

Ontwerpstudie en praktijkproef Zoutlekbepierking Volkeraksluizen

**Scenarioberekeningen verspreiding zoutlek Volkeraksluizen
in het Benedenrivierengebied**

Th. van der Kaaij

1201226-009

Titel

Ontwerpstudie en praktijkproef Zoutlekbepierking Volkeraksluizen
 Scenarioberekeningen verspreiding zoutlek Volkeraksluizen in het Benedenriviereengebied

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Waterdienst	1201226-009	1201226-009-ZKS-0002	38
Classificatie			
vertrouwelijk tot juni 2011			

Trefwoorden

Volkeraksluizen, zoutlek, zoetwatervoorziening, Haringvliet Hollandsch Diep, Spui

Samenvatting

Voor het oplossen van het blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer concludeert de planstudie/MER voor dit gebied dat het zoute alternatief de enige effectieve maatregel is, waarbij dit alternatief tevens de basis legt voor een duurzaam en gezond ecologisch systeem. Het verzilten van het Volkerak betekent dat de Volkeraksluizen weer, net als in het verleden, een scheiding vormen tussen zout en zoet water. Tijdens elke schutting lekken de Volkeraksluizen zout water van het Volkerak naar het Haringvliet en het Hollandsch Diep. Aan Deltares is gevraagd om de verspreiding van een zoutlek van 60 kg/s in kaart te brengen.

Het effect van een zoutlek van 60 kg/s ter plaatse van de Volkeraksluizen is bepaald middels numerieke berekeningen. Aangezien verziltingsproblemen zich manifesteren tijdens droge perioden, zijn een 2-tal droge perioden (2003 en 2009) gesimuleerd.

Als eerste zijn berekeningen uitgevoerd met het 3-dimensionale Zeedeltamodel van Rijkswaterstaat. Deze berekeningen resulteren in significante chloriniteitsverhogingen, in relatie tot achtergrondchloriniteit en streefwaarden, in met name het Haringvliet en het Spui. Voor het Hollandsch Diep geldt dat het effect van het zoutlek niet verder reikt dan Boezem Loozende, dat westelijk van de monding van de Dortsche Kil ligt.

Metingen uit 1986 lijken aan te geven dat het Zeedeltamodel teveel verticale menging berekent met name in het Haringvliet. Dit zou kunnen betekenen dat chloriniteitsverhogingen zoals bepaald met het Zeedeltamodel groter zijn dan in werkelijkheid. Om te onderzoeken wat het effect van te grote verticale menging is, is een detailmodel van Haringvliet/Hollandsch Diep en het Spui opgezet. Met dit detailmodel zijn berekeningen uitgevoerd waarbij de verticale laagdikte vast is in plaats van een zeker percentage van de waterdiepte. Deze verticale schematisatie is beter geschikt voor semi-stagnante wateren als het Haringvliet en Hollandsch Diep omdat minder kunstmatige menging optreedt. Uit de met dit detailmodel uitgevoerde berekeningen voor droge perioden wordt geconcludeerd dat:

- De resultaten van de vaste lagen berekeningen met het detailmodel stemmen, kwalitatief althans, beter overeen met het beeld dat ontstaat uit de metingen van 1986. De grootste verschillen met de eerder uitgevoerde Zeedeltaberekening treden op in de diepe doorgaande geul noordelijk van Tiengemeten (het Vuile Gat). Waar in de Zeedeltaberekeningen deze geul volledig gemengd is, laat de vaste lagen berekening een sterke stratificatie zien.
- Voor station Hitsertse Kade geldt dat de verhoging van chloriniteit als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s bij het oppervlak ongeveer 100 à 150 mg/l bedraagt. Bij de bodem is deze verhoging ongeveer 500 à 800 mg/l.
- Bij station Koert bedraagt de verhoging van chloriniteit als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s ongeveer 150 à 200 mg/l, zowel bij het oppervlak als bij de bodem.
- Voor het zuidelijk deel van het Spui, vanaf de monding tot de Bernisse, geldt dat de chloriniteitsverhoging als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s ongeveer 150 mg/l bedraagt.
- De berekeningsresultaten zijn schaalbaar, i.e. een verdubbeling van de zoutvracht resulteert in een verdubbeling van chloriniteit, halvering van de zoutvracht in halvering van chloriniteit.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	13-1-2011	ir. Th. van der Kaaij		dr. E.D. de Goede		ir. T. Schilperoort	
2	28-3-2011	ir. Th. Van der Kaaij		dr. E.D. de Goede		ir. T. Schilperoort	
3	21-4-2011	ir. Th. Van der Kaaij	TK	dr. E.D. de Goede	EdG	ir. T. Schilperoort	

Status

definitief

Inhoud

Lijst met Figuren	iii
1 Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Beknopt overzicht van het gehele onderzoek	1
1.3 Activiteiten en deeltaken	4
1.4 Overzicht van producten van het project	5
1.5 Doel van dit rapport	5
1.6 Leeswijzer	6
1.7 Projectteam	6
2 Samenvatting verificatieresultaten	7
2.1 Algemeen	7
2.2 Verificatiegegevens	10
2.3 Resultaten verificatie	11
2.4 Conclusies met betrekking tot zoutverspreiding in het Haringvliet en Hollandsch Diep	12
3 Definitie scenarioberekeningen	13
3.1 Algemeen	13
3.2 Berging van gelekt zout in diepe geulen	13
3.3 Verversing Haringvliet	14
3.4 Conclusies	16
4 Resultaten scenarioberekeningen Zeedeltamodel	17
4.1 Algemeen	17
4.2 Resultaten scenarioberekeningen	17
4.3 Vergelijking met SOBEK-berekeningen voor 2003	18
4.4 Conclusies scenarioberekeningen Zeedeltamodel	20
5 Detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep	21
5.1 Aanvullende meetgegevens	21
5.2 Schematisatie Detailmodel	22
5.2.1 Rekenrooster	22
5.2.2 Bodemschematisatie Detailmodel	24
5.2.3 Randvoorwaarden	24
5.2.4 Overige instellingen	25
5.3 Scenarioberekening voor 2003	25
5.3.1 Referentieberekening vaste lagen	25
5.3.2 Gevoeligheidsberekeningen	29
5.4 Conclusies berekeningen detailmodel	38

Bijlage(n)

A	Maandelijkse afvoeren voor de Haringvlietsluizen en voor het Spui	A-1
B	Resultaten scenarioberekeningen 2003	B-1
C	Resultaten scenarioberekeningen 2009	C-1
D	Resultaten referentieberekening vaste lagen model	D-1
E	Referenties	E-1

Lijst met Figuren

Figuur 1.1	De Volkeraksluizen vormen de verbinding tussen het Volkerak en het Hollandsch Diep. De scheepvaartsluizen bestaan uit 3 beroepsvaartsluizen en 1 jachtensluis. (Bron: Google Earth)	2
Figuur 1.2	Zoetwater innamepunten in en rondom het Volkerak (Bron: Zoet Water Zuidwestelijke Delta, juni 2009).....	2
Figuur 1.3	Schematische weergave van zoutlekbeperkende maatregelen in een scheepvaartsluis met zoet-zout scheiding: luchtbellenscherm in combinatie met zoetwaterinjectie en zoetwater instroom via de sluisdeuren. (Bron: Rijkswaterstaat).....	3
Figuur 1.4	Overzicht van deeltaken in de Ontwerpstudie en Praktijkproeven Zoutlekbeperving Volkeraksluizen.	5
Figuur 2.1	Rekenrooster Zeedeltamodel (gehele modelgebied).....	7
Figuur 2.2	Rekenrooster Zeedeltamodel (ingezoomd op het Haringvliet en Hollandsch Diep)	8
Figuur 2.3	Berekende (in zwart) en gemeten (in rood) saliniteit ter plaatse van de Beerenplaat (noodinlaat Evides)	9
Figuur 2.4	Gemeten (in rood) en berekende (in zwart) saliniteit ter plaatse van Zuidland (zoet water inlaat Bernisse).....	9
Figuur 2.5	Voorbeeld beschikbare meetgegevens.....	10
Figuur 2.6	Tijdreeks chloridevracht gelekt door de Haringvlietsluizen.....	11
Figuur 2.7	Karakteristiek resultaat definitieve verificatieberekening	11
Figuur 3.1	Bodemligging Haringvliet/Hollandsch diep. Polygonen diepe geulen direct in verbinding met de Volkeraksluizen en dus beschikbaar voor de berging van zout	13
Figuur 3.2	Hypsometrische curves Haringvliet/Hollandsch Diep (rood diepe geulen afgebakend door polygonen; zwart gehele Haringvliet/Hollandsch Diep)	14
Figuur 3.3	Debiet Haringvlietsluizen in 2003 en 2009 (m ³ /s)	15
Figuur 4.1	Vergelijking SOBEK-NDB (1-dimensionaal) met Zeedelta (3-dimensionaal) berekeningsresultaten. Zoutlek Volkeraksluizen (60 kg/s)	19
Figuur 5.1	Chloridemetingen 29 september 1986, gesloten Haringvlietsluizen, Zoutlek onbekend	21
Figuur 5.2	Chloridemetingen 8 oktober 1986, gesloten Haringvlietsluizen, Zoutlek onbekend	22
Figuur 5.3	Rekenrooster detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui (gehele rooster)	23
Figuur 5.4	Rekenrooster detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui (detail nabijheid Volkeraksluizen)	23

Figuur 5.5	Bodemschematisatie Detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui	24
Figuur 5.6	Berekeningsresultaten Zeedeltamodel (σ -lagen;achtergrond) tegen detailmodel (gekleurde bollen, vaste lagen).....	25
Figuur 5.7	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, referentieberekening detailmodel	26
Figuur 5.8	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, referentieberekening detailmodel.....	27
Figuur 5.9	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, monding Spui, referentieberekening detailmodel	27
Figuur 5.10	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, referentieberekening detailmodel	28
Figuur 5.11	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, referentieberekening detailmodel	28
Figuur 5.12	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade , effect laagdikte	29
Figuur 5.13	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, effect laagdikte	30
Figuur 5.14	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, Monding Spui, effect laagdikte.....	30
Figuur 5.15	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse , effect laagdikte.....	31
Figuur 5.16	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek , effect laagdikte.....	31
Figuur 5.17	Berekende watertemperatuur te Hitsertse Kade	32
Figuur 5.18	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, effect temperatuurstratificatie	32
Figuur 5.19	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, effect temperatuurstratificatie.....	33
Figuur 5.20	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, monding Spui, effect temperatuurstratificatie	33
Figuur 5.21	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, effect temperatuurstratificatie	34
Figuur 5.22	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, effect temperatuurstratificatie	34
Figuur 5.23	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, effect grootte zoutlek.....	35
Figuur 5.24	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert Kade, effect grootte zoutlek	36
Figuur 5.25	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, Monding Spui, effect grootte zoutlek	37

Figuur 5.26	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, effect grootte zoutlek	37
Figuur 5.27	Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, effect grootte zoutlek	37
Figuur B.1	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet West	B-1
Figuur B.2	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet West.....	B-1
Figuur B.3	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet Oost.....	B-2
Figuur B.4	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet Oost	B-2
Figuur B.5	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Diep	B-3
Figuur B.6	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Diep.....	B-3
Figuur B.7	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui West	B-4
Figuur B.8	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Spui West.....	B-4
Figuur B.9	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui Noord.....	B-5
Figuur B.10	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui Noord.....	B-5
Figuur B.11	Chloriniteitsverhoging te Hitsertse Kade als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003.....	B-6
Figuur B.12	Chloriniteitsverhoging te Koert als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003	B-6
Figuur B.13	Chloriniteitsverhoging te Bernisse als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003	B-7
Figuur B.14	Chloriniteitsverhoging te Scheelhoek als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003.....	B-7
Figuur B.15	Chloriniteitsverhoging te Beerenplaat (oude Maas) als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003	B-8
Figuur B.16	Chloriniteitsverhoging te Roode Vaart als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003.....	B-8
Figuur C.1	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet West	C-1
Figuur C.2	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet West.....	C-1

Figuur C.3	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet Oost	C-2
Figuur C.4	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet Oost.....	C-2
Figuur C.5	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Diep.....	C-3
Figuur C.6	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Diep	C-3
Figuur C.7	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui West.....	C-4
Figuur C.8	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Spui West.....	C-4
Figuur C.9	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui Noord	C-5
Figuur C.10	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui Noord	C-5
Figuur C.11	Chloriniteitsverhoging te Hitsertse Kade als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009	C-6
Figuur C.12	Chloriniteitsverhoging te Koert als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009 .	C-6
Figuur C.13	Chloriniteitsverhoging te Bernisse als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009	C-7
Figuur C.14	Chloriniteitsverhoging te Scheelhoek als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009	C-7
Figuur C.15	Chloriniteitsverhoging te Beerenplaat als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009	C-8
Figuur C.16	Chloriniteitsverhoging te Roode Vaart als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009	C-8
Figuur D.1	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet West	D-1
Figuur D.2	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet West	D-1
Figuur D.3	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet Oost.....	D-2
Figuur D.4	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet Oost.....	D-2
Figuur D.5	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Hollandsch Diep	D-3
Figuur D.6	Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Hollandsch Diep	D-3
Figuur D.7	Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Zuid	D-4

- Figuur D.8 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Zuid D-4
- Figuur D.9 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Noord D-5
- Figuur D.10 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Noord D-5

1 Inleiding

1.1 Algemeen

De Waterdienst van Rijkswaterstaat heeft op 3 november 2009 opdracht gegeven aan Deltares voor de uitvoering van de "Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen" (zaaknummer 31030032). Deze studie wordt uitgevoerd onder de voorwaarden van de raamovereenkomst met nummer WD-4924 betreffende "Specialistische adviezen van de Stichting Deltares t.b.v. het Ministerie van Verkeer en Waterstaat".

Het (Deltares) onderzoek is ondersteund door een begeleidingsgroep welke is samengesteld uit vertegenwoordigers van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Water en de betrokken diensten van Rijkswaterstaat (Waterdienst, Dienst Infrastructuur, Dienst Zeeland, Dienst Zuid-Holland, en Dienst IJsselmeergebied).

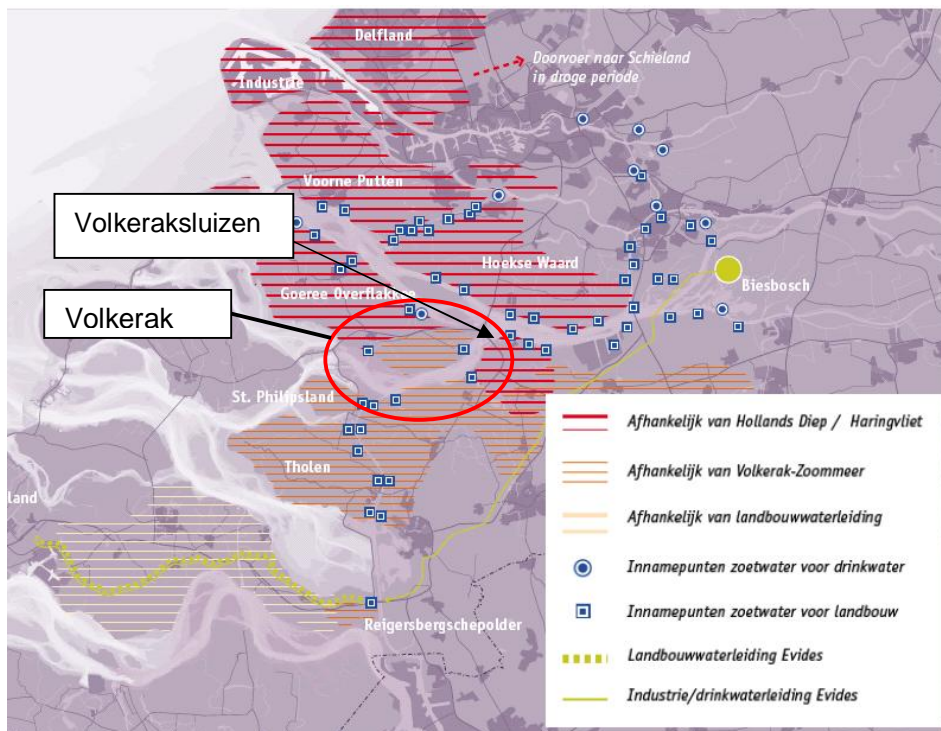
1.2 Beknopt overzicht van het gehele onderzoek

Voor het oplossen van het blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer concludeert de planstudie/MER dat het zoute alternatief de enige effectieve maatregel is, waarbij dit alternatief tevens de basis legt voor een duurzaam en gezond ecologisch systeem. Het toelaten van zout water uit de Oosterschelde in het Volkerak-Zoommeer sluit aan op het advies van de Commissie Veerman en de beleidsvoornemens zoals opgenomen in het Nationaal Waterplan. Een randvoorwaarde betreft het realiseren van maatregelen voor het behoud of de verbetering van de zoetwatervoorziening rondom het Volkerak-Zoommeer en in het Noordelijk Deltabekken. Uit de planstudie/MER komt naar voren dat voor de gebieden die direct grenzen aan het Volkerak-Zoommeer, goede oplossingen aanwezig zijn voor een duurzame zoetwatervoorziening.

Wanneer het Volkerak zout wordt, lekt tijdens het schutten zout water via de Volkeraksluizen vanuit het Volkerak-Zoommeer naar het Hollandsch Diep, waar het zich vervolgens zal verspreiden naar het Haringvliet en Spui (zie Figuur 1.1 en Figuur 1.2). De stroming van zout van het Volkerak-Zoommeer naar het Hollandsch Diep noemen wij in dit rapport de "zoutlek". In het Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui bevinden zich meerdere waterinnamepunten voor de drink- en industriewatervoorziening, voor het peilbeheer en voor de watervoorziening ten behoeve van land- en tuinbouw (zie Figuur 1.2). Verkennend onderzoek heeft aangegeven dat indien de zoutlek beperkt blijft tot 60 kg/s, het chloridegehalte bij waterinnamepunten voldoende laag blijft, zodat ingrijpende mitigerende maatregelen dan niet hoeven te worden uitgevoerd.

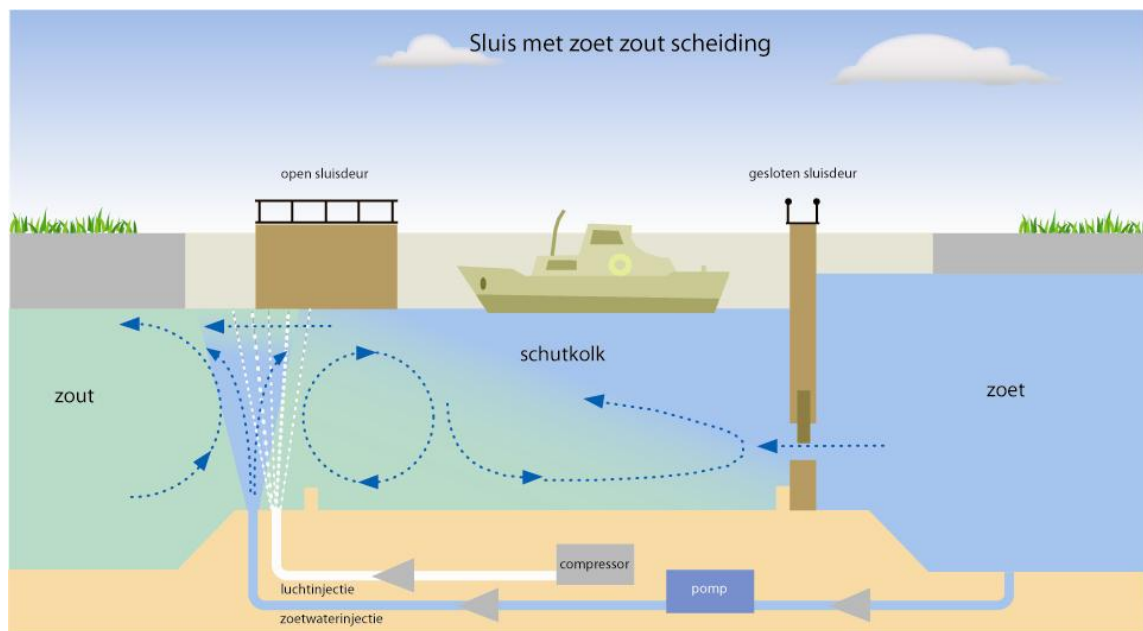


Figuur 1.1 De Volkeraksluizen vormen de verbinding tussen het Volkerak en het Hollandsch Diep. De scheepvaartsluizen bestaan uit 3 beroepsvaartsluizen en 1 jachtensluis. (Bron: Google Earth)



Figuur 1.2 Zoetwater innamepunten in en rondom het Volkerak (Bron: Zoet Water Zuidwestelijke Delta, juni 2009)

In de periode 1970-1987, toen het Volkerak nog in open verbinding stond met de Oosterschelde, werd de zoutlek van de Volkeraksluizen beperkt door diverse maatregelen. Daarbij bleken luchtbellenschermen en het spuien van zoet water door de kolken (lekkende ebedeuren) zeer effectief te zijn. Uit recente studies is gebleken dat nieuwe (innovatieve) methoden beschikbaar zijn voor een efficiënte beperking van de zoutlek zoals middelen voor een betere en dichtere verdeling van lucht over de volledige breedte van de sluiscolk en het beperken van de zoutdoordringing door de combinatie van lucht- en (zoet)waterinjectie (Figuur 1.3).



Figuur 1.3 Schematische weergave van zoutlekbeperkende maatregelen in een scheepvaartsluis met zoet-zout scheiding: luchtbellenscherm in combinatie met zoetwaterinjectie en zoetwater instroom via de sluisdeuren. (Bron: Rijkswaterstaat)

Het hoofddoel van het onderzoek is om te onderbouwen dat met implementatie van de maatregelen bij de Volkeraksluizen de zoutlek wordt beperkt tot minder dan 60 kg/s, uitgaande van het verwachte scheepsaanbod (vertaald in aantal schuttingen) in 2020. Het onderzoek heeft als kern een serie praktijkproeven, gericht op het bepalen van de effectiviteit van maatregelen die in de Volkeraksluizen kunnen worden geïmplementeerd om de zoutlek te beperken. Daarmee kan het ontwerp daarvan worden gebaseerd op in de praktijk getoetste maatregelen.

Na een verkenning door Rijkswaterstaat en Deltares is de Stevinsluis in de Afsluitdijk bij Den Oever gekozen als locatie voor de praktijkproef. De Stevinsluis is als geschikt aangemerkt vanwege de daar aanwezige zoet-zout overgang, de afmetingen van de sluis en de beschikbare infrastructuur en voorzieningen ter plaatse. In vergelijking met de Volkeraksluizen geeft de combinatie van geringere diepte en hoger zoutgehalte in de Stevinsluis een nagenoeg gelijke voortplanting van de zouttong. De overige aan dichtheid gerelateerde effecten en de werking van het luchtbellenscherm kunnen over en weer goed worden vertaald. Verder wordt de Stevinsluis op identieke manier gevuld als de Volkeraksluizen, namelijk via rinketschuiven in de sluisdeuren.

Om de zoutlek en het effect van zoutlekbeperkende maatregelen zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen, wordt een combinatie van numerieke modellering, laboratoriumproeven en veldmetingen gehanteerd:

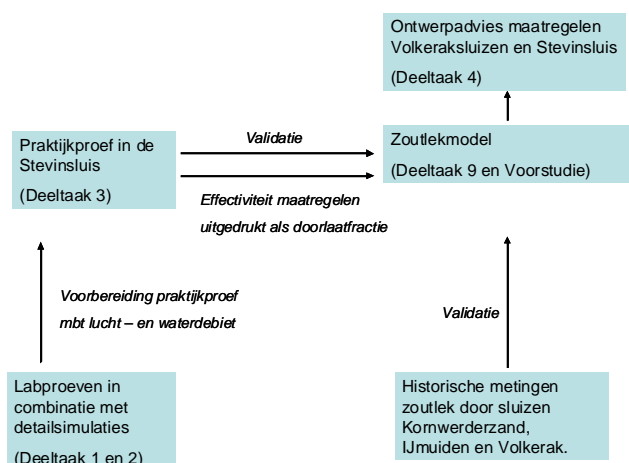
- 1 Numerieke modellering, onder te verdelen in
 - a Gedetailleerde modellering van uitwisselingsstromingen in de Stevinsluis;
 - b Berekening van de zoutlek door de Stevinsluis en de Volkeraksluizen met behulp van het zogenaamde Zoutvrachtmodel [Uittenbogaard, 2010];
 - c Modellering van zoutverspreiding in het Noordelijk Deltabekken;
- 2 Laboratoriumproeven van de combinatie uitwisselingsstroming, luchtbellenscherm en waterinjectie op kleine schaal; en
- 3 Praktijkproeven in de Stevinsluis.

1.3 Activiteiten en deeltaken

Om het onderzoek goed te organiseren en uit te voeren, is een aantal activiteiten in de vorm van deeltaken gedefinieerd. Dit betreft:

- 1 Verkenning Stevinsluis door middel van detailsimulaties met een CFX model en een SPH model;
- 2 Verkenning maatregelen in laboratoriumproeven;
- 3 Voorbereiden, uitvoeren en verwerken meetgegevens van de praktijkproeven Stevinsluis;
- 4 Evaluatie en optimalisatie maatregelen met behulp van het Zoutvrachtmodel voor (a.) Stevinsluis en (b.) Volkeraksluizen inclusief bijbehorende specificaties (effectiviteit, kosten, e.d.);
- 5 Opstellen protocol met richtlijnen voor sluis- en maatregelenbeheer;
- 6 Evaluatie door middel van deskundigenoordeel van de invloed en mogelijkheden van maatregelen ten behoeve van vismigratie (met name intrek);
- 7 Opzet en kalibratie/validatie 3D Noordelijk Deltabekken model voor zoutverspreiding inclusief scenarioberekeningen zoutlek;
- 8 Evaluatie mogelijke maatregelen voor andere sluizen;
- 9 Ontwikkeling en oplevering generiek Zoutvrachtmodel voor vergelijkbare sluizen.

Als voorbereiding van de praktijkproeven in de Stevinsluis zijn twee deeltaken uitgevoerd om vooraf een kwantitatieve schatting te hebben van het effect van een luchtbellenscherm in combinatie met een waterinjectie tegen zoutinvasie in een sluis. Deeltaak 1 betreft een serie gedetailleerde computerberekeningen en Deeltaak 2 betreft een laboratoriumstudie op kleine schaal. In beide deeltaken wordt het proces van de zoutuitwisseling in een scheepvaartsluis bij opening van de sluisdeur aan één zijde bij gelijke waterstand in kolk en voorhaven bestudeerd, al dan niet in combinatie met een luchtbellenscherm en/of een zoetwaterinjectie. In deze studies wordt geen aandacht gegeven aan andere fysische processen die van belang zijn in een schutcyclus, zoals nivellering, de door scheepvaart geforceerde waterbeweging en het effect van het openen van de deuren bij voltooiing van de schutcyclus. Het effect van deze processen wordt alleen beschouwd in de praktijkproeven bij de Stevinsluis (deeltaak 3). De resultaten van de praktijkproeven worden vervolgens gebruikt in het Zoutvrachtmodel (deeltaak 9). In deeltaak 4 wordt het Zoutvrachtmodel gebruikt om tot optimale zoutlekbeperkende maatregelen voor de Volkeraksluizen te komen en om de daggemiddelde zoutlek bij de Volkeraksluizen te berekenen. Figuur 1.4 geeft deze werkwijze schematisch weer.



Figuur 1.4 Overzicht van deeltaken in de Ontwerpstudie en Praktijkproeven Zoutlekbeperring Volkeraksluizen.

1.4 Overzicht van producten van het project

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de producten welke in het kader van het onderzoek zijn of nog zullen worden opgeleverd. Deze producten bestaan uit verslagen, rapporten, gegevensbestanden en een simulatiemodel.

Product	Deeltaak
1. Bespreekverslag van startoverleg met de opdrachtgever	
2. Rapport detailsimulaties Stevinsluis inclusief vergelijking labproef	1
3. 1 ^e versie Zoutvrachtmodel	1
4. Rapport labproeven	2
5. Digitale datasets meetgegevens labproeven	2
6. Meetplan en meetprotocol voor het uitvoeren van de praktijkproeven Stevinsluis	1 & 2
7a. Verslag tussenresultaten praktijkproeven Stevinsluis	3
7b. Rapport beschrijving en resultaten praktijkproeven Stevinsluis	3
8. Digitale datasets meetgegevens praktijkproeven	3
9. Rapport evaluatie maatregelen Stevinsluis	4a
10. Rapport evaluatie maatregelen Volkeraksluizen	4b
11a. Concept Eindrapport	alle
11b. (Definitief) Eindrapport	alle
12. Richtlijnen operationeel beheer Volkeraksluizen	5
13. Rapport evaluatie visintrek	6
14. Rapport kalibratie 3D zoutmodellering Noordelijk Deltabekken	7
15. Rapport scenarioberekeningen zoutverspreiding zoutlek Volkeraksluizen	7
16. Rapport mogelijkheden andere sluisen	8
17. Model zoutvracht sluisen inclusief handleiding	9

1.5 Doel van dit rapport

Dit rapport beschrijft hoe het zout gelekt door de Volkeraksluizen zich verspreidt in het Haringvliet, het Spui en het Hollandsch Diep. Dit komt overeen met product 15 van de studie.

Andere studieonderdelen hebben laten zien dat middels maatregelen tere plaatse van de Volkeraksluizen, een bellenscherm in combinatie met bijvoorbeeld een drempel en/of lekkende ebdeuren, de hoeveelheid gelekt zout beperkt kan worden tot 60 kg/s, zie [Uittenbogaard *et al*, 2010]. De verspreiding van het gelekte zout zoals beschreven in dit rapport is dan ook gebaseerd op een zoutlek van 60 kg/s.

Het numerieke Zeedeltamodel is het instrument waarmee de zoutverspreiding wordt uitgerekend. Voorafgaand aan de scenarioberekeningen is dit model geverifieerd, zie [van der Kaaij *et al*, 2011], met betrekking tot de berekende zoutverspreiding in het Haringvliet, het Spui en het Hollandsch Diep.

Aanvullend op de berekeningen met het Zeedeltamodel heeft de Waterdienst van Rijkswaterstaat een meerwerkopdracht verstrekt voor het uitvoeren van berekeningen met een detailmodel van het Haringvliet en het Hollandsch Diep (zaaknummer 31030032.0002; brief met kenmerk RWS/WD-2011/532). Dit nieuwe detailmodel gebruikt een vaste lagen verdeling in de verticaal in plaats van zogenaamde σ -lagen zoals gebruikt in het Zeedeltamodel. Een vaste lagen schematisatie is beter geschikt in geval van stratificatie in semi-stagnante wateren. Het eerder gebruikte Zeedeltamodel staat het gebruik van vaste lagen niet toe.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt een korte samenvatting van de verificatie van het Zeedeltamodel gegeven. De definitie van de scenario's wordt beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de scenarioberekeningen met het Zeedeltamodel. In hoofdstuk 5 wordt de opzet van het detailmodel en de uitgevoerde berekeningen met dit detailmodel besproken. De conclusies worden tenslotte gegeven in Hoofdstuk 6.

1.7 Projectteam

Bij Deltares is Nicki Villars projectleider van het gehele project. Theo van der Kaaij en Dick Verploegh hebben de inhoudelijke activiteiten van dit deelproject uitgevoerd. De kwaliteitscontrole is door Erik de Goede uitgevoerd.

