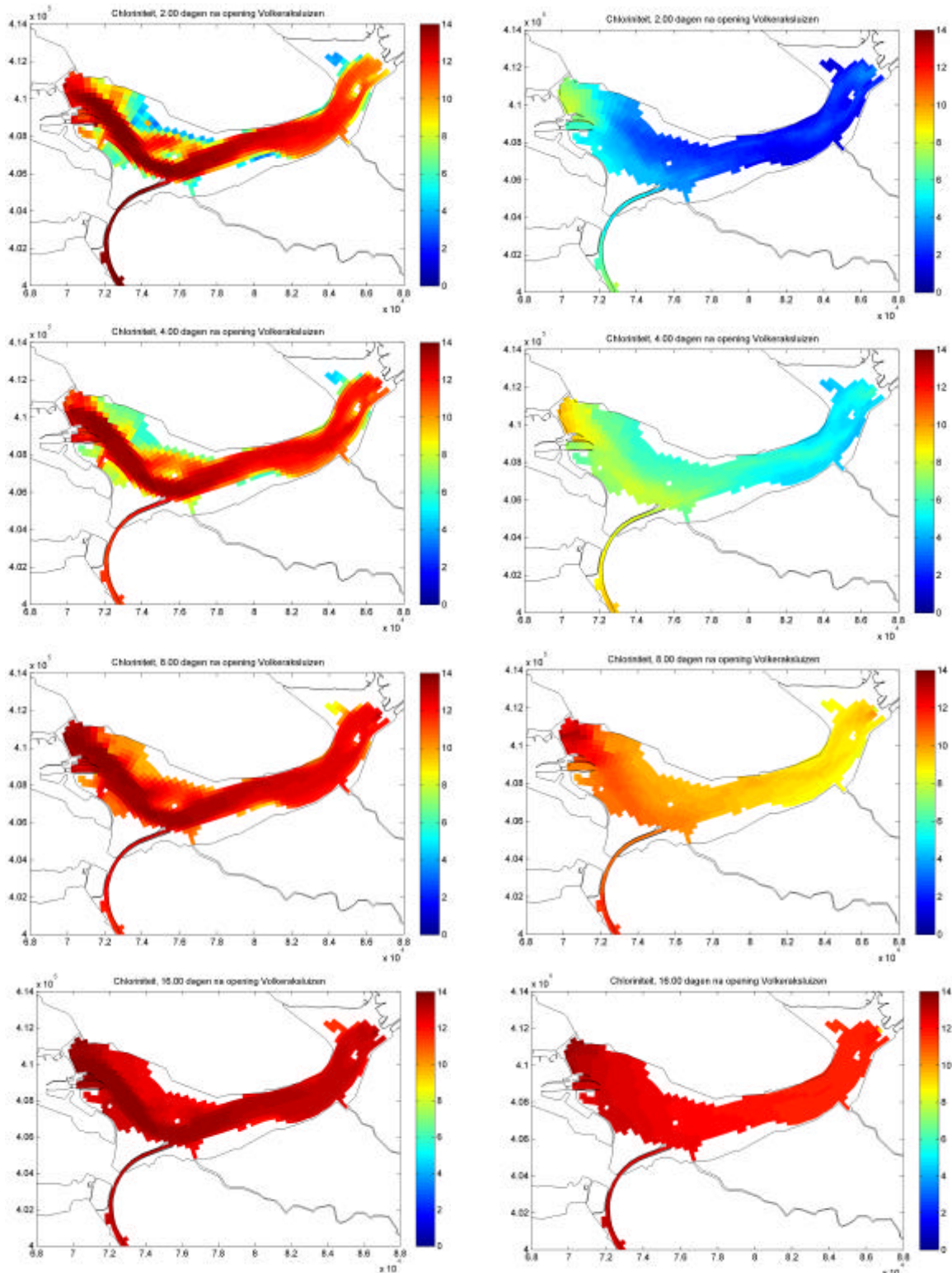
Om voor het gehele Krammermeer/Volkerakmeer inzicht te krijgen in de gelaagdheid van de stroming, is in Figuur 3-3 de dichtheidsverdeling zowel nabij de bodem (linker figuren) als nabij het vrij oppervlak (rechter figuren) getoond op vier verschillende momenten na het begin van de waterberging. Deze figuren laten zien dat de gelaagdheid het sterkst is in het oostelijk gedeelte van het meer, nabij de Volkeraksluizen. In het westelijke gedeelte is deze gelaagdheid iets zwakker onder invloed van de P300 maatregel in de Philipsdam, die een directe verbinding legt met de zoute Oosterschelde.

Om de mate van gelaagdheid kwantitatief in kaart te brengen zijn in Figuur 3-5 dichtheidsprofielen getoond op acht verschillende locaties. Hiervoor is het oostelijke gedeelte van het meer gekozen, aangezien de gelaagdheid daar het sterkst is.



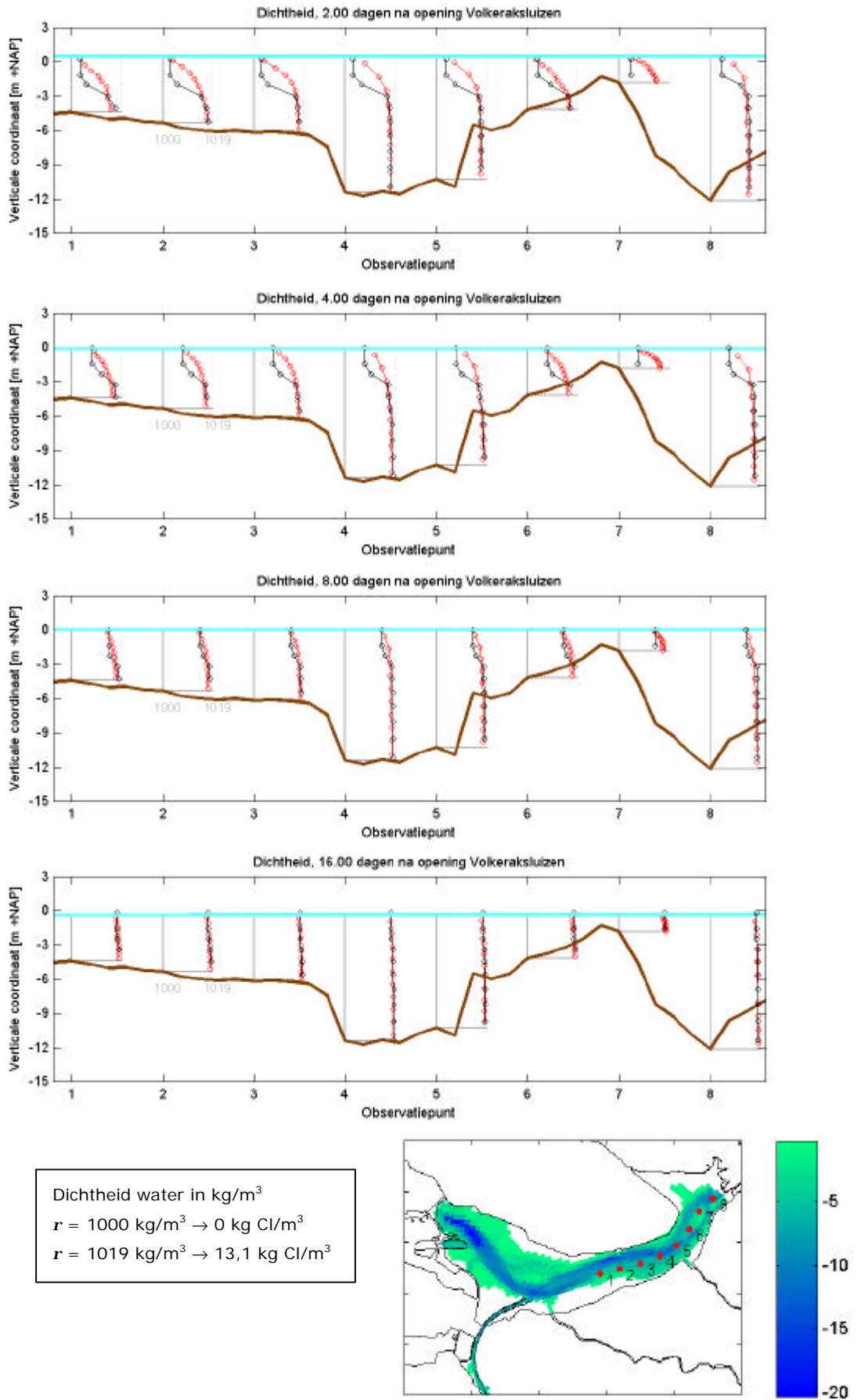
Figuur 3-3: Dichtheidsverdeling in Volkerak (in kg/m^3) nabij de bodem (figuren links) en nabij het vrij oppervlak (figuren rechts) op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen (van boven naar beneden: na 2, 4, 8 en 16 dagen)

Ter indicatie van het daadwerkelijke zoutgehalte is een vertaalslag gemaakt van dichtheden (zie Figuur 3-3), die de gelaagdheid van het watersysteem tonen naar de chloriniteit, die direct gekoppeld is aan het zoutgehalte. Deze chloriniteit is, op analoge wijze als in Figuur 3-3, getoond in Figuur 3-4.



Figuur 3-4: Chloriniteiten (in g/l) nabij de bodem (figuren links) en nabij het vrij oppervlak (figuren rechts) in Volkerak op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen (van boven naar beneden: na 2, 4, 8 en 16 dagen)

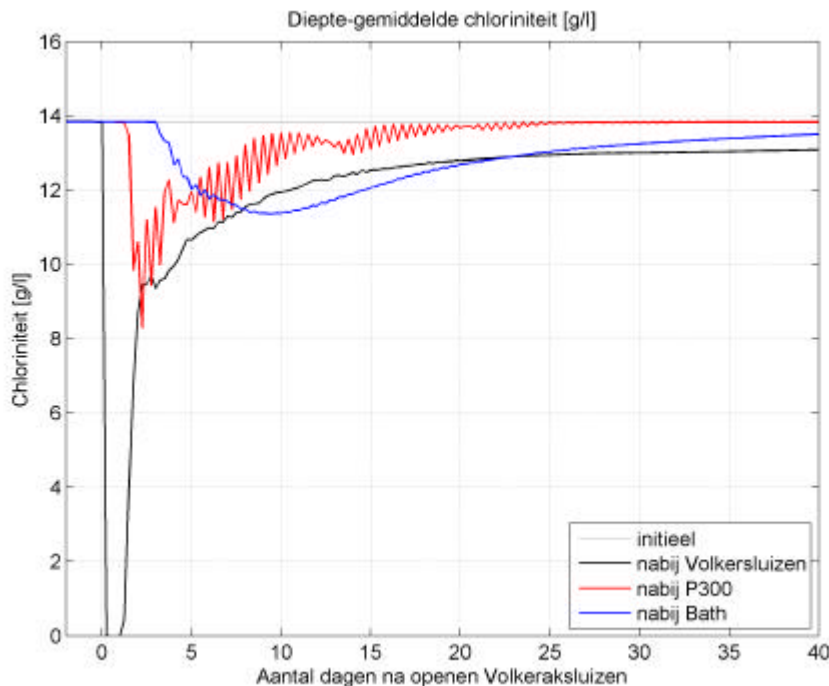
In Figuur 3-5 is voor enkele locaties in het oostelijke deel van het Volkerakmeer de dichtheidsstructuur (gelaagdheid) in verticale richting getoond. Deze is berekend met beide beschikbare 3D modellen: één met σ -lagen (de laagdiktes passen zich aan de bodem en aan het oppervlak tijdens de berekening) en één met z-lagen (de laagdiktes zijn vast tijdens de berekening).



Figuur 3-5 Dichtheidsverdeling in Volkerak (rode lijnen: S-model, zwarte lijnen: z-model) in verticale richting op enkele observatiepunten (rechtsonder getoond samen met bodemligging in m +NAP)

Kwantitatief laten de twee modellen verschillen zien, maar kwalitatief is het beeld vergelijkbaar en duidelijk: gedurende de eerste 16 dagen na opening van de Volkeraksluizen is de waterstructuur gelaagd; nadien is de zoute structuur van het water min of meer hersteld.

Figuur 3-6 laat zien hoe ter plaatse van de drie modelranden de chloriniteit (g/l) zich ontwikkelt in de tijd. De figuur laat zien dat het systeem enkele dagen nodig heeft om zich te herstellen. Bij de P300 herstelt het zich relatief snel (binnen circa 15 dagen), uiteraard onder invloed van het getij vanuit de Oosterschelde. Bij de Volkeraksluizen duurt het langer dan 40 dagen en nabij Bath duurt het circa 20 dagen om de oorspronkelijke zoutgehalten te herstellen.

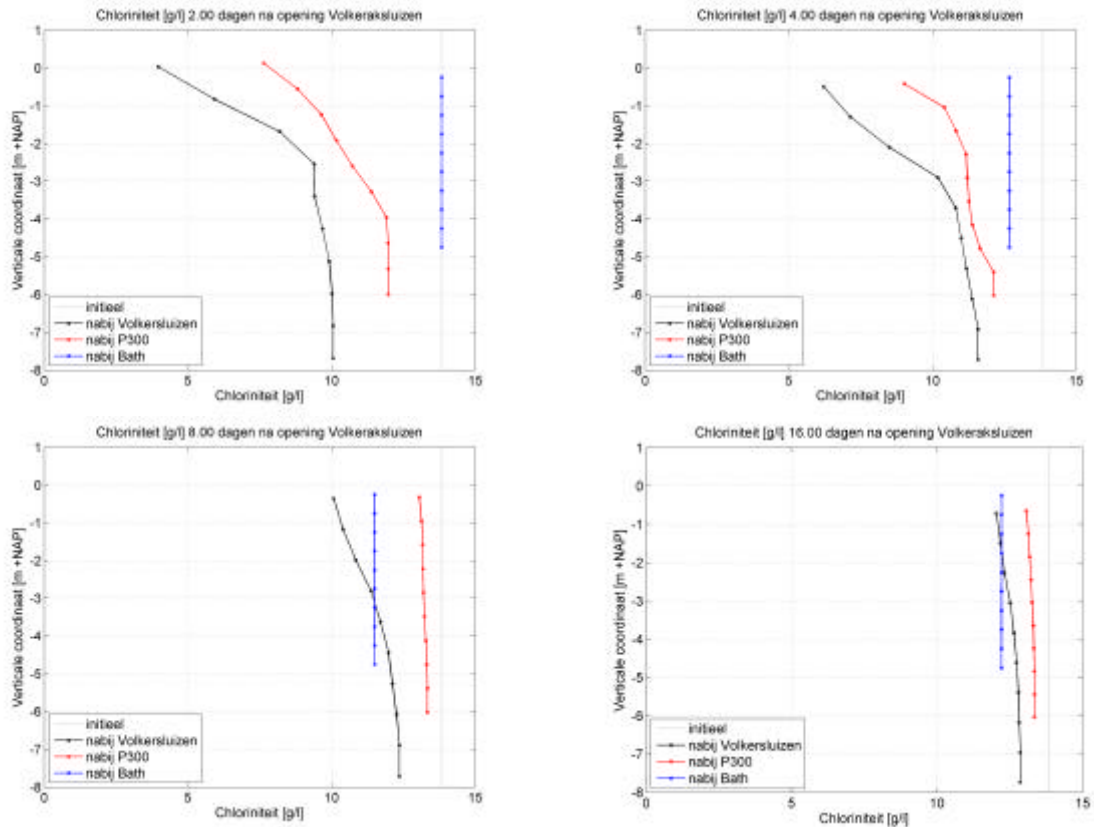


Figuur 3-6 Variatie van de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) in de tijd op locaties nabij de Volkeraksluizen, nabij de P300 en nabij de Bathse spuisluis

Als toevoeging op Figuur 3-6 toont Figuur 3-7 de verticale structuur van de chloriniteit ter plaatse van de drie modelranden. Deze figuur toont dat nabij de P300 de initiële situatie na 8 dagen weer redelijk bereikt is en goeddeels hersteld is na 16 dagen. Nabij de Volkeraksluizen heeft het watersysteem de meeste tijd nodig om te herstellen. Figuur 3-7 toont dat de gelaagde verticale structuur na circa 16 dagen vrijwel verdwenen is en het water weer geheel zout is.

Dat is niet het geval nabij de Bathse spuisluis: op elk tijdstip na opening van de Volkeraksluizen is het zoete water perfect gemengd met het zoute water, hetgeen kan worden afgeleid uit het geringe verloop van de chloriniteit over de diepte. Dat bij Bath het zoete water uitstekend gemengd is met het zoute water kan worden verklaard uit het feit dat Bath ver gelegen is van de Volkeraksluizen, zodat het water veel tijd en ruimte heeft, onder meer in het Schelde-Rijnkanaal, om goed te mengen. Overigens is de verzoeting bij de Bathse spuisluis relatief gering: de chloriniteit daalt van 14 g Cl/l tot 11 g Cl/l en neemt daarna weer toe, zie Figuur 3-6.

