

## Varende metingen Voordelta Haringvliet 2019

Vergelijking met berekeningsresultaten



**Varende metingen Voordelta Haringvliet 2019**  
Vergelijking met berekeningsresultaten

**Auteur(s)**

Theo van der Kaaij

## Varende metingen Voordelta Haringvliet 2019

Vergelijking met berekeningsresultaten

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	de heer M. Scholten
<b>Referenties</b>	Ontwikkeling en eerste resultaten D-HYDRO model Voordelta en Haringvliet; Werkplan MAD 09 2024 - Voordelta en Haringvliet
<b>Trefwoorden</b>	Zout, Saliniteit Voordelta Haringvliet, Kieren, Ecologie

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	21-11-2024
<b>Projectnummer</b>	11210334-017
<b>Document ID</b>	11210334-017-ZKS-0003
<b>Pagina's</b>	50
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

### Auteur(s)

	Theo van der Kaaij	

# Samenvatting

Met het oog op het voorziene “kieren” met de Haringvlietsluizen, waarbij de spuisluizen ook tijdens vloed gedeeltelijk zijn geopend, heeft Rijkswaterstaat behoefte aan een model waarmee de zoutindringing in het Haringvliet kan worden berekend. In 2023 is daarom een 3D D-Flow FM model opgezet dat zowel het Haringvliet als de Voordelta van het Haringvliet omvat (Kaaij, 2024). Dit model is uitgebreid vergeleken met zoutmetingen in het Haringvliet, de “lerend implementeren” experimenten.

Voor de inzet van het model ten behoeve van het “kieren” met de Haringvlietsluizen is het noodzakelijk dat de zoutgehalten in de Voordelta van het Haringvliet door het model goed worden voorspeld. De reden hiervoor is dat de hoeveelheid zout die binnendringt in het Haringvliet sterk wordt bepaald door het zoutgehalte van het ingelaten water, i.e. het zoutgehalte in de Voordelta.

In de Voordelta van het Haringvliet spelen daarnaast ecologische vragen. Voor het beantwoorden van deze vragen is het wenselijk de (variatie in) zoutgehalte of veranderingen daarin vast te kunnen stellen. Ook voor dit soort vraagstukken moet het model kunnen worden gebruikt.

In dit rapport worden varende metingen van zoutgehalten in de Voordelta gebruikt die op 14 februari 2019 en 20 februari 2019 zijn uitgevoerd. Deze metingen worden vergeleken met berekeningsresultaten. Uit deze vergelijking volgt dat er, kwalitatief, een redelijke overeenstemming is tussen gemeten en berekende zoutgehalten. Echter, de Voordelta is in werkelijkheid wat zouter dan in de berekeningen. De meest waarschijnlijke reden voor de onderschatting van de zoutgehalten in de Voordelta is dat de noordelijk gerichte reststroming in de Nederlandsche kustzone wordt onderschat in de modelberekeningen. Dit betekent dat gespuid zoet Haringvliet water onvoldoende wordt afgevoerd en er onvoldoende zout water van zee naar de Voordelta wordt getransporteerd (door het Slijkgat, een geul die de Voordelta verbindt met zee).

Met het oog op de beoogde toepassing van het model ter ondersteuning van het “kieren” met de Haringvlietsluizen is kwalitatieve overeenstemming tussen gemeten en berekende zoutgehalten in de Voordelta niet voldoende. Immers, een te zoete Voordelta betekent dat tijdens het “kieren” ingelaten water te zoet is waardoor de werkelijke zoutindringing in het Haringvliet wordt onderschat. Voor ecologische vragen met betrekking tot de Voordelta is de onderschatting door het model minder een probleem en is het model wel toepasbaar.

Voor verdere verbetering van het model is het noodzakelijk meer inzicht te krijgen in het transport van zout door het Slijkgat. Aanbevolen wordt om zoutgehalte en snelheid in deze geul te bemeten middels een vaste meetopstelling waarmee de (zout) dynamiek in het systeem gedurende een langere periode wordt vastgelegd. Deze aanbeveling is conform de aanbeveling in (Kranenburg, Jaksic, & Leummens, 2024).

Uit de in dit rapport beschreven berekeningen volgt dat een andere numerieke beschrijving van verticaal transport van zout als gevolg van verticale snelheden (verticale advection) voordelen heeft ten opzichte van de standaard instelling. Met deze andere instelling kan met veel minder rekenlagen worden volstaan voor het beschrijven van een nauwkeurige zoet-zout gradiënt in de verticaal. Dit heeft een significante vermindering van de noodzakelijke rekeninspanning tot gevolg. Aanbevolen wordt deze aangepaste instelling ook te testen voor ander zesde generatie modellen met D-HYDRO Suite zoals de :