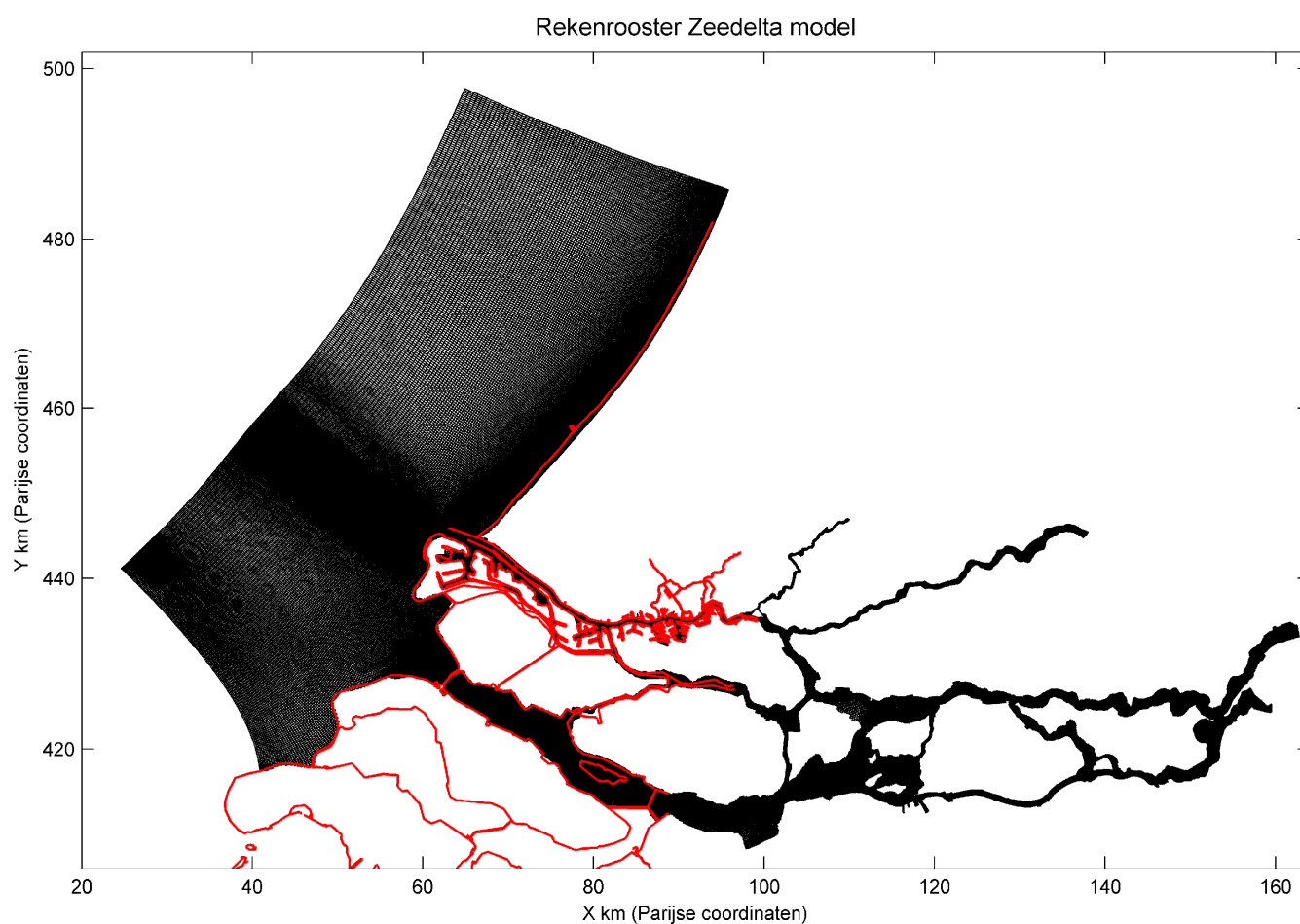
Begeleiding door de opdrachtgever is uitgevoerd door Hans van Pagee, Herman Haas en Martin Scholten (Rijkswaterstaat Waterdienst) en Vincent Beijck en Sacha de Goederen (Rijkswaterstaat Zuid-Holland).

2 Samenvatting verificatieresultaten

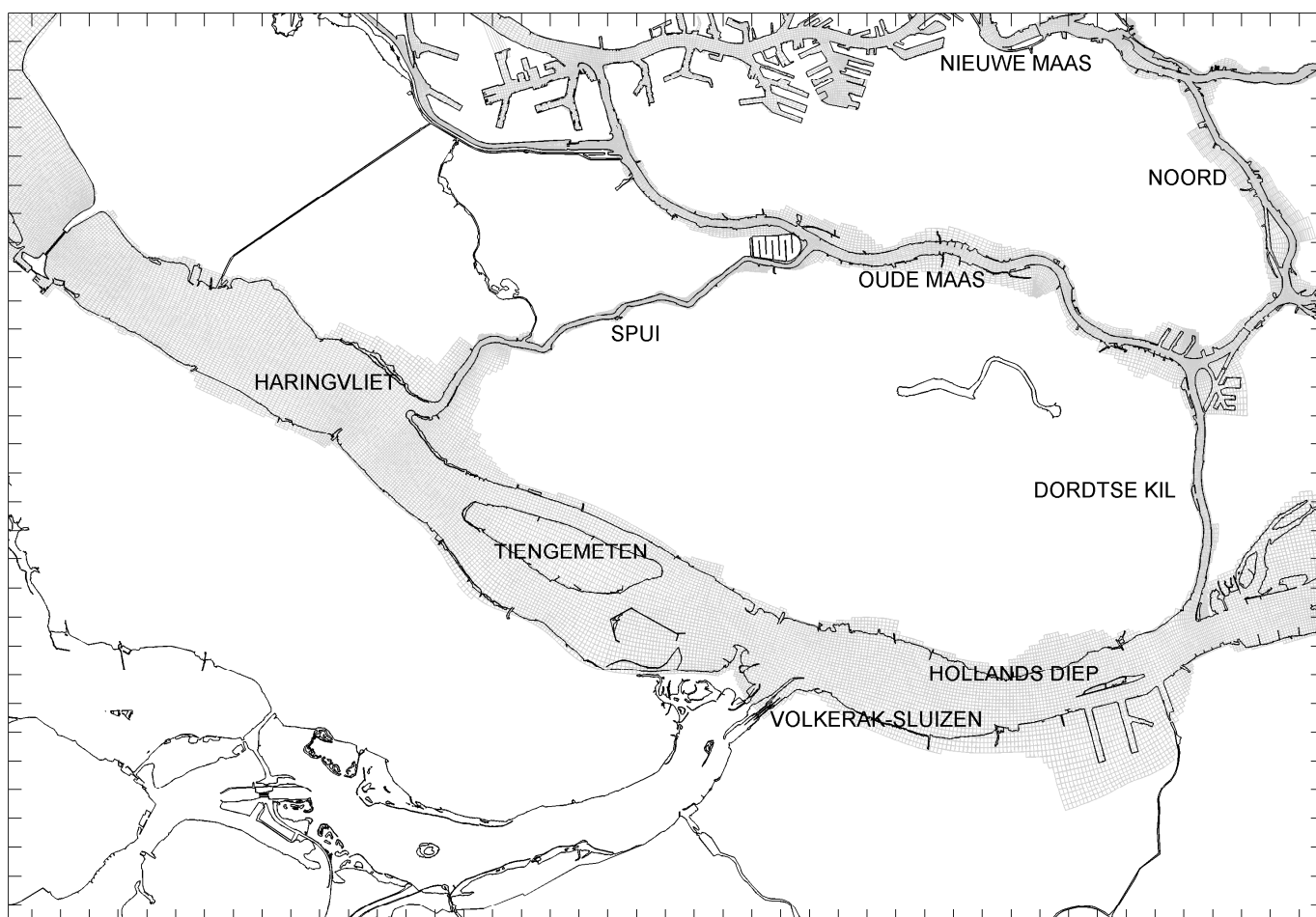
2.1 Algemeen

De scenarioberekeningen worden uitgevoerd met het Zeedeltamodel. Dit is een 3-dimensionaal waterbewegings- en zoutindringingsmodel dat de gehele zuidwestelijke delta en een deel van de Noordzee beslaat, zie Figuur 2.1. Het rekenrooster in het Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui, het gebied van specifieke interesse voor de zoutlek studie, wordt getoond in Figuur 2.2.

Eerdere zoutindringsstudies uitgevoerd met het Zeedeltamodel, [van der Kaaij *et al*, 2010], hebben laten zien dat de zoutindringing langs de zogenaamde noordrand van de delta, de Nieuwe Waterweg, de Oude en Nieuwe Maas en de Lek, goed wordt voorspeld, zie Figuur 2.3 en Figuur 2.4. Zowel de momenten van zoutindringing als de optredende chlorideconcentraties worden nauwkeurig berekend.



Figuur 2.1 Rekenrooster Zeedelta model (gehele modelgebied)

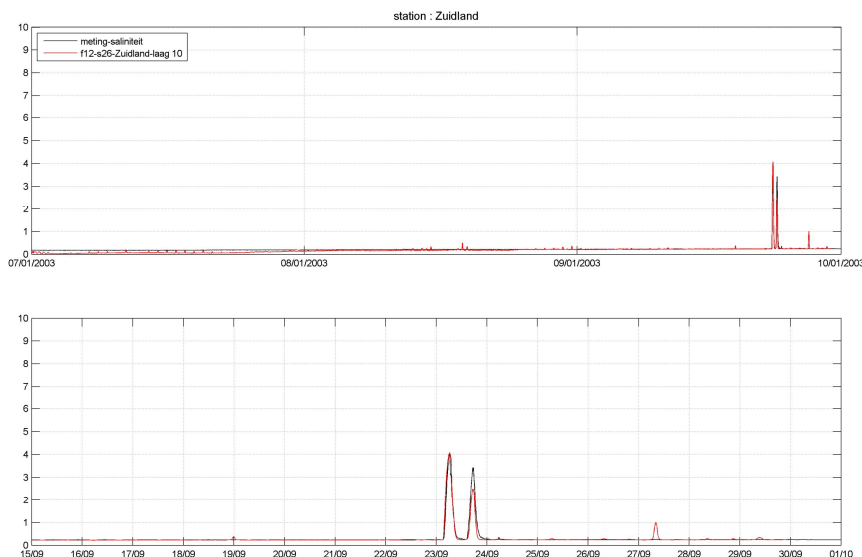


Figuur 2.2 Rekenrooster Zeedeltamodel (ingezoomd op het Haringvliet en Hollandsch Diep)

De zoutindringing langs de Noordrand wordt gedomineerd door de rivierafvoer, het getij en de windopzet op zee. Echter, voor het Haringvliet en Hollandsch Diep geldt dat deze wateren hydrodynamisch heel andere karakteristieken hebben dan de Noordrand. Getijgeïnduceerde snelheden zijn klein wat als gevolg heeft dat deze wateren zich gedragen als bijna stagnante binnenmeren.



Figuur 2.3 Berekende (in zwart) en gemeten (in rood) saliniteit ter plaatse van de Beerenplaat (noodinlaat Evides)



Figuur 2.4 Gemeten (in rood) en berekende (in zwart) saliniteit ter plaatse van Zuidland (zoet water inlaat Bernisse)

Alvorens het Zeedeltamodel toe te passen voor het berekenen van de verspreiding van gelekt zout door de Volkeraksluizen, is het model geverifieerd waar het de zoutverspreiding in Haringvliet en Hollandsch Diep betreft [van der Kaaij *et al*, 2011]¹. De beschikbare metingen

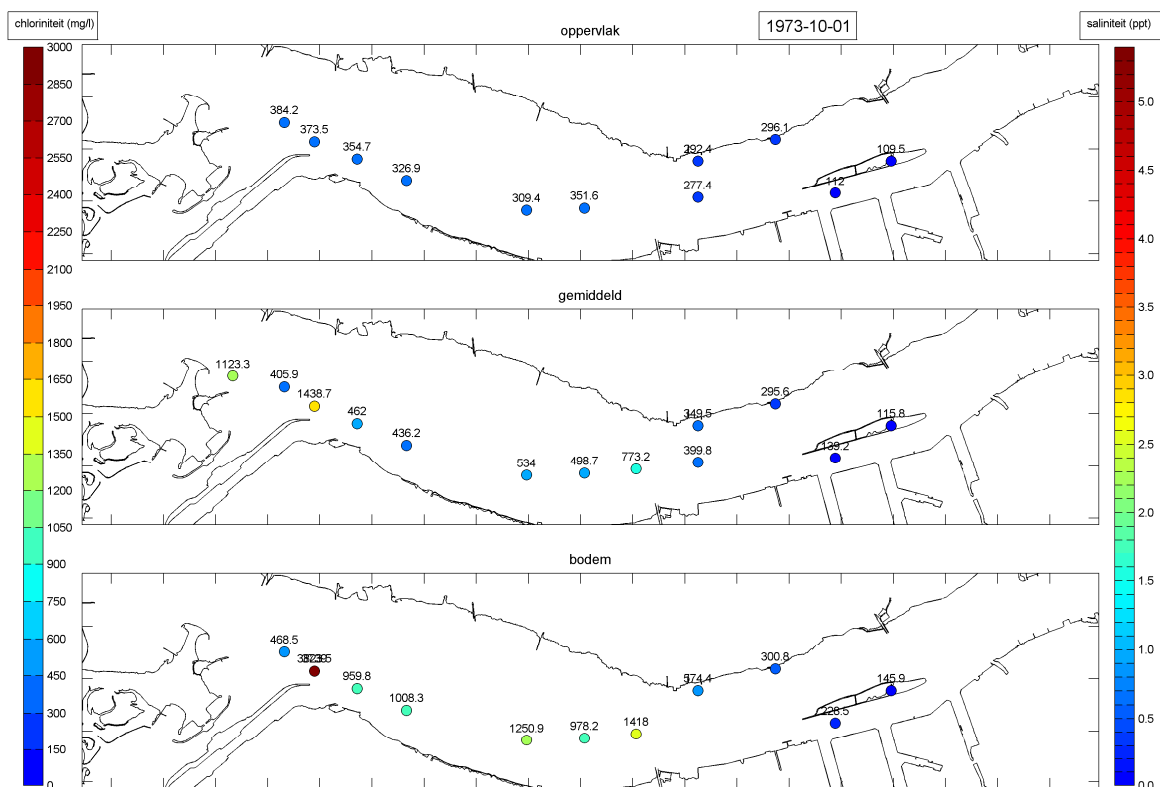
1. Naast berekeningsresultaten van de verificatieberekeningen voor het stagnante Haringvliet en Hollandsch Diep, bevat dit rapport ook berekeningsresultaten uit eerdere studies voor de getijgedomineerde Noordrand van het Noordelijk Deltabekken

worden beschreven in Paragraaf 2.2. Karakteristieke verificatieresultaten worden getoond in Paragraaf 2.3. Conclusies worden gegeven in Paragraaf 2.4.

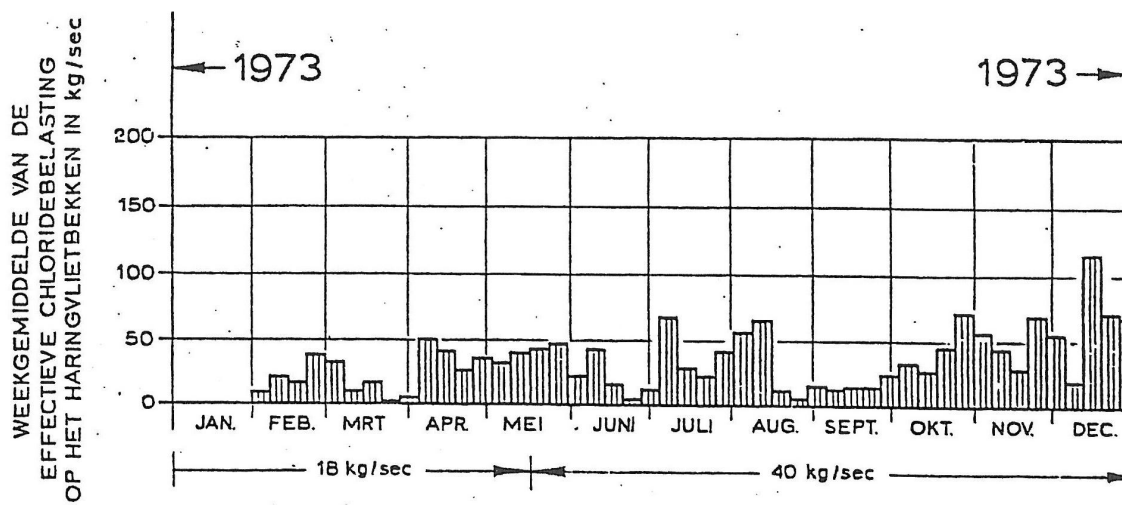
2.2 Verificatiegegevens

Voor 1987 was het Volkerak een zoute zeearm die in verbinding stond met de Oosterschelde. De Volkeraksluizen fungeerden als zout/zoet scheiding. Gedurende de 70-er jaren van de vorige eeuw zijn continu chloride gehalten in het Haringvliet en het Hollandsch Diep gemeten o.a. met als doel de hoeveelheid zout gelekt door de Volkeraksluizen te bepalen. Veel van deze metingen zijn helaas verloren gegaan. Alleen voor het jaar 1973 is nog een deel van de metingen beschikbaar, zie [Rijkswaterstaat, jaar onbekend]. Om vast te stellen hoe goed het Zeedeltamodel verspreiding van zout gelekt door de Volkeraksluizen beschrijft, zijn simulaties uitgevoerd voor perioden in 1973 en vergeleken met de metingen. Een voorbeeld van de beschikbare meetgegevens wordt getoond in Figuur 2.5.

Naast metingen van chlorideconcentraties is voor 1973 ook bekend hoeveel zout gelekt is door de Volkeraksluizen, zie Figuur 2.6. Met deze reeks als zoutrandvoorwaarde ter plaatse van de Volkeraksluizen zijn de verificatieberekeningen uitgevoerd.



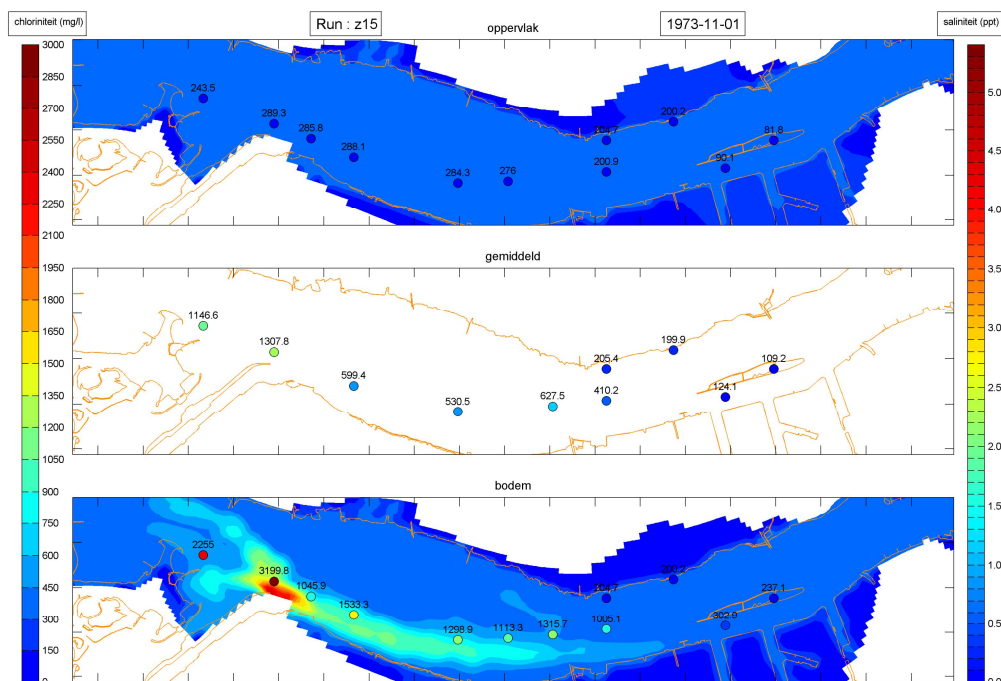
Figuur 2.5 Voorbeeld beschikbare meetgegevens



Figuur 2.6 Tijdsreeks chloridevracht gelekt door de Haringvlietsluizen

2.3 Resultaten verificatie

Een karakteristiek resultaat van de definitieve verificatieberekening wordt getoond in Figuur 2.7.



Figuur 2.7 Karakteristiek resultaat definitieve verificatieberekening

Uit de vergelijking van de berekende chlorideconcentraties met gemeten waarden volgt dat:

- In de berekening het zout gelekt door de Volkeraksluizen teveel mengt over de verticaal. Nabij het oppervlak worden chlorideconcentraties berekend die hoger zijn dan waargenomen.

- Er wordt meer horizontale verspreiding berekend dan is waargenomen. Langs de oevers van het Hollandsch Diep worden, zowel bij het oppervlak als bij de bodem, hogere concentraties berekend dan waargenomen.

2.4 Conclusies met betrekking tot zoutverspreiding in het Haringvliet en Hollandsch Diep

De belangrijkste conclusie uit de verificatie van het Zeedeltamodel met betrekking tot de verspreiding van zout gelect door de Volkeraksluizen is:

De horizontale verspreiding en de verticale menging van zout gelect door de Volkeraksluizen wordt overschat in berekeningen met het Zeedeltamodel. Dit resulteert in chloride concentraties bij het oppervlak en nabij de ondiepe oevers die te hoog zijn en chlorideconcentraties bij de bodem in de diepe geulen die te laag zijn. Bij de interpretatie van scenarioberekeningen moet met deze verschillen rekening worden gehouden. De berekende toename van chloridegehalte in de oppervlaktelaag is vermoedelijk hoger dan in werkelijkheid.

Uit: [van der Kaaij *at al*, 2011]

3 Definitie scenarioberekeningen

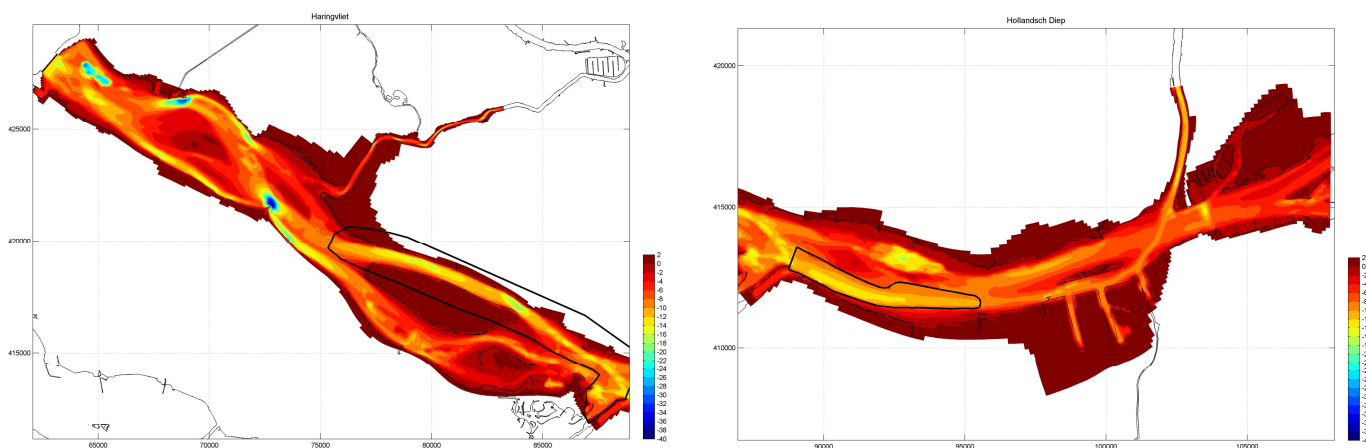
3.1 Algemeen

De definitie van scenario's is gebaseerd op schattingen van de hoeveelheid zout die in de diepe geulen geborgen kan worden en de verversing/verblijftijden van/in het Haringvliet. Berging van zout in diepe geulen veronderstelt een sterk gelaagd systeem met een volledig zoete bovenlaag en een volledig zoute onderlaag (de in het systeem aanwezige diepe geulen). De schatting van verblijftijden veronderstelt een volledig gemengd systeem.

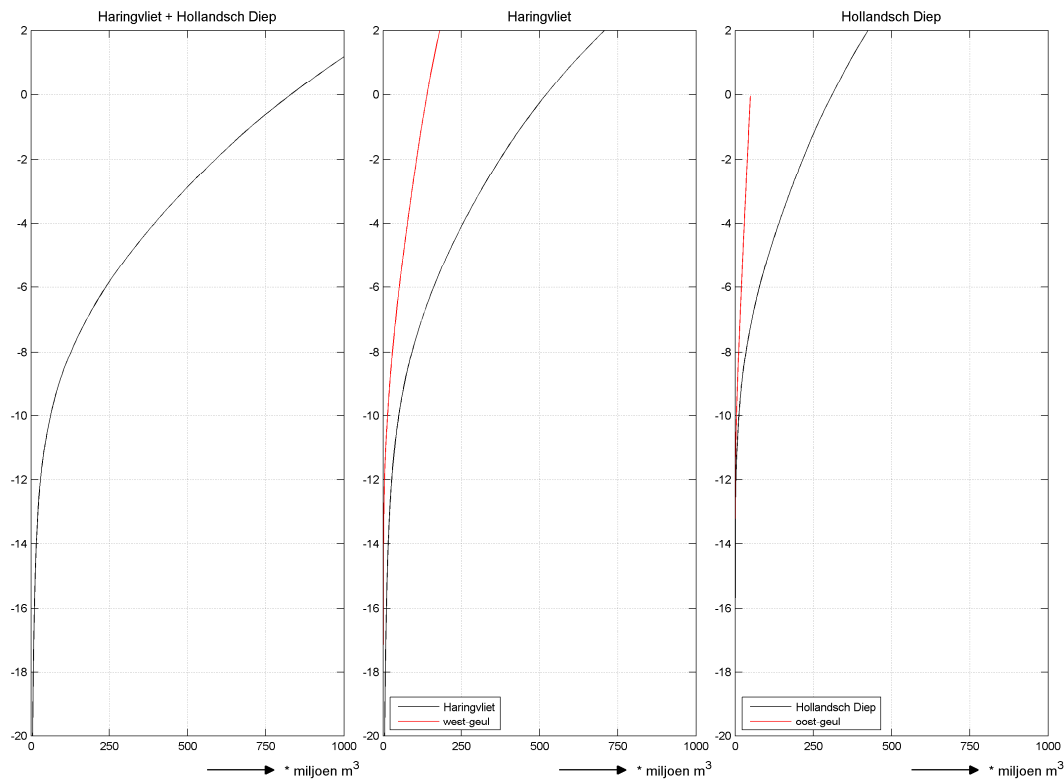
Voor de zoetwatervoorziening zijn zogenaamde droge perioden, perioden met een lage bovenrijnafvoer, het meest kritisch. Vandaar dat is gekeken naar een 2-tal droge jaren, i.e. 2003 en 2009.

3.2 Berging van gelekt zout in diepe geulen

De bodemligging van het Haringvliet en het Hollandsch Diep wordt getoond in Figuur 3.1. De in Haringvliet en Hollandsch Diep aanwezige diepe geul is aangegeven door middel van een polygoon (in zwart). De bij deze polygoon behorende hypsometrieën worden getoond in Figuur 3.2.



Figuur 3.1 Bodemligging Haringvliet/Hollandsch diep. Polygonen diepe geulen direct in verbinding met de Volkeraksluizen en dus beschikbaar voor de berging van zout



Figuur 3.2 Hypsometrische curves Haringvliet/Hollandsch Diep (rood diepe geulen afgebakend door polygonen; zwart gehele Haringvliet/Hollandsch Diep)

Het watervolume beneden 6 m NAP bedraagt 200 miljoen m³ in het Haringvliet en 50 miljoen m³ in het Hollandsch Diep, in totaal 250 miljoen m³. Om dit volume, initieel zoet, te vervangen door zout water met een zoutgehalte van 4 psu (overeenkomend met een chlorideconcentratie van ongeveer 2000 mg/l, het maximum van nabij de bodem gemeten chloridegehalten) geldt bij een zoutlek van 60 kg/s een “vervangingsijd” van:

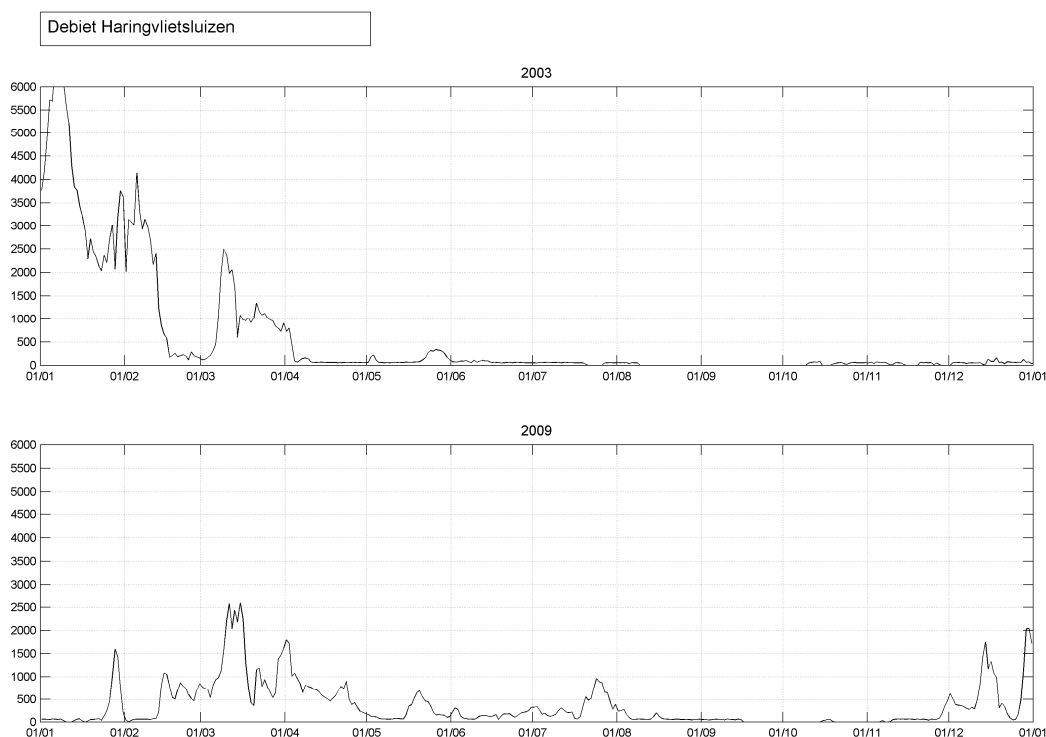
$$\begin{aligned} \text{Zoutlek} &= Q \cdot S = 60 \text{ kg/s} && \rightarrow Q = 15 \text{ m}^3/\text{s} \\ T &= 250 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 15 \text{ m}^3/\text{s} \approx 190 \text{ dagen} \end{aligned}$$

Uitgaande van een zoet Haringvliet/Hollandsch Diep zijn bij geen afvoer, verversing en verticale menging in ongeveer een half jaar de diepe geulen in het Haringvliet en Hollandsch Diep gevuld met zout water afkomstig uit het Volkerak.

3.3 Verversing Haringvliet

Figuur 3.3 toont de debieten door de Haringvlietsluizen voor de droge jaren 2003 en 2009. De getalwaarden van deze afvoeren worden gegeven in Tabel A.1. Voor het jaar 2003 geldt dat de Haringvlietsluizen vanaf ongeveer 1 juni bijna continu gesloten zijn geweest. De maandgemiddelde afvoeren door de Haringvlietsluizen bedragen minder dan 50 m³/s. In 2009 waren de Haringvlietsluizen gesloten in de maanden augustus, september, oktober en november.

Naast afvoer door de Haringvlietsluizen wordt ook rivierwater afgevoerd door het Spui. De restdebieten door het Spui zoals afgeleid uit SOBEK-NDB berekeningen worden gegeven in Tabel A.2.



Figuur 3.3 Debiet Haringvlietsluizen in 2003 en 2009 (m^3/s)

De netto restafvoer door het Hollandsch Diep en het Haringvliet (tot aan de monding van het Spui) is het geringst voor de maanden augustus, september en oktober 2003. Voor deze maanden bedraagt de gemiddelde restafvoer $175 m^3/s$. Uit deze restafvoer kan, onder de aanname van een goed gemengd systeem, de verblijftijd geschat worden. De verblijftijd is een maat voor het "schoonsoelen" van het Haringvliet en Hollandsch Diep, i.e. de tijd benodigd om zout gelect door de Volkeraksluizen en opgehoopt in het Haringvliet en het Hollandsch Diep af te voeren naar zee (dan wel door de Haringvlietsluizen dan wel door het Spui). Het volume van het Haringvliet en Hollandsch Diep onder de 0 m NAP bedraagt 800 miljoen m^3 . Een restafvoer van $175 m^3/s$ impliceert dan een verversingstijd² van bijna twee maanden.

-
2. De verversingstijd is gedefinieerd als het volume van Haringvliet en Hollandsch Diep gedeeld door de restafvoer door Haringvliet en Hollandsch diep. Dit is een maat voor het schoonsoelen van deze wateren. Het is niet hetzelfde als de "vervangingsstijd" wat een maat is voor de duur dat zout gelect door de Volkeraksluizen geborgen kan worden in de diepe geulen in Haringvliet Hollandsch Diep.