Na het aanpassen van de chloriniteit in de verticaal is er meer tijd nodig om de diepte-gemiddelde chloriniteit te herstellen, met name bij de Volkeraksluizen (> 40 dagen) en de Bathse spuisluis (circa 40 dagen), beide locaties liggen ver van de P300 waar door de lokaal sterke getijwerking het oorspronkelijke gemiddelde chloride gehalte sneller (circa 15 dagen) is hersteld.

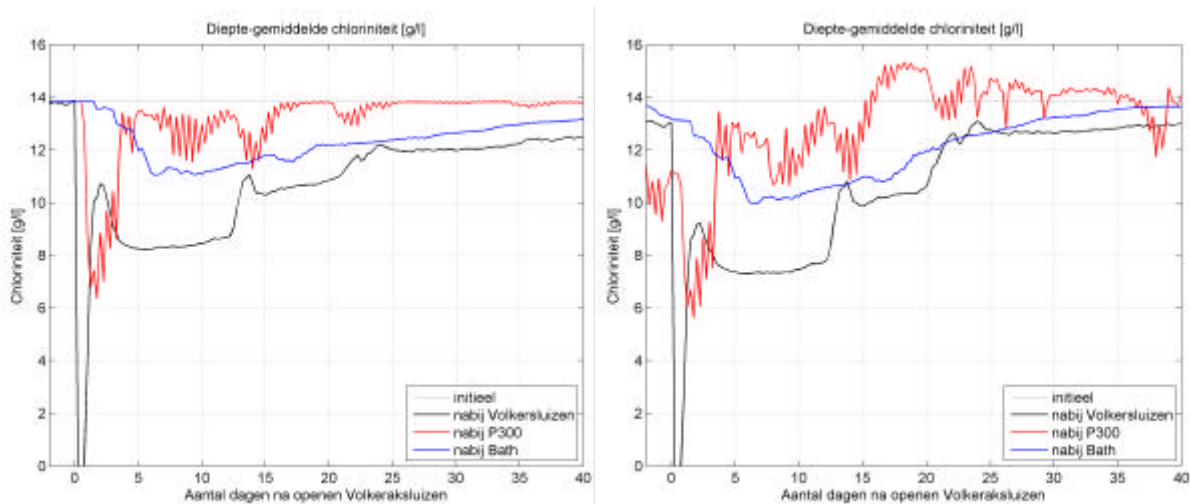


Figuur 3-7 Verticale verdeling van de chloriniteit (in g/l) ter plaatse van de drie open randen van het model na 2, 4, 8 en 16 dagen na opening van de Volkeraksluizen

Bij de tot nu toe getoonde resultaten is uitgegaan van een vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid, zoals bijvoorbeeld een simpel getij bij de P300 en een vereenvoudigd windreeks (namelijk een Noordwestenwind met een snelheid van 0 m/s, toenemend tot 22 m/s tijdens storm en afnemend tot 0 m/s na de storm). Deze aannames hebben een effect op de uitkomsten van de simulaties. Daarom zijn gevoeligheidsberekeningen gedaan met als doel enig inzicht te verschaffen in de invloed van deze vereenvoudigingen.

Het effect van een meer realistisch windreeks op het verloop van de chloriniteit is onderzocht. De vereenvoudigde windreeks is vervangen door een gemeten windreeks bij Tholen, zie Figuur B-1. De gemiddelde windsnelheid van deze meetreeks is 6,3 m/s.

Naast deze uitbreiding is er tevens onderzocht in hoeverre complexere randvoorwaarden voor de chloriniteit invloed heeft op de resultaten. Daartoe is een simulatie uitgevoerd waarbij zowel van de realistische windreeks van Tholen als Sobek data voor de saliniteitsrandvoorwaarden, gegenereerd met de realistische windreeks is uitgegaan.

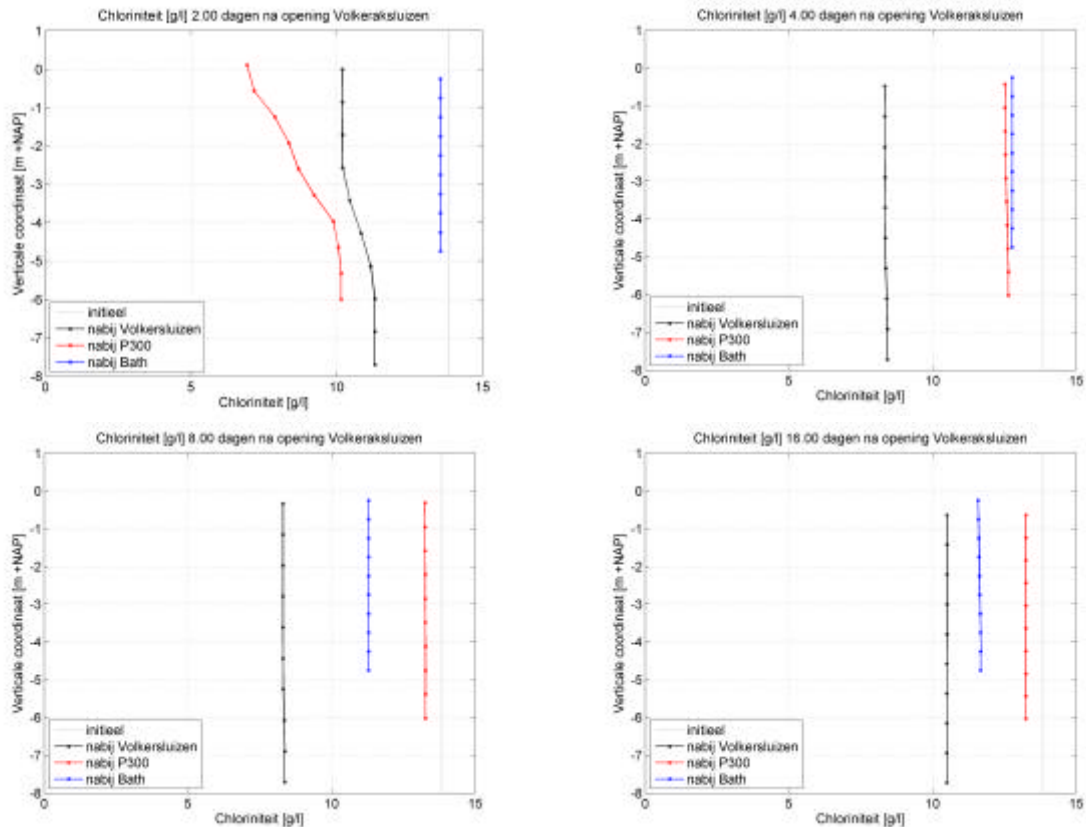


Figuur 3-8 Variatie van de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) in de tijd op locaties nabij de Volkeraksluizen, nabij de P300 en nabij de Bathse spuilsuis, bij gebruik van een realistische windreeks, saliniteitsrandvoorwaarden uit Sobek gegenereerd met eenvoudige windreeks (links) en saliniteitsrandvoorwaarden uit Sobek gegenereerd met realistische windreeks (rechts)

Figuur 3-8 (links) toont hoe de diepte-gemiddelde chloriniteit verloopt in de tijd wanneer er bij de modellering gebruik wordt gemaakt van een realistisch windreeks, maar saliniteitsvoorwaarden behorend bij een eenvoudige windreeks. Voor de locaties nabij de P300 en bij de Bathse spuilsuis zijn de verschillen niet bijzonder groot vergeleken met Figuur 3-6. Voor de locatie nabij de Volkeraksluizen is dat echter wel het geval. Bij gebruik van de in werkelijkheid gemeten windreeks is de chloriniteit de eerste twee weken na het opengaan van de Volkeraksluizen significant lager dan bij het geschematiseerde windreeks; het gaat hierbij om een verschil van 3 g/l. De rechter figuur van Figuur 3-8 toont dat bij tevens gebruikmaking van realistischere randvoorwaarden voor de saliniteit, namelijk zoals deze uit Sobek volgden, het verloop van de chloriniteit nog grilliger wordt, waarbij ook waarden optreden hoger dan de initiële waarde voor de chloriniteit.

Groter dan de verschillen in het tijdsverloop van de chloriniteit, is de verticale structuur van de waterkolom. Het is bekend dat wind watermassa's met verschillende dichtheden doet mengen. Daarom is in Figuur 3-9 de verticale structuur getoond op de drie locaties nabij de randen. Als we Figuur 3-9 (realistische windreeks) vergelijken met Figuur 3-7 (versimpeld windreeks), dan zien we als markant verschil de verticale structuur na 4 dagen na opening van de Volkeraksluizen: bij gebruik van de realistische windreeks zien we in Figuur 3-9 dat op elk van de drie locaties het zoute water en het zoete water uitstekend gemengd zijn, terwijl Figuur 3-7 nog een tweelagen structuur laat zien. Een belangrijke oorzaak voor dit verschil is de duur van windperiode. De simpele windreeks heeft een duur van circa 24 uur, daar buiten is het windstil. De realistische windreeks duurt veel langer, 70 dagen, en heeft meerdere perioden met harde wind, zie figuur B-1. De periode dat er menging door wind kan optreden is in dit geval dus veel langer met als gevolg betere menging van zoet en zout water.

Zoals gezegd is niet alleen de windsnelheid en -duur van invloed op de uitkomsten van de simulaties. Ook de opgelegde randvoorwaarden voor de debieten en de chloriniteit nabij de P300 hebben invloed op het verloop van de chloriniteit in de tijd, zoals blijkt uit Figuur 3-8.



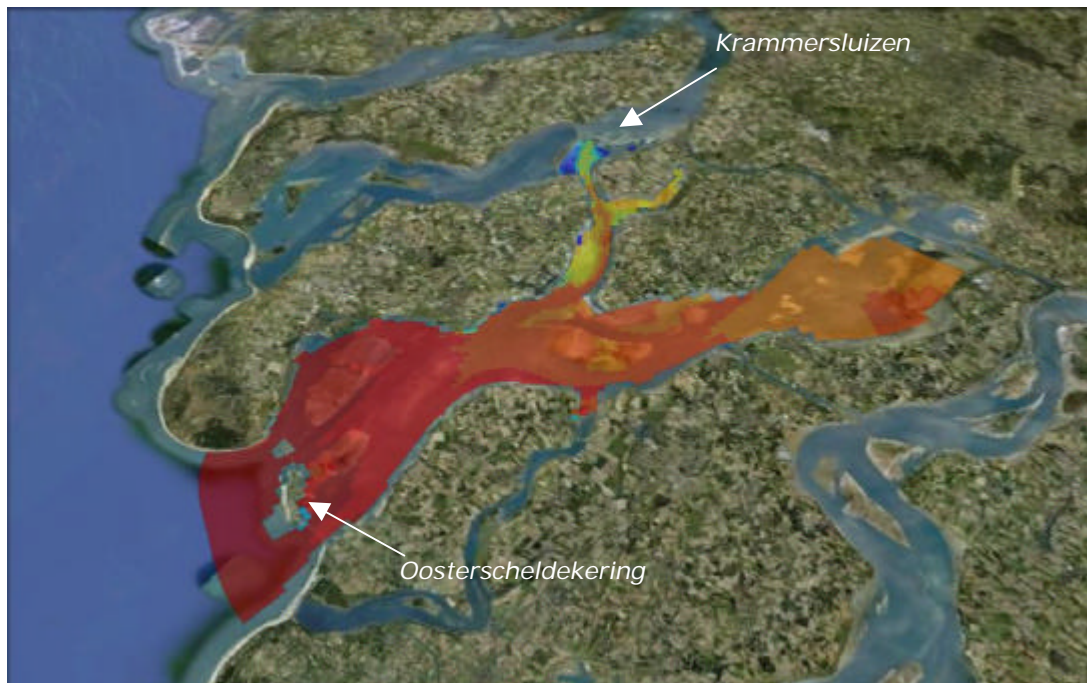
Figuur 3-9 Verticale verdeling van de chloriniteit (in g/l) ter plaatse van de drie open randen van het model na 2, 4, 8 en 16 dagen na opening van de Volkeraksluizen, bij gebruik van realistische windstatistiek

De conclusies uit de resultaten van de berekeningen voor scenario A met het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel zijn:

- In het Volkerak-Zoommeer wordt het mengen van zoet en zout water voornamelijk door de wind veroorzaakt. Er is een relatief klein getij op het Volkerak-Zoommeer aanwezig, via het doorlaatmiddel P300 in de Philipsdam. Het getij zorgt ook voor menging, maar vergeleken met de windinvloed is het effect op de menging ondergeschikt.
- Het oorspronkelijke verticale verloop van de chloriniteit in het Volkerak-Zoommeer is binnen circa 15 dagen hersteld na de waterberging. Herstel van de (diepte-)gemiddelde chloriniteit op locaties ver weg van de P300 duurt veel langer, circa 40 dagen of meer.
- Met het Sobek-model moeten randvoorwaarden voor het Delft3D-model worden gegenereerd voor overeenkomstige omstandigheden, zoals het getij op zee en het windveld. Met andere woorden de gegenereerde randvoorwaarden moeten passen bij het opgelegde getij en windveld.

3.3 Resultaten lozen vanuit zoet Volkerak-Zoommeer

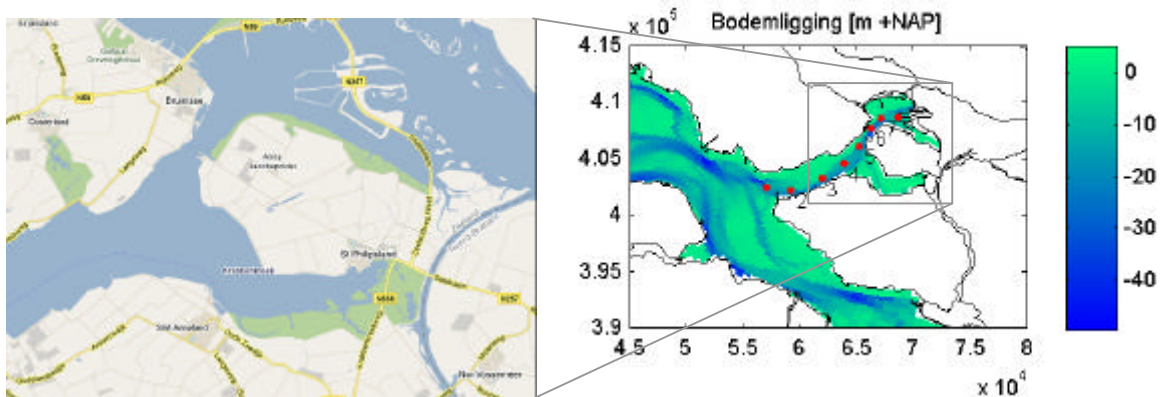
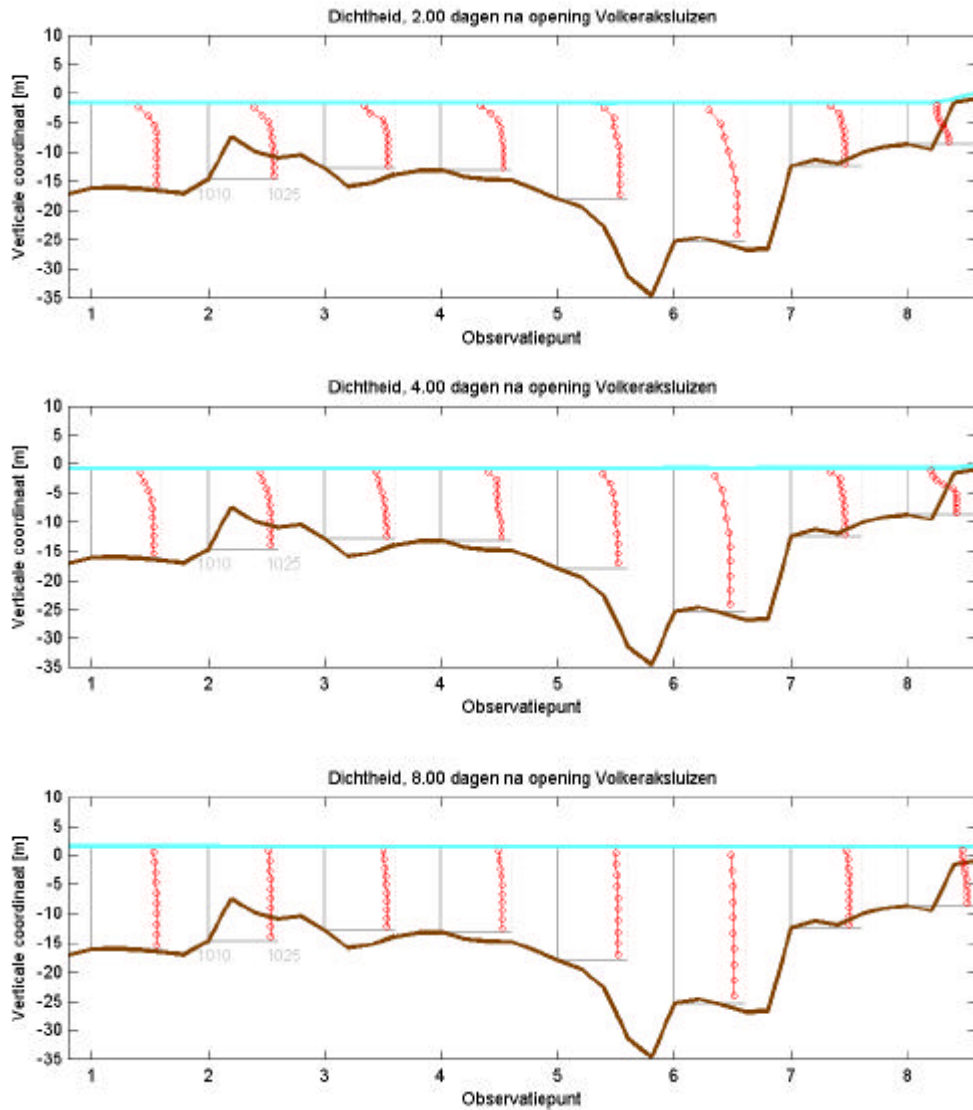
In Figuur 3-10 is een impressie gegeven van de dichtheidsverdeling aan het oppervlak in de Oosterschelde circa één dag na openen van de Volkeraksluizen, de Krammersluizen zijn zojuist opgegaan om het geborgen zoete water ook op de Oosterschelde te lozen.