- Het 3 Dimensionale Haringvliet model (Bom, 2023),
- Het 3 Dimensionale Grevelingen model
- Het 3 Dimensionale IJsselmeer model, en,
- Het 3 Dimensionale Veerse Meer model.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1	Achtergrond	7
1.2	Methodiek	9
1.2.1	Gevoeligheidsonderzoek laagverdeling Voordelta	9
1.2.2	Reproductie varende metingen	9
1.2.3	Overige metingen Voordelta	11
<b>2</b>	<b>Laagverdeling Voordelta</b>	<b>12</b>
2.1	Inleiding	12
2.2	Inspeelduur	12
2.3	Effect laagverdeling	13
2.4	Advectie Verticaal	14
<b>3</b>	<b>Varende metingen 2019</b>	<b>16</b>
3.1	Inleiding	16
3.2	Vergelijking met metingen	18
3.2.1	Waterstanden	18
3.2.2	Tijdreeksen saliniteit	18
3.2.3	Ruimtelijke verdeling saliniteit (horizontaal en verticaal)	19
3.3	Synthese modelvergelijking met varende metingen	23
3.4	Gevoeligheidsberekeningen	24
3.4.1	Laagdikte ( $dZ = 0.25$ m; vertadvtypsal = 4)	24
3.4.2	“Transport” randvoorwaarden	24
3.4.3	Effect ruwheid Slijkgat	25
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>26</b>
4.1	Conclusies	26
4.2	Toepasbaarheid van het Haringvliet/Voordelta model	26
4.3	Aanbevelingen	27
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>28</b>
<b>A</b>	<b>Vergelijking gemeten berekende waterstanden</b>	<b>29</b>
<b>B</b>	<b>Tijdreeksen gemeten en berekende saliniteit</b>	<b>31</b>
<b>C</b>	<b>Vergelijking gemeten met berekende saliniteitsprofielen (zijaanzicht)</b>	<b>32</b>
C.1	Varende meting 14 februari 2019	32
C.2	Varende meting 20 februari 2019	35

<b>D</b>	<b>Bovenaanzicht saliniteit zowel oppervlak als bodem</b>	<b>38</b>
D.1	Varende meting 14 februari 2019	38
D.2	Varende meting 20 februari 2019	44

# 1 Inleiding

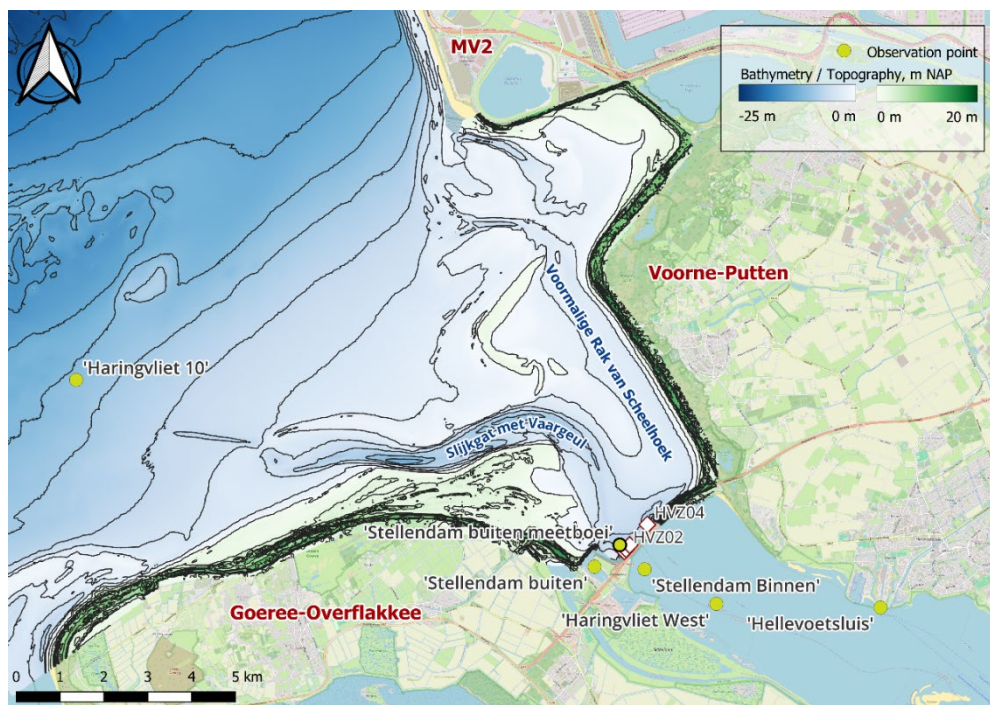
## 1.1 Achtergrond

Om de visintrek op de Rijn te bevorderen, is in het Kierbesluit besloten de Haringvlietsluizen deels te openen voor zeewaterinstroming (tijdens vloed). Hierbij komt, met de vissen, ook zout water het Haringvliet in. Om te voorkomen dat dit zoute water problemen oplevert voor zoetwaterinname, is afgesproken dat het beheer van de Haringvlietsluizen zodanig moet worden uitgevoerd dat het zout niet verder komt dan de lijn Middelharnis – Spui. In het **programma Lerend Implementeren Kierbesluit** werkt Rijkswaterstaat aan de ontwikkeling van een bedienprotocol voor de Haringvlietsluizen. Hierbij wordt gestreefd naar het maximaliseren van de visintrek binnen de randvoorwaarden voor zoutindringing.