3.4 Conclusies

Voor langdurige droogteperiodes zoals opgetreden in 2003 en 2009 geldt dat maximaal gedurende een half jaar zout geborgen kan worden in de diepe geulen in het Haringvliet en Hollandsch Diep. De verversingstijd van deze wateren bedraagt ongeveer twee maanden. Voor de scenarioberekeningen betekent dit een simulatieduur van minimaal enkele droge maanden noodzakelijk is. Op basis hiervan zijn, in overleg met de opdrachtgever, de volgende simulaties gedefinieerd:

- 1) Een scenarioberekening voor de maanden augustus en september van 2003 (voorafgegaan door 1 maand inspelen). In deze periode is er continu sprake van een kleine verversing.
- 2) Een scenarioberekening voor de maanden oktober, november en december van 2009 (voorafgegaan door 1 maand inspelen). Deze periode begint met een periode van geringe verversing maar eindigt met een maand met redelijke verversing.

4 Resultaten scenarioberekeningen Zeedeltamodel

4.1 Algemeen

Voor elk van de voorgestelde simulatie periodes zijn een tweetal berekeningen met het Zeedeltamodel uitgevoerd. Een berekening met een zoutlek van 60 kg/s ter plaatse van de Volkeraksluizen en een berekening zonder zoutlek. De chlorideverschillen tussen de beide berekeningen is de verhoging in chlorideconcentraties als gevolg van het verzilten van het Volkerak.

Voor de open zeeranden van het Zeedeltamodel zijn randvoorwaarden aangemaakt voor de 2003 en de 2009 simulatieperiode met in gebruik zijnde operationele modellen van Rijkswaterstaat (DCSM, ZUNO en Kuststrook-fijn). Op de open rivierranden van het model zijn tijdreeksen van rivierdebieten afkomstig uit de DONAR database voorgeschreven.

De windsnelheid en richting zoals gebruikt in de scenarioberekeningen is de daadwerkelijk opgetreden wind gemeten bij meetpost Rotterdam.

Figuren met de resultaten van de scenarioberekeningen, gepresenteerd als chloride*verhoging* ten opzichte van de natuurlijke achtergrondconcentratie, worden getoond in Appendix B voor het jaar 2003 en Appendix C, voor het jaar 2009.

4.2 Resultaten scenarioberekeningen

De berekeningsresultaten voor 2003 worden gepresenteerd in Appendix B. De figuren zijn gegroepeerd per deelgebied, i.e. Haringvliet west, Haringvliet oost, Hollandsch Diep, Spui zuid en Spui noord. Daarnaast worden voor afzonderlijke stations, relevant voor de zoetwater inname, de afzonderlijke reeksen getoond. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

- Voor het westelijke deel van het Haringvliet, Figuur B.1 en Figuur B.2, heeft een zoutlek bij de Volkeraksluizen met een grootte van 60 kg/s een verhoging van de chlorideconcentraties van ongeveer 100 – 150 mg/l tot gevolg. Deze verhoging is uniform over de verticaal, i.e. de verhoging bij het oppervlak is net zo groot als de verhoging bij de bodem.
- Voor het oostelijke deel van het Haringvliet, Figuur B.3 en Figuur B.4, bedraagt de verhoging als gevolg van het zoutlek ongeveer 150 – 300 mg/l. De grootste verhogingen worden gevonden voor stations in de nabijheid van de Volkeraksluizen, stations Westerse Polder en station Hitsertse Kade. Ter plaatse van deze stations wordt ook stratificatie berekend. Het verschil in chlorideverhoging tussen oppervlak en bodem bedraagt ongeveer 100 mg/l (ongeveer 150 mg/l bij het oppervlak, ongeveer 250 mg/l bij de bodem).
- Noordelijk van Tiengemetten, station de Eendracht, is het Haringvliet goed gemengd. De chloriniteitsverhoging ten opzichte van de achtergrondconcentratie bedraagt ongeveer 200 mg/l zowel bij het oppervlak als bij de bodem.

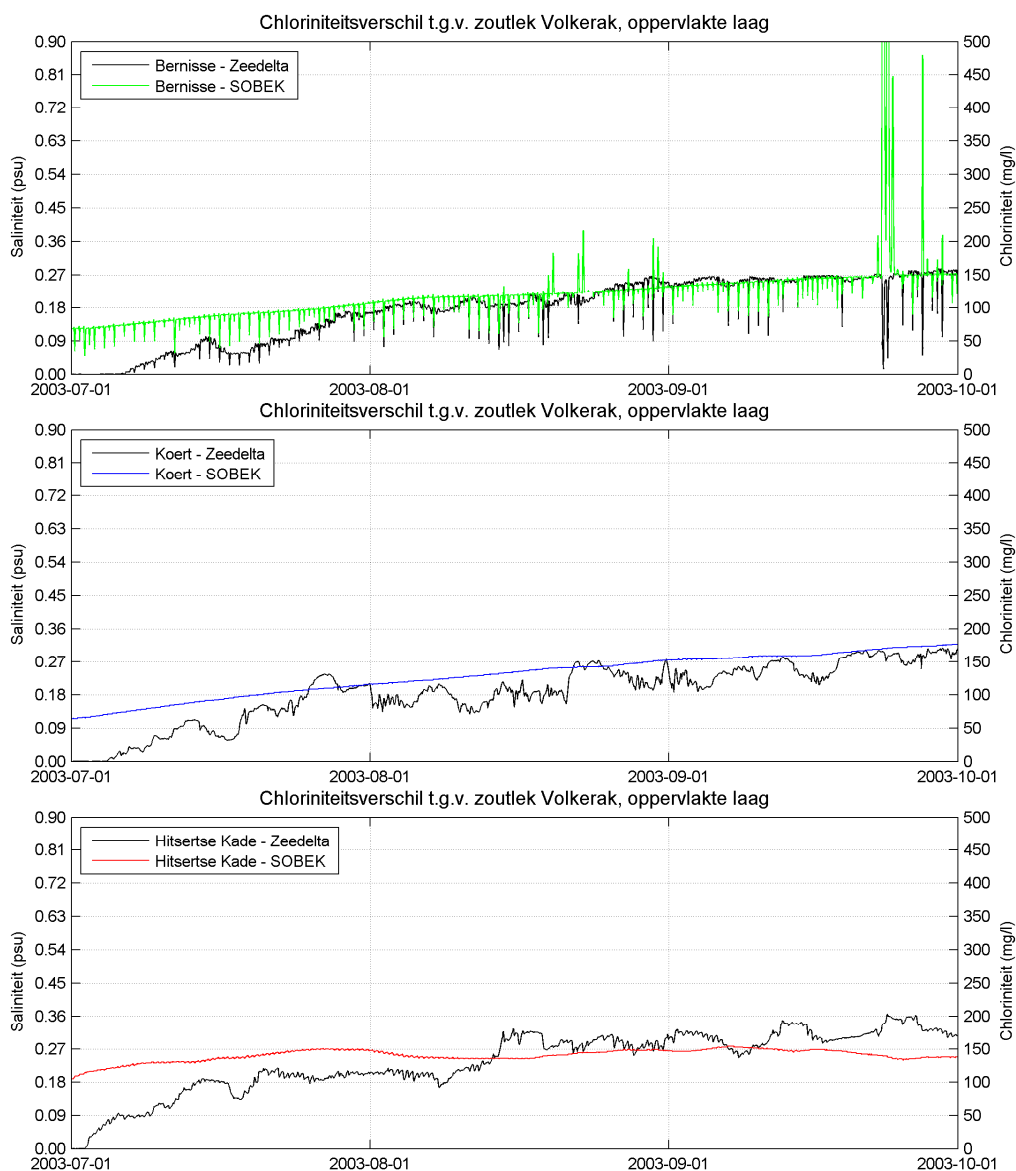
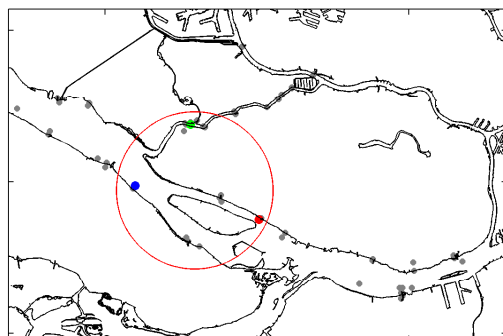
- Zout gelekt door de Volkeraksluizen heeft in het Hollandsch Diep, Figuur B.5 en Figuur B.6, in de nabijheid van de volkeraksluizen grote chlorideverhogingen bij de bodem tot gevolg. Voor station Hoogezandsepolder bedraagt de chlorideverhoging bij de bodem meer dan 500 mg/l. Bij het oppervlak blijft de chlorideverhoging beperkt tot minder dan 100 mg/l. De grootte van de berekende chlorideverhoging neemt in oostelijke richting af. Bij station Boezem Loozende, westelijk van de monding van de Dordtsche Kil, wordt geen verhoging meer berekend.
- Het westelijk deel van het Spui is goed gemengd. De verhoging van de chlorideconcentraties, zowel bij het oppervlak als bij de bodem, bedraagt ongeveer 150 mg/l.
- Ook het Noordelijk deel van het Spui is goed gemengd. Chlorideverhogingen nemen af van ongeveer 150 mg/l halverwege het Spui tot 50 mg/l ter plaatse van de aantakking met de Oude Maas.

De berekeningsresultaten voor 2009, zoals gepresenteerd in Appendix C, zijn goed vergelijkbaar met de berekende chlorideverhogingen voor 2003. Gedurende de laatste twee weken van de simulatieperiode is een afname van de chlorideverhogingen waar te nemen. Dit is een gevolg van een toenemende rivierafvoer en dus toenemende debieten door de Haringvlietluizen zie Paragraaf 3.3. Het Haringvliet en Hollandsch Diep worden schoongespoeld.

4.3 Vergelijking met SOBEK-berekeningen voor 2003

Voorafgaand aan de scenarioberekeningen gepresenteerd in dit rapport, is het effect van het zoutlek door de Volkeraksluizen ingeschat middels berekeningen met het 1-dimensionale SOBEK model van het Noordelijk Deltabekken, zie [van Pagee *et al*, 2008 - 2009]. Bij de interpretatie van de 1D modelresultaten ter plaatse van de waterinname locaties, is de kolomgemiddelde concentratie vertaald naar de concentratie in de bovenlaag door deze met een factor 0.5 te vermenigvuldigen. Berekeningsresultaten van het SOBEK-NDB model worden vergeleken met de scenarioberekening voor 2003 in Figuur 4.1. In deze figuur worden ongecorrigeerde resultaten gepresenteerd.

De chlorideverhogingen zoals berekend met het SOBEK-NDB model zijn vergelijkbaar met de chlorideverhoging zoals berekend met het Zeedeltamodel. Het verschil tussen de SOBEK resultaten en de resultaten van het 3-dimensionale Zeedeltamodel zijn kleiner dan verwacht. De goede overeenkomst tussen de resultaten van de beide modellen is een gevolg van het goed gemengd zijn van het Haringvliet in de 3-dimensionale Zeedeltaberekeningen. Voor goed gemengde systemen is ook de verwachting dat 1-dimensionale en 3-dimensionale modellen vergelijkbare resultaten geven. Voor het Haringvliet en het Spui geldt dus ook dat eventuele volgende scenarioberekeningen, bijvoorbeeld met een kleiner zoutlek, ook met het 1-dimensionale Sobek-NDB model kunnen worden uitgevoerd.



Figuur 4.1 Vergelijking SOBEK-NDB (1-dimensionaal) met Zeedelta (3-dimensionaal) berekeningsresultaten. Zoutlek Volkeraksluizen (60 kg/s)

4.4 Conclusies scenarioberekeningen Zeedeltamodel

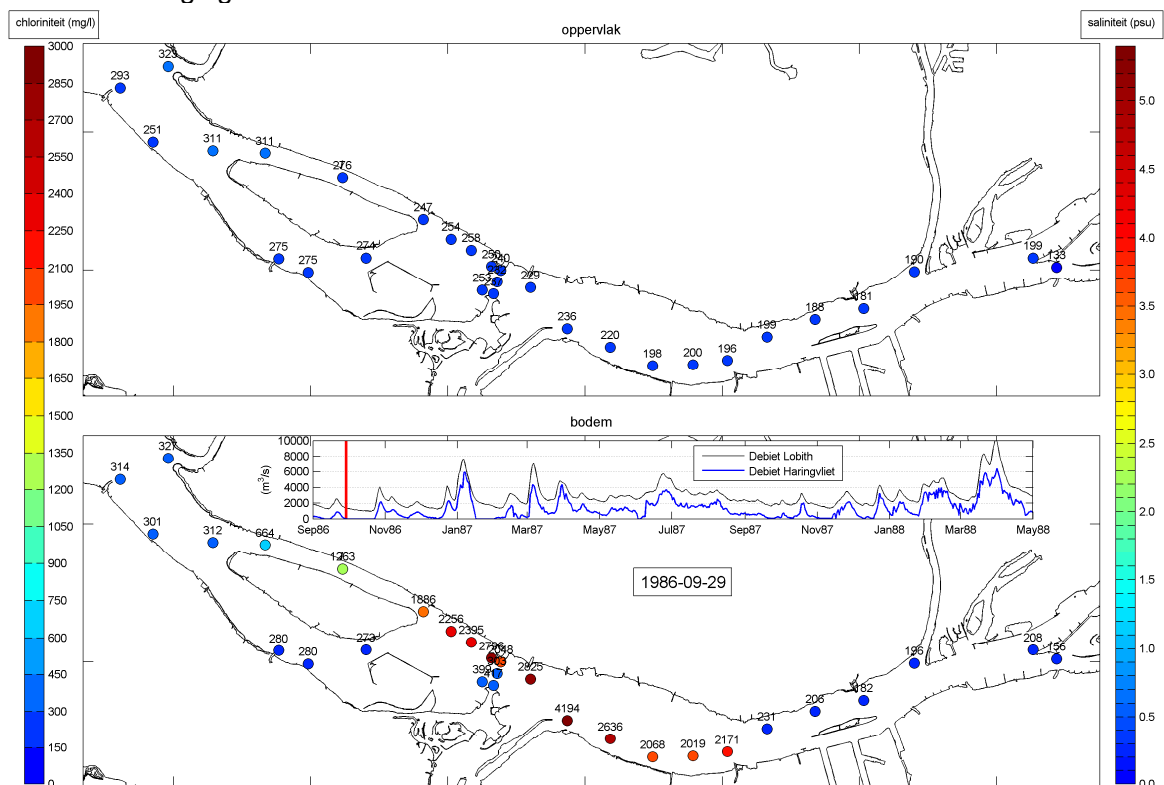
De verhoging van de chlorideconcentraties in het Haringvliet, het Spui, en het Hollandsch Diep als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s zijn berekend met het Zeedeltamodel voor twee droge periodes in 2003 en 2009. De berekende verhogingen zijn significant, zeker in relatie tot chloridenormen en/of streefwaarden en de achtergrondswaarde van chloriniteit (ongeveer 100 – 150 mg/l). Voor het Hollandsch Diep geldt dat chlorideconcentraties nabij de bodem in de diepe geulen fors toenemen, tot een toename van 500 mg/l. Nabij het oppervlak is de concentratieverhoging geringer (orde 50-100 mg/l). Ter plaatse van de Boezem Loozende zijn de berekende chlorideconcentraties gelijk aan de achtergrondconcentraties. Dit betekent dat het effect van het zoutlek in oostelijke richting niet verder reikt dan de monding van de Dortsche Kil. Voor het Haringvliet en het Spui geldt dat chlorideconcentraties over de gehele waterkolom met ongeveer 150 mg/ toenemen in droge periodes. Bij de berekende chlorideverhogingen moet worden opgemerkt dat de verificatie van het model heeft laten zien dat berekende chlorideverhogingen bij het oppervlak en nabij de oevers vermoedelijk te hoog zijn.

5 Detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep

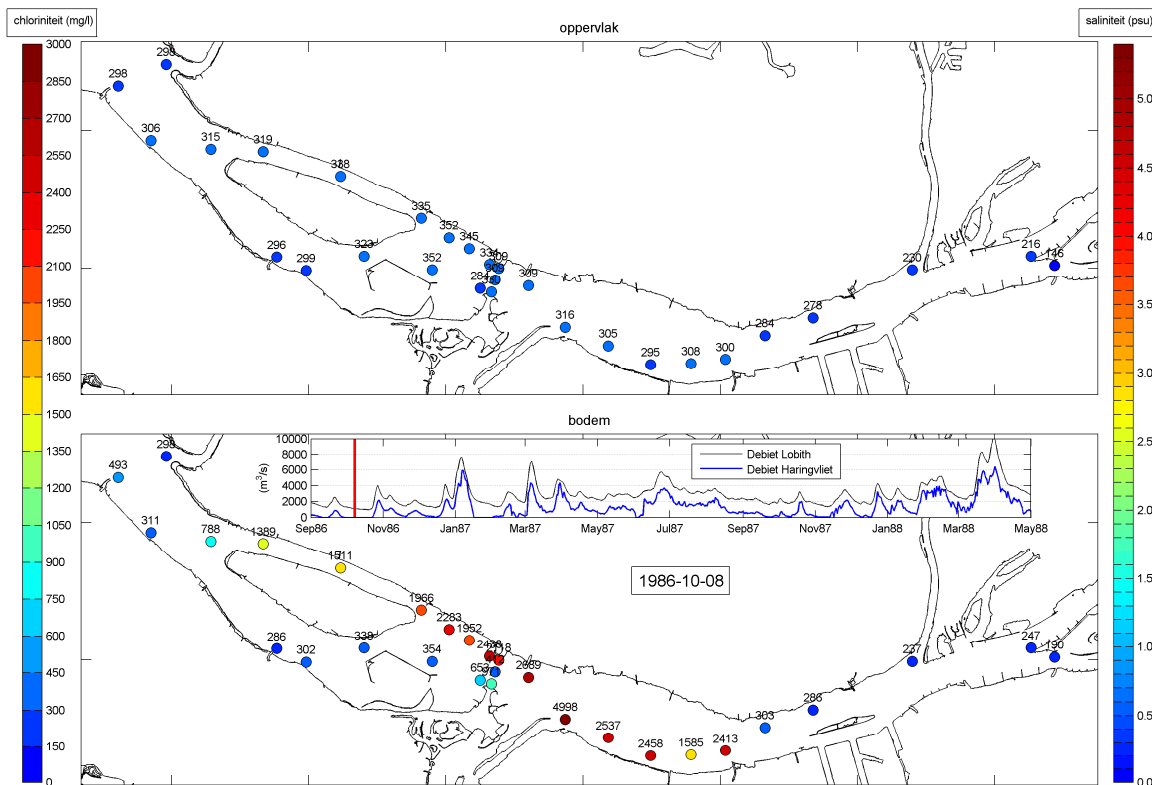
5.1 Aanvullende meetgegevens

De scenarioberekeningen zoals uitgevoerd met het Zeedeltamodel resulteren in stratificatie in het Hollandsch Diep, oostelijk van de Volkeraksluizen, maar ook in een goed gemengd Haringvliet, westelijk van de Volkeraksluizen. Tijdens de bespreking van de resultaten van de scenarioberekeningen met de opdrachtgever zijn door Rijkswaterstaat chloridemetingen uit de periode 1986 – 1988 overhandigd, zie Figuur 5.1 en Figuur 5.2. Deze metingen, laten zien dat noordelijk van Tiengemeten, in het Vuile Gat, bij gesloten Haringvlietluizen wel degelijk stratificatie optrad. In de scenarioberekeningen met het Zeedeltamodel voor 2003 en 2009 zijn de Haringvlietluizen gesloten. Kwalitatief klopt het beeld van de metingen dus niet met de resultaten van de scenarioberekeningen. Bij de metingen moet wel worden opgemerkt dat:

- De grootte van het zoutlek voor deze meetperiode is niet bekend. Echter, aangezien gemeten chlorideconcentraties aanzienlijk groter zijn dan gemeten in 1973 en berekend voor 2003 en 2009, lijkt het aannemelijk dat het zoutlek meer dan 60 kg/s bedraagt.
- Ondanks de stratificatie noordelijk van Tiengemeten, en dus de berging van gelekt zout in het Vuile Gat, wordt voor de monding van het Spui over de gehele waterdiepte toch een chlorideverhoging ten opzichte van de achtergrondconcentratie van 100 à 150 mg/l gemeten.



Figuur 5.1 Chloridemetingen 29 september 1986, gesloten Haringvlietluizen, Zoutlek onbekend



Figuur 5.2 Chloridemetingen 8 oktober 1986, gesloten Haringvlietsluizen, Zoutlek onbekend

Het Zeedeltamodel gebruikt 10 rekenlagen elk met een dikte van 10% van de lokale waterdiepte. Deze verticale laagverdeling staat bekend onder de naam σ -verdeling. Voor bijna stagnante wateren als het Haringvliet en het Hollandsch Diep kan deze laagverdeling kunstmatige menging tot gevolg hebben. Strikt horizontale lagen, zogenaamde z-lagen of vaste lagen, elk met een vaste dikte hebben dit nadeel niet.

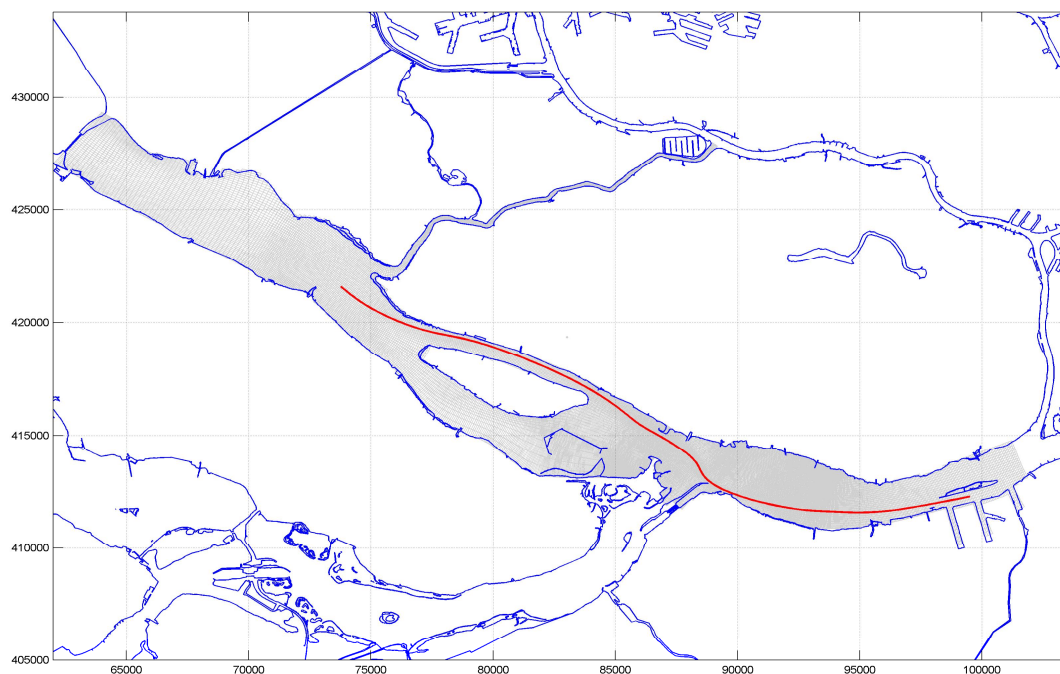
Voor het Zeedeltamodel geldt dat de omvang van het model zodanig is dat voor een berekening meerdere processoren noodzakelijk zijn. Parallel rekenen op meerdere processoren kan wel met een σ -lagen model maar (nog) niet met een vaste lagen model. Om te onderzoeken in welke mate de door σ -lagen geïnduceerde menging de resultaten van de scenario-berekeningen met het Zeedeltamodel beïnvloeden, is een detailmodel van het Haringvliet, Hollandsch Diep en het Spui opgezet waarmee z-lagen berekeningen voor het zoutlek zijn uitgevoerd. Voor dit detailmodel zijn de reketijden zonder toepassing van parallel rekenen nog enigszins acceptabel, wat niet geldt voor het Zeedeltamodel.

5.2 Schematisatie Detailmodel

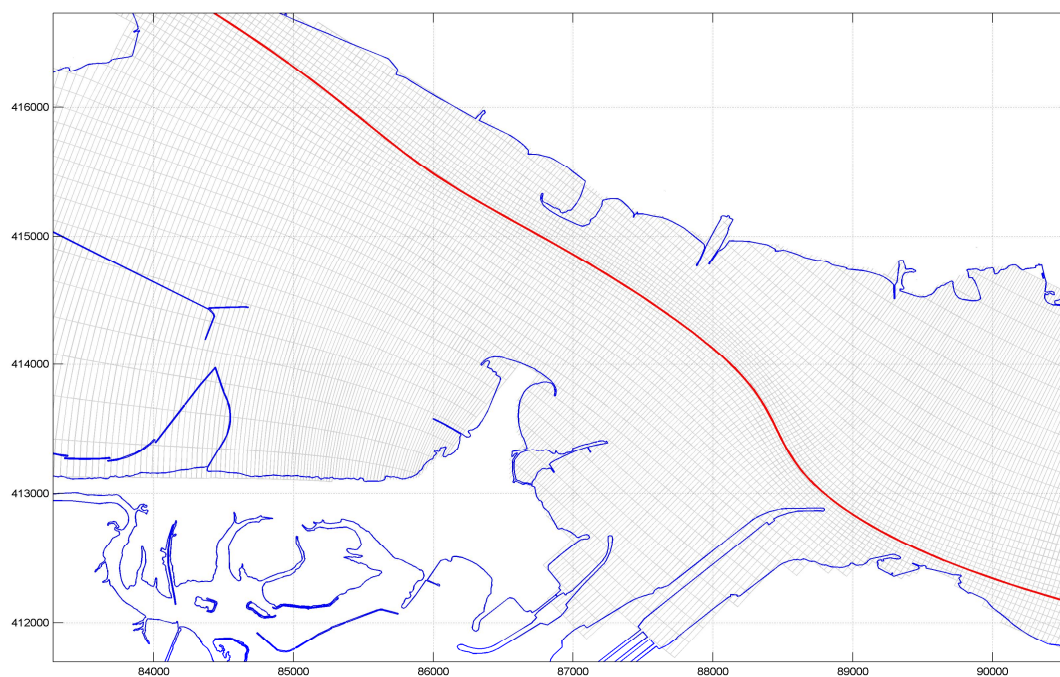
5.2.1 Rekenrooster

Het horizontale rekenrooster van het detailmodel wordt getoond in Figuur 5.3 en Figuur 5.4. Bij de opzet van het rekenrooster is geprobeerd de talweg van de hoofdgeul in het Haringvliet en Hollandsch Diep, aangegeven met een rode lijn in de figuren, zo goed mogelijk te volgen.

Dit is gedaan om kunstmatige menging als gevolg van het gekarteld weergeven van een geul te voorkomen.



Figuur 5.3 Rekenrooster detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui (gehele rooster)

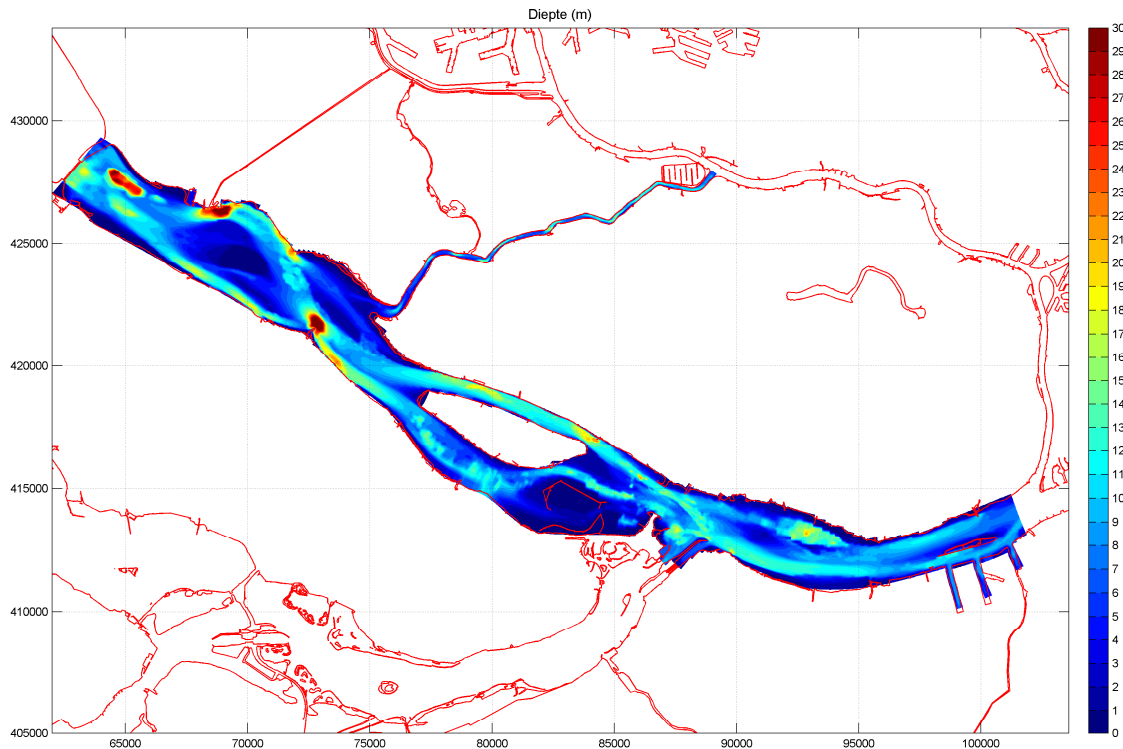


Figuur 5.4 Rekenrooster detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui (detail nabijheid Volkeraksluizen)

Het verticale rekenrooster is gebaseerd op vaste lagen elk met een dikte van 1 m.

5.2.2 Bodemschematisatie Detailmodel

De bodemschematisatie van het detailmodel is gebaseerd op lodingen uit 2004. Deze gegevens zijn recent aan Deltares toegeleverd in het kader van het project "WTI, HR-zout". De bodemschematisatie van het model wordt getoond in Figuur 5.5.



Figuur 5.5 Bodemschematisatie Detailmodel Haringvliet/Hollandsch Diep en Spui

5.2.3 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden van het detailmodel zijn bepaald uit de eerder uitgevoerde berekeningen met het Zeedeltamodel. Op de oostelijke Hollandsch Diep rand worden afvoeren als berekend met het Zeedeltamodel voorgeschreven. De noordelijke Spui rand wordt aangestuurd met waterstanden zoals berekend met het Zeedeltamodel. Ter plaatse van de Haringvlietssluzen worden de gemeten afvoeren door de sluzen, afkomstig uit de DONAR database van Rijkswaterstaat, opgedrukt.

Op open randen van het model moet ook chloriniteit worden voorgeschreven. Deze randvoorwaarden zijn bepaald uit een berekening met het Zeedeltamodel *zonder* zoutlek. Zo wordt voorkomen dat, met name in het Spui, het effect van het zoutlek wordt voorgeschreven in plaats van uitgerekend.

Voor de gesimuleerde periode in 2003 bedraagt het restdebiet door het Spui bepaald uit de berekeningen met het Zeedeltamodel waaruit de randvoorwaarden voor het detailmodel zijn gegenereerd $170 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit stemt goed overeen met de restafvoeren door het Spui zoals gepresenteerd in Appendix A.