Figuur 3-10 Dichtheidsverdeling aan het oppervlak in de Oosterschelde, variërend van 1016 kg/m^3 (blauw Chloridegehalte 11 g/l) tot 1026 kg/m^3 (rood Chloridegehalte $17,8 \text{ g/l}$), één dag na het openen van Volkeraksluizen, de Krammersluizen zijn zojuist open gegaan

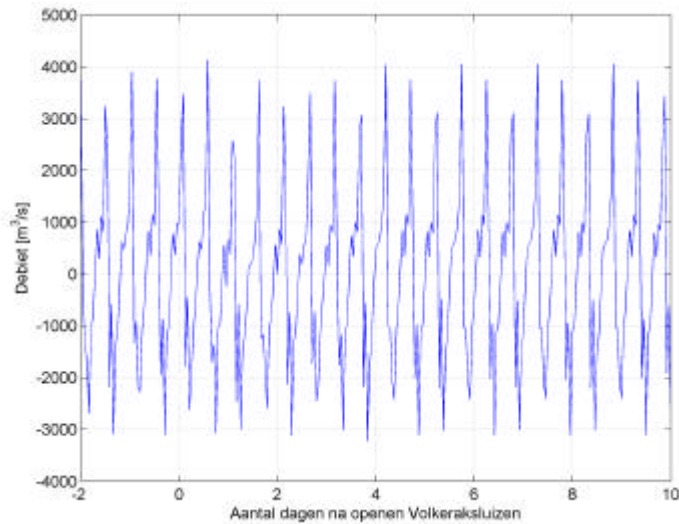
Figuur 3-10 toont de verdeling van de dichtheid aan het vrij oppervlak en in Figuur 3-11 is de gelaagdheid in de verticaal getoond op acht observatiepunten in de diepere geul aan de oostzijde van de Oosterschelde nabij de Krammersluizen.

Figuur 3-11 laat zien dat er kort na de start van de waterberging een gelaagde structuur zichtbaar is: daar waar nabij de bodem een dichtheid van circa 1025 kg/m^3 (Chloridegehalte $17,2 \text{ g/l}$) berekend wordt, is nabij het vrij oppervlak de dichtheid circa 1015 kg/m^3 (Chloridegehalte $10,3 \text{ g/l}$). Ook 4 dagen na start van de waterberging is er iets van deze gelaagdheid zichtbaar, zij het zwakker. Echter, na 8 dagen is deze gelaagdheid nagenoeg verdwenen.

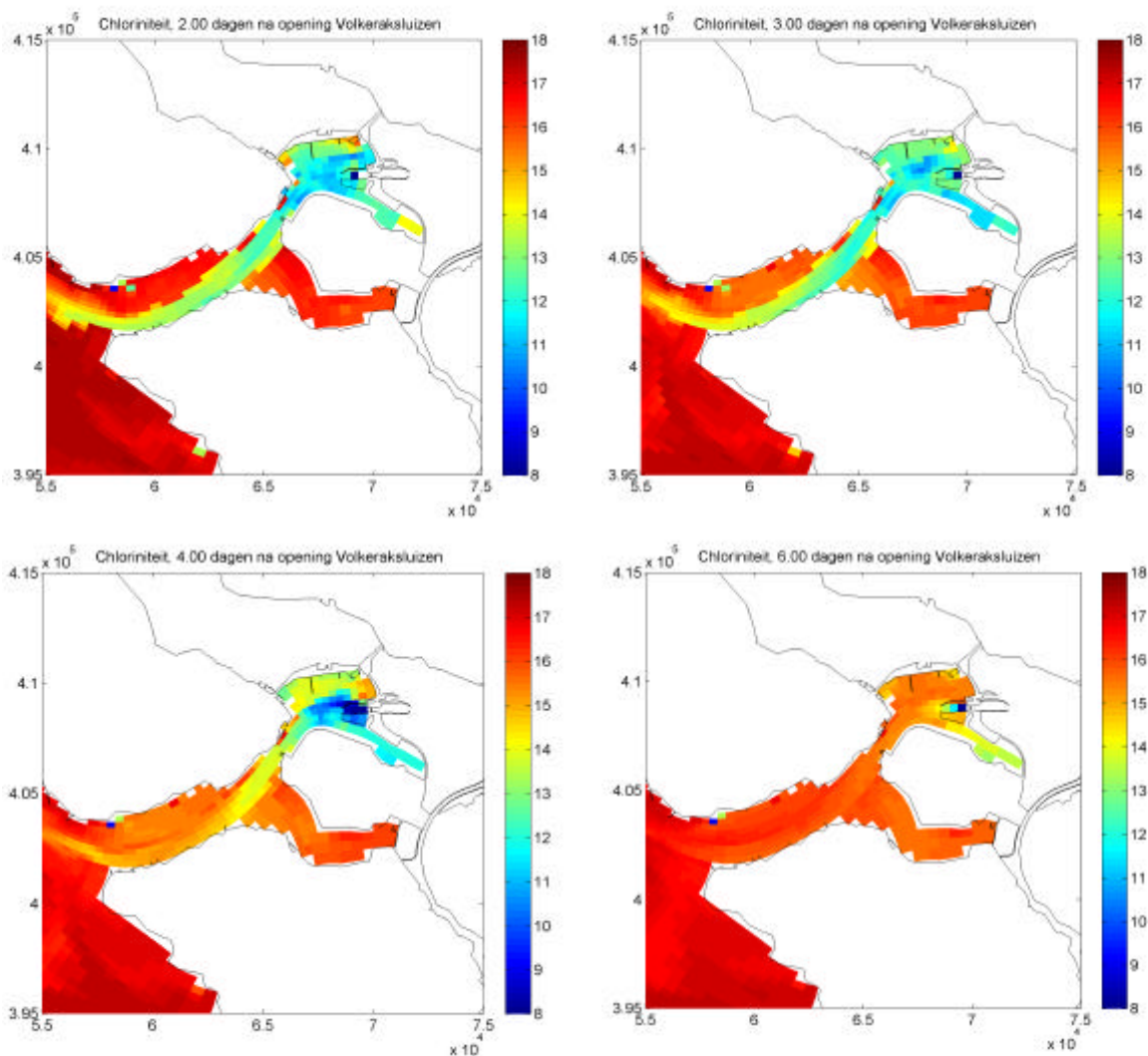


Figuur 3-11 Dichtheidsverdeling oostzijde Oosterschelde in verticale richting op enkele observatiepunten (rechtsonder getoond samen met bodemligging in m +NAP)

De verklaring voor het snelle ‘doorspoelen’ van de in Figuur 3-11 beschouwde regio is het optreden van relatief hoge netto getijdebieten. Figuur 2-10 en Figuur 2-11 tonen dat het debiet door de Krammersluizen duidelijk kleiner is ($< 500 \text{ m}^3/\text{s}$) dan de getijdebieten op de Oosterschelde, zie Figuur 3-12 waar ter plaatse van observatiepunt 6 het getijdebiet oploopt tot circa $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 3-12 *Debiet door de doorsnede ter plaatse van observatiepunt 6 (zie Figuur 3-11)*

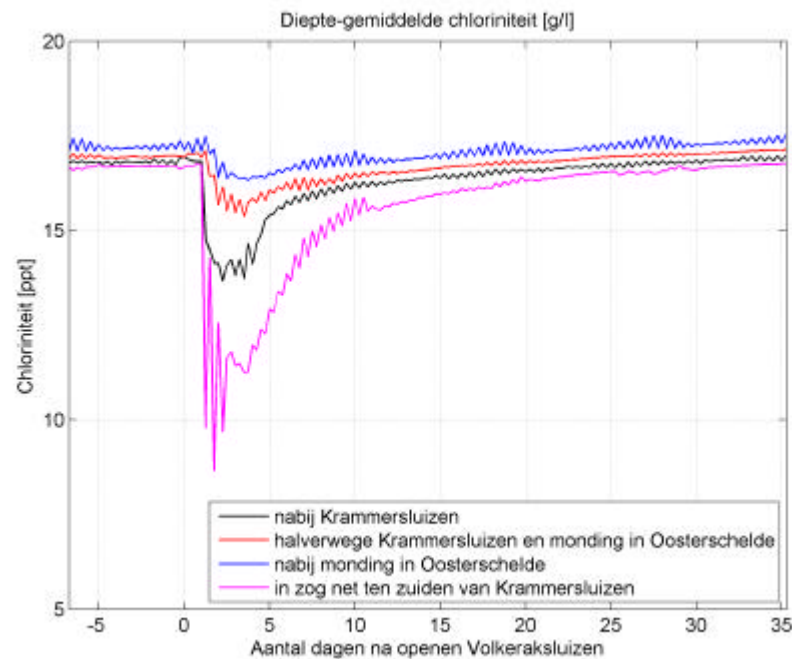


Figuur 3-13 *Chloriniteiten oostzijde Oosterschelde (in g/l) nabij het vrij oppervlak op verschillende momenten na opening van de Volkeraksluizen: na 2, 3, 4 en 6 dagen*

Voor de analyse van het zoutgehalte in de tijd en over de diepte, zijn vier observatiepunten gekozen: één nabij de Krammersluizen, één nabij de monding in de Oosterschelde, één

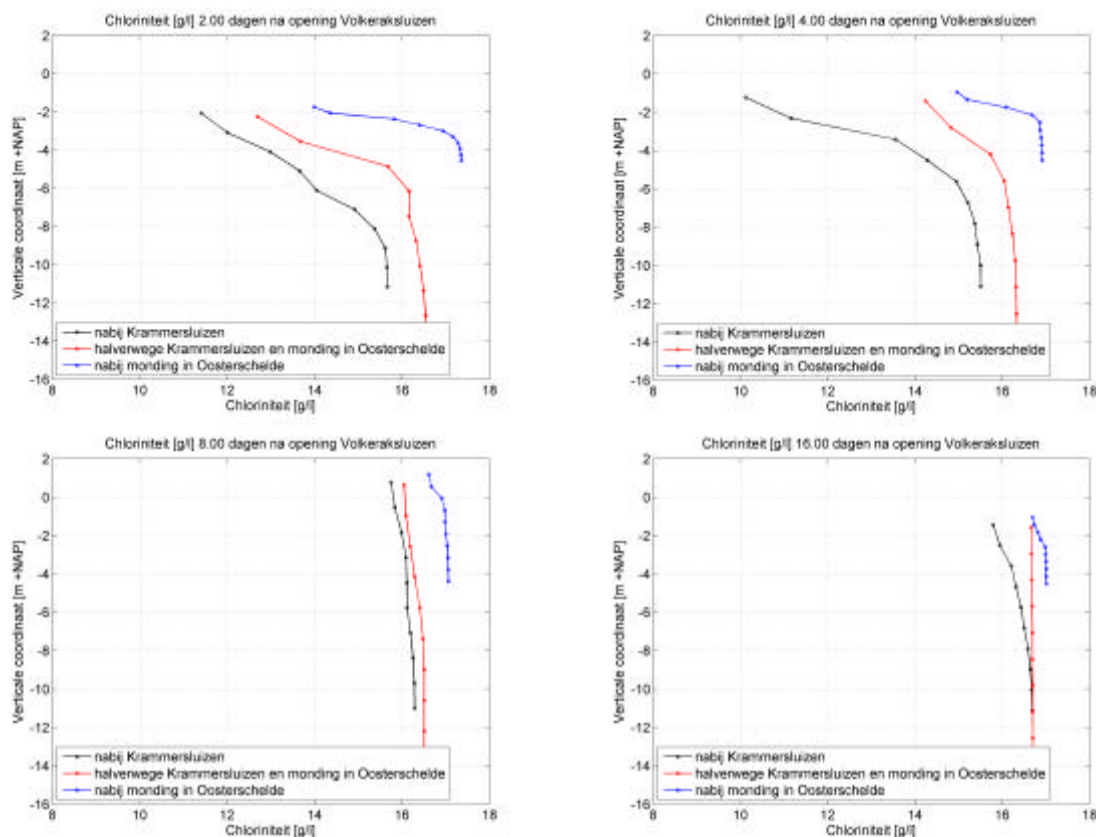
halverwege deze twee punten en één in het zog vlak ten zuiden van de Krammersluizen (nabij het Slaak, tussen de Philipsdam en de Anna Jacobapolder).

Om een indicatie te geven van de tijdsduur die gepaard gaat met het 'verwerken' van de lozing van zoet water is in Figuur 3-14 de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) weergegeven in de vier observatiepunten (nr. 2, 5 en 8 uit Figuur 3-11). In deze figuur is te zien dat nabij de Krammersluizen de invloed van het zoete water gedurende circa 15 dagen te merken is; niettemin zijn de verschillen in chloriniteit klein (circa 2 g/l). Voor de locaties verder van de Krammersluizen af is te zien dat de invloed zich slecht kort en in geringe mate laat gelden. Alleen in het zog vlak ten zuiden van de Krammersluizen is een grote invloed te zien; het blijkt dat in deze regio het zoete water relatief lang verblijft. Pas na circa 30 dagen is het gemiddelde chloridegehalte van de oorspronkelijke situatie hersteld.



Figuur 3-14 Diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) op vier verschillende locaties in de Oosterschelde, bij een standaard getij

De verticale structuur van de chloriniteit is getoond in Figuur 3-15 voor drie observatiepunten. Na 2 dagen en na 4 dagen na opening van de Volkeraksluizen is de verticale structuur als enigszins gelaagd te beschouwen, met name nabij de Krammersluizen. Maar ook nabij de monding in de Oosterschelde is een lichte gelaagdheid te zien; de chloriniteitsverschillen over de verticaal zijn niettemin klein. Na 8 dagen, en daarna, blijkt het zoete water volledig te zijn gemengd met het zoute water. De chloriniteitsverschillen in de verticaal nemen zijn afgenomen tot minder dan 1 g/l. In het oostelijk gedeelte van de Oosterschelde duurt het herstel van het oorspronkelijke chloridegehalte langer dan in de Oosterscheldemonding (> 16 dagen). Dit is een gevolg van de kleinere getijslag en stroomsnelheden op deze locatie nabij de Krammersluizen in vergelijking met de getijslag en stroomsnelheden in de Oosterscheldemonding.