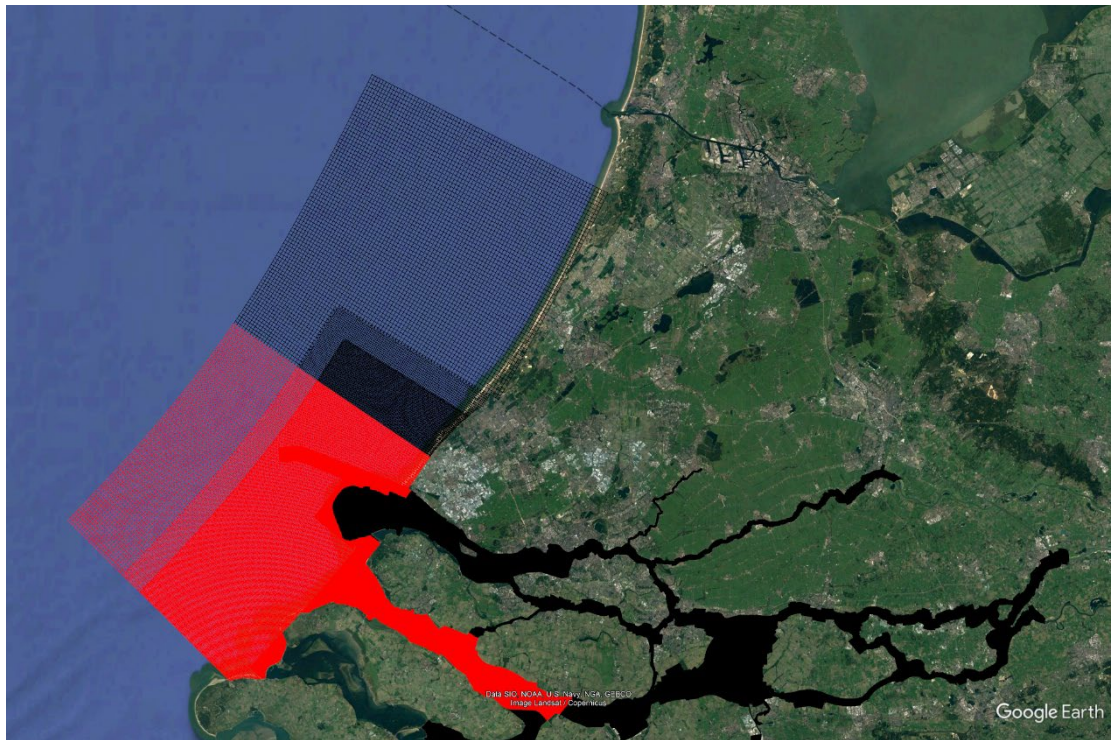
Hoeveel zout water binnendringt tijdens het kieren wordt bepaald door de grootte van het inlaatdebiet en het zoutgehalte van het ingelaten water. Dit laatste is afhankelijk van de hoeveelheid gespuid zoet water in voorgaande spuiperioden in combinatie met de mate waarin dit spuiwater is afgevoerd uit de Voordelta.

Rijkswaterstaat West Nederland Zuid heeft behoefte aan een rekenmodel waarmee de zoutindringing in het Haringvliet berekend kan worden. Noodzakelijke voorwaarde hiervoor is dat ook zoutgehalten in de Voordelta, met name vlak voor de Haringvlietsluizen aan de zee kant van het complex, goed voorspeld worden.

In 2023 is een rekenmodel met de D-HYDRO Suite opgezet dat zowel het Haringvliet als de Voordelta omvat. Dit model, in combinatie met een eerste vergelijking met metingen, wordt gepresenteerd in (Kaaij, 2024). Geografische benamingen van meetlocaties en geulen in de Voordelta worden getoond in Figuur 1-1.



Figuur 1-1: Geografische benamingen, meetlocaties, geulen, Voordelta en Haringvliet.



Figuur 1-2: Omvang van het Haringvliet/Voordelta model (rood).

Het Haringvliet/Voordelta model wordt op open zee aangestuurd met waterstanden en saliniteit zoals berekend met het 3D-DCSM FM model (Zijl, Zijlker, Laan, & Groenenboom, 2023). Op de open rivierstrand op de overgang tussen het Haringvliet en het Hollandsch Diep wordt de gemeten waterstand te Rak Noord in combinatie met een constante saliniteit van 0.1 psu voorgeschreven. De open rivierstrand in het Spui wordt geforceerd met debieten berekend met het SOBEK-RE model van de Rijn-MaasMonding (RMM) in combinatie met een constante saliniteit van 0.1 psu.

De 17 schuiven van het Haringvlietsluizencomplex worden aangestuurd met de gemeten hefhoogten van de individuele sluisen. Voor de bepaling van het debiet door een schuif zijn afvoercoëfficiënten van 0.73 en 0.84 voor respectievelijk spuien en inlaten gebruikt<sup>1</sup>. Deze coëfficiënten zijn afgeleid uit gootproeven, zie (Kaaij, 2024).

Tijdens het kieren van de Haringvlietsluizen bezinkt het zout dat binnenkomt in de diepe putten in het Haringvliet. Voor deze putten geldt dat het water nabij de bodem relatief zout is terwijl het bovenliggende water, nabij het oppervlak, zoet is. De zoute onderlaag en zoete bovenlaag zijn van elkaar gescheiden middels een spronglaag waarover het zoutgehalte over korte afstand sterk varieert, i.e. de putten zijn sterk gestratificeerd. Om deze stratificatie in stand te houden is een groot aantal rekenlagen met een kleine laagdikte noodzakelijk (0.125 m). Deze kleine laagdikte heeft lange rekentijden tot gevolg wat in de praktijk betekent dat de zoutverdeling in de Voordelta niet kan worden uitgerekend. Dit komt omdat binnen de qua rekentijd mogelijke simulatieduur het zeedeel van het model nog niet voldoende ingespeeld is.