5.2.4 Overige instellingen

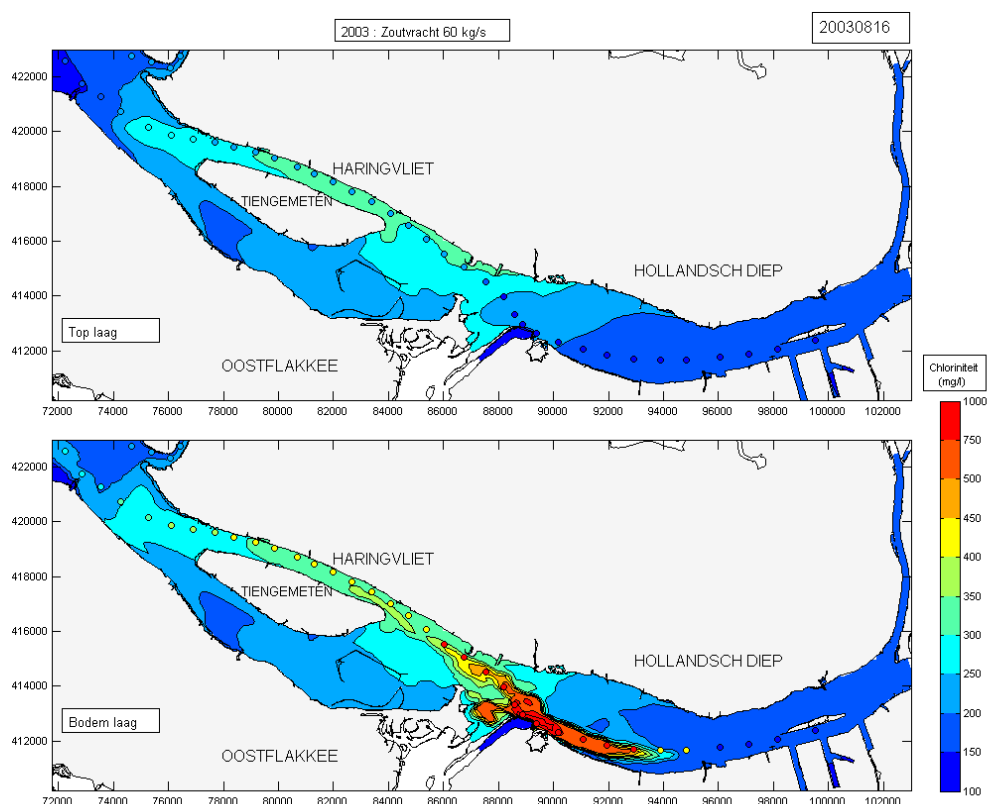
De overige instellingen van het detailmodel, ruwheid, viscositeit, diffusiviteit en windforcering, zijn identiek aan de instellingen van het Zeedeltamodel.

De gesimuleerde periode is identiek aan de 1^{ste} scenarioberekening met het Zeedeltamodel, i.e. de maanden juli, augustus en september van 2003. De doorlooptijd van deze berekening bedraagt ongeveer één week.

5.3 Scenarioberekening voor 2003

5.3.1 Referentieberekening vaste lagen

De resultaten van de referentieberekening met het vaste lagen model worden vergeleken met de resultaten van de 1^{ste} scenarioberekening met het Zeedeltamodel in Figuur 5.6. In deze figuur is de achtergrond de met het Zeedeltamodel berekende chlorideconcentratie en zijn de gekleurde bollen de chlorideconcentratie zoals berekend met het detailmodel.



Figuur 5.6 Berekeningsresultaten Zeedeltamodel (σ -lagen; achtergrond) tegen detailmodel (gekleurde bollen, vaste lagen)

Voor het Hollandsch Diep, oostelijk van de Volkeraksluizen, geldt dat de resultaten van beide modellen goed overeenkomen. Voor het oostelijk deel van het Haringvliet geldt echter dat in de vaste lagen berekening (het detailmodel) meer stratificatie optreedt dan in de Zeedeltamodel berekening. oostelijk van Tiengemeten bij de bodem zijn de met het vaste-

lagen model berekende chlorideconcentraties groter dan concentraties berekend met het Zeedeltamodel. Voor het oppervlak geldt het omgekeerde. Kwalitatief zijn de resultaten van de vaste lagen berekening beter in overeenstemming met de metingen uit 1986, zie Figuur 5.1 en Figuur 5.2. Voor de monding van het Spui is ook de vaste lagen berekening goed gemengd.

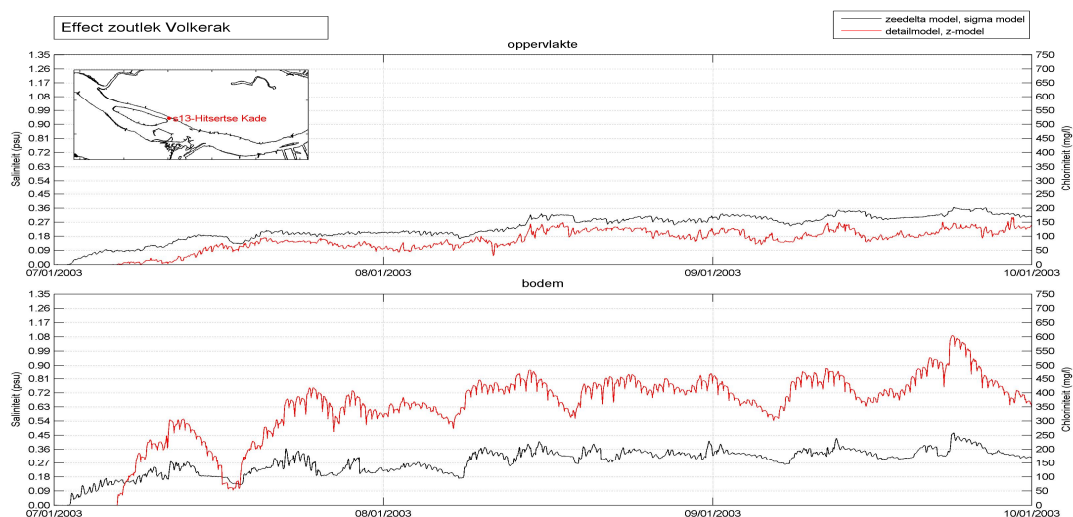
Tijdreeksen van het effect van het zoutlek, d,w,z, de verhoging van de chloriniteit als gevolg van het zoutlek, worden getoond in Appendix E. Voor een aantal specifieke stations, van belang voor de zoet water inname, worden tijdreeksen getoond in Figuur 5.7 - Figuur 5.11.

Voor station Hitsertse Kade, noordelijk van Tiengemeten Figuur 5.7, geldt dat de verhoging in chloriniteit bij het oppervlak als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s ongeveer 100 à 150 mg/l bedraagt. Dit is iets minder dan de verhoging in chloriniteit zoals berekend met het Zeedeltamodel. Bij de bodem is de berekende verhoging in chloriniteit ongeveer 400 – 600 mg/l, fors meer dan de verhoging in chloriniteit berekend met het Zeedeltamodel.

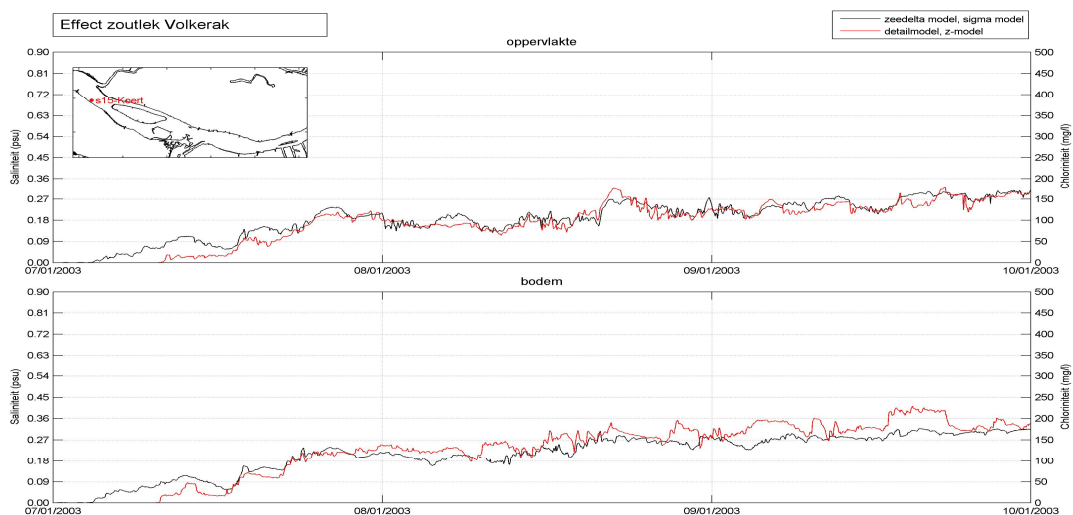
Voor station Koert, Figuur 5.8, geldt dat de met het detailmodel berekende verhoging in chloriniteit vergelijkbaar is met de met het Zeedeltamodel berekende verhoging van chloriniteit, zowel bij oppervlak als bij de bodem namelijk ongeveer 150 à 200 mg/l.

Zowel voor de monding van het Spui als voor station Bernisse, Figuur 5.9 - Figuur 5.10, geldt dat het detailmodel resultaten geeft die vergelijkbaar zijn met het Zeedeltamodel, namelijk zowel bij het oppervlak als de bodem een verhoging van chloriniteit van ongeveer 150 mg/l.

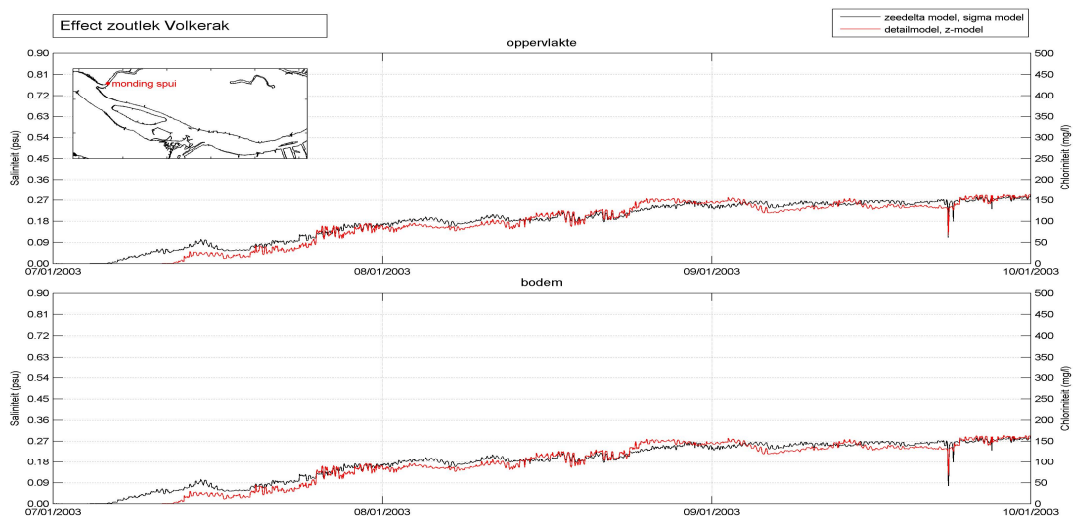
Ter plaatse van station Scheelhoek, Figuur 5.11, resulteren zowel het detailmodel als het Zeedeltamodel in een chloriniteitverhoging van ongeveer 100 mg/l, zowel bij het oppervlak als bij de bodem.



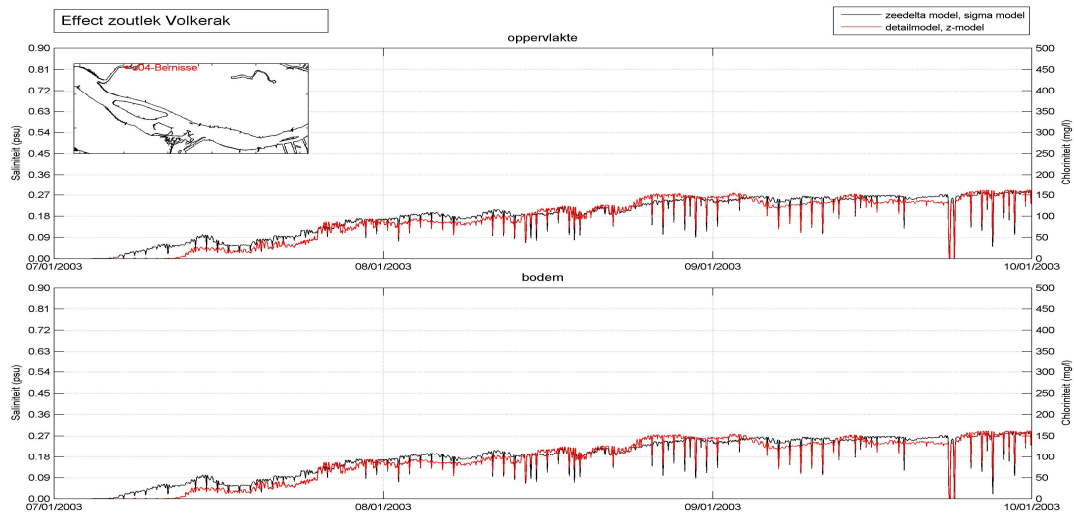
Figuur 5.7 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, referentieberekening detailmodel



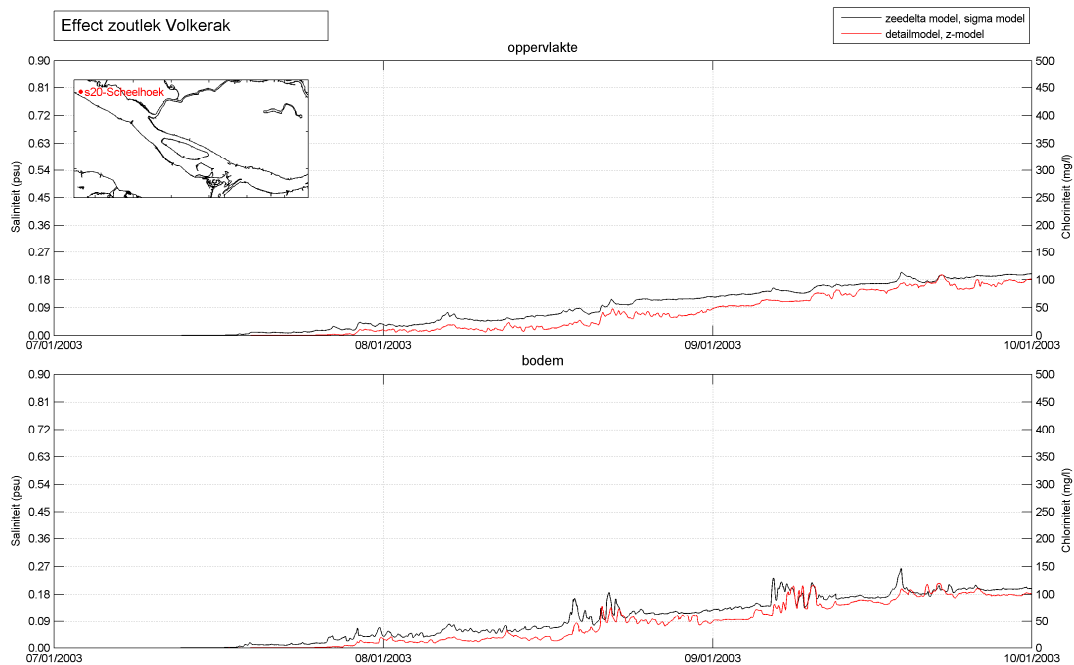
Figuur 5.8 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, referentieberekening detailmodel



Figuur 5.9 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, monding Spui, referentieberekening detailmodel



Figuur 5.10 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, referentieberekening detailmodel



Figuur 5.11 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, referentieberekening detailmodel

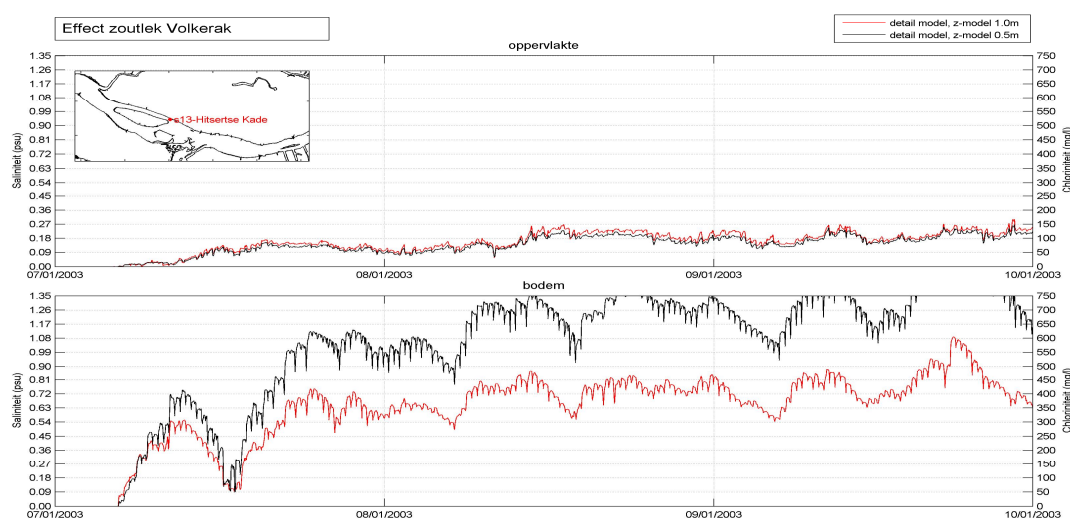
5.3.2 Gevoeligheidsberekeningen

Met het detailmodel is een tweetal gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd:

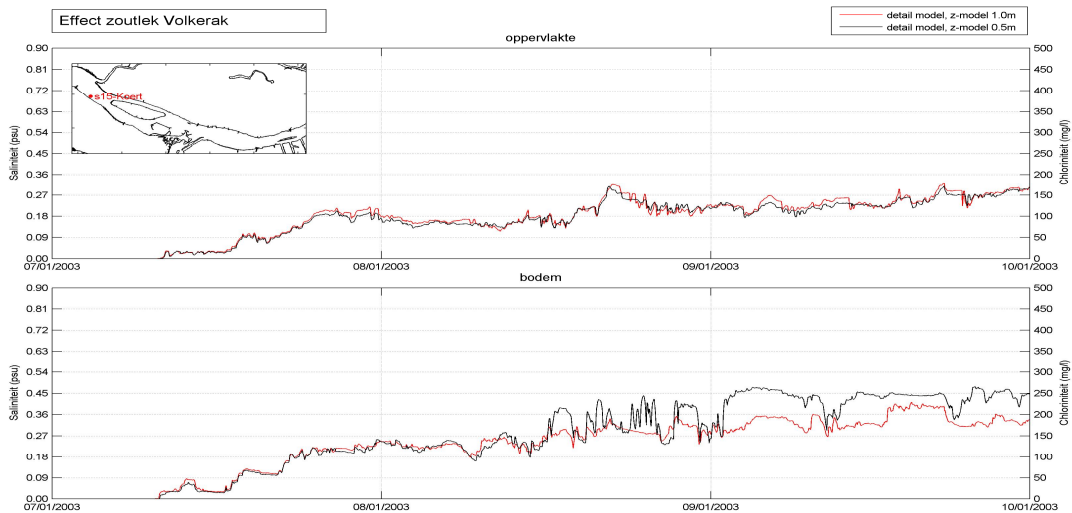
- Een berekening waarbij de laagdikte is gehalveerd (0.5 m in plaats van 1 m) met als doel de gevoeligheid voor de gebruikte verticale schematisatie te onderzoeken.
- Een berekening waarbij ook het effect van temperatuur is meegenomen. Gedurende een warme zomer ontstaat temperatuurstratificatie, i.e. de top van de waterkolom is warmer dan de bodemlaag. Deze temperatuurstratificatie versterkt de als gevolg van het zoutlek aanwezige stratificatie waardoor mogelijk meer zout in de diepe geulen geborgen kan worden.
- Een berekening waarbij het zoutlek is gereduceerd van 60 kg/s naar 40 kg/s.

5.3.2.1 Effect laagdikte

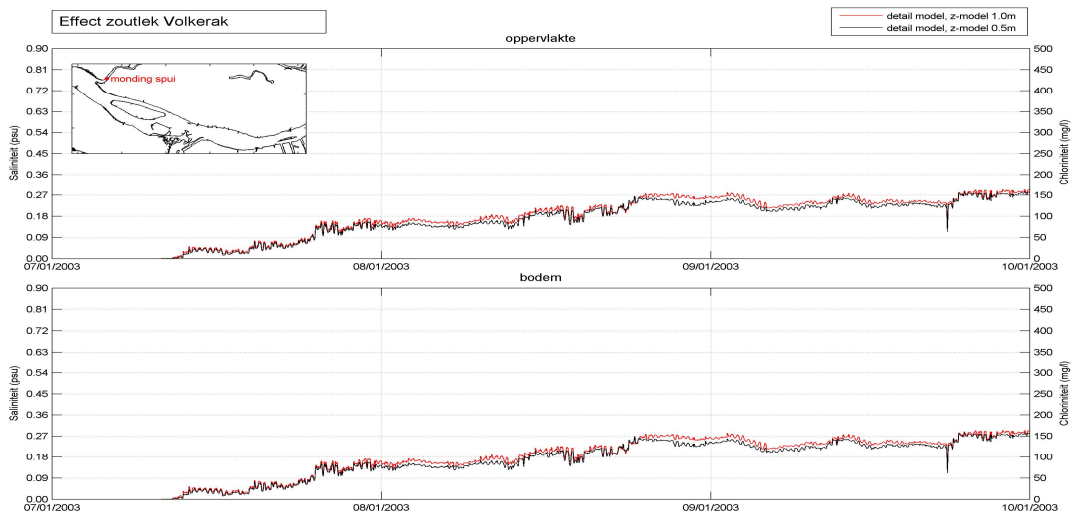
Het effect van de toegepaste laagdikte wordt getoond in Figuur 5.12- Figuur 5.16. Voor Hitsertse Kade, Noordelijk van Tiengemeten, betekent een kleinere laagdikte grotere chlorideverhogingen nabij de bodem. Bij het oppervlak heeft de laagdikte geen effect op de berekende chloriniteitverhoging. Voor station Koert, de monding van het Spui, station Bernisse en station Scheelhoek heeft een kleinere laagdikte geen effect op de berekende chloriniteitsverhoging.



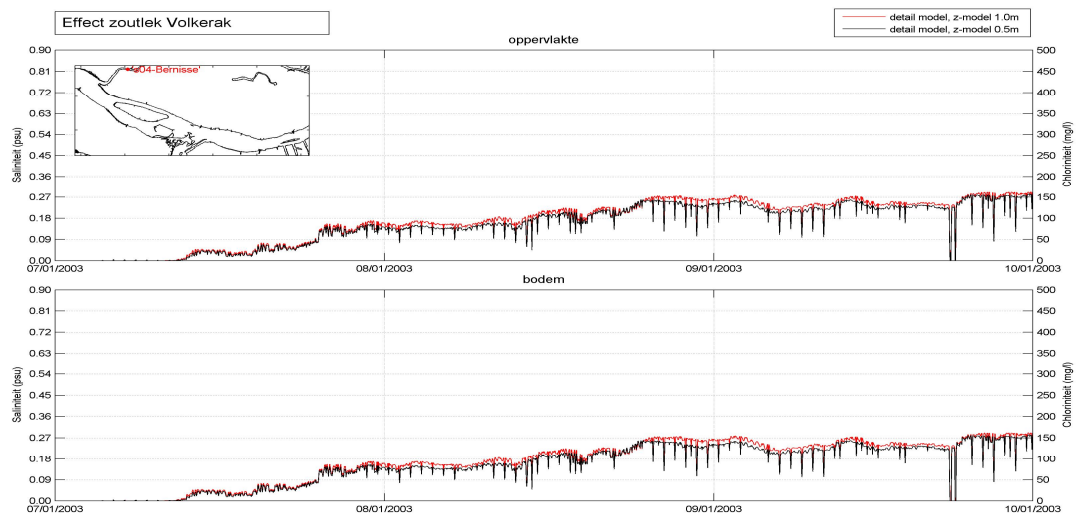
Figuur 5.12 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, effect laagdikte



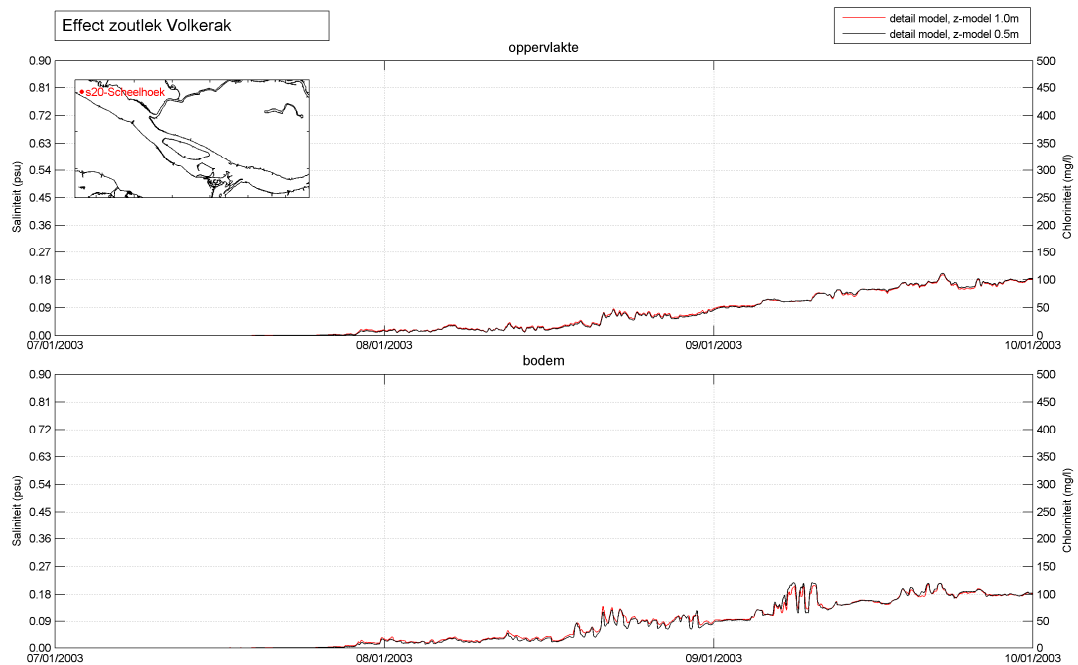
Figur 5.13 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, effect laagdikte



Figur 5.14 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, Monding Spui, effect laagdikte



Figuur 5.15 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, effect laagdikte

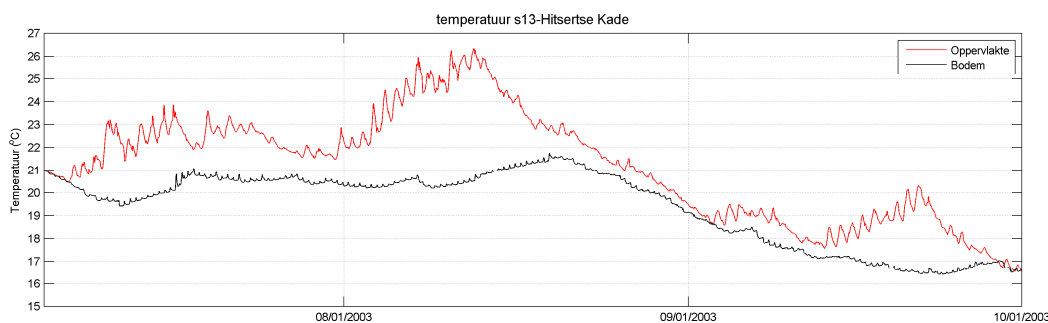


Figuur 5.16 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, effect laagdikte

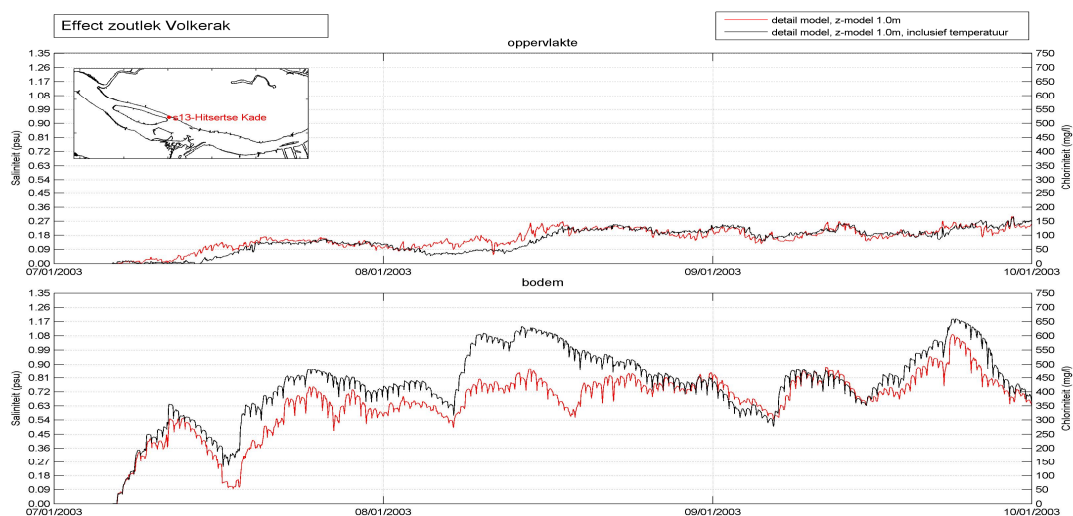
5.3.2.2 Effect temperatuurstratificatie

Temperatuurstratificatie kan de al aanwezige stratificatie als gevolg van het zoutlek versterken en zo resulteren in meer bergingscapaciteit in de diepe geulen. Om het effect hiervan te onderzoeken is een berekening uitgevoerd waarbij ook de watertemperatuur, en de verdeling van de watertemperatuur over de waterdiepte, wordt uitgerekend door het detailmodel. Het gebruikte temperatuurmodel is het zogenaamde Ocean Heat Flux model [Lane, 1989]. De meteorologische forcering is gebaseerd op metingen van het KNMI te Rotterdam.

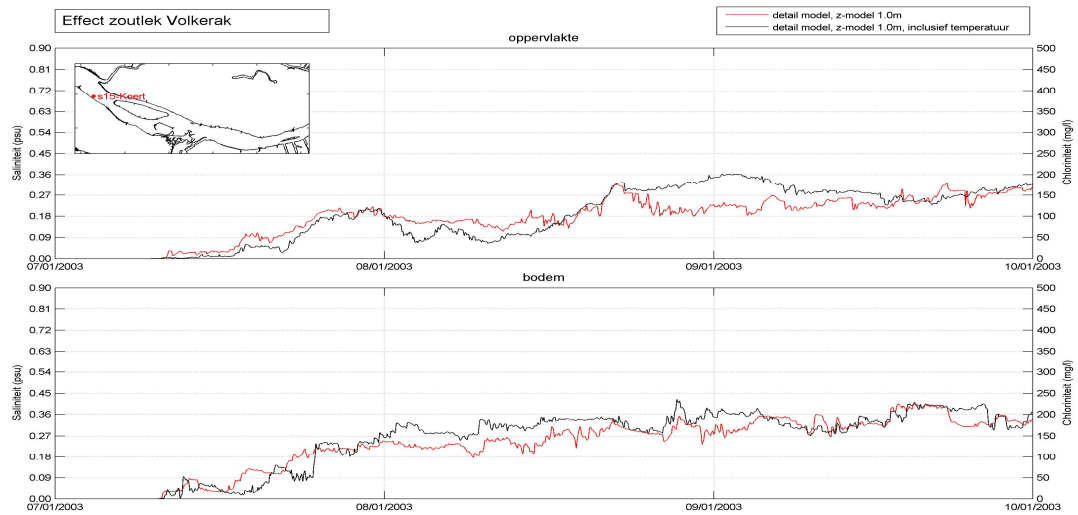
De berekende watertemperaturen voor station Hitsertse Kade worden getoond in Figuur 5.17. Uit deze Figuur blijkt dat de temperatuurstratificatie maximaal ongeveer 6 °C bedraagt (overeenkomend met een dichtheidsverschil van ongeveer 1.5 kg/m³). Het effect op chloriniteit wordt getoond in Figuur 5.18 - Figuur 5.22.