Figuur 3-15 Verticale chloriniteitsverdeling op drie verschillende locaties in de Oosterschelde, na 2, 4, 8 en 16 uur na opening van de Volkeraksluizen, standaard getij

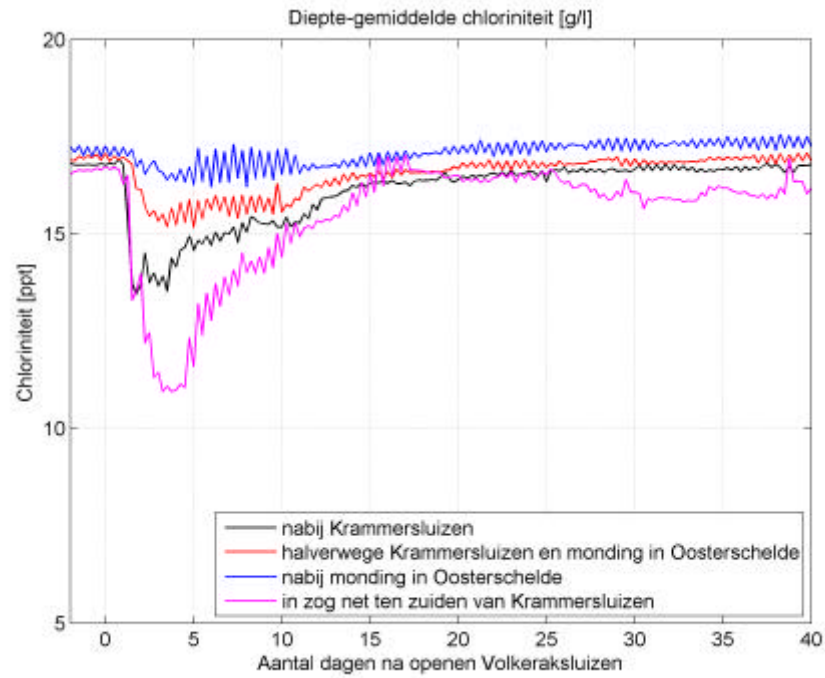
Tot zover zijn we voor de Oosterschelde uitgegaan van een simulatie waarbij volledig gebruik is gemaakt van door Sobek gegenereerde randvoorwaarden. Om enig inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de uitkomsten voor veranderingen in deze instellingen, zijn in Figuur 3-16 en Figuur 3-17 resultaten getoond die verkregen zijn met een simulatie waarbij gebruik gemaakt is van de Zuno-randvoorwaarden, de waterstanden aan de zeezijde en de chloriniteit sluiten beter aan bij de realiteit. Tevens is voor deze figuren gebruik gemaakt van een realistisch windreeks.

Figuur 3-16 toont de variatie van de diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) in de tijd. Het is duidelijk te zien dat door het meer realistische karakter van de randvoorwaarden neemt de variabiliteit in de tijd toe. Niettemin zijn de verschillen in invloed van het lozen van zoet water vergeleken met Figuur 3-14 niet essentieel verschillend: ook in Figuur 3-16 zijn (kleine) verschillen in chloriniteit te zien tot circa 15 dagen na het voor de eerste keer lozen van zoet water.

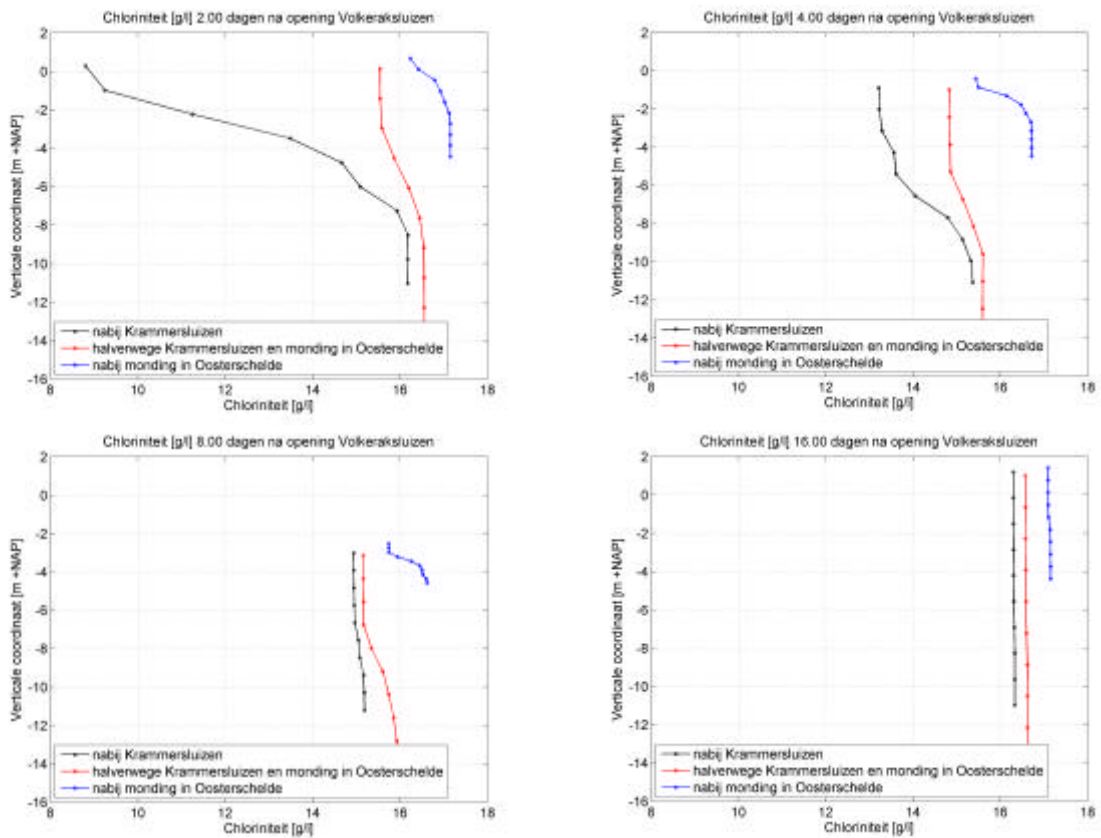
In Figuur 3-17 is de verticale structuur getoond van de chloriniteit ter plaatse van drie observatiepunten. Ook deze figuur laat weinig verschillen zien met Figuur 3-15. Met name na 2 dagen na opening van de Volkeraksluizen is een significante gelaagdheid te zien nabij de Krammersluizen. Deze gelaagdheid is duidelijk minder significant verder van de Krammersluizen af, oftewel dichterbij de Oosterscheldemonding.

Conclusie:

- Op de Oosterschelde is de getijslag dominant voor de menging van zoet en zout water na de waterberging. Het effect van de wind op de menging is hier ondergeschikt. De getijslag op de Oosterschelde is groot (enkel meters) en de optredende stroomsnelheden relatief groot.



Figuur 3-16 Diepte-gemiddelde chloriniteit (in g/l) op vier verschillende locaties in de Oosterschelde, Zuno-getij



Figuur 3-17 Verticale chloriniteitsverdeling op drie verschillende locaties in de Oosterschelde, na 2, 4, 8 en 16 uur na opening van de Volkeraksluizen. Voor de corresponderende simulatie is gebruik gemaakt van de Zuno-randvoorwaarden

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Er zijn 3D simulaties met Delft3D-modellen uitgevoerd van zowel het Volkerak-Zoommeer als de Oosterschelde, om inzicht te verkrijgen in de invloed van de berging van zoet rivierwater op het Volkerak-Zoommeer. Omdat waterberging in werkelijkheid nog niet is opgetreden en dus geen modelkalibratie of -validatie mogelijk is geweest en omdat evenmin in deze studie diepgaande gevoeligheidsanalyses zijn gedaan, moeten de hieronder aangegeven kwantitatieve resultaten als indicatief worden beschouwd.

Onderzocht is hoe de structuur van de stroming eruit ziet in geval van een zout Volkerak-Zoommeer, scenario A, en in het geval van een zoet Volkerak-Zoommeer, scenario B. De berekeningen zijn bedoeld om horizontale en verticale verspreiding van geloosde water die niet verkregen kan worden met de eerder uitgevoerde Sobek-model 1D-berekeningen. Er is daarom bij de uitvoering van de 3D simulaties in eerste instantie uitgegaan van dezelfde omstandigheden als bij de uitvoering van de Sobek-berekeningen. Hierbij is voor de wind uitgegaan van een standaard storm van circa 1 dag die bestaat uit een pieksnelheid van 22 m/s, gedurende 4 uur, en een snelheid van 0 m/s buiten de stormperiode. Meer informatie over het gebruikte windreeks is te vinden in Bijlage B.

Zoute scenario A

Voor het zoute scenario A zijn voor het Volkerak-Zoommeer de volgende conclusies te trekken:

- Ter plaatse van de P300 en ter plaatse van de Bathse spuisluis neemt de chloriniteit met maximaal circa 3 gr Cl/l af tot 11 g Cl/l als gevolg van de waterberging gedurende de eerste twee weken na de berging.
- Bij de P300 is tot ongeveer 4 dagen na de waterberging een gelaagde structuur zichtbaar, nadien is het zoete water goed gemengd met het zoute water. Bij de Bathse spuisluis is op elk tijdstip na het openen van de Volkeraksluizen het zoete water volledig gemengd met het zoute water.
- Nabij de Volkeraksluizen is de gelaagdheid aanzienlijk sterker: tot ongeveer 10 dagen na opening van de Volkeraksluizen is een gelaagde structuur te zien. Nabij de bodem komt het zoete water niet in significante hoeveelheden verder dan de oostelijke helft van het Volkerak-Zoommeer, maar met name in de ondiepe delen blijft de chloriniteit langer relatief laag (lager dan 8 g/l); aan het vrij oppervlak wordt het water wel volledig zoet (chloriniteit is na 2 dagen overal kleiner dan 5 g/l), maar herstelt zich tot waarden van circa 10 g/l na 8 dagen.
- De initiële omstandigheden zijn na ongeveer 4 weken weer bereikt; nabij de P300 is dat, onder directe invloed van het getij, al na circa 2 weken het geval. Wanneer uitgaan wordt van een in werkelijkheid gemeten windreeks is op elke locatie in het Volkerak-Zoommeer de gelaagde structuur, voor zover al aanwezig, na 4 dagen volledig verdwenen.
- Het oorspronkelijke verticale verloop van de chloriniteit in het Volkerak-Zoommeer is binnen circa 15 dagen hersteld na de waterberging. Herstel van de (diepte-)gemiddelde chloriniteit op locaties ver weg van de P300 duurt veel langer, circa 40 dagen of meer.
- In het Volkerak-Zoommeer wordt het mengen van zoet en zout water voornamelijk door de wind veroorzaakt. Er is een relatief klein getij op het Volkerak-Zoommeer aanwezig, via het doorlaatmiddel P300 in de Philipsdam. Het getij zorgt ook voor menging, maar vergeleken met de windinvloed is het effect op de menging ondergeschikt.

- Het opgelegde windveld speelt daarom op het Volkerak-Zoommeer een belangrijke rol in de menging. Met het realistische windveld is het zoete water sneller volledig gemengd met het zoute water. De belangrijkste reden hiervoor is dat in het realistische windveld gedurende een veel langere periode (70 dagen) geregeld hogere windsnelheden voorkomen (vergelijk Figuur A-12 met B-1). De menging met het de standaard storm (1 dag) wordt vrijwel alleen door de getijwerking bepaald, terwijl met het realistische windveld de menging door getijwerking en wind worden bepaald.
- Met het Sobek-model moeten randvoorwaarden voor het Delft3D-model worden gegenereerd voor overeenkomstige omstandigheden, zoals het getij op zee en het windveld. Met andere woorden de gegenereerde randvoorwaarden moeten passen bij het opgelegde getij en windveld.

Opmerkingen met betrekking tot beperkingen van het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel:

- De initiële gemiddelde waterstand op het Volkerak-Zoommeer is niet NAP-0,1 m zoals gewenst, maar NAP+0,2 m als een gevolg van de opgelegde randvoorwaarden uit Sobek die in het Sobek-model wel maar in het Delft3D-model niet een sluitende waterbalans heeft. Daarmee is de netto berging in het Delft3D-Volkerak-Zoommeermodel circa 10% kleiner. In het onderzoek is hiervoor niet gecorrigeerd en wordt het effect van de zoetwaterberging dus enigszins onderschat.
- In het Volkerak-Zoommeer zijn enkele hoger gelegen buitendijkse gebieden niet in de modelschematisatie opgenomen en vallen buiten het rekenrooster. Het geborgen volume water in de buitendijkse gebieden is circa 10% van de totale waterberging. In een zout Volkerak-Zoommeer zal in de buitendijkse gebieden voornamelijk zoet water worden geborgen. Een zoete laag van geborgen water ligt op de zoute onderlaag en zal, uitgaande van weinig menging, bij toenemende waterstand dus de hooggelegen gebieden overstromen. De duur van inundatie van het Volkerak-Zoommeer is ruim 3 dagen. De duur dat hoger gelegen gebieden in het Volkerak-Zoommeer onder water komen te staan is korter. Een waterstand van NAP+1 m wordt circa 2 dagen overschreden en een waterstand van NAP+1,5 m circa 1 dag. Deze gebieden ontbreken in de modelschematisatie waardoor de zoet-/zoutwater doordringing in deze hooggelegen gebieden niet is gesimuleerd. De bovenstaande schatting voor de inundatietijd en inundatiediepte kan worden gebruikt bij het bepalen van bijvoorbeeld ecologische schade door waterberging. Uitgaande van het bergen van met name zoet water in deze gebieden.

Zoete scenario B

Voor het zoete scenario B is de Oosterschelde doorgerekend alleen voor de periode na de storm, aangezien een afsluitbare Oosterscheldekering niet in huidige Delft3D-model is opgenomen. Ook voor deze simulatie is uitgegaan van dezelfde instellingen als gebruikt in de Sobek-berekeningen (zie voor een korte résumé over de windinstellingen Bijlage B).

Voor het zoete scenario B zijn de voor de Oosterschelde de volgende conclusies te trekken:

- De invloed van het geloosde zoete water is met name te merken vlak nabij de Krammersluizen en des te meer in de ondiepe regio's daaromheen. In de geul vlak voor de Krammersluizen heeft zich na ongeveer 1 week de chloriniteit weer hersteld tot het normale niveau, na slechts met maximaal circa 3 g Cl/l te zijn afgenomen tot 11 g Cl/l. In de ondiepe gedeelten eromheen neemt de chloriniteit met maximaal circa 5,5 g Cl/l tot 9,5 g Cl/l af en is de normale zoutgradiënt na ongeveer 2 weken hersteld.
- Verderop in de geul richting de monding in de Oosterschelde neemt ten gevolge van het geloosde zoete water de chloriniteit af met maximaal circa 1 g Cl/l tot 13 g Cl/l. Deze

geringe invloed heeft te maken met het feit dat er een getij aanwezig is dat gepaard gaat met debieten die aanzienlijk groter zijn dan het door de Krammersluizen geloosde debiet. Na circa 1 week is deze invloed verdwenen.

- Anders dan bij het Volkerak-Zoommeer is bij de berekening van de Oosterschelde een geringe invloed van veranderingen in de randvoorwaarden op de resultaten gezien. Rekenen met een realistisch windreeks levert geen significant verschillende uitkomsten op. Dat zou er op kunnen duiden dat het voornamelijk de getijwerking is die de menging domineert op de Oosterschelde. Bedacht moet worden dat er circa 40 miljoen m³ zoet water op de Oosterschelde wordt geloosd, in verhouding met het volume van 900 miljoen m³ per getijslag, is dat 4%. Op de Oosterschelde is de getijslag vermoedelijk dominant voor de menging van zoet en zout water na de waterberging. Het effect van de wind op de menging is hier ondergeschikt. De getijslag op de Oosterschelde is groot (enkel meters) en de optredende stroomsnelheden.

Opmerkingen met betrekking tot beperkingen van het Delft3D Oosterscheldemodel:

- Een beperking is dat in het Delft3D Oosterscheldemodel, in de huidige opzet, geen afsluitbare Oosterscheldekering is opgenomen. Met het model kan dus geen stormsituatie met gesloten kering tijdens de storm worden doorgerekend. Dit heeft consequenties voor de situatie met voorspuien van het Volkerak-Zoommeer op de Oosterschelde voorafgaand aan de storm om extra bergingsvolume te creëren. In het voorliggende onderzoek is alleen de spuiperiode na de storm berekend. In die periode wordt circa 42 miljoen m³ zoet water geloosd. Het volume tijdens het voorspuien is hiervan 40%, een niet te verwaarlozen hoeveelheid. De berekeningsresultaten met het Delft3D Oosterscheldemodel zijn te beschouwen als een ondergrens van het effect van het lozen van zoet water op de Oosterschelde vanuit het Volkerak-Zoommeer. Hoewel het effect van het voorgespuide zoet water volume op de Oosterschelde beperkt wordt geacht. Aangezien tijdens het voorspuien een de storm opsteekt die er mede voor zorgt dat de Maeslantkering moet sluiten. Dat is een dermate zware storm dat ook op de Oosterschelde de mengende werking van wind een prominente rol zal spelen. Het is dan aannemelijk dat er na de storm al een behoorlijk gemengde situatie is bereikt. Het zoete water vanuit het Volkerak-Zoommeer komt dan op een vrijwel zoute Oosterschelde. Enige aanwijzing hiervoor is de conclusie dat op enige afstand uit de Krammersluizen het oorspronkelijke Chloridegehalte na 1 week is hersteld. Dat betekent dat de in dit rapport getoonde resultaten voor het lozen van geborgen zoet water op de Oosterschelde na een stormperiode een redelijke schatting is voor die situatie.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de simulaties en de opgedane ervaring met de Delft3D-modellen, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- In het zoete scenario B kan voorafgaand aan de stormperiode de waterstand op het Volkerak-Zoommeer worden verlaagd door te spuien via de Krammersluizen op de Oosterschelde. Dit geeft een extra belasting van zoet water op de Oosterschelde voorafgaand aan het lozen van zoet water op de Oosterschelde na de stormperiode. Met het huidige Delft3D Oosterscheldemodel kan de stormperiode niet worden gesimuleerd omdat een afsluitbare Oosterscheldekering niet in het model is opgenomen. Het is aan te bevelen een afsluitbare Oosterscheldekering op te nemen in het model om een volledige stormperiode met het Delft3D Oosterscheldemodel te kunnen simuleren.
- Gezien de invloed die de randvoorwaarden hebben op de resultaten van de simulatie van het Volkerak-Zoommeer is het raadzaam om de twee modellen (Volkerak-Zoommeer en

- Oosterschelde) te integreren naar één gekoppeld model. Deze aanpassing zou het mogelijk maken om het Volkerak-Zoommeer te voorzien van realistische randvoorwaarden.
- Ook zonder koppeling kan er verbetering worden bereikt voor simulaties van het Volkerak-Zoommeer: aanbevolen wordt om de randvoorwaarde aan de P300-rand te genereren met een Sobek-model dat gebruikt maakt van de huidige Delft3D-resultaten voor de Oosterschelde. Namelijk, de 3D berekeningen van de Oosterschelde zijn ook uitgevoerd met randvoorwaarden uit het Zuno-model, waardoor de uitkomsten ter plaatse van de P300 eenvoudig te verkrijgen zijn en vervolgens op te leggen zijn in het Sobek model dat de randvoorwaarden voor de drie randen van het gehele Volkerak-Zoommeer bepaalt.