Voor de Voordelta zelf is het grote aantal rekenlagen niet noodzakelijk omdat de Voordelta minder gestratificeerd is dan de diepe putten in het Haringvliet. Stroomsnelheden in de

<sup>1</sup> De afvoer door een sluis van het Haringvlietcomplex wordt bepaald als een relatie tussen het waterstandverschil over de sluis en de afvoer (de *general structure* relatie). In deze relatie wordt een afvoercoëfficiënt gebruikt die op basis van metingen dient te worden bepaald.



Voordelta zijn aanmerkelijk groter dan in het Haringvliet wat meer verticale menging en dus minder stratificatie tot gevolg heeft.

Rijkswaterstaat West Nederland Zuid heeft verzocht de (on)mogelijkheden van het model waar het reproductie van de zoutverdeling in de Voordelta betreft te onderzoeken. Dit is van belang voor vraagstukken rondom het kieren van de Haringvlietssluisen en ecologie.

In dit rapport wordt een vergelijking tussen gemeten en berekende zoutgehalten in de Voordelta gepresenteerd. Het betreft hier zogenaamde varende metingen waarvoor gedurende een vaartocht op verschillende locaties en verschillende tijdstippen zoutprofielen zijn gemeten. Op basis van de overeenstemming (en verschillen) tussen gemeten en berekende zoutgehalten worden conclusies getrokken met betrekking tot de modelreproductie van zoutgehalten in de Voordelta. Als laatste worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek die mogelijkwjs leiden tot een beter begrip van het fysische gedrag van de Voordelta en daarmee kunnen leiden tot modelverbeteringen.