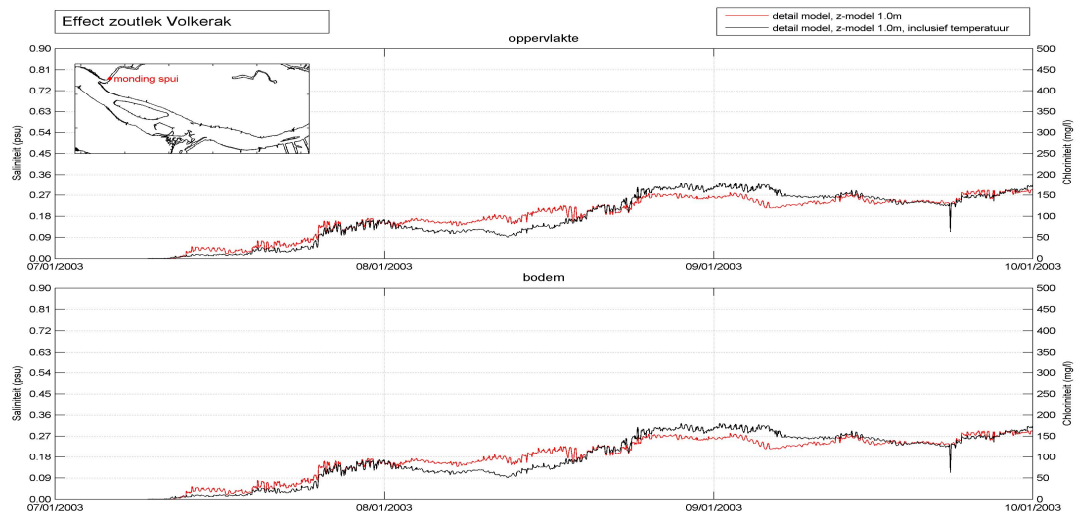
Figuur 5.17 Berekende watertemperatuur te Hitsertse Kade



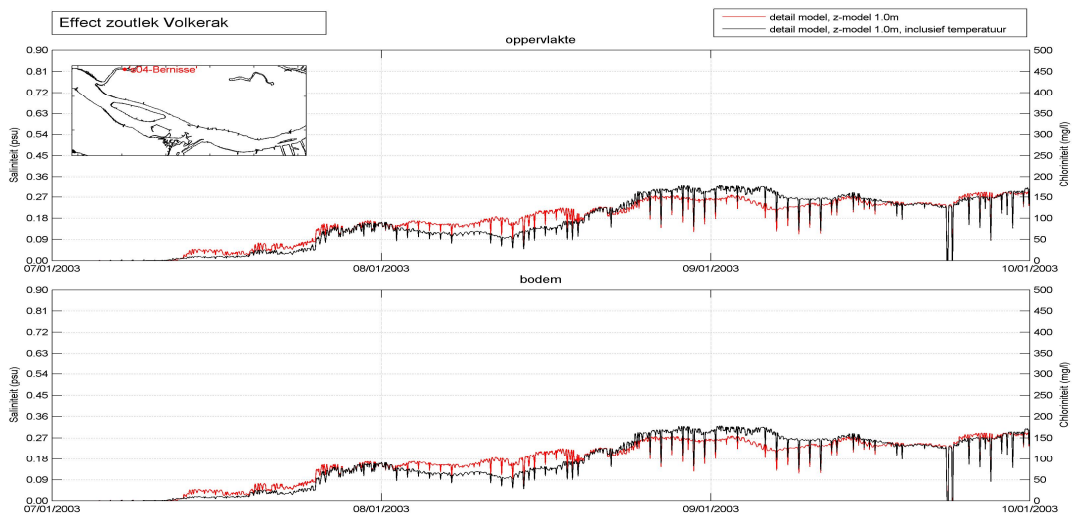
Figuur 5.18 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, effect temperatuurstratificatie



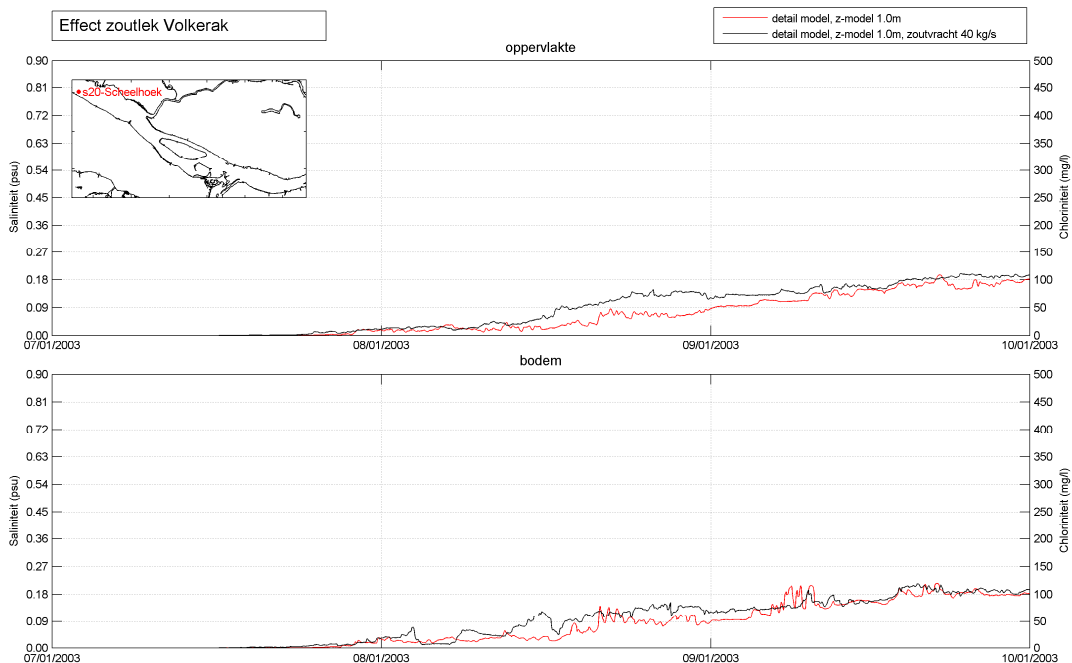
Figuur 5.19 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert, effect temperatuurstratificatie



Figuur 5.20 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, mondig Spui, effect temperatuurstratificatie



Figuur 5.21 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, effect temperatuurstratificatie



Figuur 5.22 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, effect temperatuurstratificatie

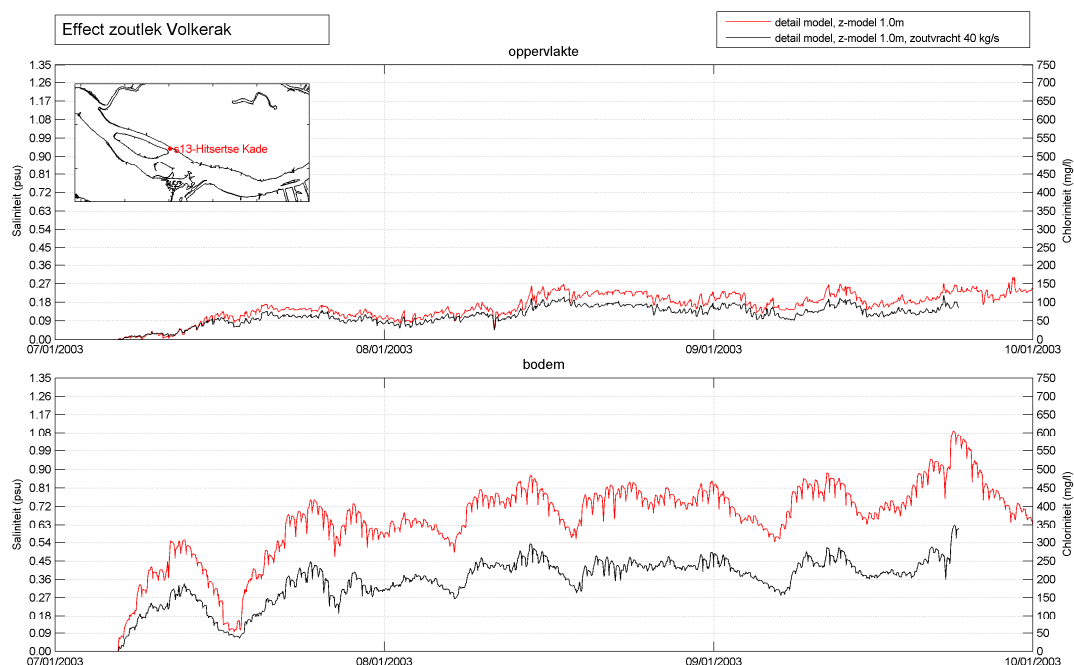
Temperatuurstratificatie heeft een effect op de verhoging van chloriniteit als gevolg van het zoutlek. Deze effecten zijn het sterkst voor station Koert nabij de bodem. Temperatuurstratificatie zorgt voor een versterking van de gelaagdheid, waardoor zout

afkomstig uit de Volkeraksluizen tijdelijk extra opgeslagen kan worden in de diepe geulen. Zodra het temperatuursverschil tussen oppervlak en bodem afneemt (in september) ontstaat er weer meer menging en dringt het (tijdelijk extra opgeslagen) zout door naar de bovenlaag. De verschillen zijn klein, waardoor de berekende verhoging in chlorideconcentratie vergelijkbaar is met de referentiesom waarin het effect van temperatuur niet is meegenomen.

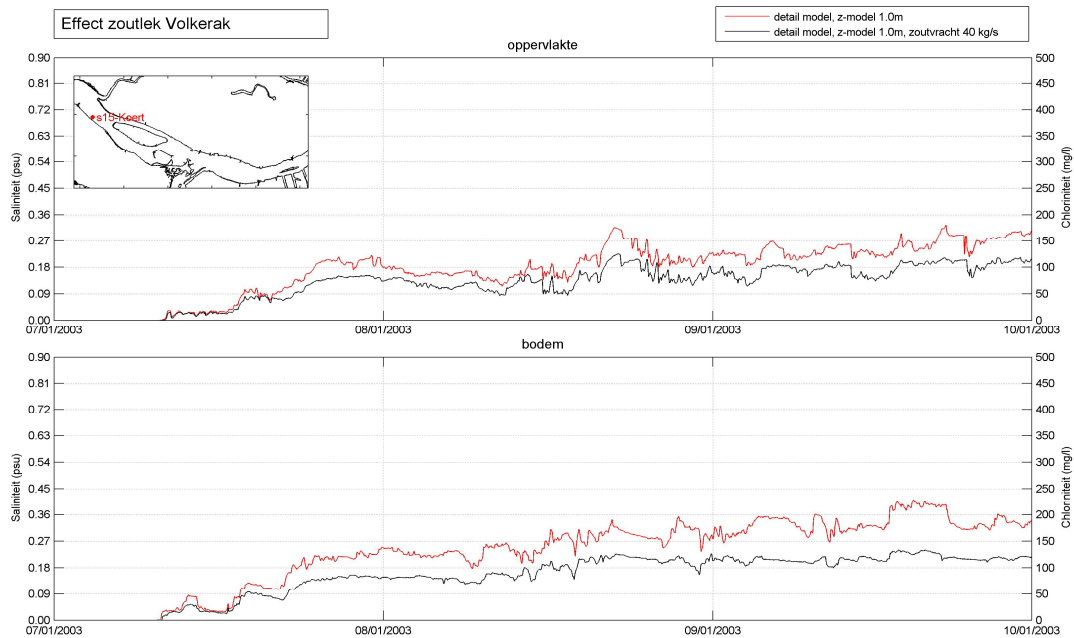
5.3.2.3 De grootte van het zoutlek (40 kg/s ipv 60 kg/s)

De gevoeligheid voor de grootte van het zoutlek is onderzocht middels een berekening waarbij een zoutlek van 40 kg/s is gehanteerd. De vergelijking met de referentieberekening met het detailmodel, met een zoutlek van 60 kg/s, wordt getoond in Figuur 5.23 - Figuur 5.27.

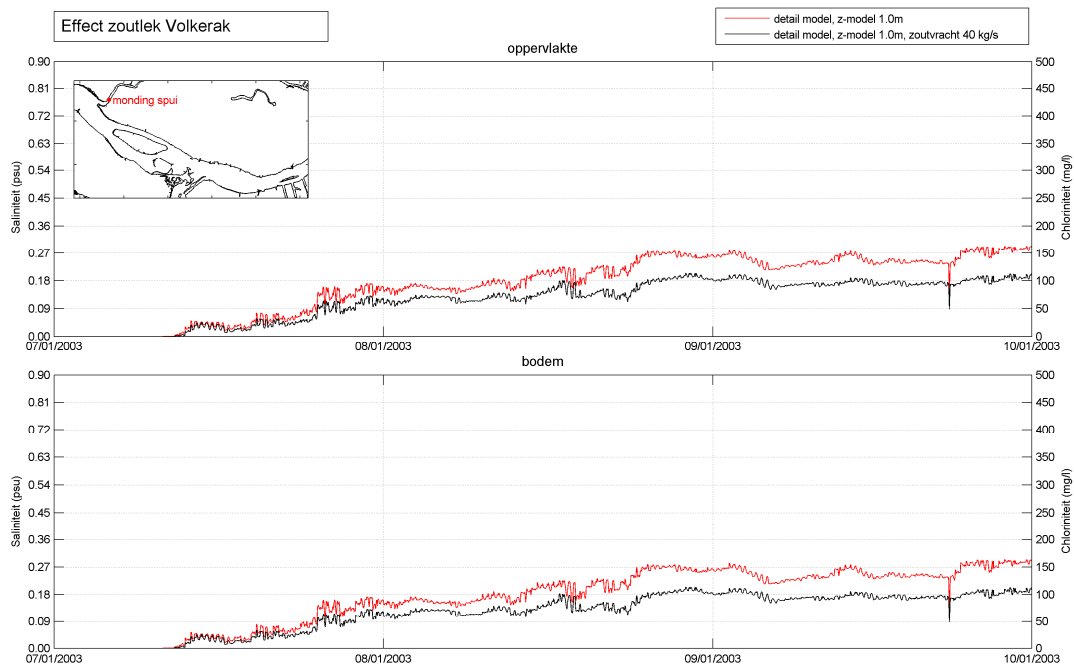
Voor Hitsertse Kade geldt dat verlaging van de zoutvracht een verlaging van chlorideconcentraties bij de bodem tot gevolg heeft. Bij het oppervlak heeft verlaging van de zoutvracht slechts een gering effect. Voor overige stations geldt dat de berekende chlorideconcentraties, zowel bij de bodem als bij het oppervlak, ongeveer gelijk zijn aan $\frac{2}{3}$ van de chlorideconcentraties berekend in de referentieberekening. Dit verhoudingsgetal is precies gelijk aan de verhouding in zoutvracht. De berekeningsresultaten zijn dus schaalbaar, i.e. een verdubbeling van de zoutvracht resulteert in een verdubbeling van chlorideconcentraties, halvering van de zoutvracht in gehalveerde concentraties.



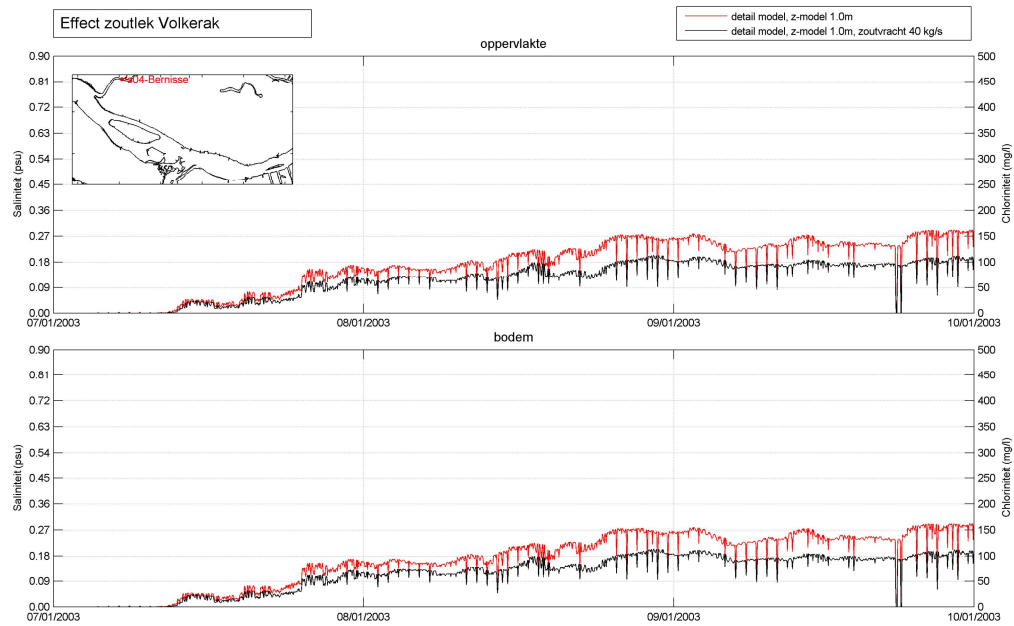
Figuur 5.23 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Hitsertse Kade, effect grootte zoutlek



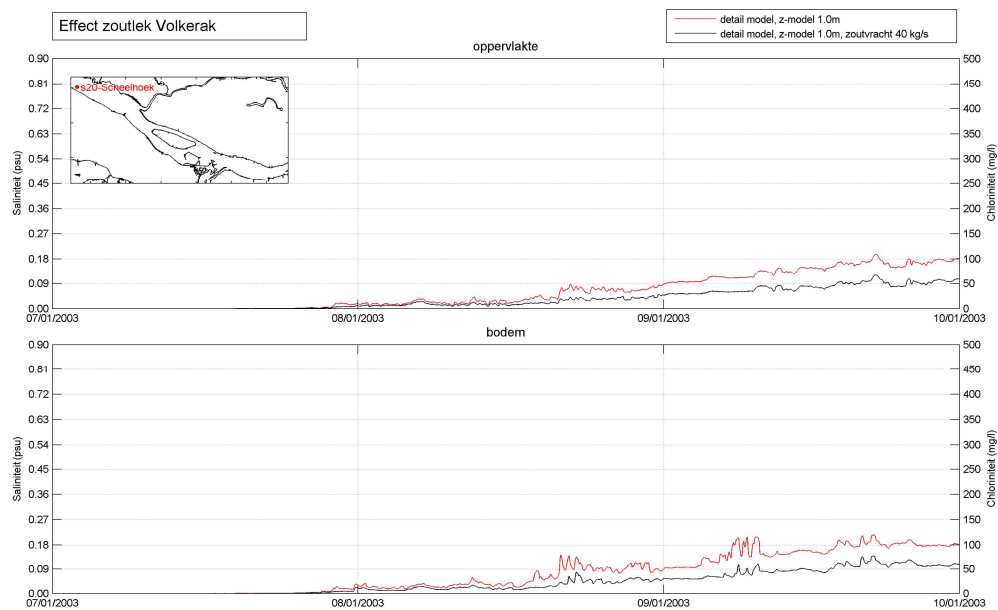
Figuur 5.24 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Koert Kade, effect grootte zoutlek



Figuur 5.25 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, Monding Spui, effect grootte zoutlek



Figuur 5.26 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Bernisse, effect grootte zoutlek



Figuur 5.27 Verhoging chloride concentratie als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen, station Scheelhoek, effect grootte zoutlek

5.4 Conclusies berekeningen detailmodel

Uit de met het detailmodel uitgevoerde vaste lagen berekeningen wordt geconcludeerd dat:

- De resultaten van de vaste lagen berekeningen met het detailmodel beter overeenstemmen, althans kwalitatief, met het beeld dat blijkt uit de metingen van 1986.
- De grootste verschillen met de eerder uitgevoerde Zeedeltaberekening treden op in de diepe doorgaande geul noordelijk van Tiengemeten (het Vuile Gat). Waar in de Zeedeltaberekeningen deze geul volledig gemengd is, laat de vaste lagen berekening een sterke stratificatie zien.
- Voor station Hitsertse Kade geldt dat de verhoging van chloriniteit als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s bij het oppervlak ongeveer 100 à 150 mg/l bedraagt. Bij de bodem is deze verhoging ongeveer 500 à 800 mg/l.
- Bij station Koert bedraagt de verhoging van chloriniteit als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s ongeveer 150 à 200 mg/l, zowel bij het oppervlak als bij de bodem.
- Voor het zuidelijk deel van het Spui, vanaf de monding tot de Bernisse, geldt dat de chloriniteitsverhoging als gevolg van een zoutlek van 60 kg/s ongeveer 150 mg/l bedraagt.
- De berekeningsresultaten zijn schaalbaar, i.e. een verdubbeling van de zoutvracht resulteert in een verdubbeling van chloriniteit, halvering van de zoutvracht in halvering van chloriniteit.

A Maandelijkse afvoeren voor de Haringvlietsluizen en voor het Spui

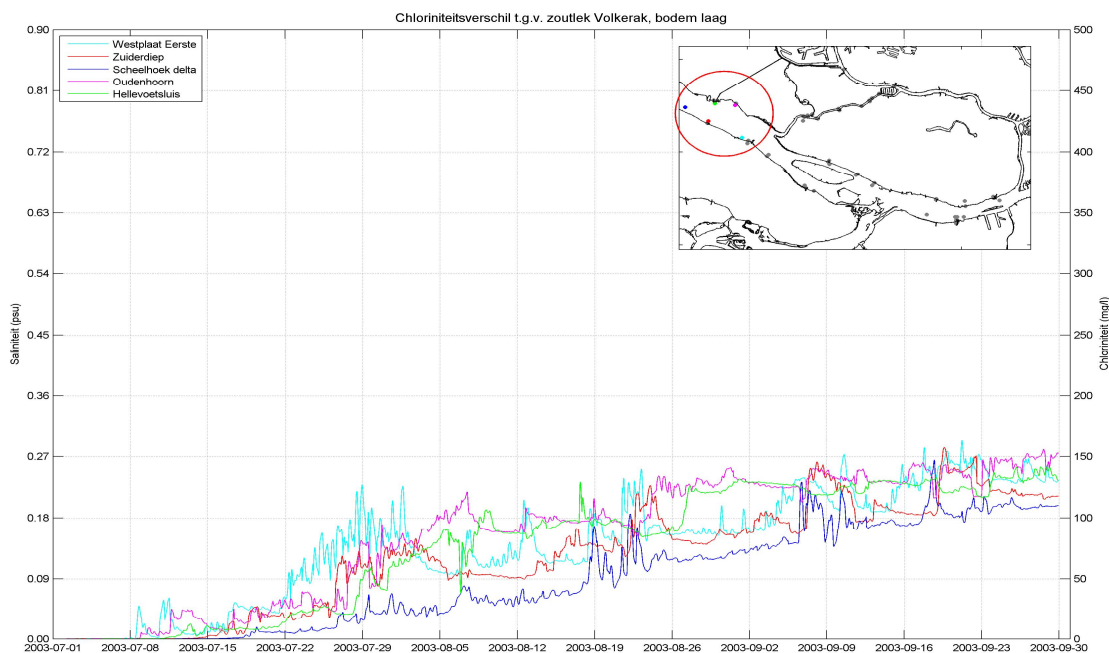
	2003	2009
Januari	3825 m ³ /s	216 m ³ /s
Februari	1425 m ³ /s	420 m ³ /s
Maart	1044 m ³ /s	1238 m ³ /s
April	129 m ³ /s	700 m ³ /s
Mei	135 m ³ /s	217 m ³ /s
Juni	69 m ³ /s	150 m ³ /s
Juli	43 m ³ /s	362 m ³ /s
Augustus	12 m ³ /s	89 m ³ /s
September	0 m ³ /s	26 m ³ /s
Oktober	30 m ³ /s	5 m ³ /s
November	32 m ³ /s	70 m ³ /s
December	60 m ³ /s	202 m ³ /s

Tabel A.1 Maandgemiddelde afvoeren door de Haringvlietsluizen (afkomstig uit de DONAR database)

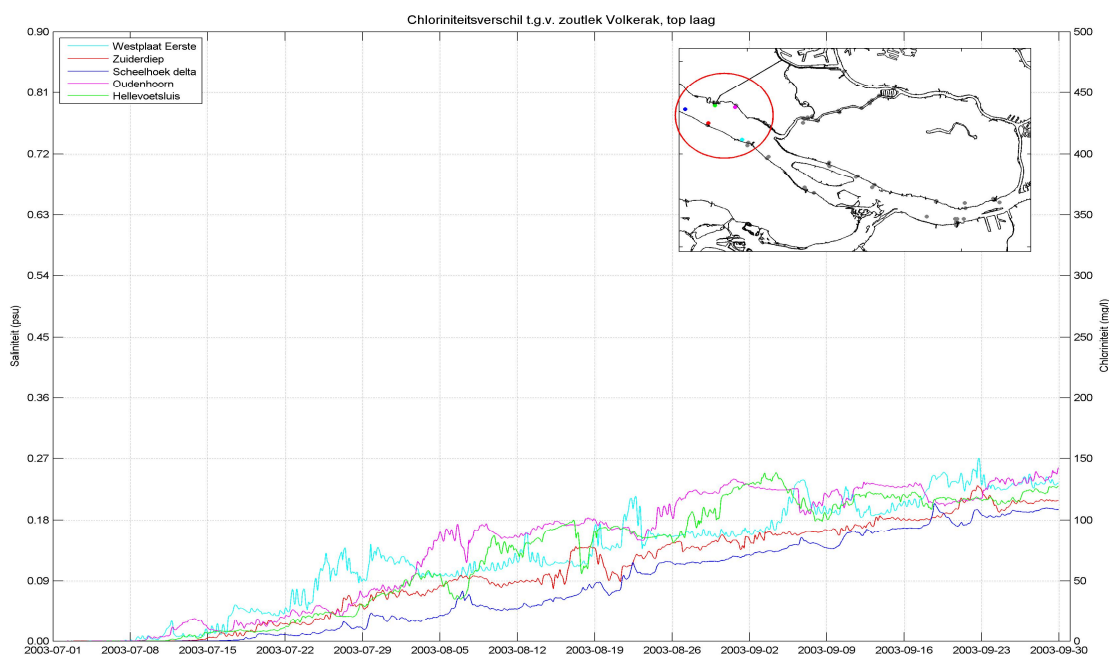
	2003	2009
Januari	155 m ³ /s	270 m ³ /s
Februari	250 m ³ /s	300 m ³ /s
Maart	280 m ³ /s	215 m ³ /s
April	240 m ³ /s	240 m ³ /s
Mei	260 m ³ /s	270 m ³ /s
Juni	240 m ³ /s	Niet beschikbaar
Juli	190 m ³ /s	Niet beschikbaar
Augustus	150 m ³ /s	Niet beschikbaar
September	150 m ³ /s	Niet beschikbaar
Oktober	190 m ³ /s	Niet beschikbaar
November	190 m ³ /s	Niet beschikbaar
December	250 m ³ /s	Niet beschikbaar

Tabel A.2 Maandgemiddelde afvoeren door het Spui (volgens Sobek NDB berekeningen)

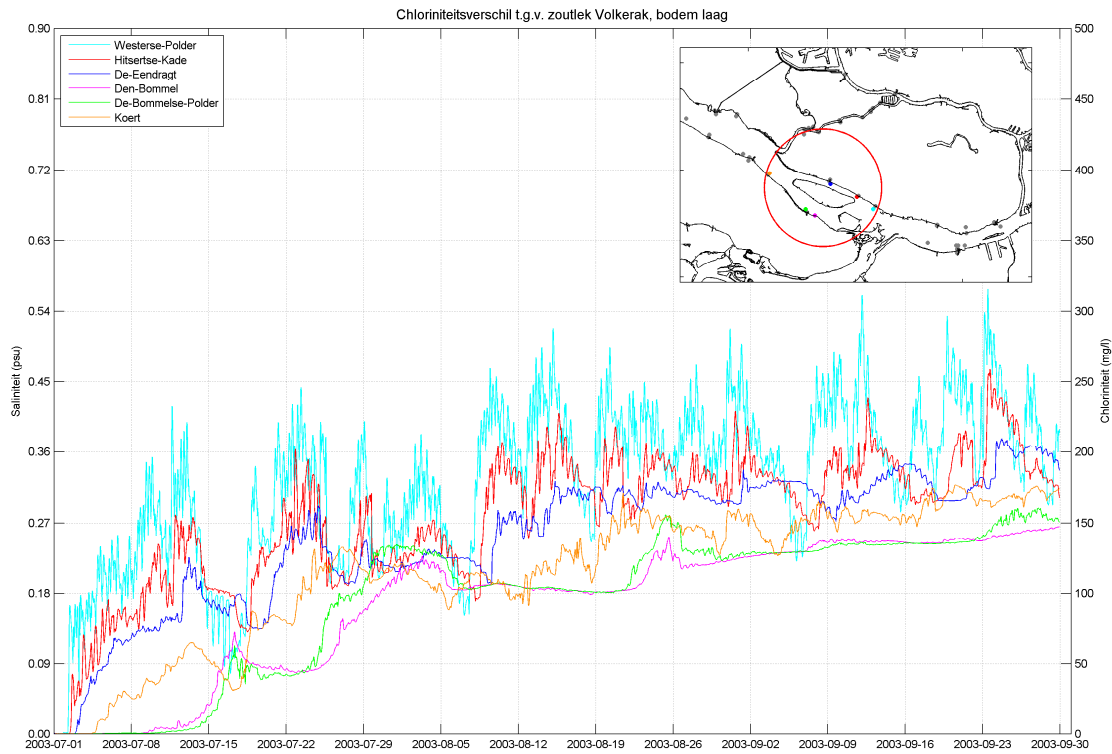
B Resultaten scenarioberekeningen 2003



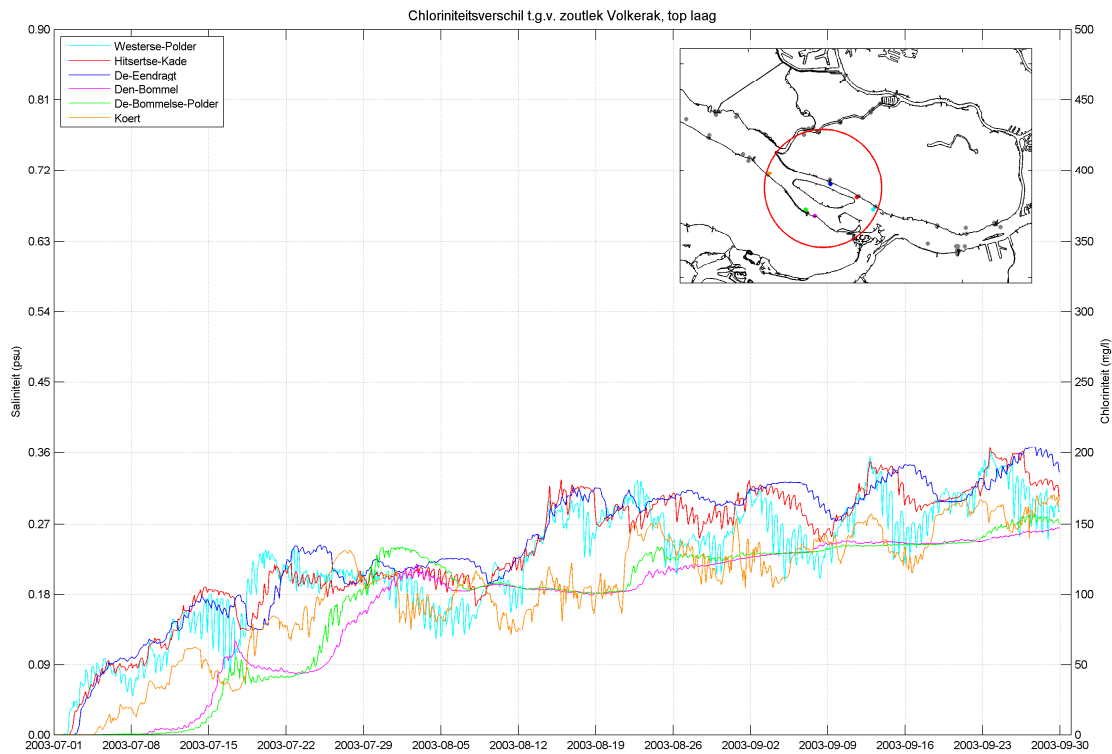
Figuur B.1 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet West



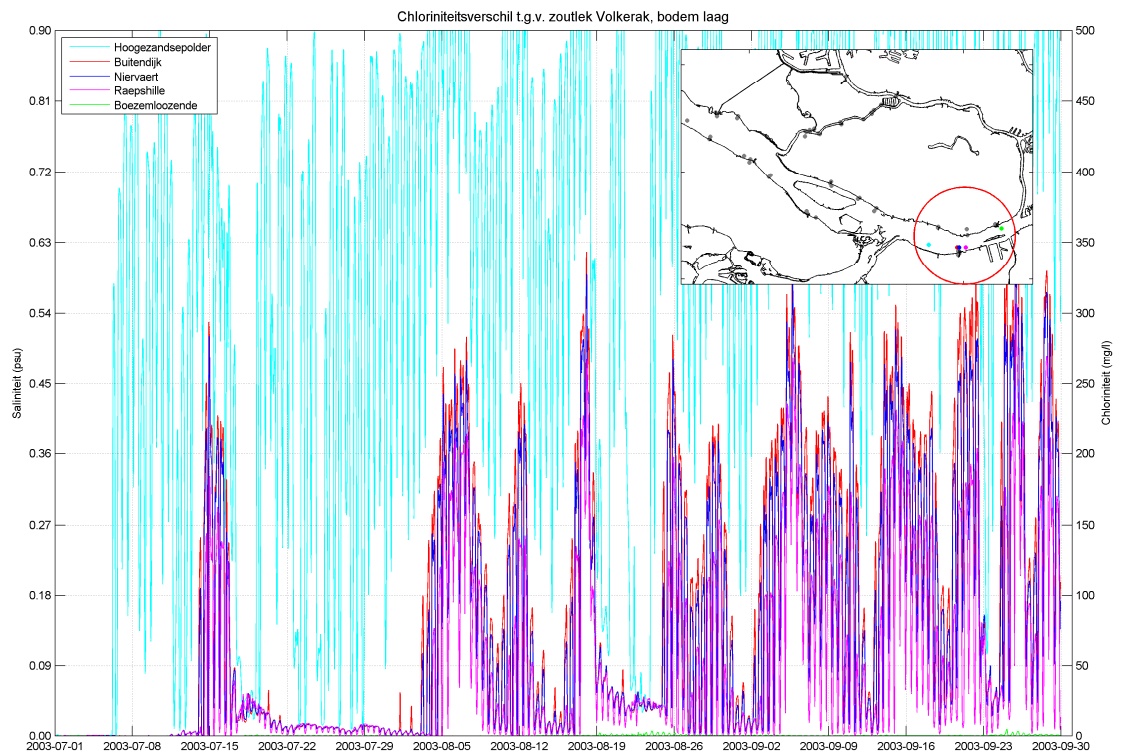
Figuur B.2 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet West