Referenties

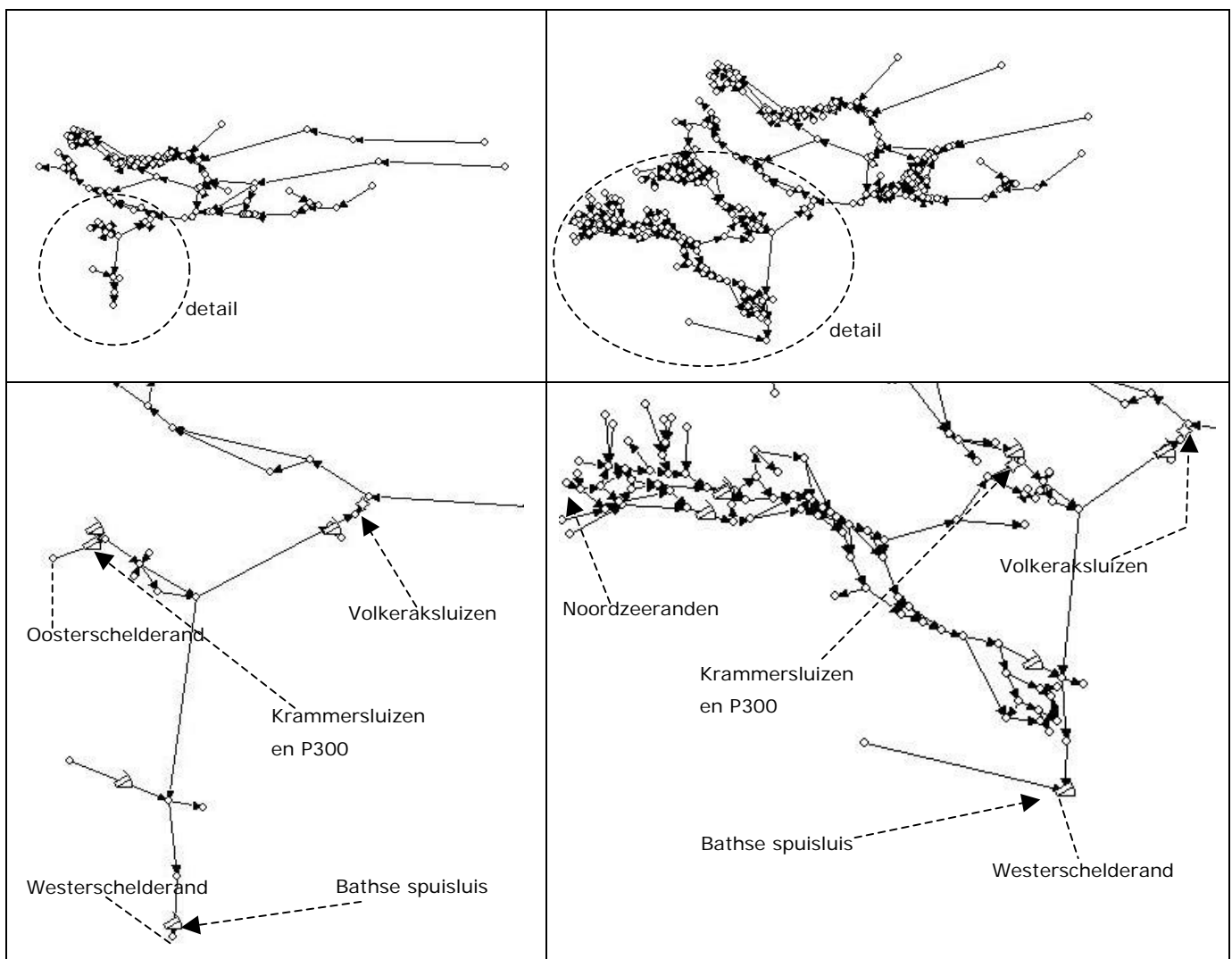
- Delft Hydraulics. Resultaten scenario-berekeningen met 2D en 3D-blauwalgenmodel voor Volkerak, Krammer en Zoommeer. Planstudie waterkwaliteit Volkerak-Zoommeer. Rapportnr. Q4015. Januari 2007
- Deltares. Deltakennis. Model Carrying Capacity. Rapportnr. 1200314.001. December 2009.
- DHV. Waterberging Volkerak-Zoommeer. Hydraulische analyses en modelberekeningen. Rapportnr. WA-RK20090670. Maart 2010a.
- DHV. Waterberging Volkerak-Zoommeer. Waterkwaliteit en grondwater. Rapportnr. WA-RK20100088. Juni 2010b.
- DHV. Rapport Effecten Natuur. Toetsing effecten waterberging Volkerak-Zoommeer. Rapportnr. WA-RK20100885. Juni 2010c.
- Zijlmans C. Nota Voorkeursalternatief. Waterberging Volkerak-Zoommeer. Projectbureau Waterberging Volkerak-Zoommeer. 31 Augustus 2010.

Bijlagen

Bijlage A: Afleiding randvoorwaarden scenario A en B

A.1 Inleiding

Van de zuidwestelijke delta bestaan twee Sobek-modellen waarin het Volkerak-Zoommeer is opgenomen. De basis van beide modellen wordt gevormd door het Rijn-Maasmonding-model waaraan het Volkerak-Zoommeer is gekoppeld via de Volkeraksluizen, het *kleine* Sobek-model. Vervolgens is daaraan de Oosterschelde gekoppeld (en het Grevelingenmeer), het *grote* Sobek-model. Overigens verschilt de topografie van de riviertakken in beide modellen. In het kleine Sobek-model liggen de riviermodelranden bij de Pannerdensche Kop, de IJsselkop en Lith. In het grote Sobek-model liggen de riviermodelranden bij Tiel, Hagestein en Lith. In Figuur A-1 is een overzicht van de takken in beide modellen gegeven in de zuidwestelijke delta.



Figuur A-1 Overzicht takken in het kleine Sobek-model (totale model links-boven en detail links-onder) en grote Sobek-model (totale model rechts-boven en detail rechts-onder)

De randvoorwaarden voor het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel zijn gegenereerd met het kleine Sobek-model. Om de juiste getijrandvoorwaarden in de Oosterschelde net voor de Krammersluizen te genereren in het kleine Sobek-model, is het grote Sobek-model gebruikt. De getijreeks voorafgaand aan de storm, de periode van gesloten Oosterscheldekering en

vervolgens de periode na de storm zijn met het grote Sobek-model gegenereerd via de MHW-processor voor de maatgevende situatie (Q6-H4). Die situatie komt redelijk overeen met de combinatie van rivier- en zeerandvoorwaarden in het kleine Sobek-model, maar in de Oosterschelderandvoorwaarde is in het kleine Sobek-model geen gesloten Oosterscheldekering opgenomen. Met de Oosterschelderandvoorwaarde gegenereerd met het grote Sobek-model, is de stormsituatie met waterberging en lozing met het kleine Sobek-model bepaald voor die modelrand.

De randvoorwaarden voor het Delft3D Oosterscheldemodel zijn met het kleine Sobek-model gegenereerd. Ook hier was in de randvoorwaarde voor de Oosterschelde vlak bij de Krammersluizen niet de sluiting van de Oosterscheldekering opgenomen. Met het Delft3D Oosterscheldemodel is met het standaardgetij en het Zuno-getij de getijrand op de Oosterschelde vlakbij de Krammersluizen bepaald. Die getijreeksen zijn als randvoorwaarde in het kleine Sobek-model opgelegd en vervolgens is een stormsituatie met waterberging en lozing doorgerekend. Het debiet dat via de Krammersluizen op de Oosterschelde wordt geloosd, berekend met het kleine Sobek-model is vervolgens als randvoorwaarde op het Delft3D Oosterscheldemodel bij de Krammersluizen opgelegd.

A.2 Eigenschappen doorlaatmiddelen

A.2.1 Volkeraksluizen

Het doorstroomoppervlak van het spuismiddel in de Volkeraksluizen is 570 m². De totale breedte van de 4 spuiokers is 120 m, de hefhoogte van de schuiven is 5,75 m, het drempelniveau ligt op NAP-4,25 m en de onderkant van de schuif kan maximaal naar NAP+1,5 m. De afvoercoëfficiënt tijdens inlaten van Hollandsch Diep naar Volkerak-Zoommeer is 0,9 en bij terugspuien van Volkerak-Zoommeer naar Hollandsch Diep is de afvoercoëfficiënt 0,8. Tijdens het bergen van rivierwater staat de spuisluis open. Na berging wordt het water geloosd via de P300 naar de Oosterschelde en via de Volkerak spuisluis terug naar het Hollandsch Diep. De Volkeraksluizen sluiten als de waterstand op het Volkerak-Zoommeer gelijk of lager is dan die op het Hollandsch Diep.

A.2.2 Doorlaatmiddel in de Philipsdam (P300), alleen gebruikt in scenario A

Het doorstroomoppervlak van de P300 in de Philipsdam is 300 m². De totale breedte van de spuioker is 48 m, de hefhoogte van de schuif is 8,5 m, het drempelniveau ligt op NAP-6 m en de onderkant van de schuif kan maximaal naar NAP+2,5 m. De afvoercoëfficiënt is voor beide stroomrichtingen 0,9. Normaal staat de P300 sluis open en kan het getij vanuit de Oosterschelde in het Volkerak-Zoommeer doordringen. Op de laatste ebstand voor het rivierhoogwater wordt de P300 gesloten. Na de storm gaat de P300 open en wordt het water vanuit het Volkerak-Zoommeer geloosd op de Oosterschelde.

A.2.3 Krammersluizen, alleen gebruikt in scenario B

De Krammersluizen zijn bedoeld voor scheepvaart en verbinden het zoete Volkerak-Zoommeer en de zoute Oosterschelde. Het schutwater wordt via een ingenieus systeem van wandmoten naar zoet- en zoutwaterbekkens geleid. Wandmoten zijn inlaten met schuiven die in de zijwanden van de sluiskolk zijn geplaatst en via welke het water in en uit de sluiskolk gaat. De wandmoten kunnen ook worden gebruikt voor het lozen van water vanuit het Volkerak-Zoommeer naar de Oosterschelde, bijvoorbeeld na berging van water vanuit het Hollandsch Diep op het Volkerak-Zoommeer. In het Sobek-model zijn de wandmoten in de Krammersluizen als volgt geschematiseerd: een totale breedte van 210 m, het drempelniveau ligt op NAP+1,5

m, de maximum hefhoogte van de schuiven is 1 m en de afvoercoëfficiënt is 0,31. De wandmoten worden geopend na de stormperiode als de waterstand op de Oosterschelde lager is (meer dan 0,05 m) dan op het Volkerak-Zoommeer en sluiten tijdelijk bij een hogere waterstand op de Oosterschelde en permanent als het streefpeil op het Volkerak-Zoommeer is bereikt.

A.2.4 Bathse spuisluis

Het doorstroomoppervlak van de Bathse spuisluis is circa 80 m². De totale breedte van de spuikoker is 17,1 m, de hefhoogte van de schuif is 5,5 m, het drempelniveau ligt op NAP-5 m en de onderkant van de schuif kan maximaal naar NAP+0,5 m. De afvoercoëfficiënt is voor het spuien naar de Westerschelde is 0,8. Deze spuisluis wordt alleen gebruikt om dagelijks op de Westerschelde te lozen evenals na het bergen van rivierwater op het Volkerak-Zoommeer.

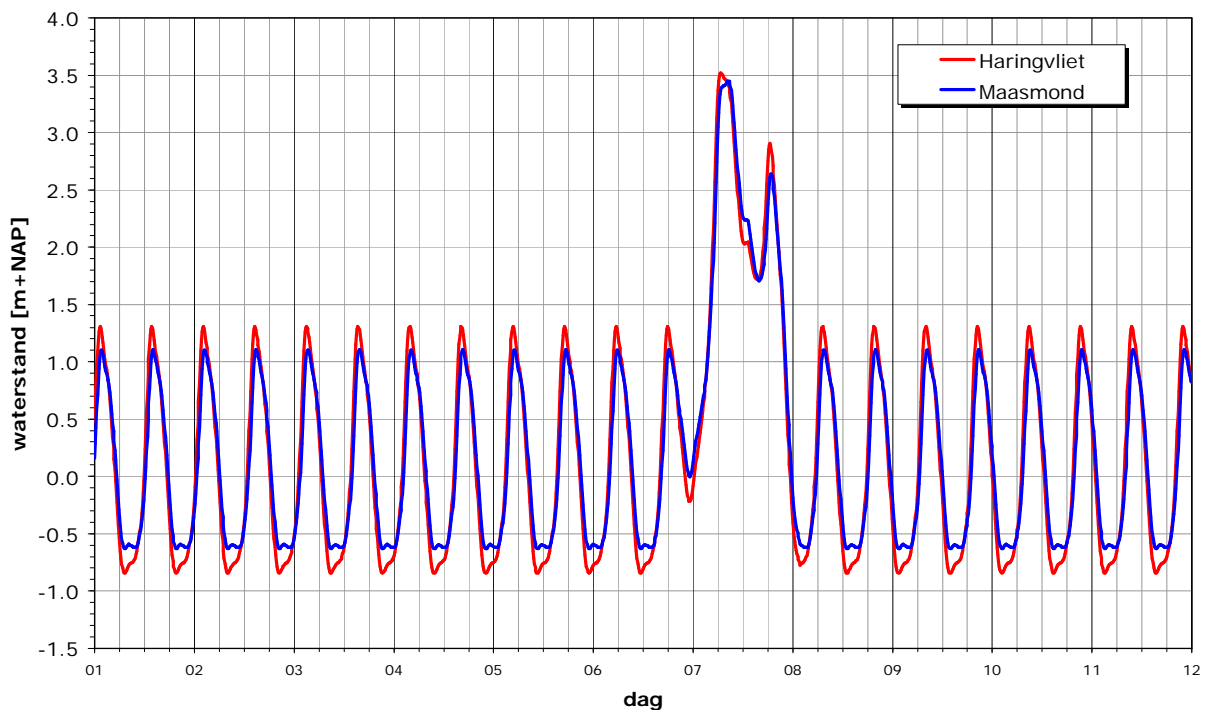
A.3 Randvoorwaarden

A.3.1 Scenario A: zout Volkerak-Zoommeer met zoetwaterberging

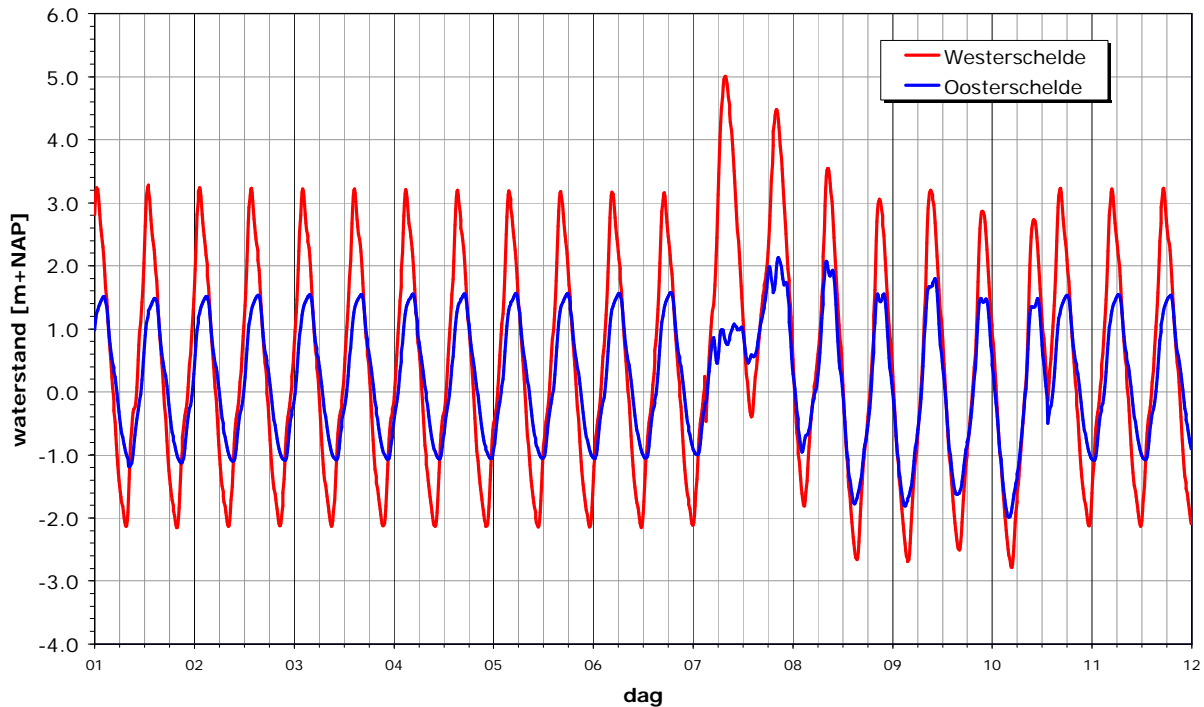
De volgende rivierrandvoorwaarden zijn gebruikt:

- De constante afvoer op de Waal is 5172 m³/s, op de Lek 1531 m³/s (Rijnafvoer bij Lobith circa 7800 m³/s) op de Maas 1579 m³/s.
- De zeerand voor de Maasmond en voor de Haringvlietsluizen is weergegeven in Figuur A-2.
- De zeerand voor de Oosterscheldekering en voor de Bathse sluis in de Westerschelde in Figuur A-3.