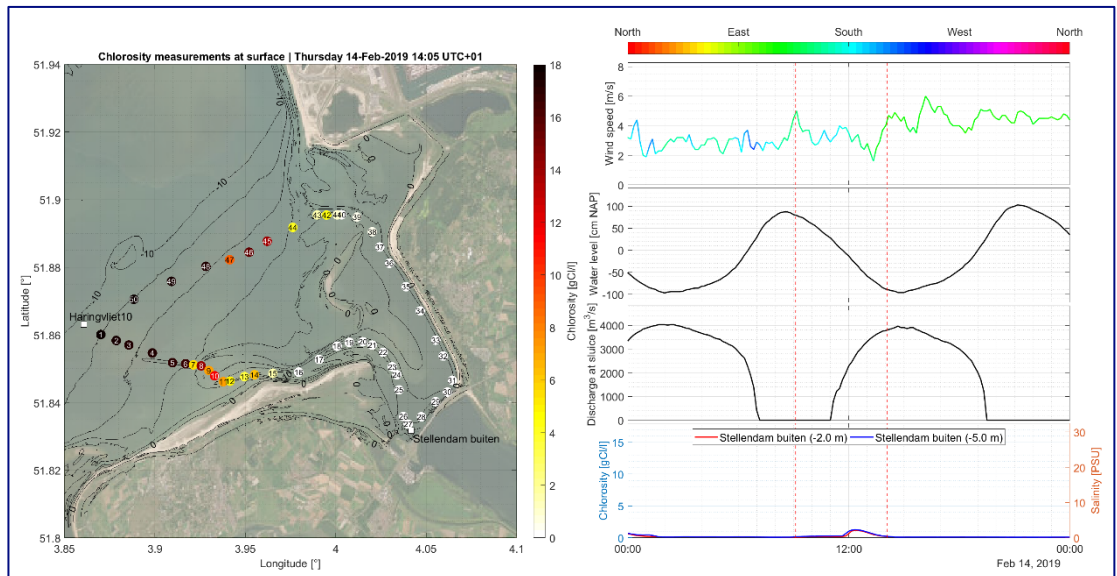
## 1.2 Methodiek

### 1.2.1 Gevoeligheidsonderzoek laagverdeling Voordelta

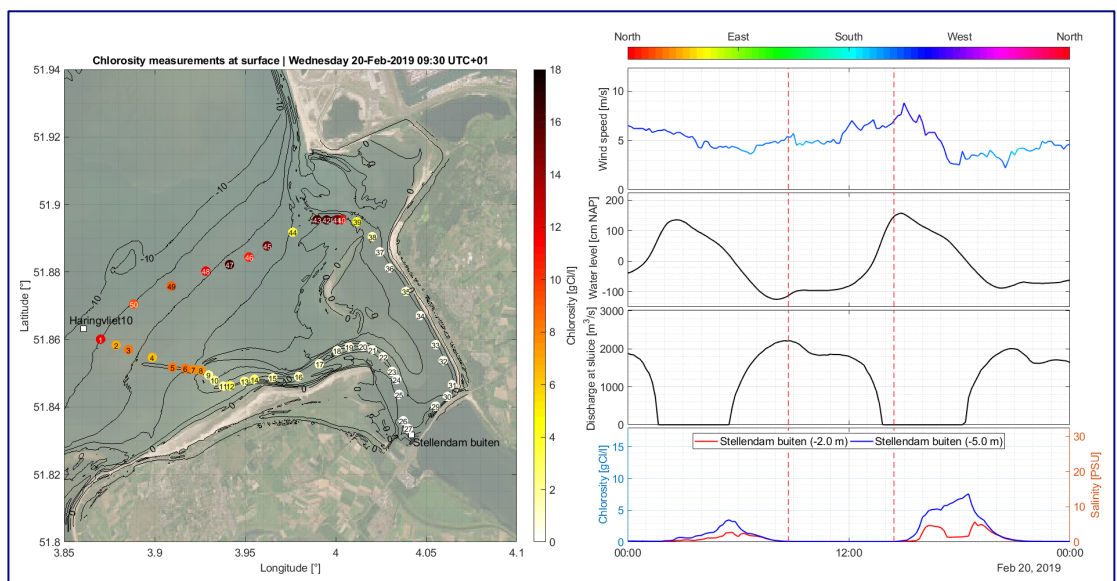
Het is niet bekend welk aantal lagen voldoende is voor de modellering van de Voordelta. Wel is aannemelijk dat er veel minder lagen noodzakelijk zijn dan in de basisopzet van het model (ongeveer 350 rekenlagen, combinatie vaste en  $\sigma$  lagen). Als eerste wordt onderzocht welk aantal lagen noodzakelijk is voor de juiste weergave van Voordelta. De keuze van aantal lagen wordt bepaald op basis van convergentie en rekentijd. Voor het onderzoeken van de laagverdeling wordt de periode van de varende metingen, zie paragraaf 1.2.2, gesimuleerd.

### 1.2.2 Reproductie varende metingen

In de Voordelta zijn een drietal varende metingen uitgevoerd. Dit betreft metingen op 14 februari 2019 (5 uur durende tocht), 20 februari 2019 (6 uur durende tocht) en 1 februari 2021 (3 uur durende tocht). Gedurende de tochten zijn op een aantal locaties verticalen van het zoutgehalte (saliniteit, in [PSU]) gemeten. Figuur 1-3 en Figuur 1-4 tonen de locaties waar gemeten is tijdens de vaartochten in 2019. Voor de 2021 vaartocht geldt dat alleen de zuidelijke geul bemeten is (Goeree Overflakkee).



Figuur 1-3: Varende metingen van 14 februari 2019. Links) locaties van de meetpunten met indicatie van de gemeten saliniteit aan het oppervlak in kleur; Rechts) Condities tijdens de metingen met van boven naar beneden windsnelheid, waterstanden bij Stellingdam Buiten, afvoer door de sluizen en chloride-concentratie bij Stellingdam Buiten op -2.0m (rood) en -5.0 m (blauw). De rode lijnen markeren het begin en einde van de varende metingen.



Figuur 1-4: Varende metingen van 20 februari 2019. Links) locaties van de meetpunten met indicatie van de gemeten saliniteit aan het oppervlak in kleur; Rechts) Condities tijdens de metingen met van boven naar beneden windsnelheid, waterstanden bij Stellingdam Buiten, afvoer door de sluizen en chloride-concentratie bij Stellingdam Buiten op -2.0m (rood) en -5.0 m (blauw). De rode lijnen markeren het begin en einde van de varende metingen.

De gemeten saliniteit wordt vergeleken met berekende verticalen voor de eerste 2 tochten (2019). Voor de laatste tocht geldt dat randvoorwaarden voor het model nog niet beschikbaar zijn en het daarnaast een relatief korte tocht betreft die slechts een deel van het interessegebied beslaat.

Voor de vergelijking met varende metingen moet de simulatieduur lang genoeg zijn zodat het model is ingespeeld. Door een beperkt aantal verticale lagen te gebruiken (zie paragraaf 1.2.1) is het praktisch mogelijk om langere perioden te simuleren.

### 1.2.3 Overige metingen Voordelta

De modelberekeningen zijn (naast met de varende metingen) ook vergeleken met de volgende data:

- De gemeten en de berekende waterstanden in zowel de Voordelta als het Haringvliet. De reden is dat een goede weergave van de getijdynamiek een noodzakelijke voorwaarde is voor het goed reproduceren van het zoutgehalte.
- De gemeten en berekende saliniteit te meetlocaties Haringvliet 10 en Stellendam Buiten (in de Voordelta in de directe nabijheid van het sluiscomplex).

## 2 Laagverdeling Voordelta

### 2.1 Inleiding

Het effect van de laagverdeling is onderzocht door voor verschillende laagverdelingen de berekende saliniteit te Stellendam Buiten te vergelijken.

Als eerste is onderzocht wat de benodigde inspeelduur van het model is. Berekeningsresultaten van berekeningen met verschillende initiële condities waar het zoutgehaltes in de Voordelta betreft zijn onderling vergeleken. Wanneer de impact van de startconditie niet meer merkbaar is in berekeningsresultaten, is het model ingespeeld.