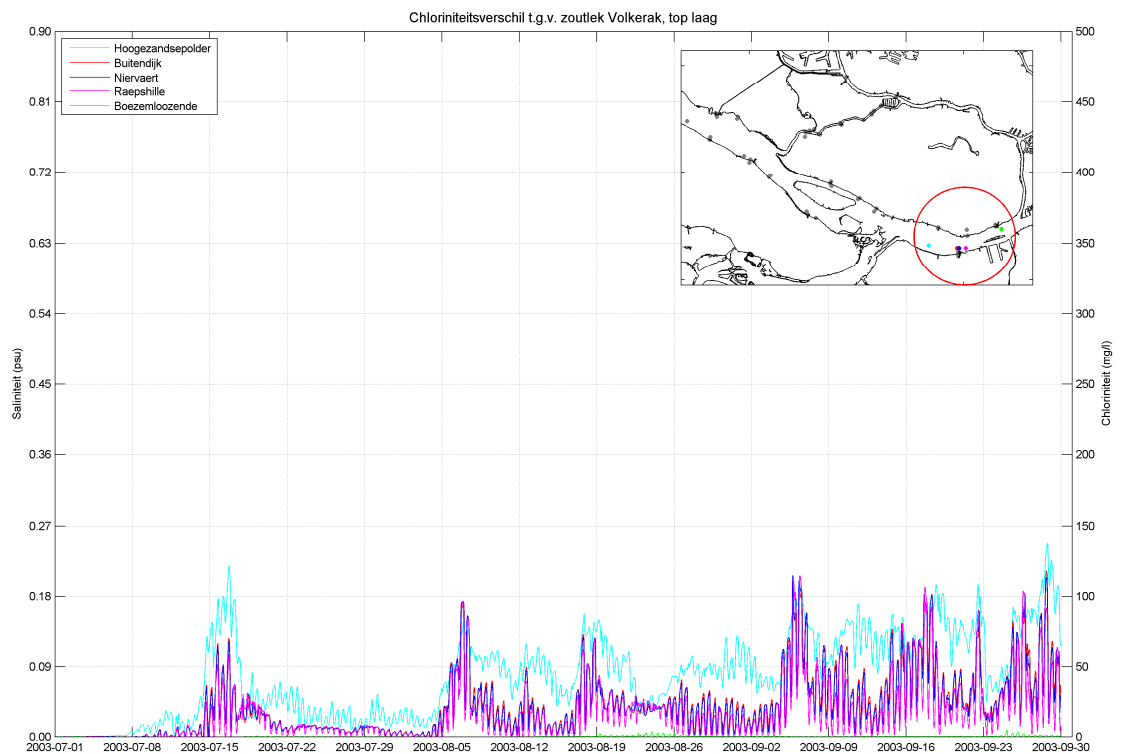
Figuur B.3 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet Oost



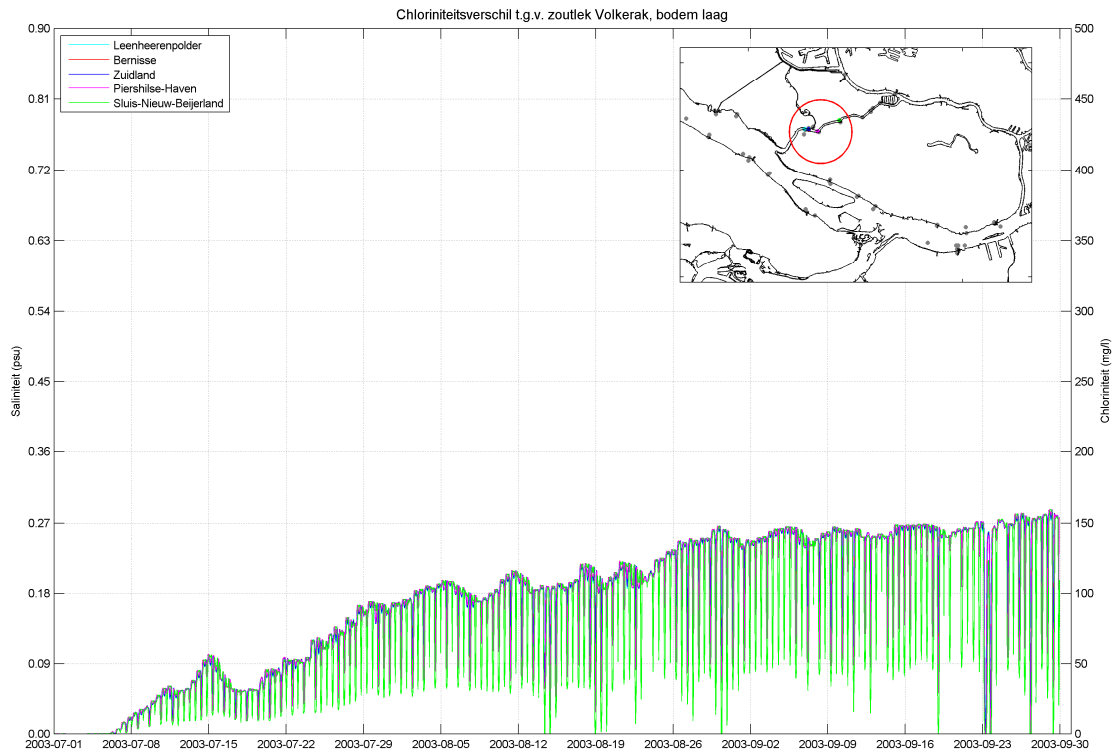
Figuur B.4 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Haringvliet Oost



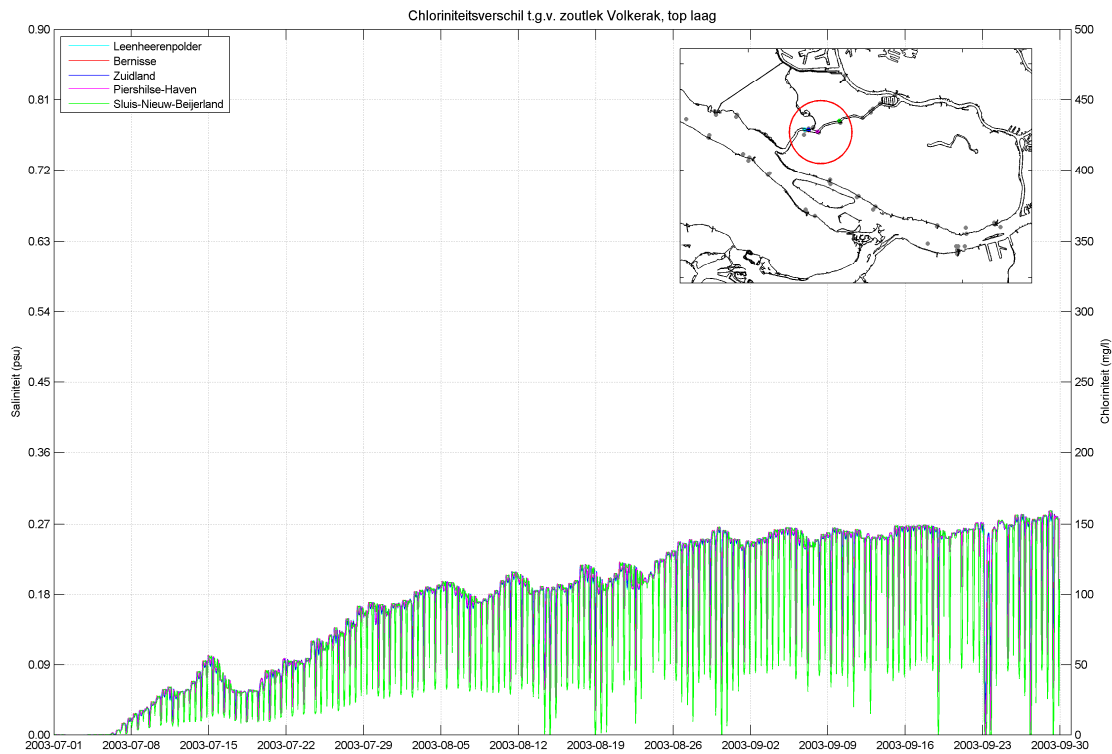
Figuur B.5 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Diep



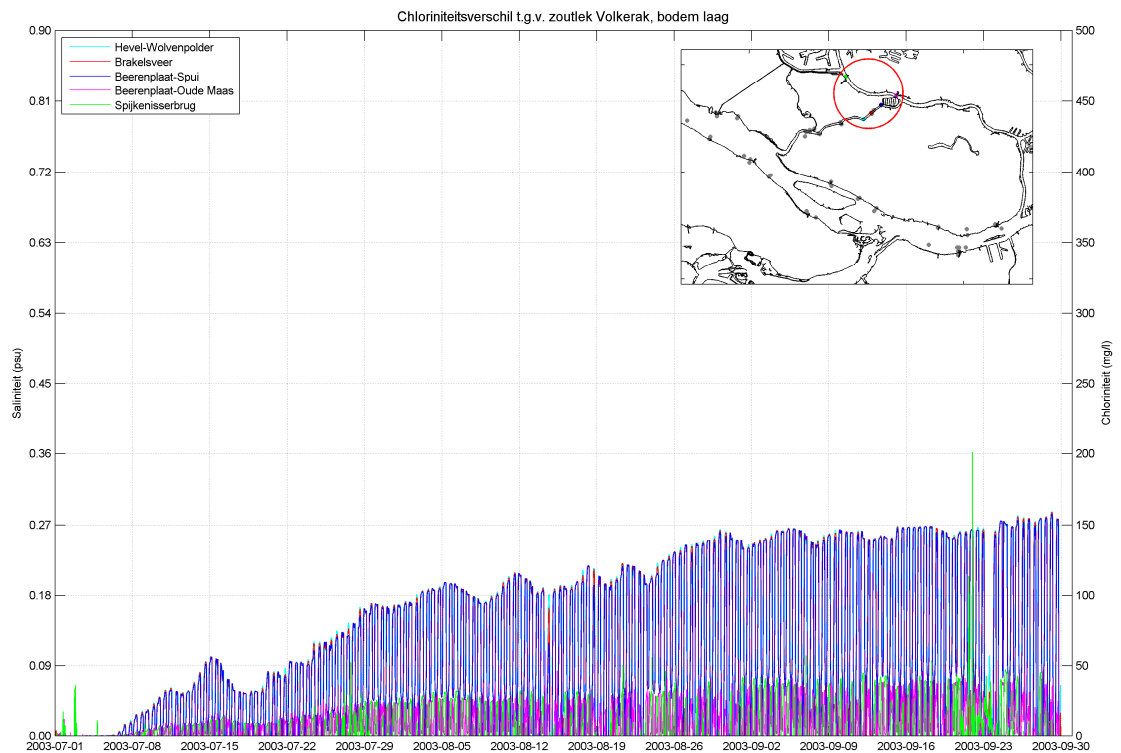
Figuur B.6 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Diep



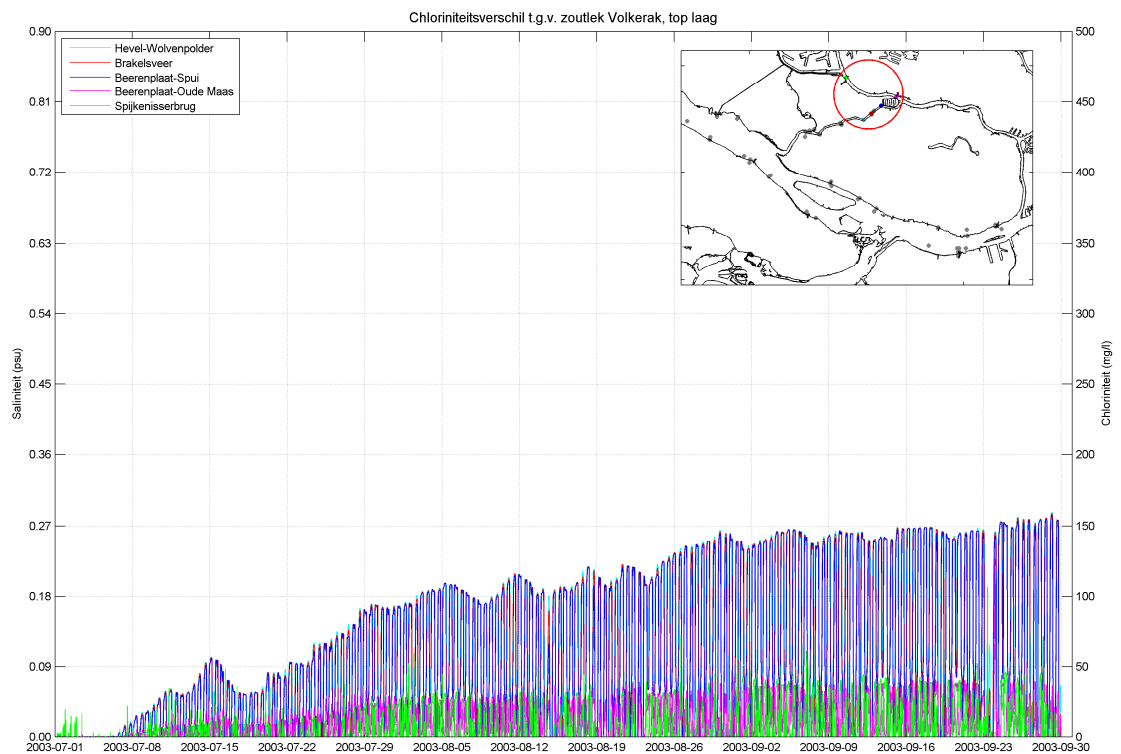
Figuur B.7 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui West



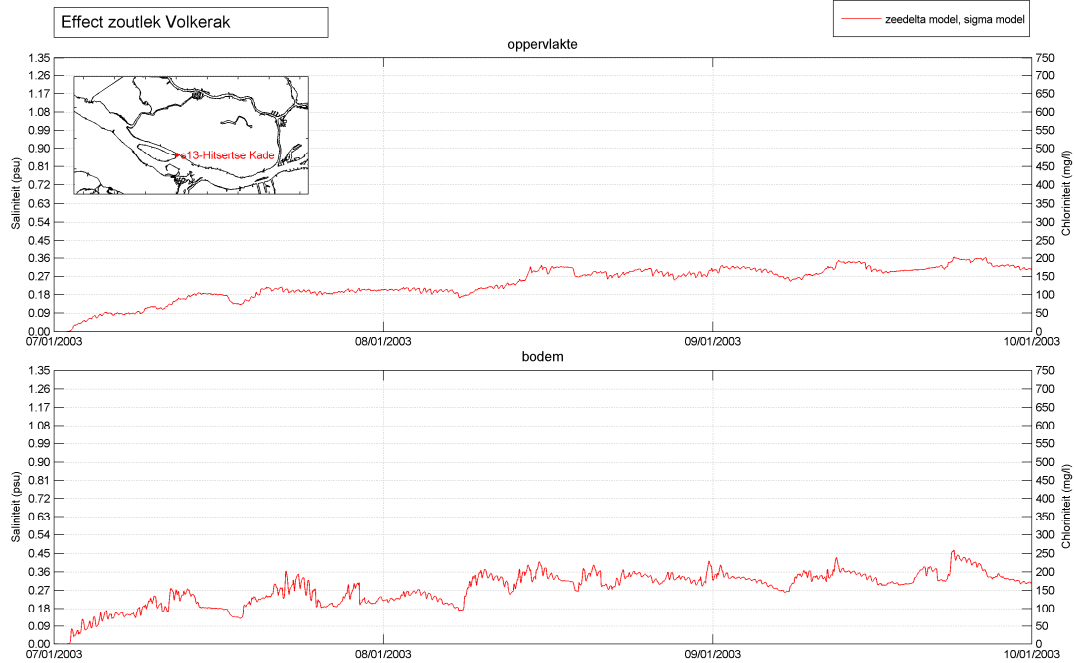
Figuur B.8 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Hollandsch Spui West



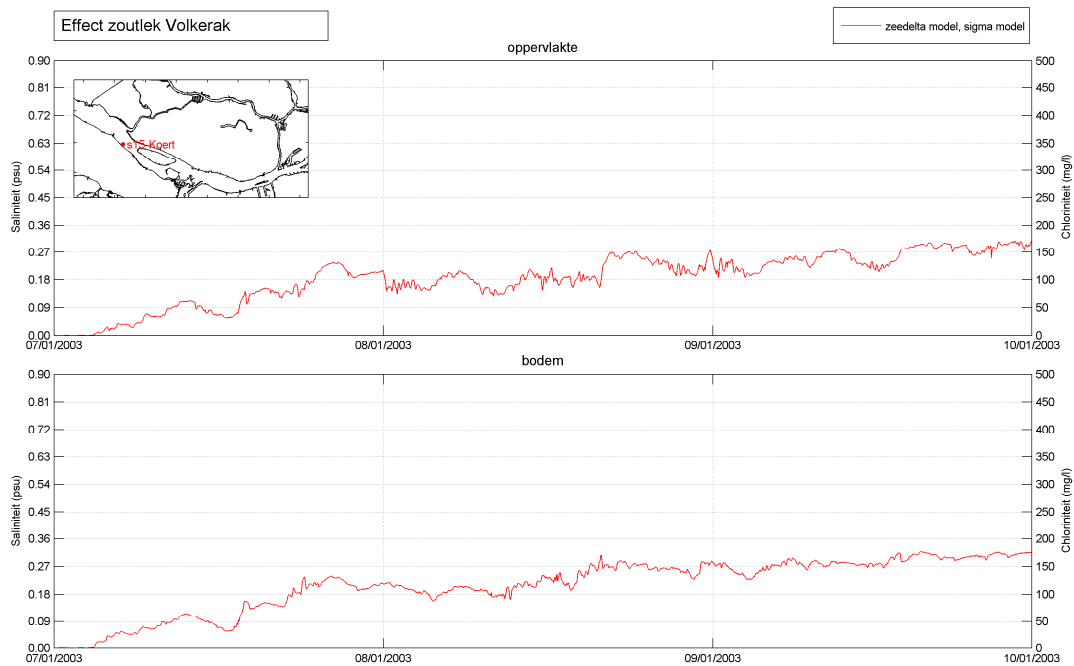
Figuur B.9 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui Noord



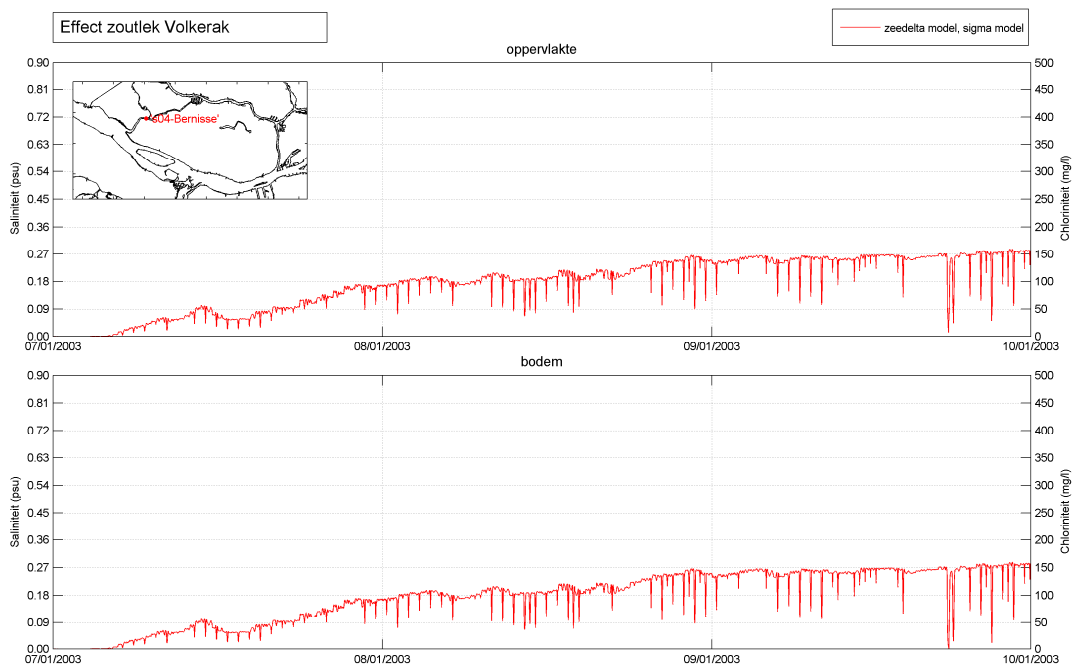
Figuur B.10 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003; Spui Noord



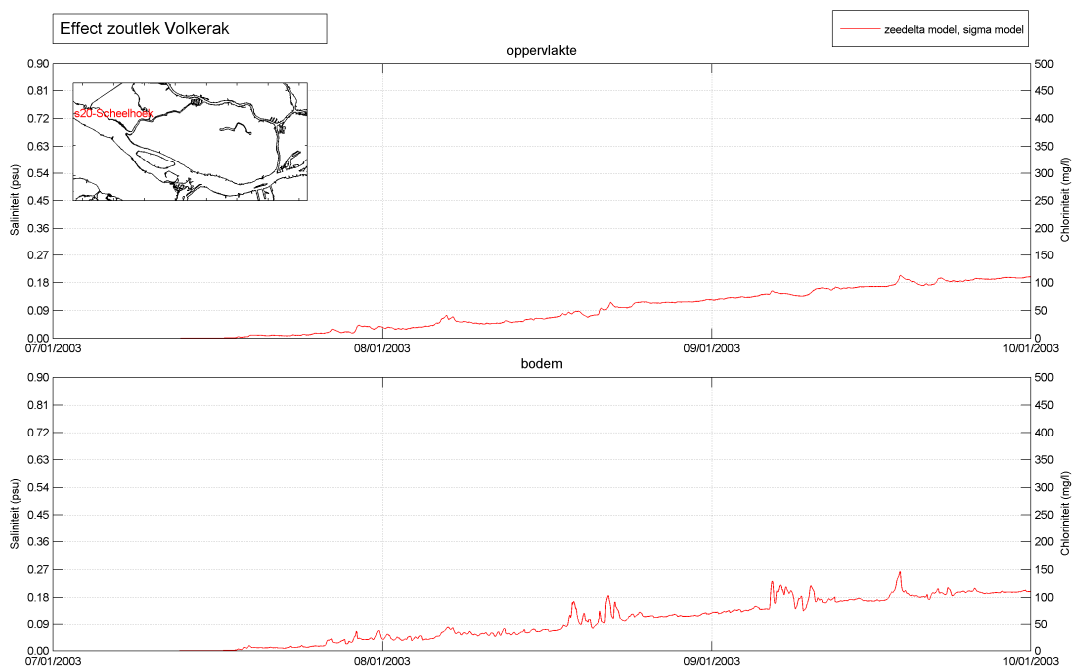
Figuur B.11 Chloriniteitsverhoging te Hitsertse Kade als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003



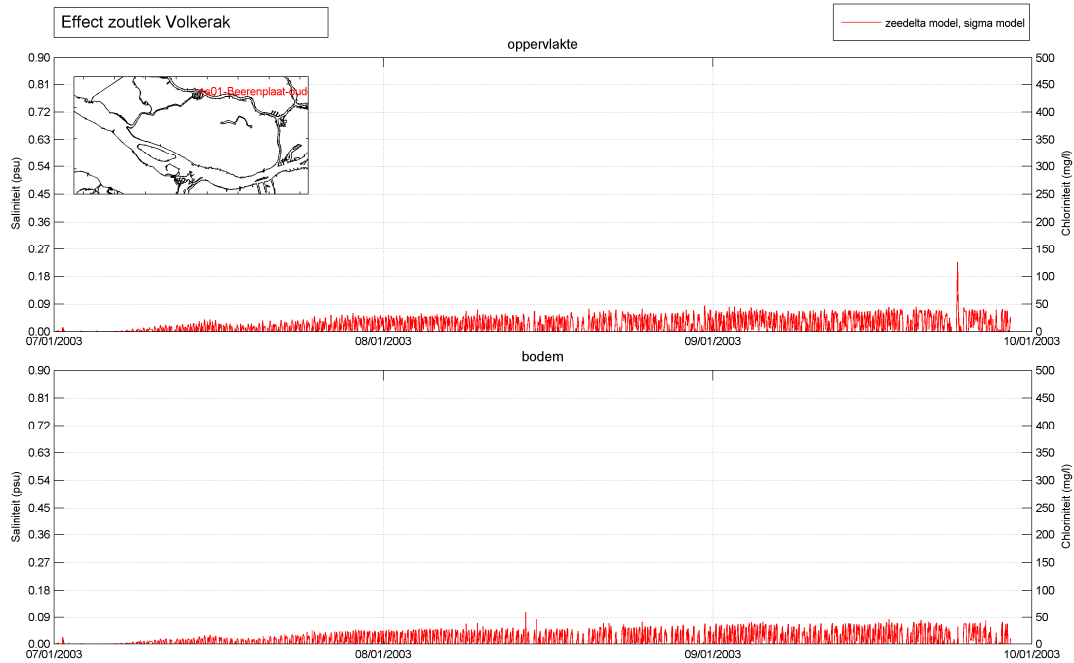
Figuur B.12 Chloriniteitsverhoging te Koert als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003



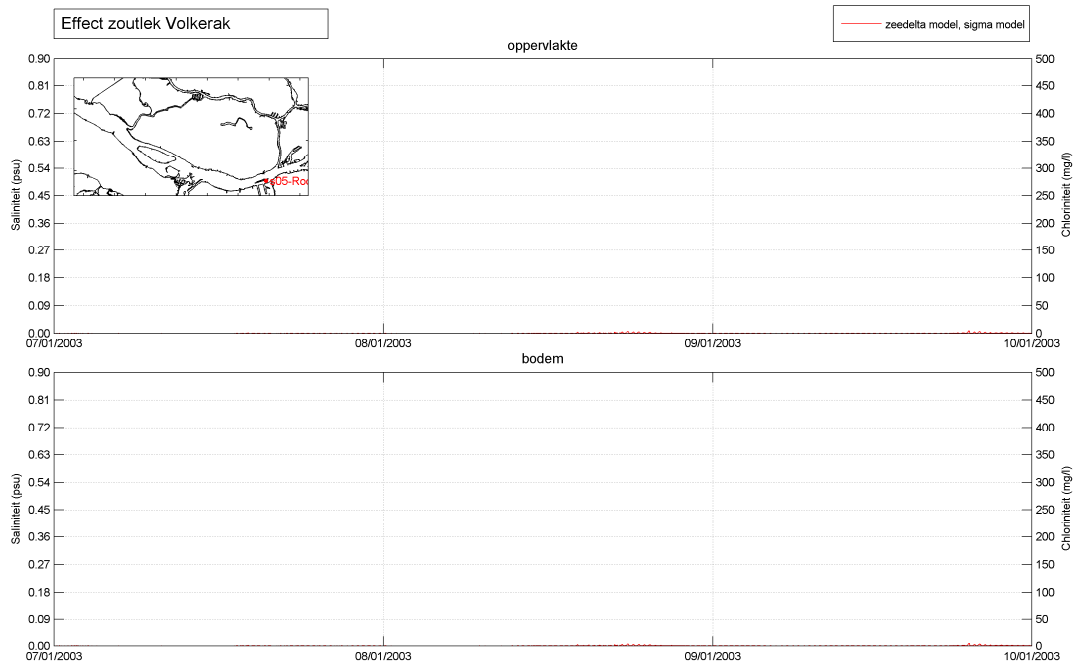
Figuur B.13 Chloriniteitsverhoging te Bernisse als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003



Figuur B.14 Chloriniteitsverhoging te Scheelhoek als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003

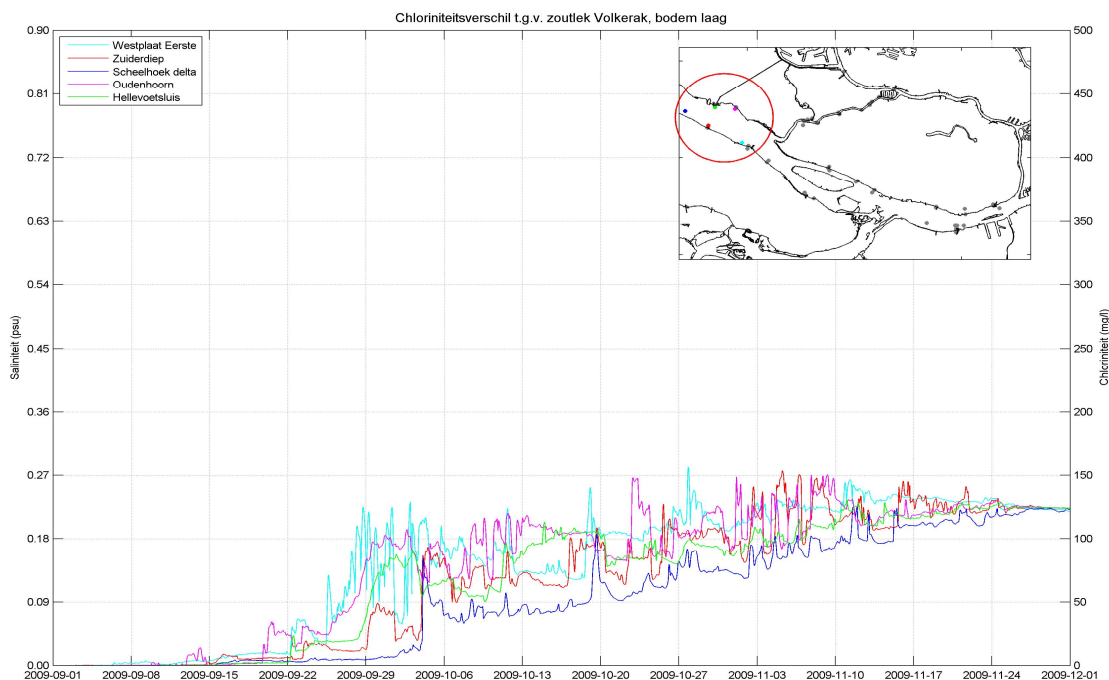


Figuur B.15 Chloriniteitsverhoging te Beerenplaat (oude Maas) als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003