In de figuren is een deel van de tijdreeks getoond. Alle zeeranden hebben een karakteristiek getij dat begint 8,5 dag voor het hoogwater en loopt door tot twee maanden na de hoogwaterperiode.



Figuur A-2 Waterstandsranden op de Noordzee voor de Maasmond en Haringvlietkering



Figuur A-3 Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering en op de Westerschelde voor de Bathse sluis

In scenario A met zout Volkerak-Zoommeer is in het model initieel voor de saliniteit opgegeven 34 kg zout /m³ water (18,8 kg Cl/m³ water) voor zout water en op de riviertakken 0,7 kg zout /m³ water (0,37 kg Cl/m³ water). De Tatcher-Harleman relatie is in het Sobek-model gebruikt om de dispersie van het zout te simuleren.

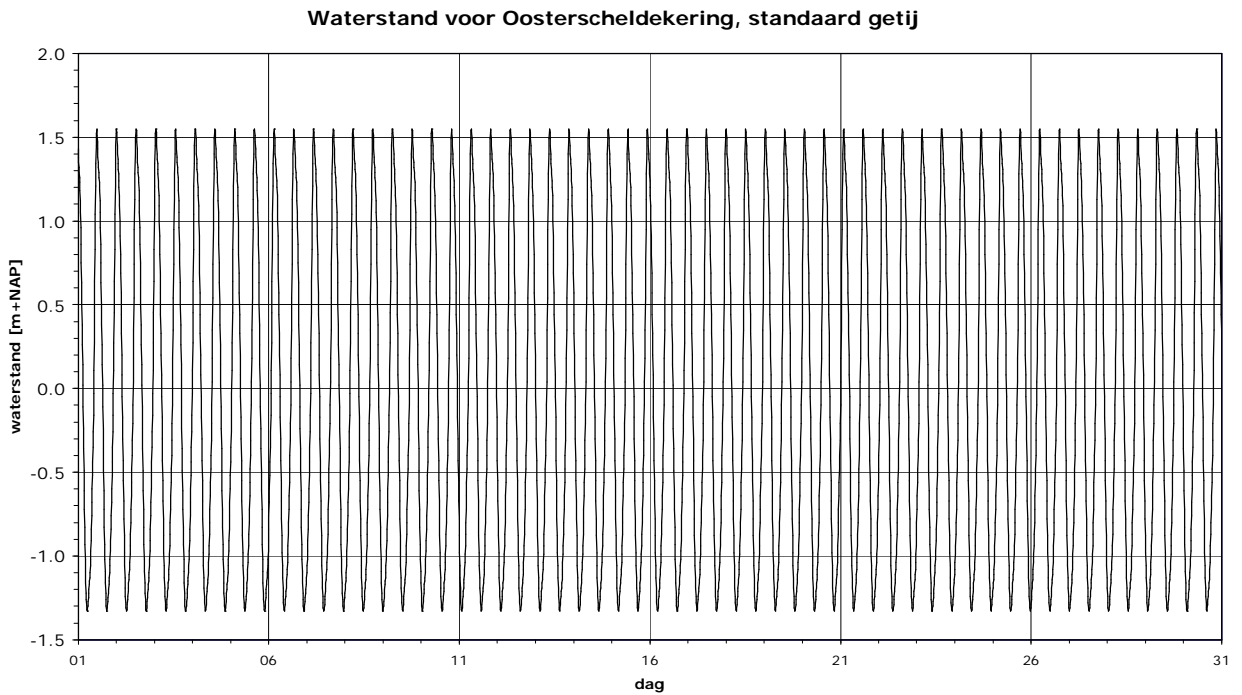
De windsnelheid loopt tijdens de storm lineair op van 0 tot 22 m/s binnen 24 uur, de windsnelheid blijft vervolgens 5 uur constant 22 m/s en neemt daarna af tot nul in 24 uur. De windrichting is WNW 292,5°. De watertemperatuur van constant 18°C is ook gebruikt in het onderzoek van DHV (2010a). De waterberging zal vermoedelijk in de winterperiode plaatsvinden als de watertemperatuur lager is (circa 10°C of lager). In de Delft3D-berekeningen is 10°C gebruikt. Een 8°C lagere watertemperatuur heeft een 0,1% hogere dichtheid tot gevolg. De dichtheid werkt ook door in de dispersievergelijking van Tatcher-Harleman. Het effect van het temperatuurverschil in beide berekeningen op de hoeveelheid geloosd zoet water vanuit het Volkerak-Zoommeer is zeer klein verondersteld.

De rekenperiode is 70 dagen en de tijdstap is 10 minuten.

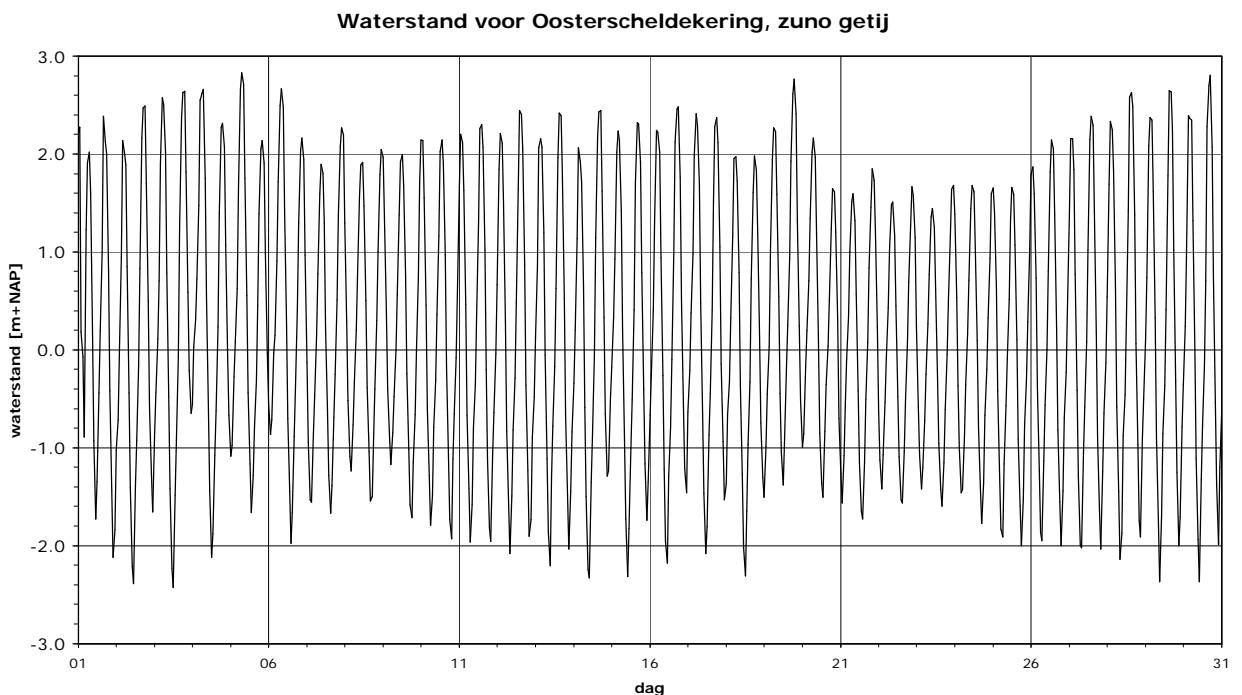
A.3.2 Scenario B: zoet Volkerak-Zoommeer met zoetwaterberging

- De constante afvoer op de Waal is 5172 m³/s, op de Lek 1531 m³/s en op de Maas 1579 m³/s.
- De zeerand voor de Maasmond en voor de Haringvlietsluizen is weergegeven in Figuur A-2.
- De zeerand voor de Bathse sluis in de Westerschelde is weergegeven in Figuur A-3.
- De zeerand voor de Oosterscheldekering is overgenomen uit het Delft3D-model van de Oosterschelde. Er is een standaard getij gebruikt, weergegeven in Figuur A-4. Verder is ook een getijverloop gebruikt op basis van de Zuno-getijrand opgelegd in het Delft3D-model van de Oosterschelde, zie Figuur A-5.

In de figuren is een deel van de tijdreeks getoond. Alle zeeranden hebben een karakteristiek getij dat begint 8,5 dag voor het hoogwater en loopt door tot twee maanden na de hoogwaterperiode.



Figuur A-4 Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering, standaard getij



Figuur A-5 Waterstandsranden op de Noordzee voor de Oosterscheldekering, Zuno-getij

In scenario B met een zoet Volkerak-Zoommeer is in het model initieel voor de saliniteit opgegeven $0,7 \text{ kg zout /m}^3 \text{ water}$ ($0,37 \text{ kg Cl/m}^3 \text{ water}$) evenals op de riviertakken. De Thatcher-Harleman relatie is in het Sobek-model gebruikt om de dispersie van het zout te simuleren,

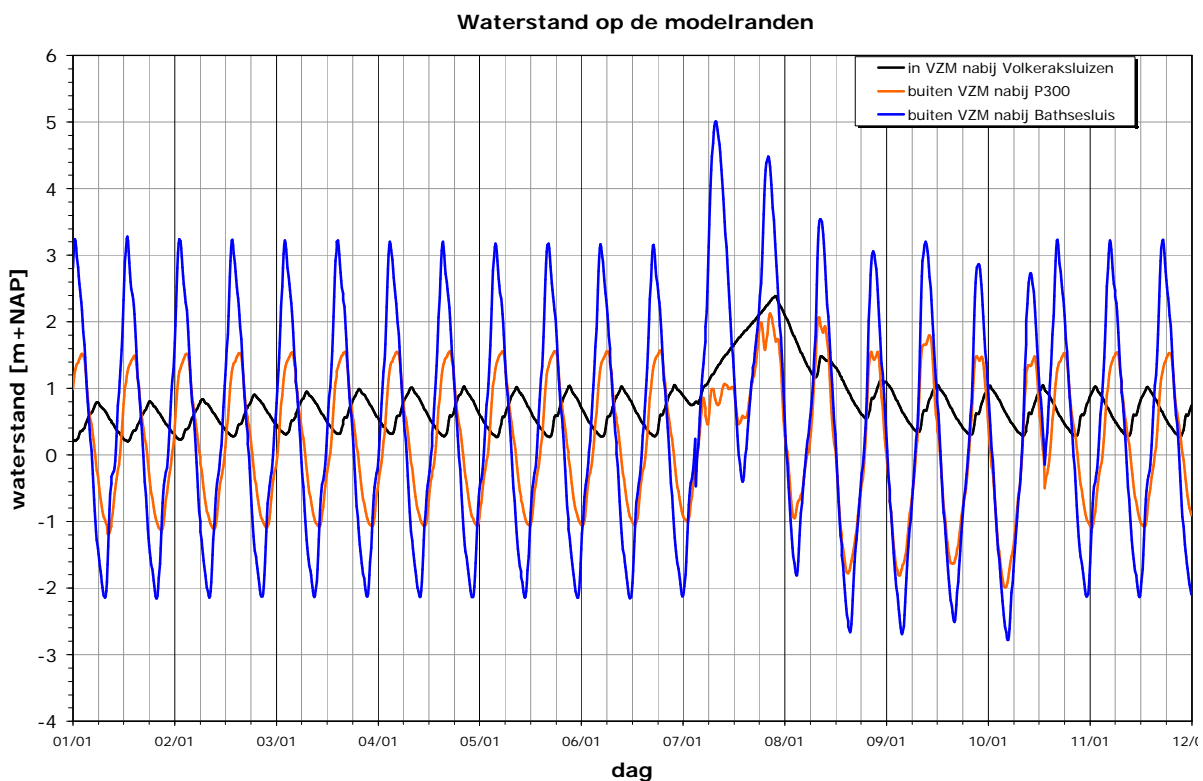
echter voor deze situatie is er alleen zoet water aanwezig in het Volkerak-Zoommeer. De Oosterschelde is wel zout.

De windsnelheid loopt tijdens de storm lineair op van 0 tot 22 m/s binnen 24 uur, de windsnelheid blijft vervolgens 5 uur constant 22 m/s en neemt daarna af tot nul in 24 uur. De windrichting is WNW 292,5°. De watertemperatuur is constant 18°C. De watertemperatuur van constant 18°C is ook gebruikt in het onderzoek van DHV (2010a). De waterberging zal vermoedelijk in de winterperiode plaatsvinden als de watertemperatuur lager is (circa 10°C of lager). In de Delft3D-berekeningen is 10°C gebruikt. Een 8°C lagere watertemperatuur heeft een 0,1% hogere dichtheid tot gevolg. De dichtheid werkt ook door in de dispersievergelijking van Tatcher-Harleman. Het effect van het temperatuurverschil in beide berekeningen op de hoeveelheid geloosd zoet water vanuit het Volkerak-Zoommeer is zeer klein verondersteld.

De rekenperiode is 70 dagen en de tijdstap is 10 minuten.

A.4 Afgeleide randvoorwaarden voor 3D-model, scenario A

Met het *kleine* Sobek-model van de Rijn-Maasmonding is de waterstand, het debiet en de saliniteit gegenereerd op locaties in het Volkerak-Zoommeer vlakbij de Volkeraksluizen, de P300 en de Bathse spuilsuis. De waterstanden op die locaties zijn in Figuur A-6 weergegeven.