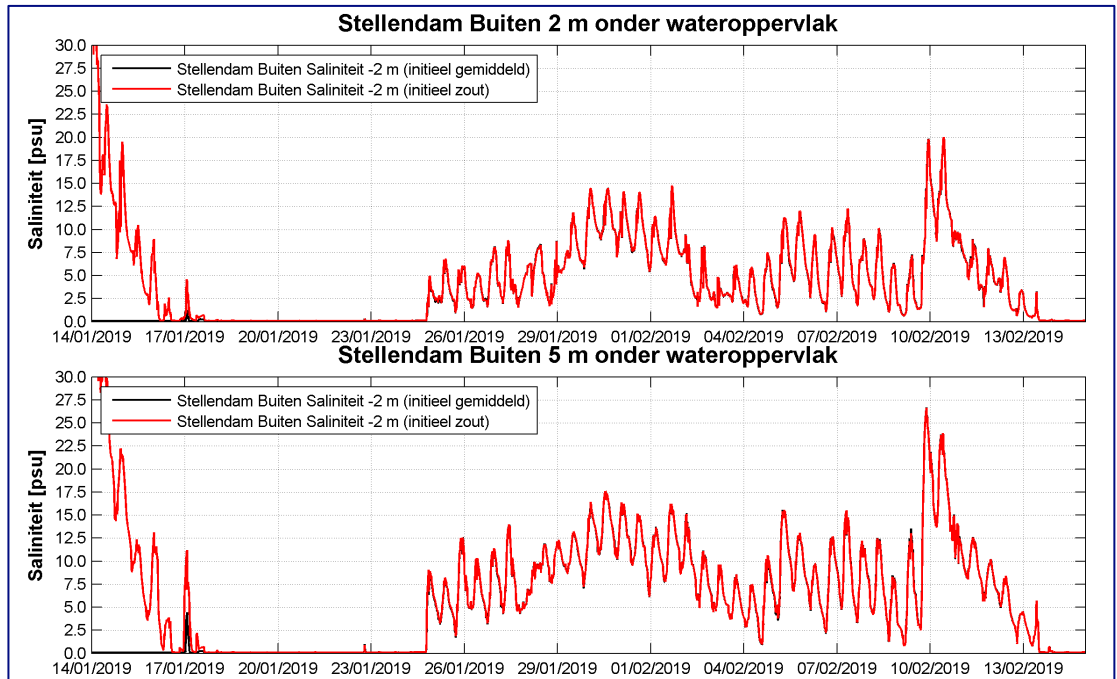
Vervolgens zijn berekeningen uitgevoerd voor een verschillend aantal rekenlagen waarbij wederom de berekende saliniteit te Stellendam Buiten gebruikt is als maat voor voldoende convergentie.

Als laatste is het effect van de numerieke benadering van advection van zout in de verticaal onderzocht (D-HYDRO Suite settings voor *Vertadvtypsal*). Dit onderzoek is geïnitieerd door recent inzicht dat een ander numerieke afhandeling van advection in de verticaal wellicht minder rekenlagen vereist (n.a.v. persoonlijke communicatie Firmijn Zijl en Jullien Groenenboom van Deltares).

### 2.2 Inspeelduur

De inspeelduur van het model, en dan met name de Voordelta, is onderzocht door twee berekeningen met verschillende initiële condities voor zout in de Voordelta uit te voeren. In de eerste berekening is dezelfde initiële conditie gebruikt als in het RMM zesde generatie D-Flow FM model. Deze initiële conditie past bij gemiddelde omstandigheden. Vervolgens is een tweede berekening uitgevoerd waarbij als initiële conditie het gehele zeedeel van het model, inclusief de Voordelta, volledig zout (33 psu) is aangenomen.

Tijdreeksen van de berekende saliniteit te Stellendam Buiten worden getoond in Figuur 2-1. Deze reeksen laten zien dat na ongeveer anderhalve week het effect van de initiële conditie niet meer merkbaar is in de berekeningsresultaten. Dat geldt voor Stellendam Buiten maar omdat de saliniteit te Stellendam Buiten bij gesloten Haringvlietsluizen bepaald wordt door de saliniteitsverdeling in de Voordelta, met name de zuidelijke geul ("*Slijkgat*") geldt dit voor de gehele Voordelta van het Haringvliet.



Figuur 2-1: Effect van initiële conditie voor zout op berekende saliniteit te Stellendam buiten.