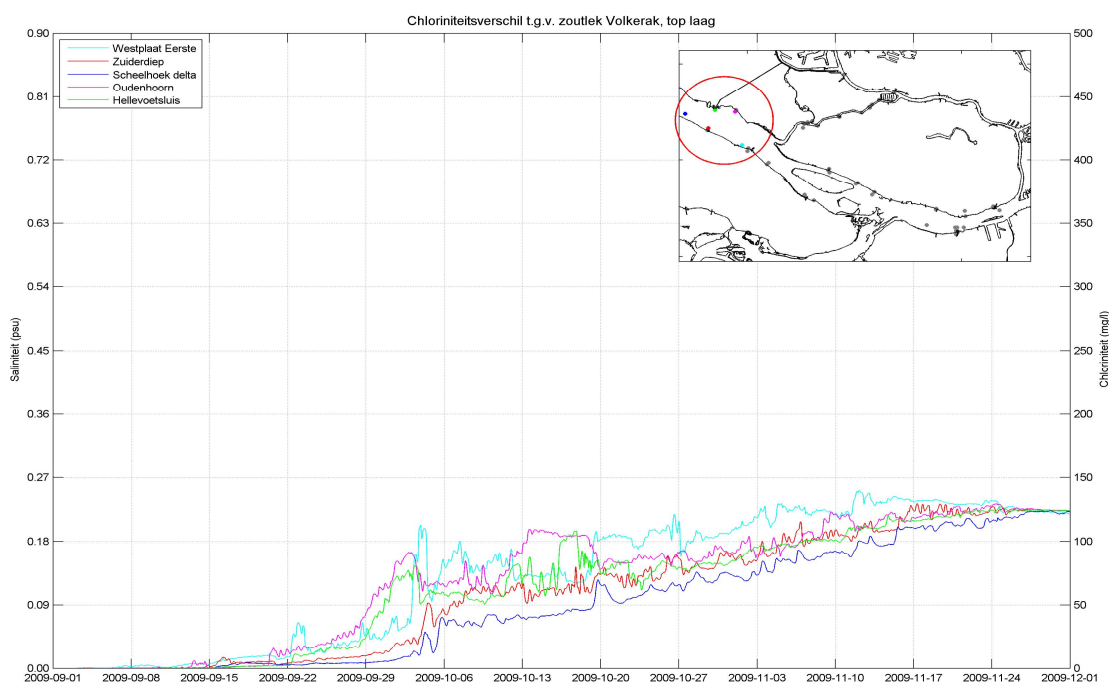


Figuur B.16 Chloriniteitsverhoging te Roode Vaart als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2003

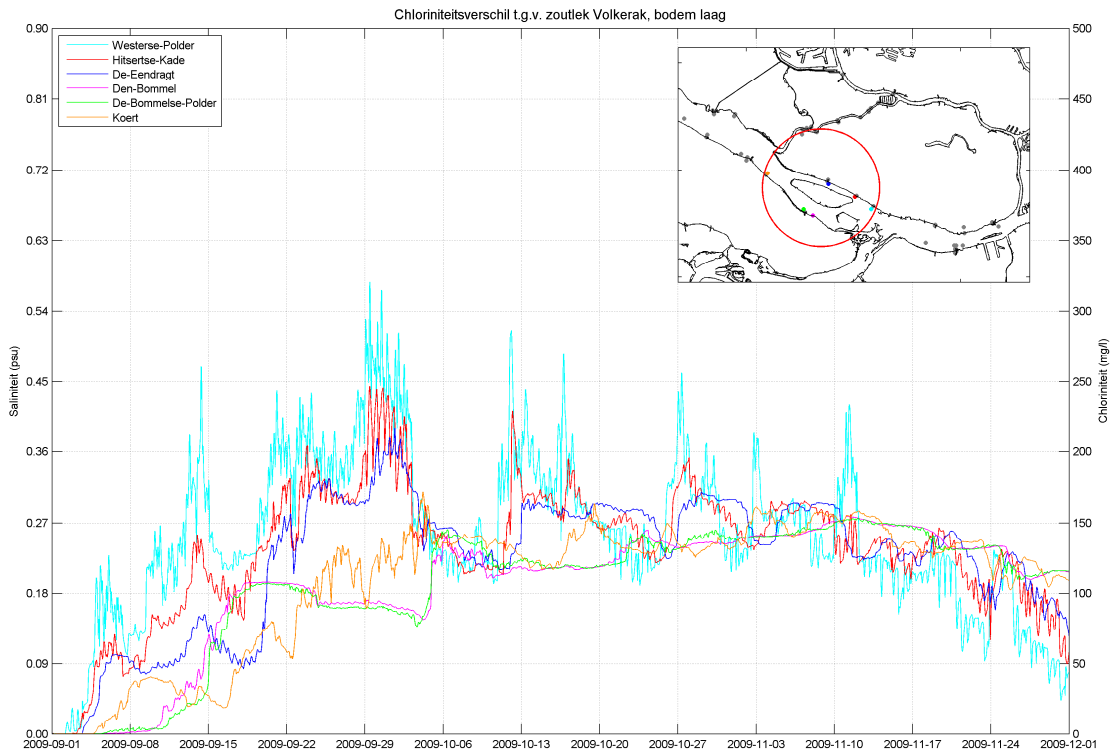
C Resultaten scenarioberekeningen 2009



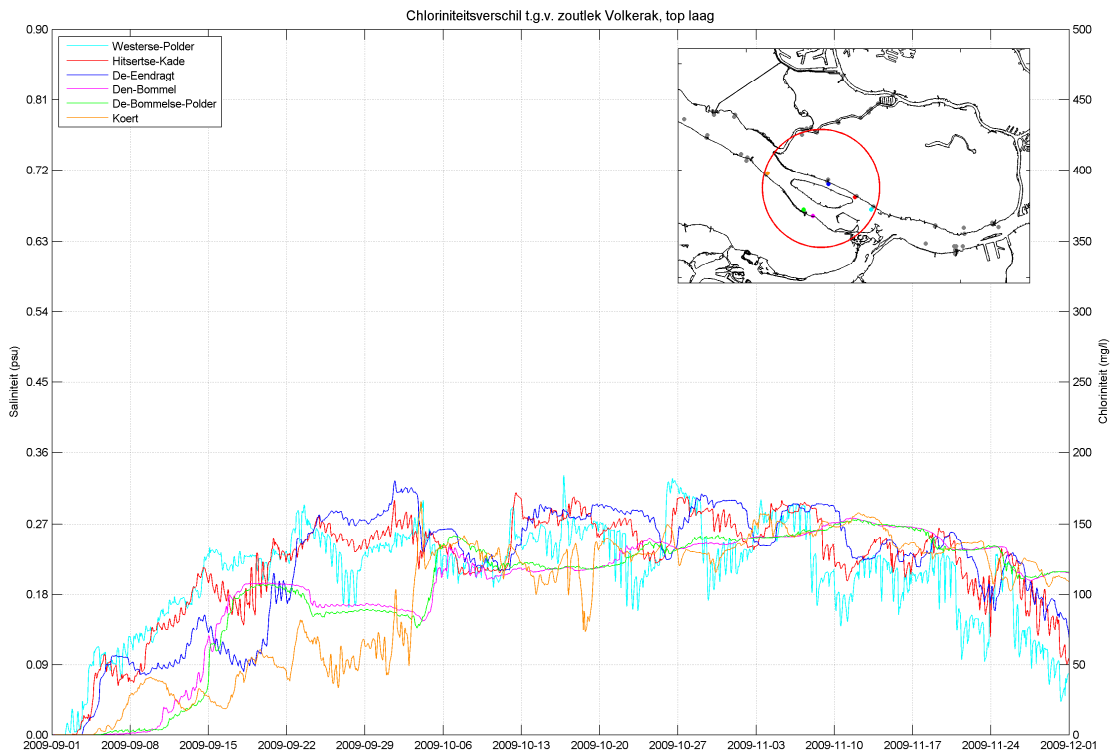
Figuur C.1 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet West



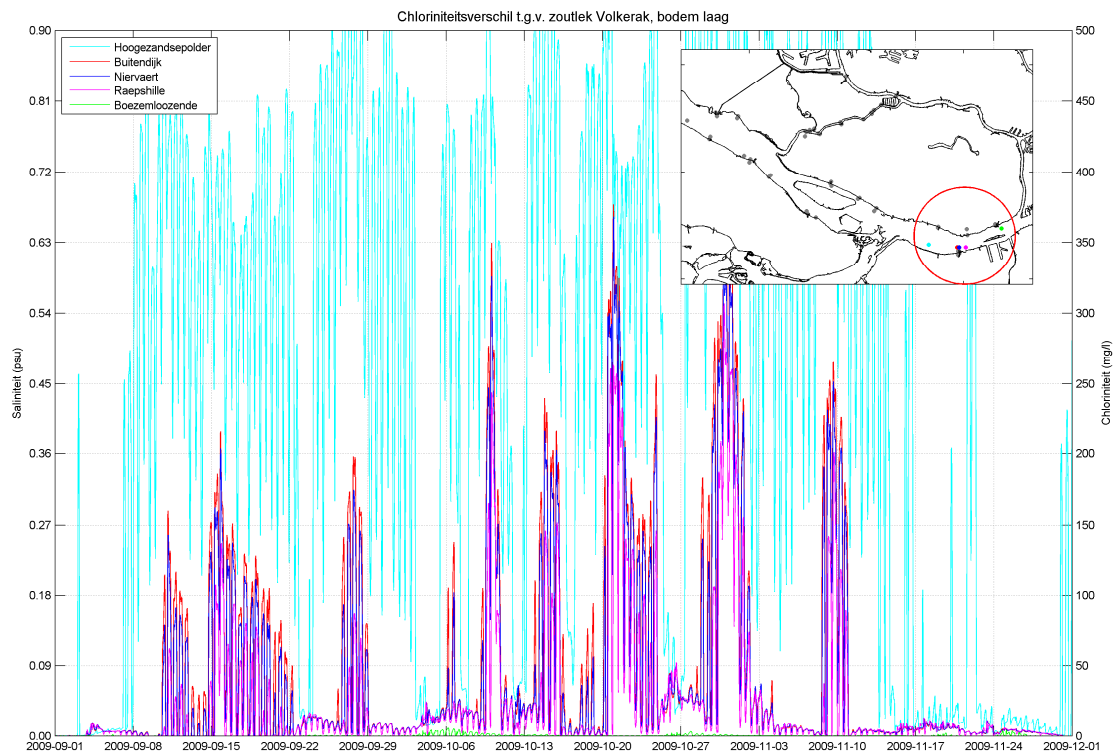
Figuur C.2 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet West



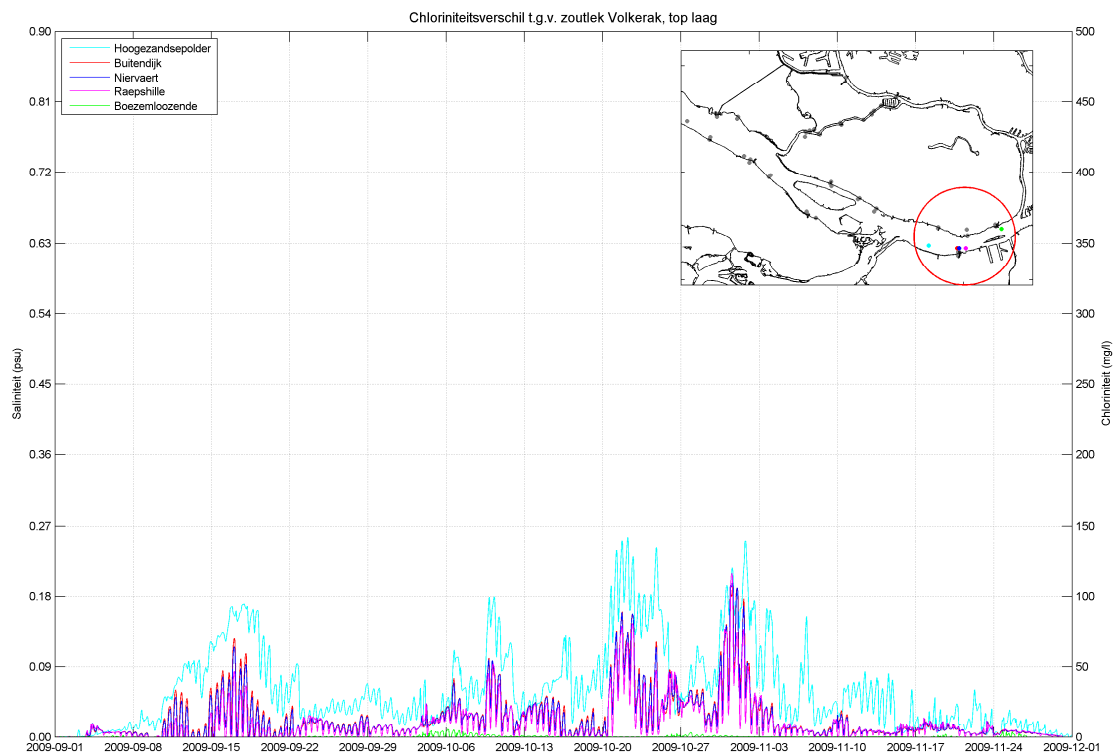
Figuur C.3 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet Oost



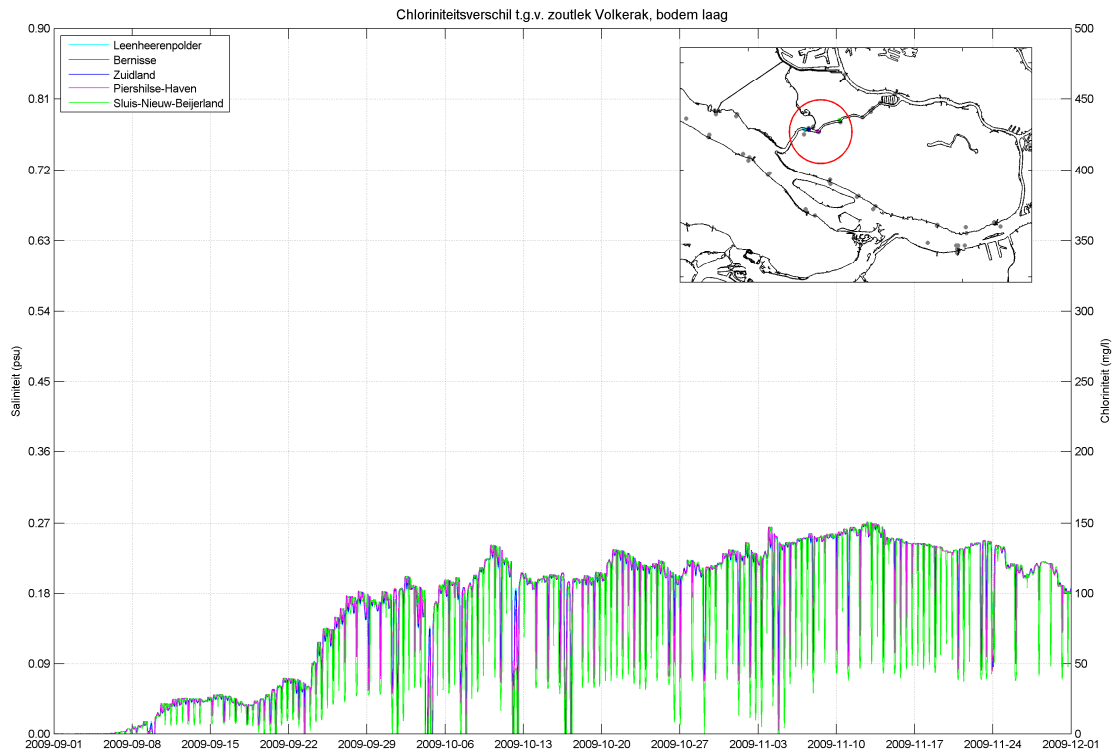
Figuur C.4 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Haringvliet Oost



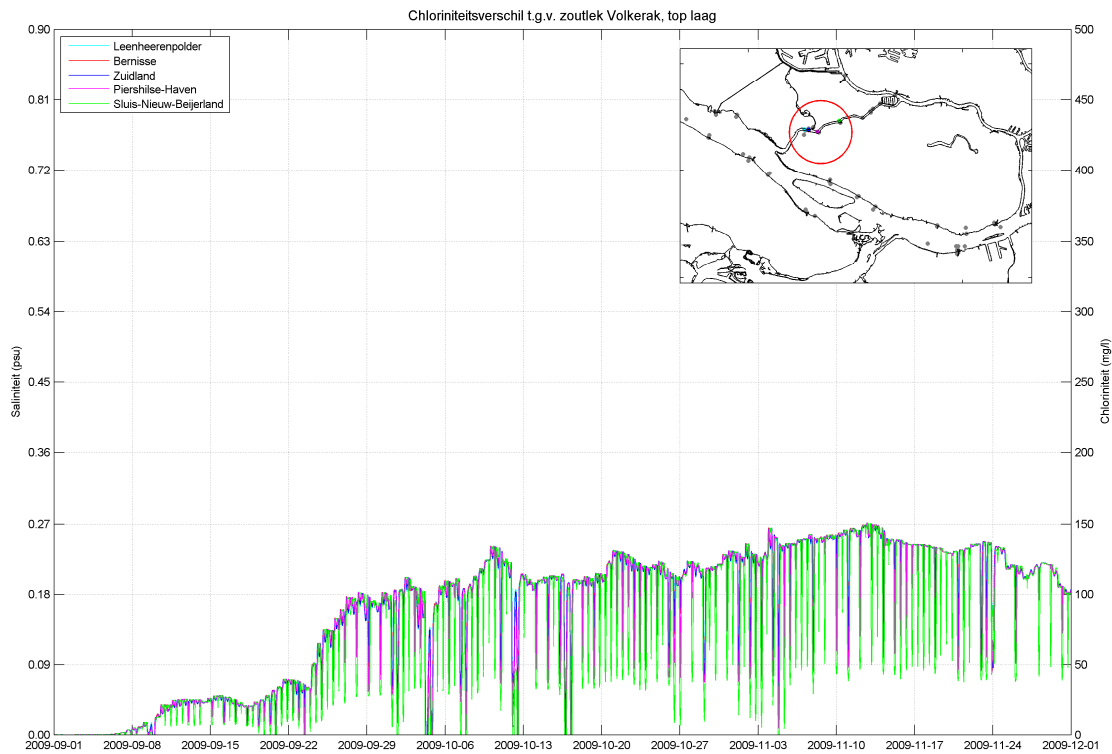
Figuur C.5 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Diep



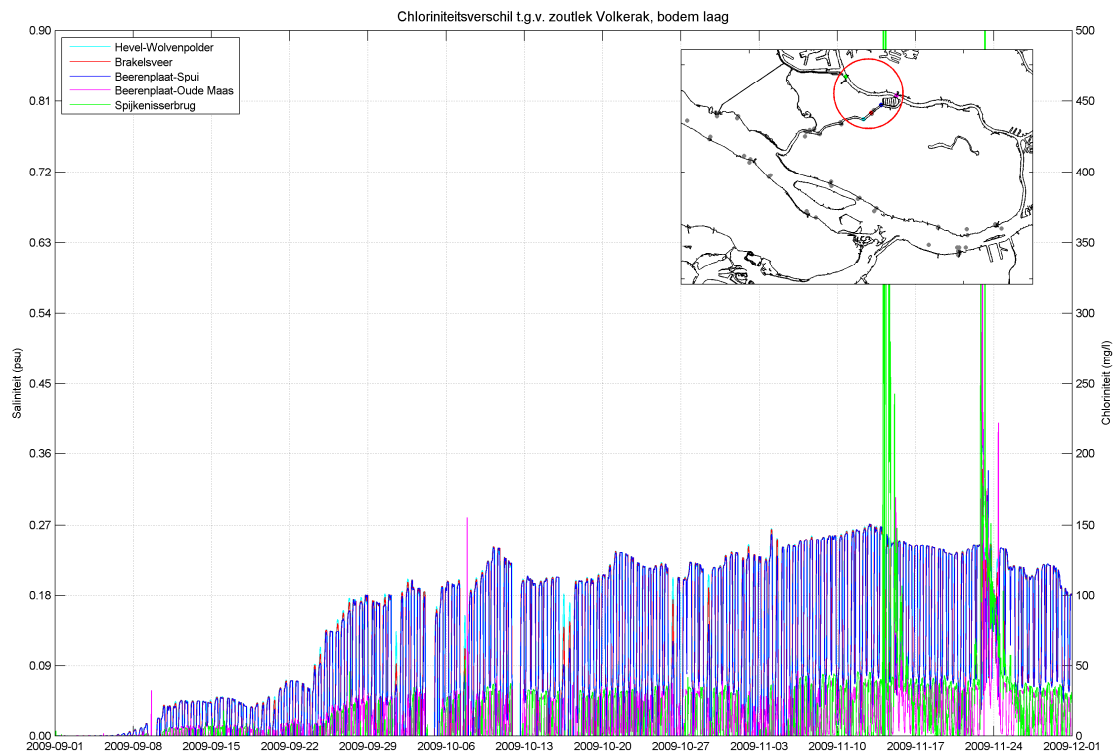
Figuur C.6 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Diep



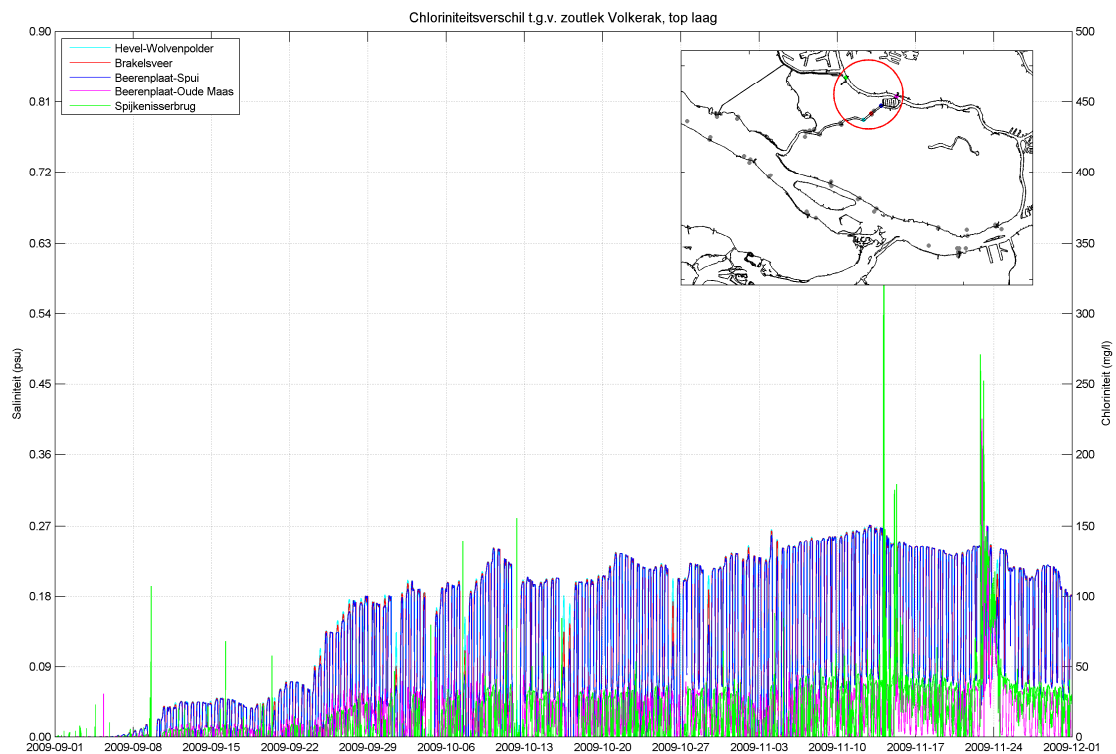
Figuur C.7 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui West



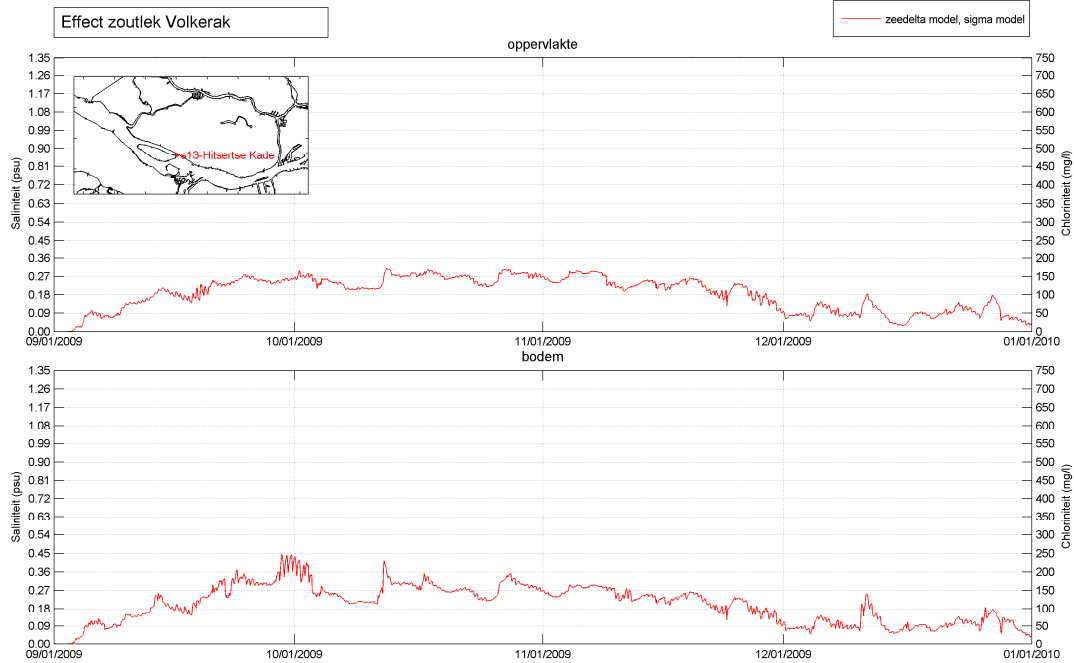
Figuur C.8 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Hollandsch Spui West



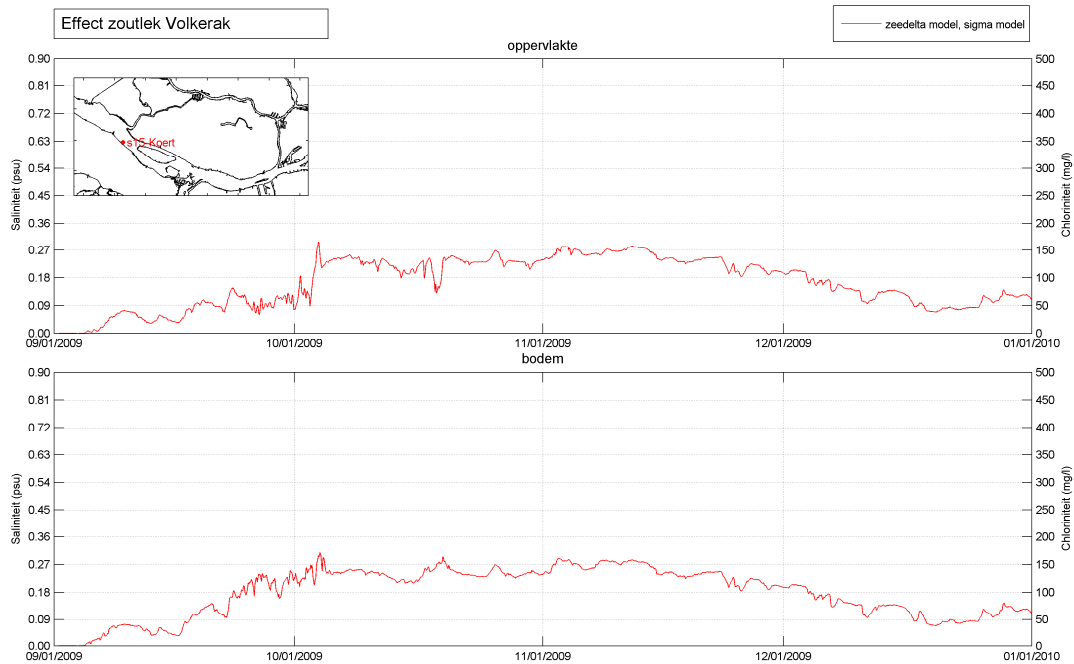
Figuur C.9 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui Noord



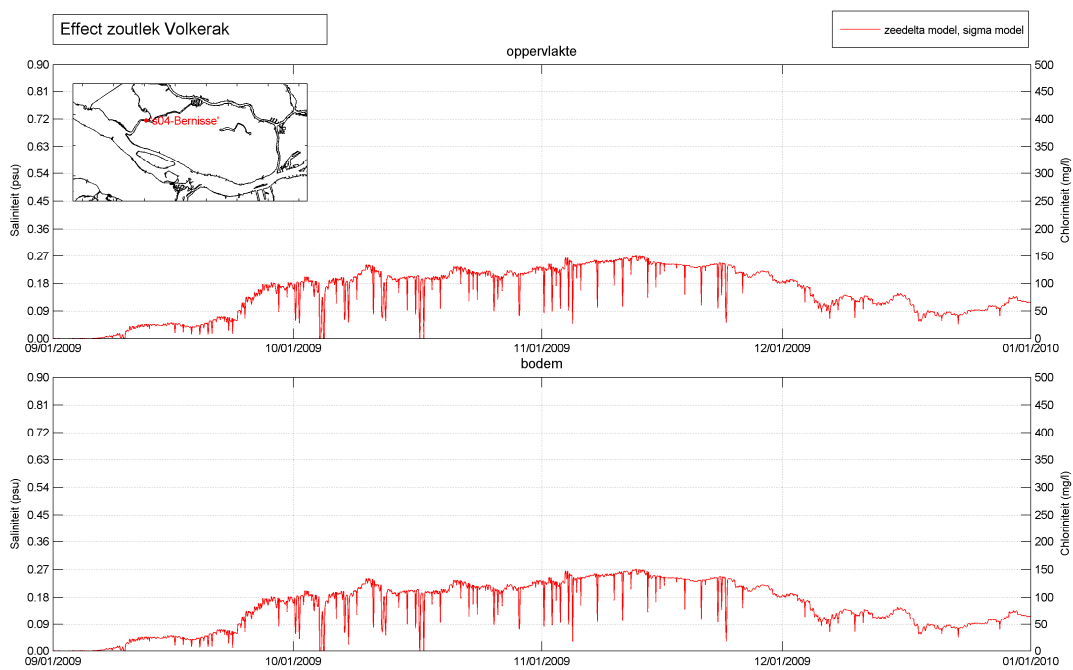
Figuur C.10 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2009; Spui Noord



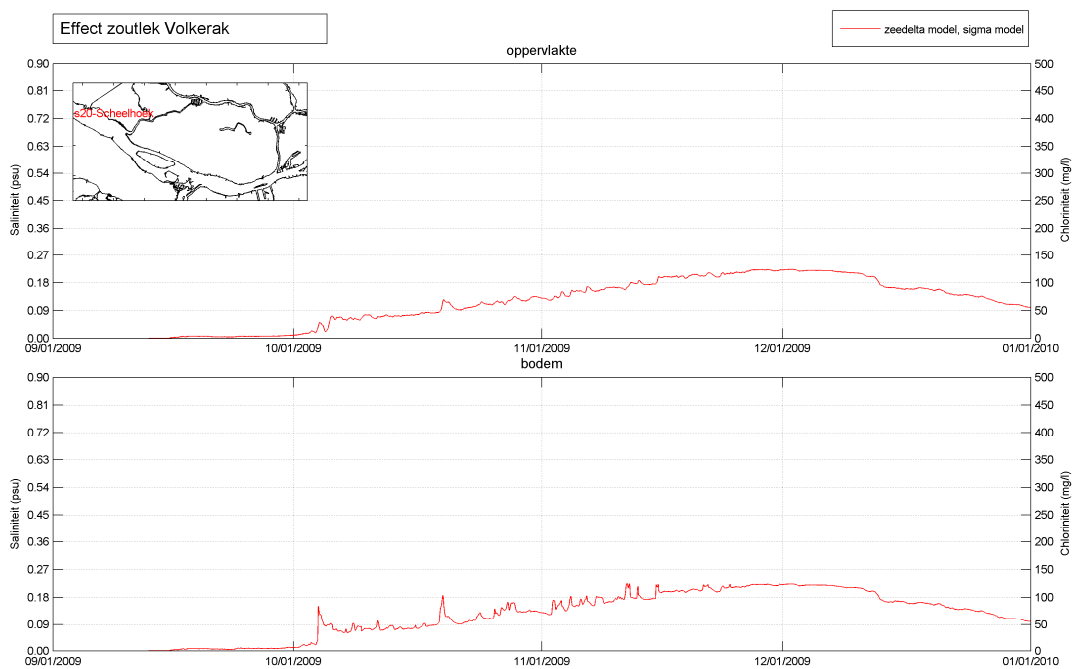
Figuur C.11 Chloriniteitsverhoging te Hitsertse Kade als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009