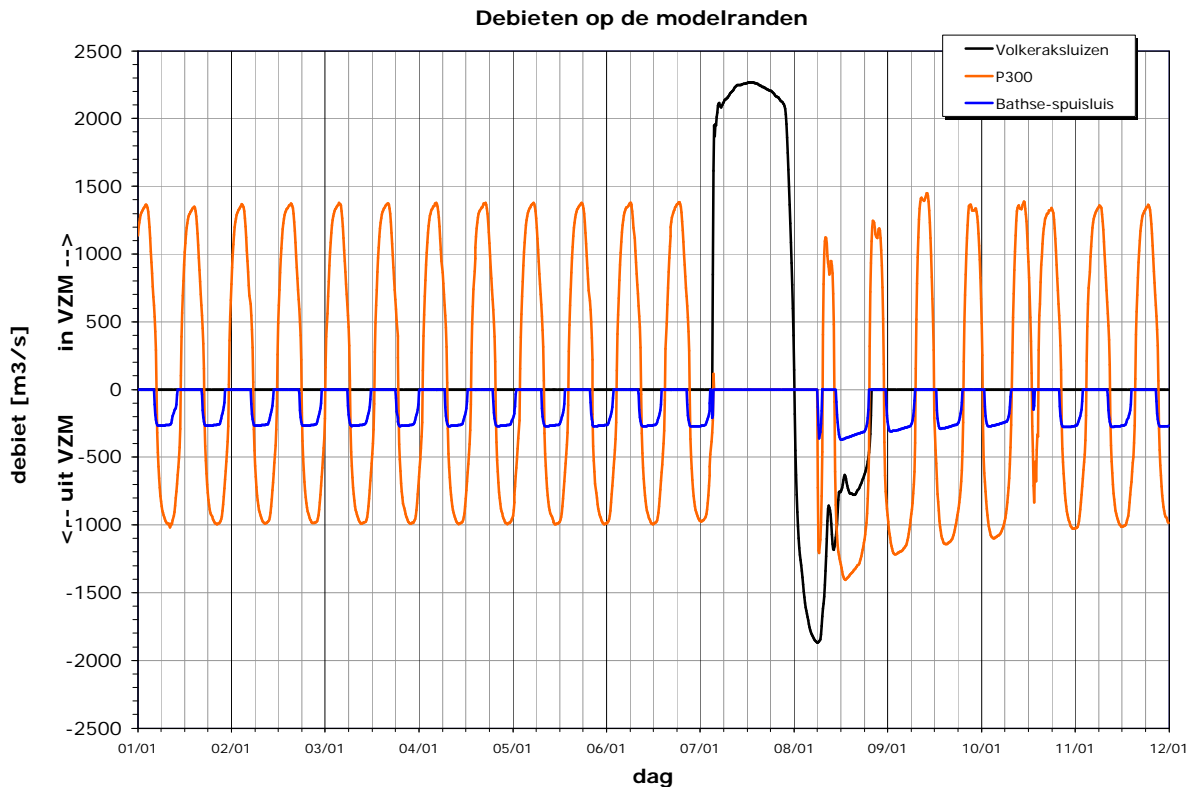


Figuur A-6 Gegeneerde waterstandsranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer

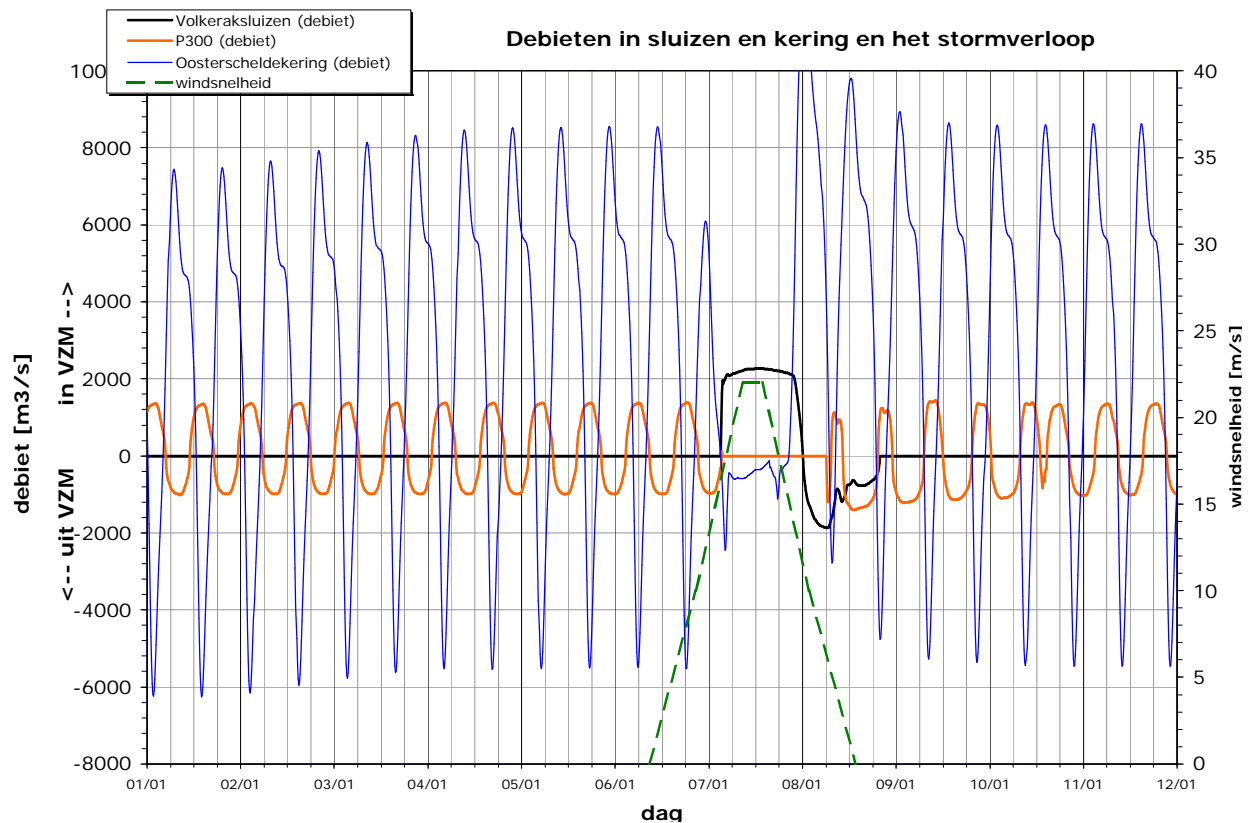
Tijdens de inspeelperiode staat de P300 open en is er een gedempt getij op het Volkerak-Zoommeer aanwezig (getijslag Oosterschelde bij de P300 is circa 2,5 m en nabij de Volkeraksluizen circa 0,5 m). Na een inspeelperiode van 9 dagen (berekening begint op 29/12) gaan de Volkeraksluizen open en wordt water geborgen op het Volkerak-Zoommeer tot een maximum waterstand van circa NAP+2,4 m. Deze hoge maximum waterstand in het Volkerak-Zoommeer wordt veroorzaakt door het meerpeil vlak voor de inzet voor waterberging. Met

meerpeil is circa NAP+0,8 m (ebstand laatste getij voor sluiting Oosterschelde mede verhoogd door stormopzet) en vanaf die waterstand wordt er water geborgen. Op de Westerschelderand is duidelijk de waterstandsverhoging tijdens de storm zichtbaar, een tijdelijke waterstandsverhoging van maximaal 2 m.

In Figuur A-7 is het verloop van het debiet door de spuisluizen rond het Volkerak-Zoommeer weergegeven. De Volkeraksluizen laten tijdens de storm maximaal 2300 m³/s door vanuit het Hollandsch Diep naar het Volkerak-Zoommeer. Na de storm wordt via de Volkeraksluizen water op het Hollandsch Diep geloosd. De P300 is tijdens de stormperiode gesloten evenals de Bathse spuisluis.



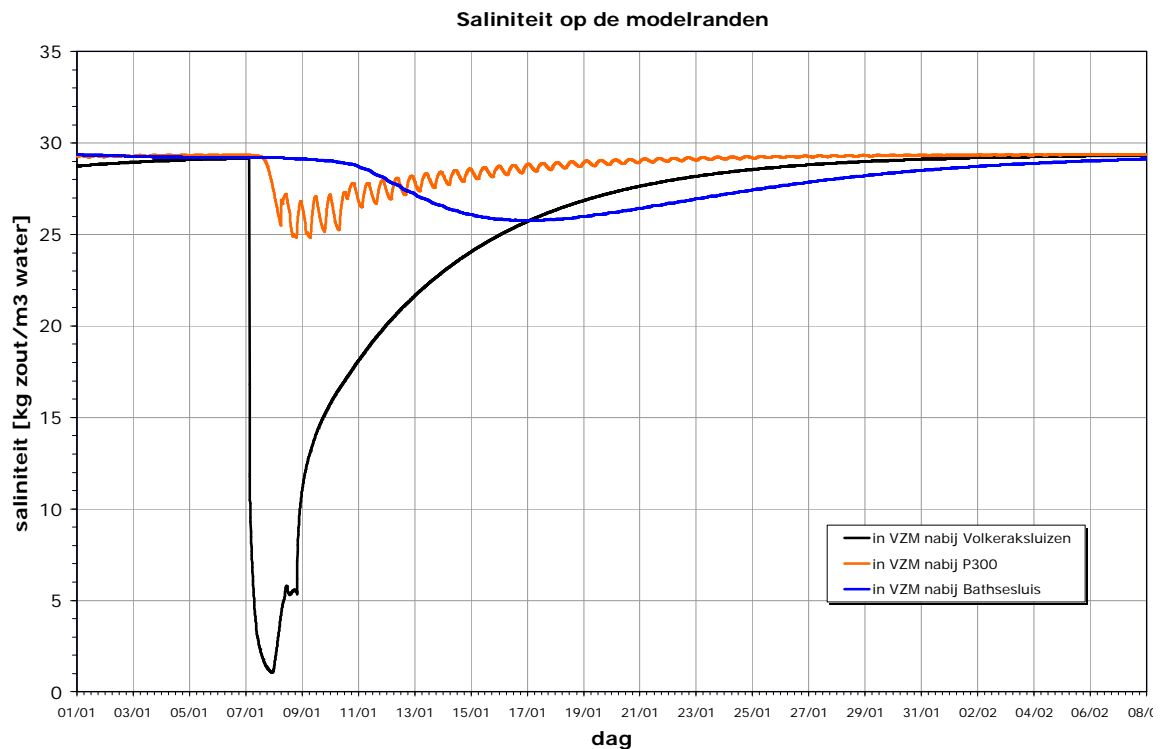
Figuur A-7 Gegeneerde debietranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer



Figuur A-8 Debieten door Oosterscheldekering en stormverloop

De controle dat de Volkeraksluizen, P300 en Bathse sluisluis inderdaad gesloten zijn tijdens de stormperiode, is in Figuur A-8 weergegeven. De Oosterscheldekering is gesloten (laat een relatief klein lekdebiet door) gedurende de korte periode met hoogste windsnelheden (> 15 m/s) en nog enige tijd daarna tijdens de eerste vloed na de stormperiode, zie ook Figuur A-6.

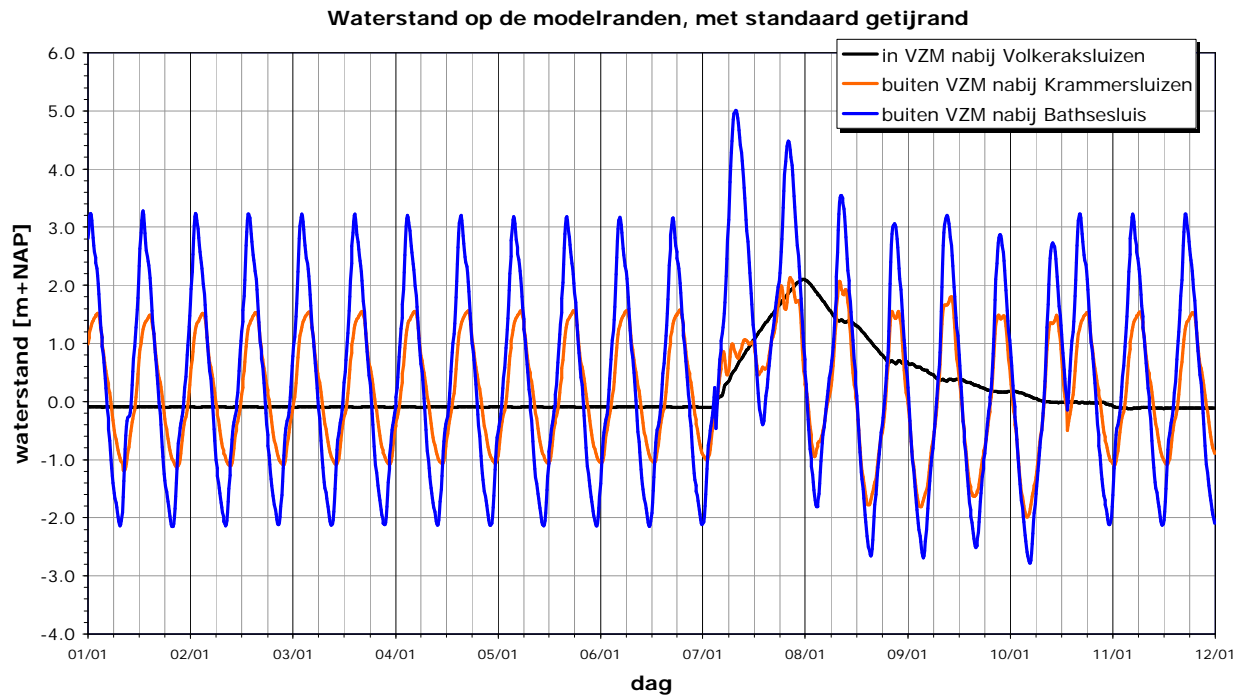
De saliniteit in het Volkerak-Zoommeer nabij de drie spuisluizen is weergegeven in Figuur A-9. De saliniteit net na de Volkeraksluizen waar het zoete rivierwater wordt ingelaten neemt sterk af tot circa 2 kg/m^3 ($1,1 \text{ kg Cl/m}^3$ water) om in de loop van de tijd, na circa 20 dagen, door diffusie en menging met het Oosterschelde water weer toe te nemen tot circa 30 kg/m^3 ($16,6 \text{ kg Cl/m}^3$ water). De saliniteit nabij de P300 neemt minder sterk af (minimum 25 kg/m^3 , $13,8 \text{ kg Cl/m}^3$ water) ten gevolge van de open verbinding met de Oosterschelde via de P300. Het zoute Oosterschelde water kan ieder getij na de storm het Volkerak-Zoommeer binnen stromen en houdt de saliniteit/chloriniteit van het water rond die locatie op peil. De Bathse spuisluis ligt aan het einde van het relatief smalle Zoommeer waardoor het langer duurt voordat het brakke water die spuisluis bereikt. Hier neemt de saliniteit beperkt af, tot circa 25 kg/m^3 ($13,8 \text{ kg Cl/m}^3$ water) door diffusie.



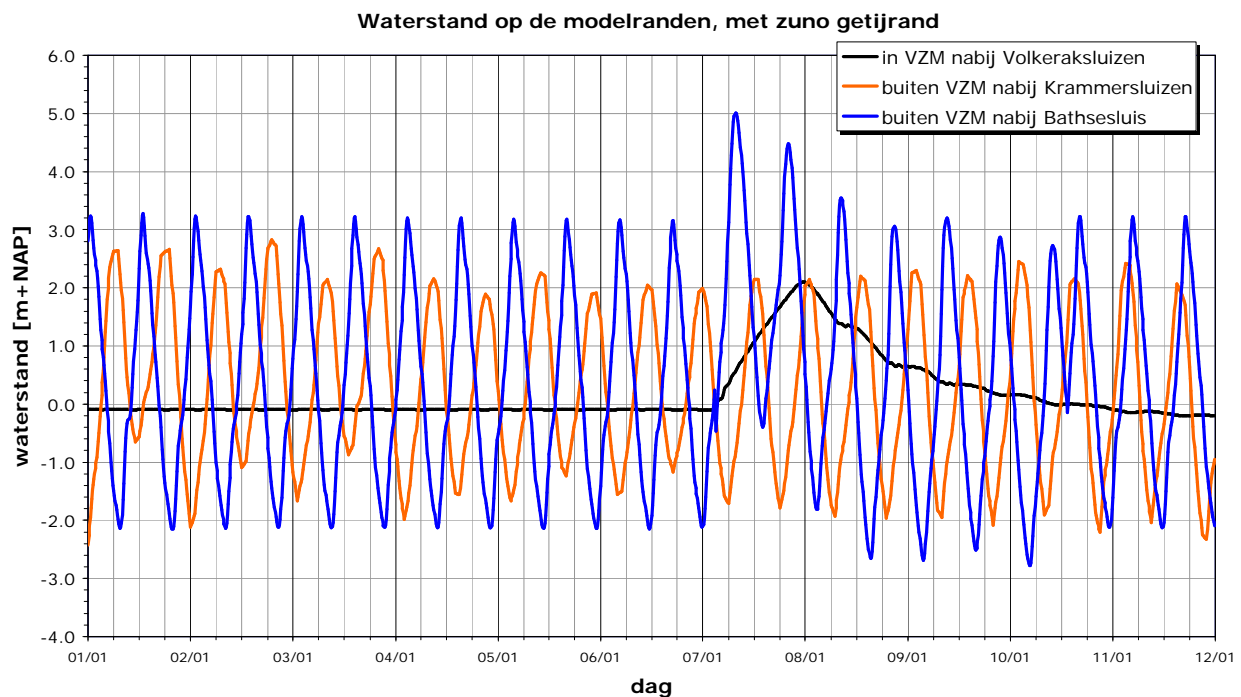
Figuur A-9 Gegeneerde saliniteitsranden voor het Delft3D model van het Volkerak-Zoommeer

A.5 Afgeleide randvoorwaarden voor 3D-model, scenario B

Met het *kleine* Sobek-model van de Rijn-Maasmonding is de waterstand en het debiet gegenereerd op één locatie in de Oosterschelde vlakbij de uitstroming van de Krammersluizen, de instroomrand van het Delft3D-model van de Oosterschelde. Tijdens de inspeelperiode is de Volkerakspuisluis en Krammersluis dicht. In het Delft3D-model van de Oosterschelde is geen afsluitbare Oosterscheldekering aanwezig zodat de inspeelperiode tijdens de opbouw van de storm en de toestand tijdens gesloten Oosterscheldekering niet kan worden gesimuleerd met dat model. Gekozen is voor het doorrekenen van de situatie na de storm als de Krammersluizen opengaan om zoet water op de Oosterschelde te lozen. Er zijn twee situatie doorgerekend, 1) met het standaardgetij op de Noordzee voor de Oosterschelde en 2) met het Zuno-getij op de Noordzee voor de Oosterschelde. Het waterstandsverloop met standaardgetij op de locatie is in Figuur A-10 weergegeven, en in Figuur A-11 met het Zuno-getij. Na een inspeelperiode van 9 dagen (berekening begint op 29/12) gaan de Volkeraksluizen open en wordt water geborgen op het Volkerak-Zoommeer tot een maximum waterstand van circa NAP+2,1 m. Dat de maximum waterstand hier tot NAP+2,1 m komt en niet tot NAP+2,4 m zoals in scenario A is een gevolg van de lagere beginwaterstand op het Volkerak-Zoommeer, namelijk het streefpeil van NAP-0,1 m dat vast is. In scenario A is een gedempt getij op het Volkerak-Zoommeer aanwezig dat ook door de stormopzet voorafgaand aan de storm wordt beïnvloed.