### 2.3 Effect laagverdeling

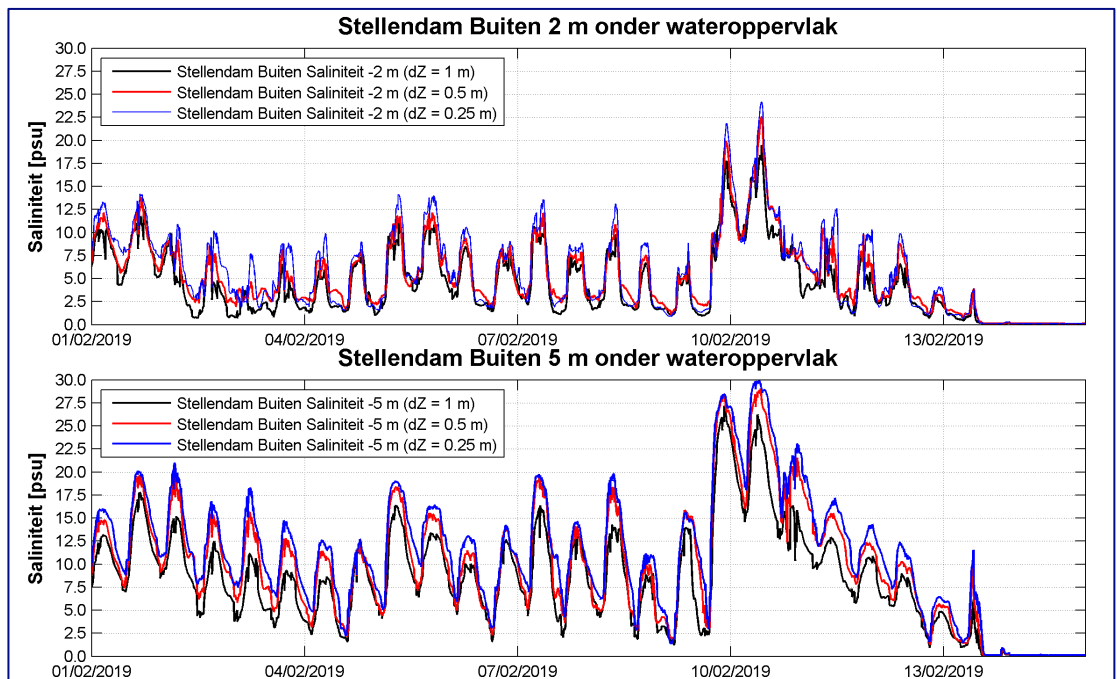
Om het effect aan de laagdikte te onderzoeken is een drietal berekeningen uitgevoerd. Het betreft berekeningen waarbij een zogenaamde  $z$ - $\sigma$  laagverdeling is gebruikt. Het grensvlak tussen de vaste  $z$  lagen (onderste deel van de verticaal) en de  $\sigma$  lagen (bovenste deel van de verticaal) ligt op -4 m NAP. De hoogte van dit grensvlak is identiek aan de hoogte van het grensvlak gebruikt in (Kaaij, 2024), geïntroduceerd in (Bom, 2023).

Figuur 2-2 toont de berekende saliniteit te Stellendam Buiten voor berekeningen met een:

- Vast laagdikte van 1 m beneden de -4 m NAP; 5  $\sigma$  lagen boven -4 m NAP,
- Vast laagdikte van 0.5 m beneden de -4 m NAP; 9  $\sigma$  lagen boven -4 m NAP,
- Vast laagdikte van 0.25 m beneden de -4 m NAP; 17  $\sigma$  lagen boven -4 m NAP.

Figuur 2-2 toont de berekende saliniteit te Stellendam Buiten voor de 3 uitgevoerde berekeningen. Deze Figuur laat zien dat:

- Een laagdikte van 1 m resulteert in een kleinere saliniteit dan bij kleinere laagdikten. Hierbij is gekeken naar de saliniteit 2m en 5m onder het wateroppervlak. Dit geldt met name voor de piekwaarden van de saliniteit zoals die optreden bij gesloten Haringvlietssluisen,
- Met een laagdikte van 0.5 m is de berekende saliniteit 5 m onder het wateroppervlak erg vergelijkbaar met de saliniteit berekend met een laagdikte van 0.25 m. Hoger in de verticaal, 2 m onder het wateroppervlak, zijn de berekende piekwaarden van saliniteit wat kleiner dan de piekwaarden van saliniteit berekend met een laagdikte van 0.25 m,
- De berekende variatie in saliniteit binnen 1 getijperiode, het verschil tussen de maximale en minimale saliniteit, is het grootst met een laagdikte van 0.25.



Figuur 2-2: Berekende saliniteit Stellendam Buiten; combinatie  $z$ - $\sigma$  met vaste laagdikte van 1.0 m, 0.5 m en 0.25 m beneden 4 m NAP.

## 2.4 Advectie Verticaal

Het verticale transport van zout als gevolg van verticale snelheden (verticale advectie) wordt standaard benaderd conform de aanpak in de horizontaal<sup>2</sup> ( $vertadvtypsal = 6$ ). Recent onderzoek heeft laten zien dat een andere benadering van dit transport, meer vergelijkbaar met zoals dat in het verleden in het simulatiesysteem TRIWAQ werd gedaan, beter in staat is stratificatie in stand te houden wat betekent dat minder verticale resolutie nodig is (persoonlijke communicatie Firmijn Zijl Deltares,  $vertadvtypsal = 4^3$ ).

Figuur 2-3 toont het effect van de benadering van het advectieve transport van zout op berekende saliniteit te Stellendam Buiten. Zowel 2 m onder het wateroppervlak als 5 m onder het wateroppervlak heeft de benadering van verticale advectie een grote invloed. Bij een laagdikte van 1 m heeft de standaard benadering aanmerkelijk lagere berekende saliniteiten tot gevolg zowel bij het oppervlak als bij de bodem.