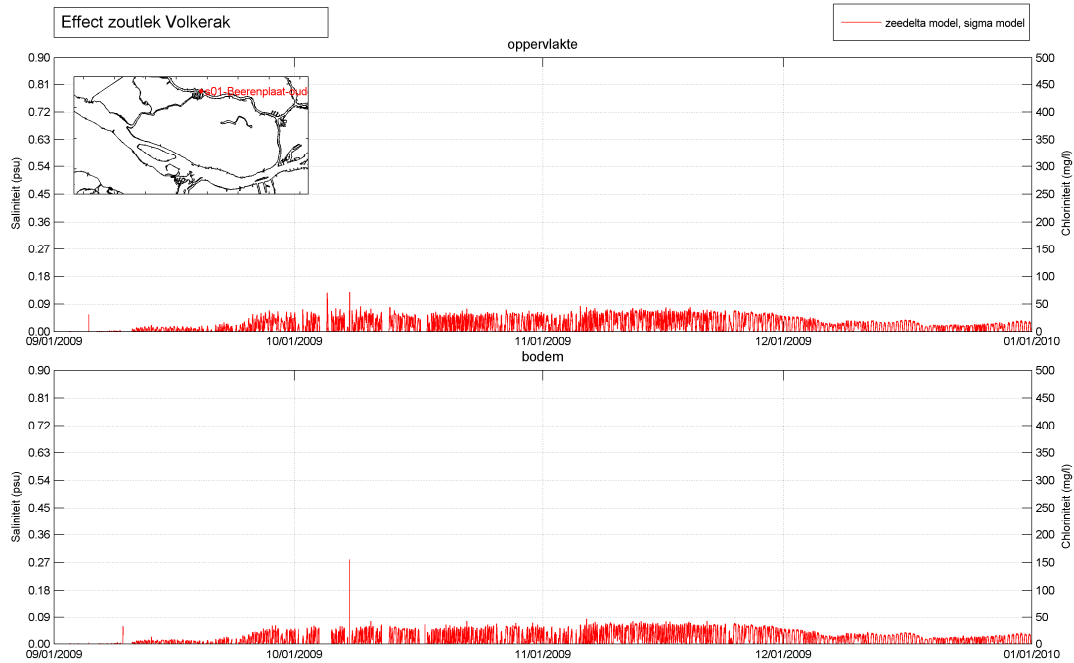
Figuur C.12 Chloriniteitsverhoging te Koert als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009



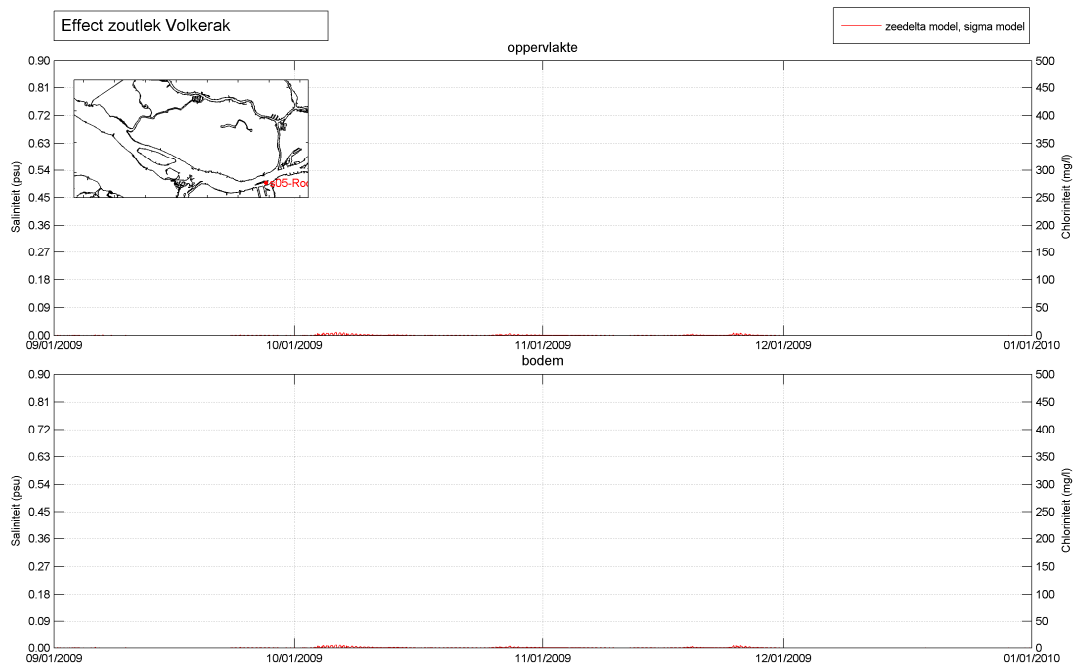
Figuur C.13 Chloriniteitsverhoging te Bernisse als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009



Figuur C.14 Chloriniteitsverhoging te Scheelhoek als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009

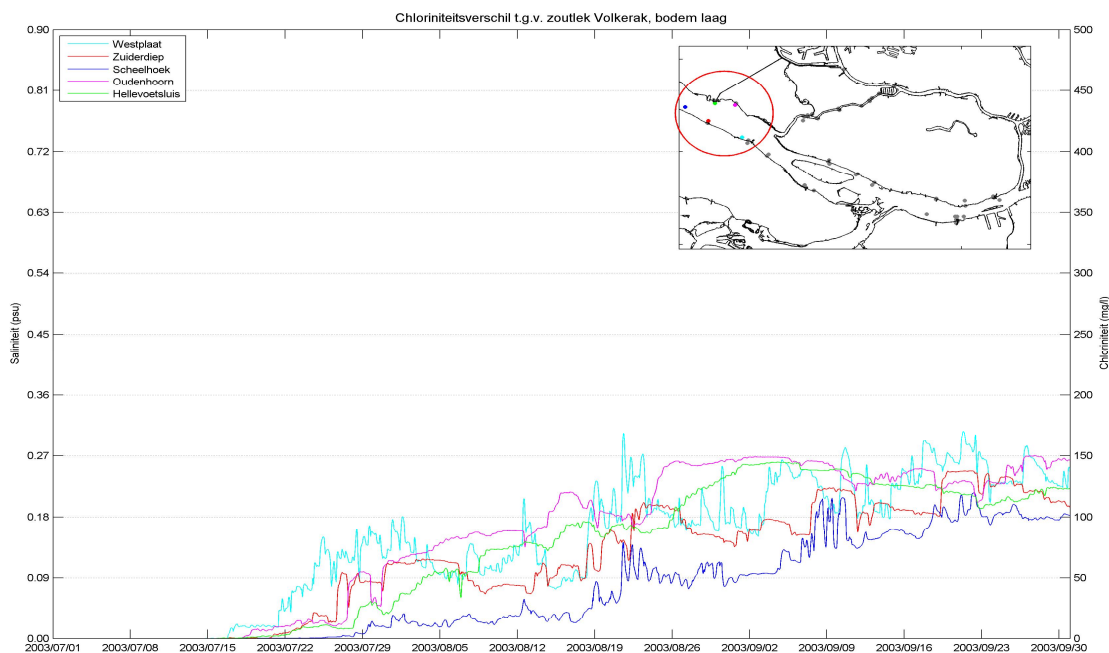


Figuur C.15 Chloriniteitsverhoging te Beerenplaat als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009

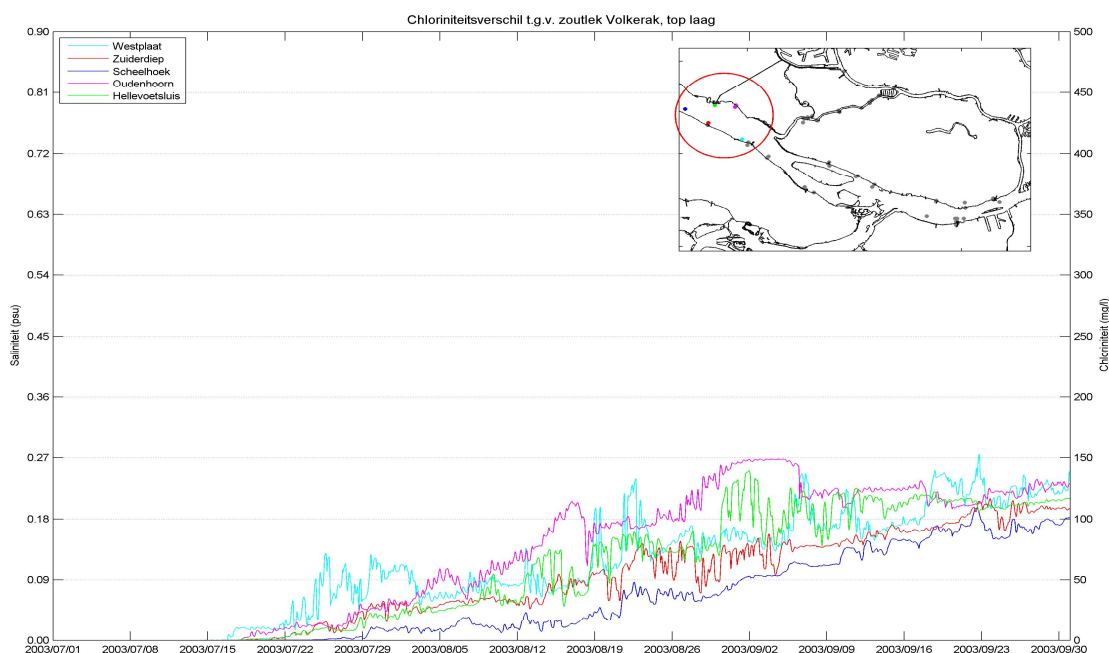


Figuur C.16 Chloriniteitsverhoging te Roode Vaart als gevolg van zoutlek Volkeraksluizen; 2009

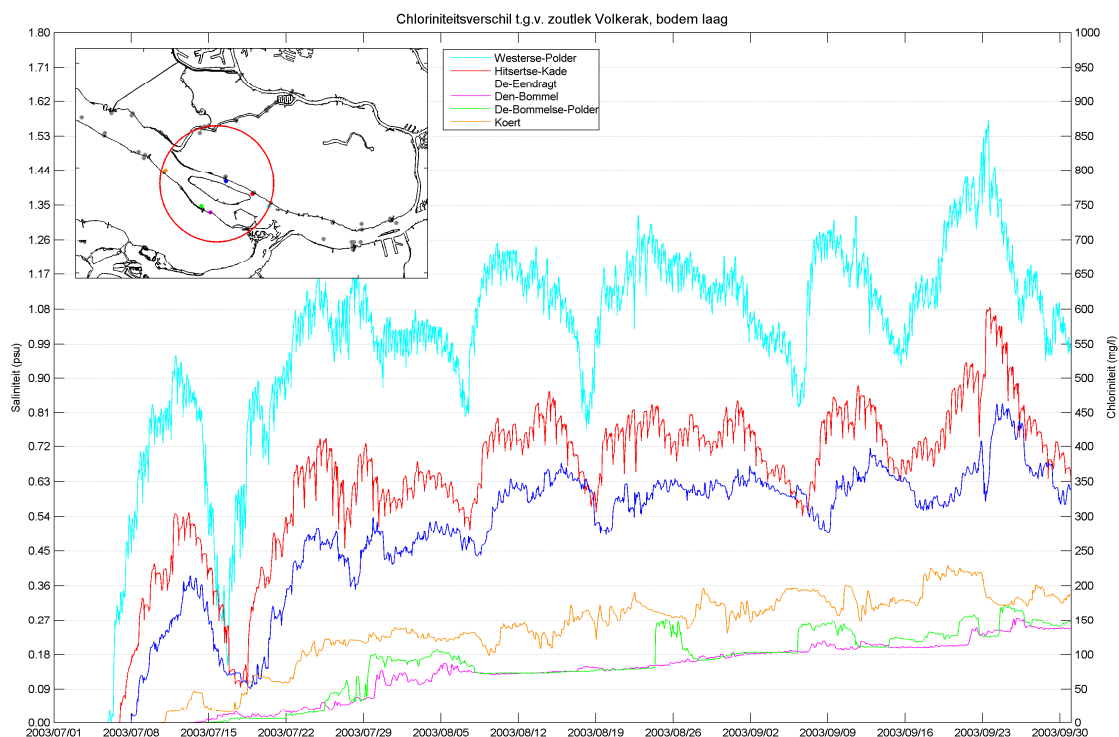
D Resultaten referentieberekening vaste lagen model



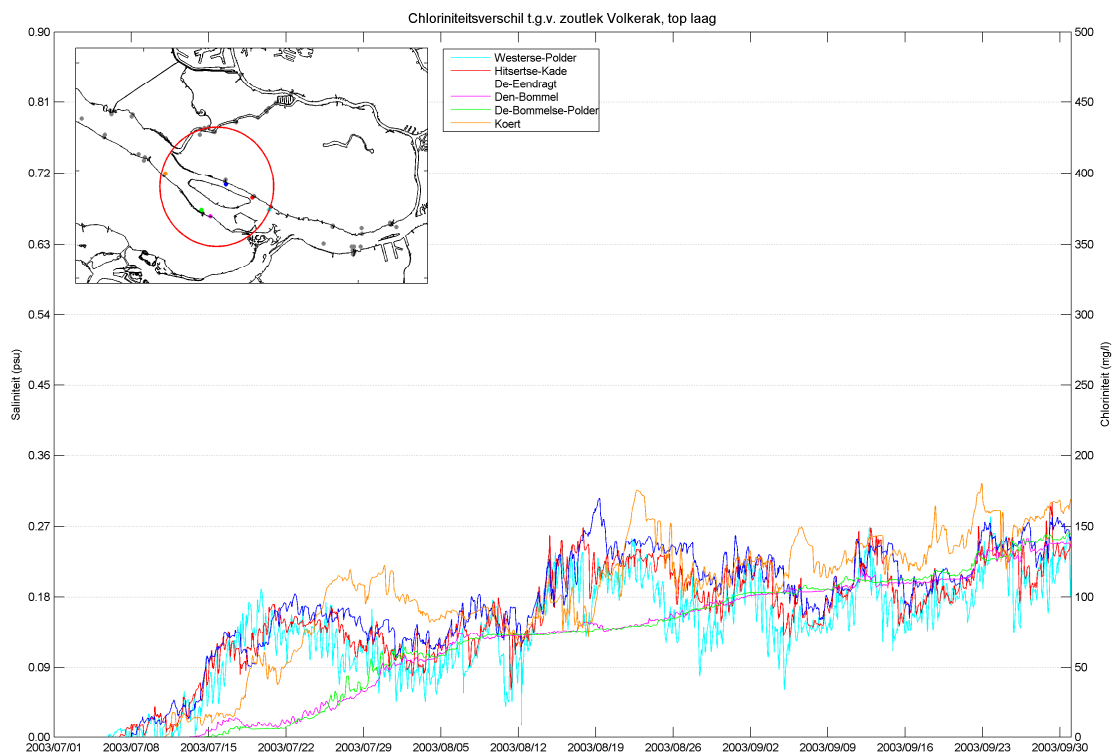
Figuur D.1 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet West



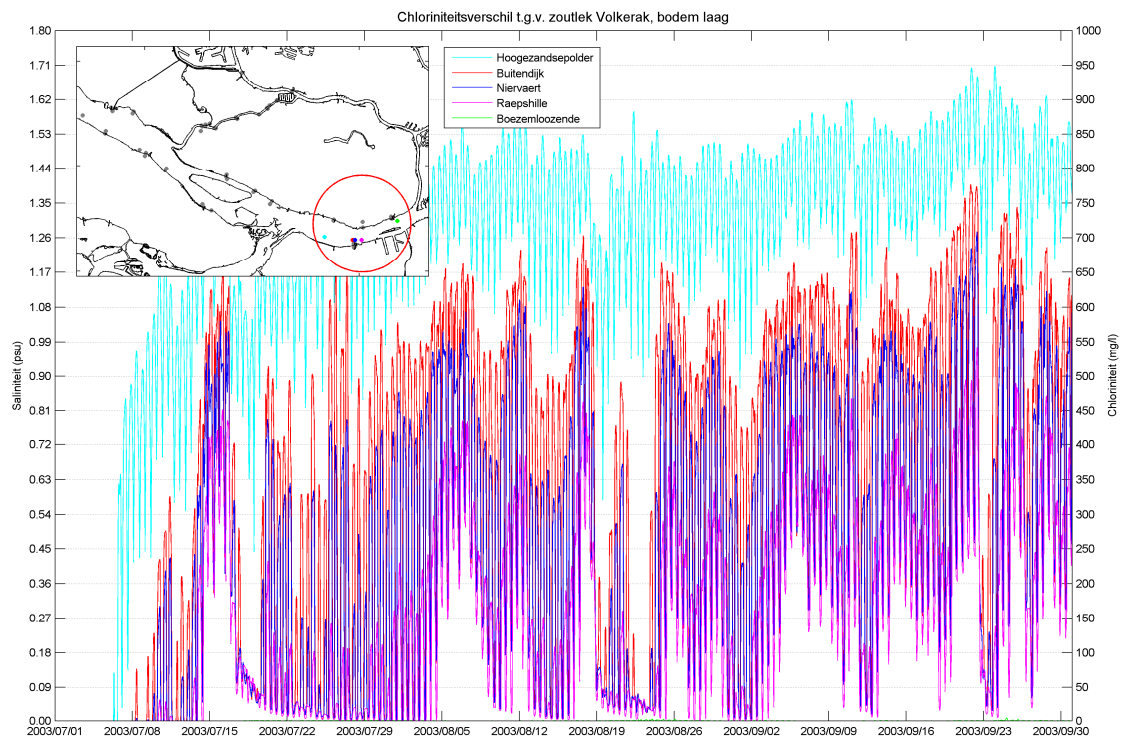
Figuur D.2 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet West



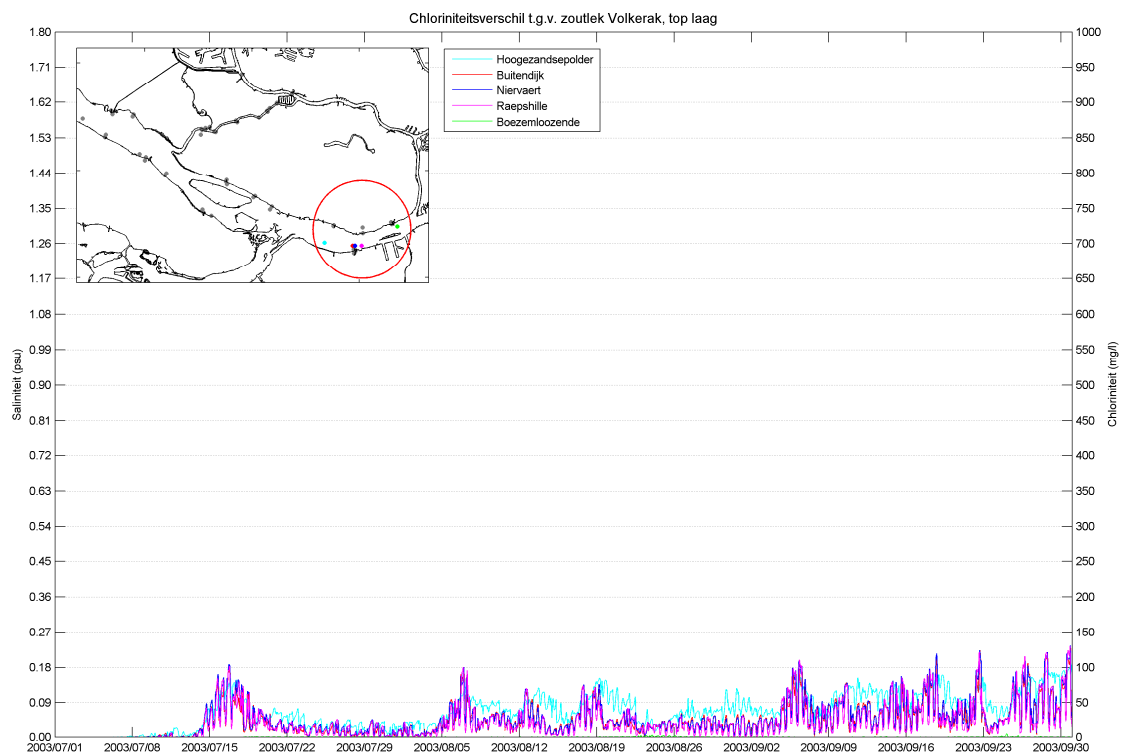
Figuur D.3 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet Oost



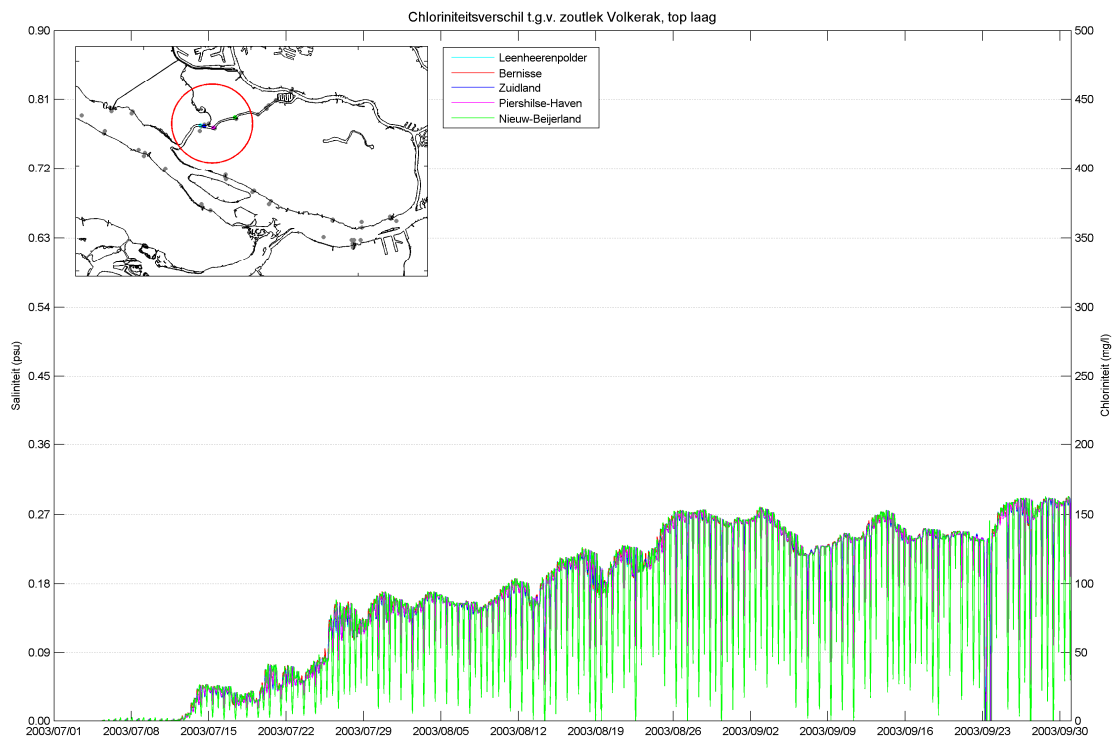
Figuur D.4 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Haringvliet Oost



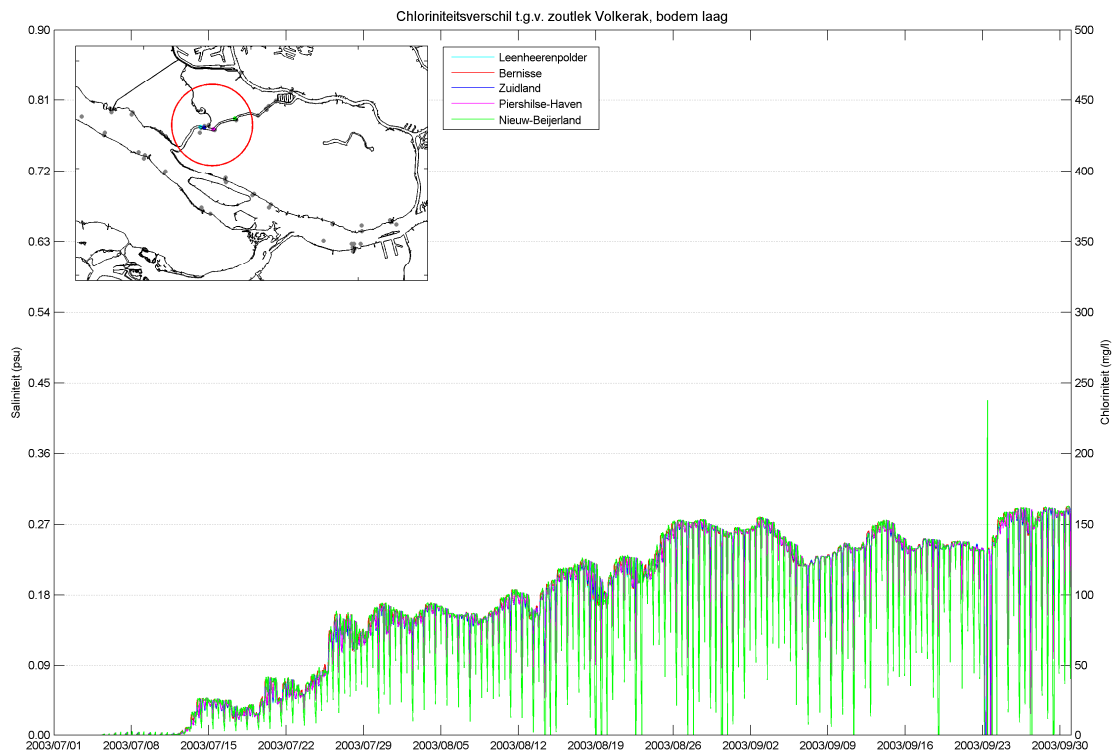
Figuur D.5 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Hollandsch Diep



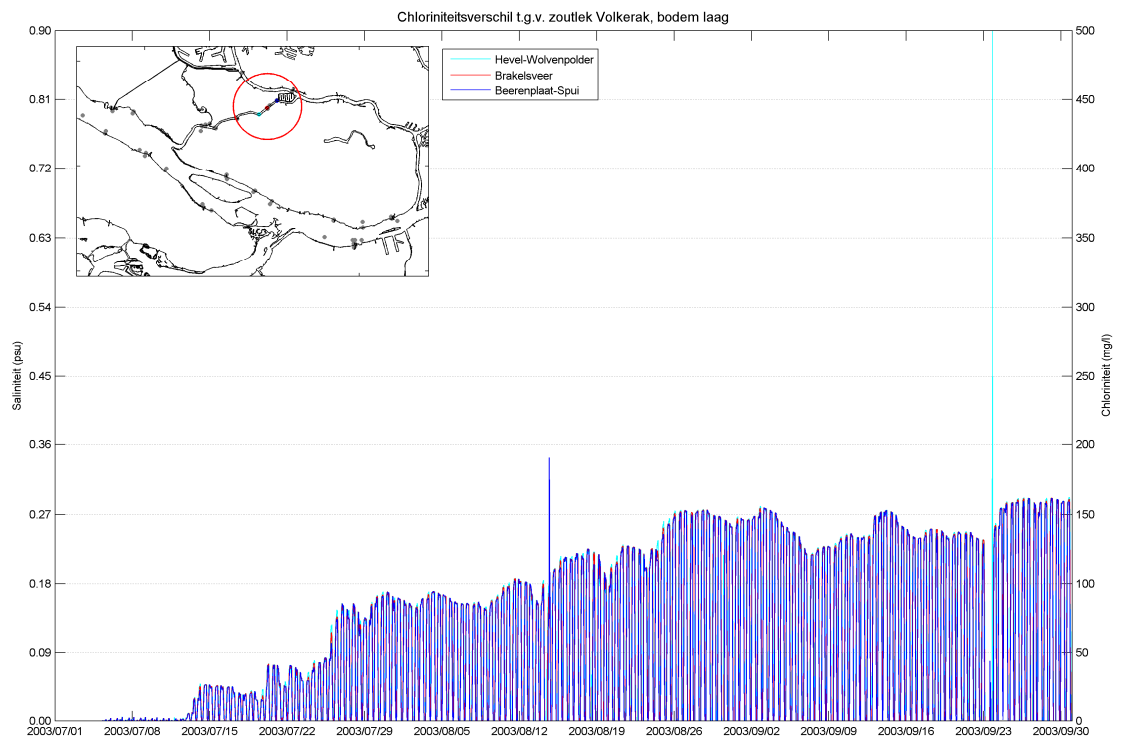
Figuur D.6 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Hollandsch Diep



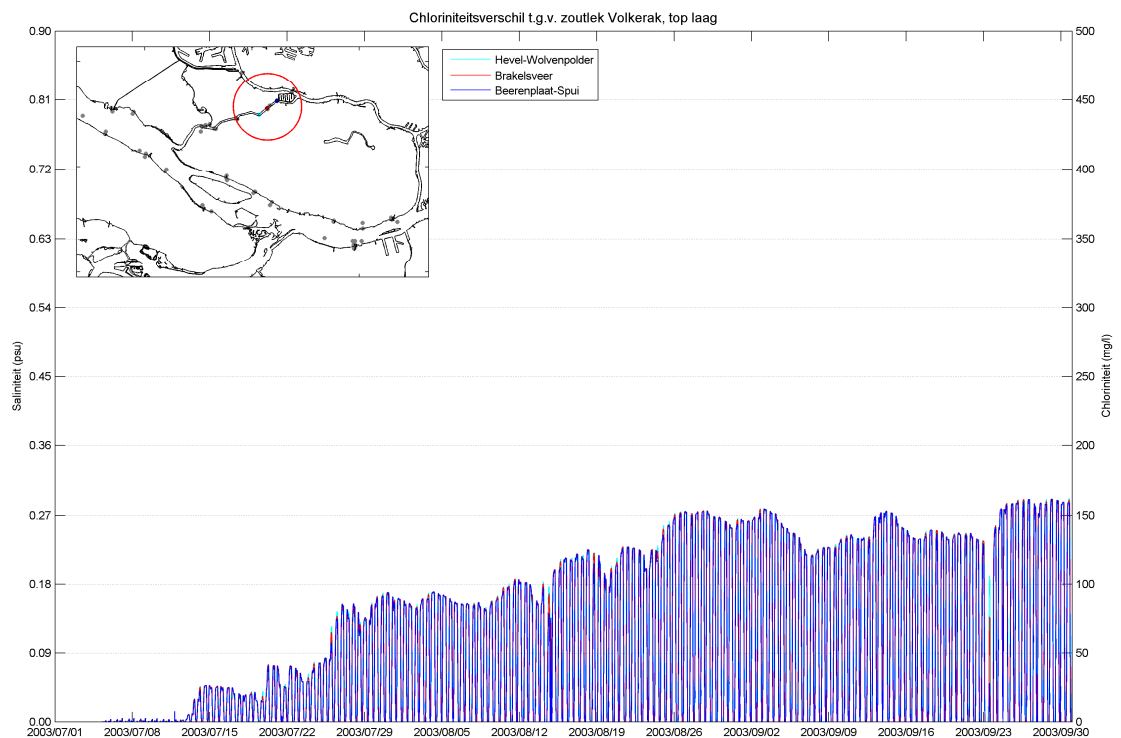
Figuur D.7 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Zuid



Figuur D.8 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Zuid



Figuur D.9 Chloriniteitsverhoging bij de bodem als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Noord



Figuur D.10 Chloriniteitsverhoging bij het oppervlak als gevolg van het zoutlek Volkeraksluizen; 2003 vaste lagen berekening; Spui Noord

E Referenties

- Lane, A., 1989. *The Heat balance of the North Sea*, Proudman Oceanographic Laboratory, Tech. Rep. 8.
- Rijkswaterstaat, jaar onbekend. *Chlorideconcentraties op het Haringvliet en Hollandsch Diep; Meetgegevens 1970 - 1980; Notanr. 71.009.01.*
- Uittenbogaard, R.E., 2010. *Voorstudie: Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen; Model voor Zoutvrachtberekeningen*, Deltares, 1201226-011.
- Uittenbogaard, R.E.; J.M. Cornellisse; G.H. Keetels & D.R. Mastbergen, 2010. *Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen; Evaluatie Maatregelen Volkeraksluizen*, Deltares, report 1021226-006.
- van der Kaaij, T. & E.D. de Goede, 2011. *3D modellering van de zoutverspreiding in het Noordelijk Deltabekken; TO project validatie 3D modelinstrumentarium (Zeedelta schematisatie); SPA project zoutlekbeperring Volkeraksluizen*, Deltares, 1201226-002.
- van der Kaaij, Th.; H.F.P. van den Boogaard; C. Kuijper; C. J. Sloff & J van Zetten, W., 2010. *Herstel van de "trapjeslijn" in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas (Fase 2); Vervolgstudie naar de effecten op zoutindringing*, Deltares, 1002366-000.
- van Pagee, H.; V. Beijck & H. Haas, 2008 - 2009. *Hoe zout wordt het zoete water; Een samenvattend overzicht van te verwachten chlorideconcentraties in het Benedenriverengebied na verzilting van het Volkerak-Zoommeer*. Rijkswaterstaat - Waterdienst.