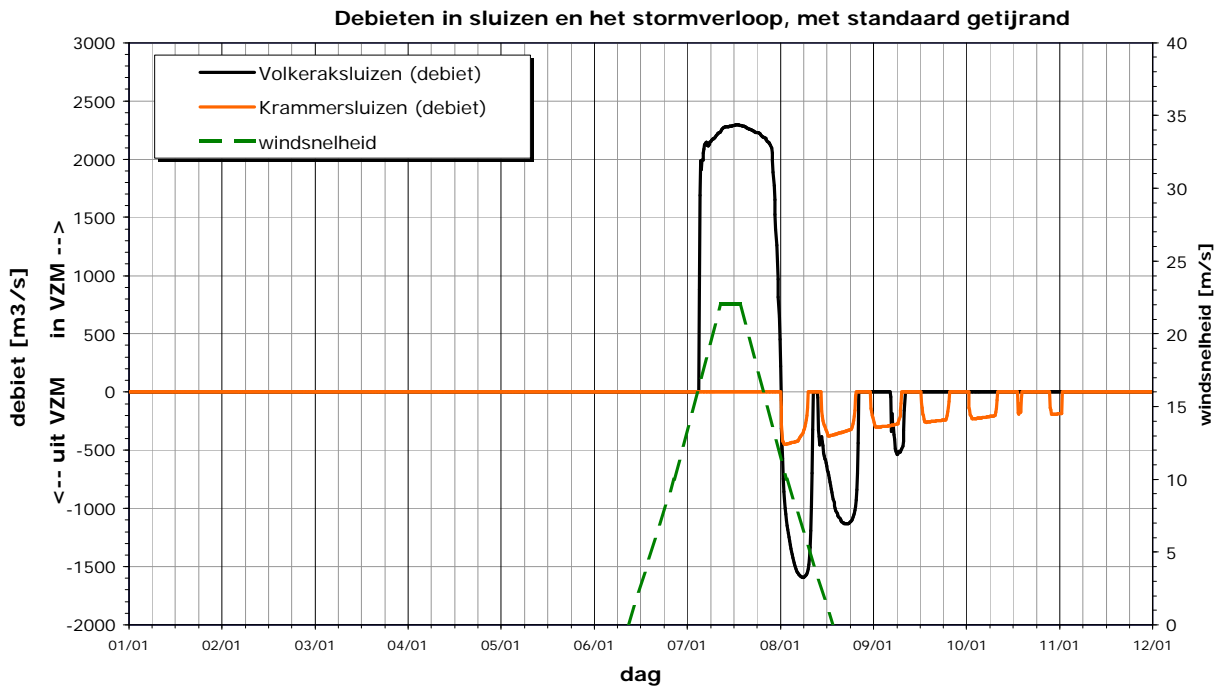
Figuur A-10 Gegeneerde waterstandsranden met het Sobek-model op de modelranden, met standaard getij voor de Oosterschelde



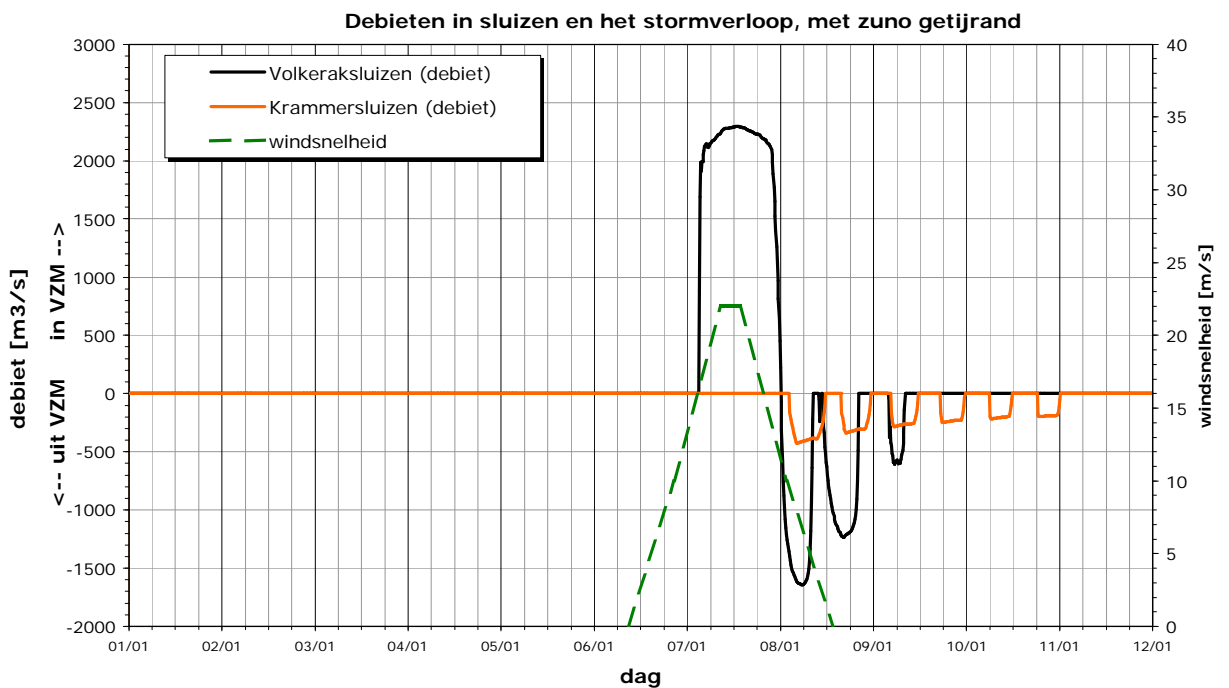
Figuur A-11 Gegeneerde waterstandsranden met het Sobek-model op de modelranden, met Zuno-getij voor de Oosterschelde

In Figuur A-12 is het verloop van het debiet door de spuismiddelen rond het Volkerak-Zoommeer weergegeven. De Krammersluizen en Bathse spuisluis gaan pas na de stormperiode open. De Volkeraksluizen laten tijdens de storm maximaal $2300 \text{ m}^3/\text{s}$ door vanuit het Hollandsch Diep naar het Volkerak-Zoommeer. Na de storm wordt via de Volkeraksluizen water op het Hollandsch Diep geloosd. Alleen het debiet via de Krammersluizen is als randvoorwaarde

gebruikt in het Delft3D-model van de Oosterschelde. Ruim drie dagen na de storm is de waterstand op het Volkerak-Zoommeer weer ongeveer op het streefpeil, zie Figuur A-10 en Figuur A-11, en worden alle spuisluizen gesloten. Het instromende water naar de Oosterschelde is zoet.



Figuur A-12 Gegeneerde debietranden voor het Delft3D model rond het Volkerak-Zoommeer, met standaard getij



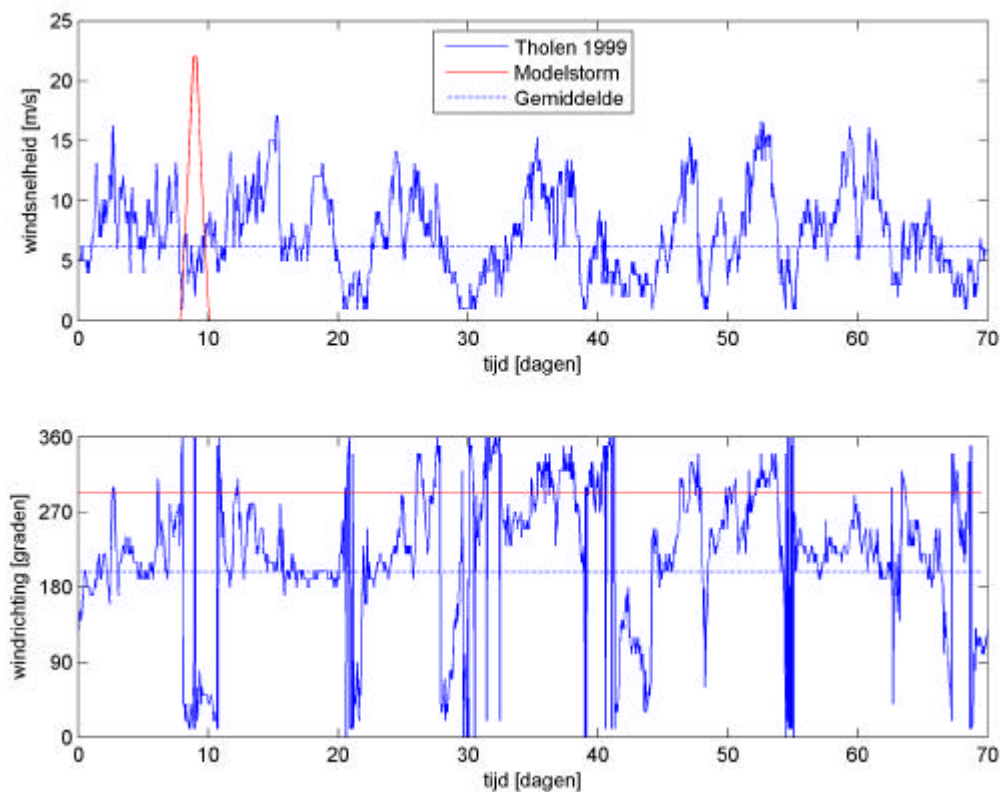
Figuur A-13 Gegeneerde debietranden voor het Delft3D model rond het Volkerak-Zoommeer, met Zuno-getij

Bijlage B: Gehanteerde windreeksen

Voor de uitgevoerde berekeningen zijn, zo veel als mogelijk, de uitgangspunten voor de achterliggende Sobek-berekeningen gehanteerd. Een onderdeel van deze uitgangspunten was de standaard modelstorm die is opgelegd voor het windreeksen. Deze standaard modelstorm kent een snelheidsverloop dat begint met 0 m/s, lineair oploopt over een periode van 24 uur tot een peeksnelheid van 22 m/s, dan 5 uur constant blijft en vervolgens in 24 uur afneemt tot 0 m/s. Voor de windrichting is een constante richting gekozen: west-noordwest (292,5 graden).

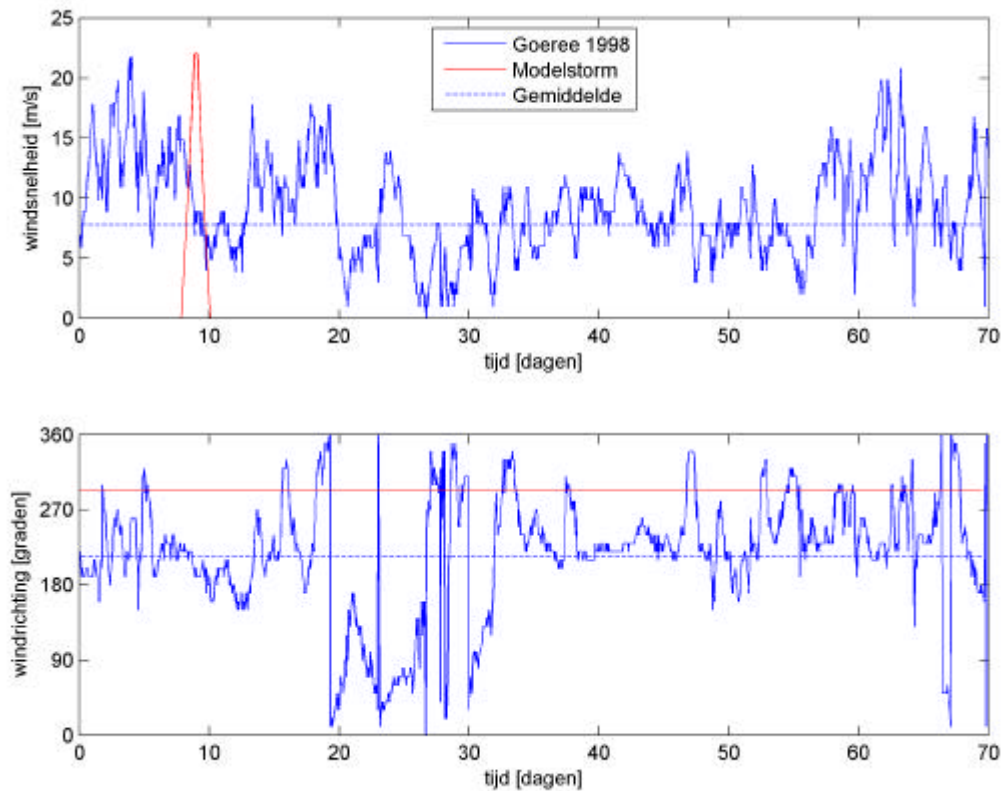
Aangezien met name het volledig ontbrekende windreeksen buiten de stormperiode niet per sé realistisch is, is een gevoeligheidsberekening uitgevoerd, die gebruik maakt van gemeten windsnelheden en windrichtingen. Deze gemeten windreeksen zijn een onderdeel van het gebruikte, aangeleverde Delft3D-instrumentarium. Voor de berekeningen met het Delft3D Volkerak-Zoommeermodel is gebruik gemaakt van een windreeksen dat gemeten is in Tholen in het jaar 1999, voor de berekeningen met het Delft3D Oosterscheldemodel is gebruik gemaakt van een windreeksen dat gemeten is op Goeree in het jaar 1998.

In Figuur B-1 is getoond hoe het verloop van het windreeksen is in de tijd op de locatie Tholen, evenals het verloop van de standaard modelstorm.



Figuur B-1 Gemeten windsnelheden in m/s (bovenste figuur) en windrichtingen in graden (onderste figuur) voor zowel de locatie Tholen, als voor de standaard modelstorm

Het verloop van de windsnelheden en windrichtingen voor zowel de locatie Goeree als de standaard modelstorm is gegeven in Figuur B-2.



Figuur B-2 Gemeten windsnelheden in m/s (bovenste figuur) en windrichtingen in graden (onderste figuur) voor zowel de locatie Goeree, als voor de standaard modelstorm

De getoonde figuren B-1 en B-2 geven enige achtergrond bij de gehanteerde windstatistiek zoals gebruikt in enkele Delft3D berekeningen. Benadrukt wordt dat de gemeten windstatistiek niet zozeer bedoeld is om een *realistisch* windreeks op te leggen, maar veeleer om een beeld te geven van de invloed die wind heeft op de berekeningsresultaten en met name de ontwikkeling van de saliniteit/chloriniteit in de tijd.

De interactie tussen de wind en de stroming wordt gelegd door een windgerelateerde schuifspanning toe te voegen aan de impulsvergelijkingen ter plaatse van het vrij oppervlak. Deze schuifspanning is afhankelijk van de dichtheid van lucht, een weerstandscoefficiënt en de windsnelheid op 10 meter hoogte van het wateroppervlak. De weerstandscoefficiënt is afhankelijk gemaakt van de windsnelheid op 10 meter hoogte middels een uitdrukking ontleend aan Smith & Banke, welke luidt (zie ook de Flow Manual van Delft3D):

$$C_d(U_{10}) = \begin{cases} C_d^A, & U_{10} \leq U_{10}^A, \\ C_d^A + (C_d^B - C_d^A) \frac{U_{10} - U_{10}^A}{U_{10}^B - U_{10}^A}, & U_{10}^A \leq U_{10} \leq U_{10}^B, \\ C_d^B, & U_{10}^B \leq U_{10}, \end{cases}$$

De door de gebruiker op te geven waarden voor C_d (zowel A als B) en U_{10} (zowel A als B) zijn ontleend aan de instellingen zoals gehanteerd in het aangeleverde model.