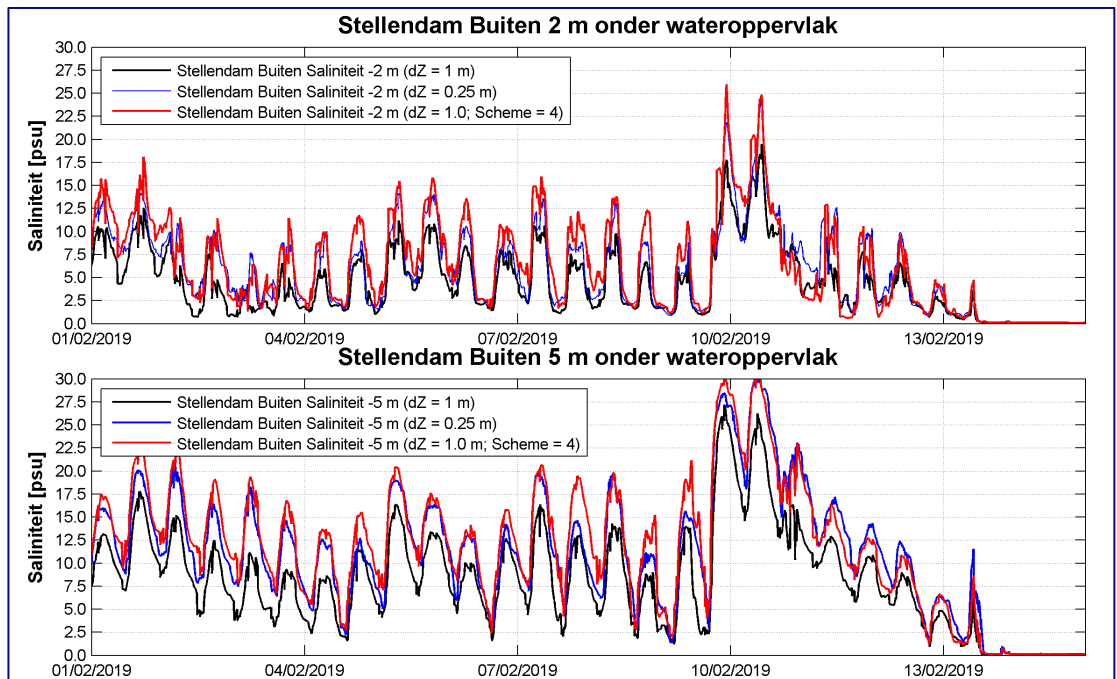
De berekende saliniteit 5 m onder het wateroppervlak met een laagdikte van 1 m in combinatie met de TRIWAQ benadering is erg vergelijkbaar met de berekende saliniteit met een laagdikte van 0.25 m in combinatie met de standaard benadering van verticaal advectief transport. Dichter bij het wateroppervlak, 2 m onder het wateroppervlak, geeft een laagdikte van 1 m in combinatie met de TRIWAQ benadering wat hogere berekende piekwaarden van saliniteit dan een laagdikte van 0.25 m.

De vergelijking met metingen zoals gepresenteerd in hoofdstuk 3 laat zien dat te Stellendam Buiten de berekende saliniteit vaak laag is in vergelijking met metingen. Relatief hoge berekende piekwaarden van saliniteit (2 m onder wateroppervlak) geven dus een betere overeenstemming met metingen.

<sup>2</sup> Hogere orde upwind met limiter

<sup>3</sup> Het beheerteam van de D-Hydro Suite simulatiesoftware overweegt de TRIWAQ benadering in de toekomst de standaard/default instelling van verticale advectie van zout te laten zijn.

De berekeningen die zullen worden vergeleken met metingen zijn dan ook uitgevoerd met een laagdikte van 1 m in combinatie met de TRIWAQ benadering voor het bepalen van advectief zout transport ( $vertadvtypsal = 4$ ).



Figuur 2-3: Effect benadering verticale advectie op berekende saliniteit te Stellendam Buiten.

## 3 Varende metingen 2019

### 3.1 Inleiding

Het systeemgedrag van de gehele Voordelta is uitgebreid geanalyseerd in (Kranenburg, Jaksic, & Leummens, 2024). Belangrijkste bevindingen uit dit onderzoek, met betrekking tot het voorgenomen kieren met de Haringvlietsluizen, zijn:

- Het gemeten zoutgehalte te Stellendam Buiten 5 m onder het wateroppervlak is een goede benadering voor het zoutgehalte van het gedurende het kieren ingelaten zeewater,
- Gespuid zoet Haringvliet water wordt afgevoerd door zowel de Noordelijke geul (“voormalig rak van Scheelhoek”, zie Figuur 1-1) en de Zuidelijke geul (“Slijkgat”). Voor lage spuidebieten wordt het grootste deel van het gespuide water afgevoerd door de Noordelijke geul en over de platen (75 %). Voor hogere spuidebieten wordt minder van het gespuide water afgevoerd door de Noordelijke geul (30 %) en dus meer door de Zuidelijke geul (70 %).
- Verzilting van de Voordelta in de nabijheid van het spuicomplex vindt plaats gedurende vloed (gesloten Haringvlietsluizen). Vloed betekent noordelijk gerichte snelheden in de Voordelta en dus is de toename van zoutgehalten vooral een gevolg van de transporten door de Zuidelijke geul (“Slijkgat”).

Gedurende de beide meetdagen, 14 en 20 februari 2019, is op dezelfde locaties een saliniteitsprofiel gemeten. Beide metingen starten ongeveer bij meetlocatie Stellendam Buiten. Echter, de gevaren track is rechtsom voor de metingen van 14 februari (Voordelta voor Haringvlietsluizen, Rak van Scheelhoek, Zee tot aan meetlocatie Haringvliet 10, Slijkgat) en linksom voor de metingen van 20 februari (Scheelhoek, Noordzee vanaf Haringvliet10, Rak van Scheelhoek, Voordelta voor Haringvlietsluizen).

Bij aanvang van de meting van 14 februari waren de Haringvlietsluizen gesloten. Gedurende de meting is gestart met spuien. De meting eindigt vlak voor de maximale spui (spuidebiet ongeveer 4000 m<sup>3</sup>/s). Het was rustig weer, windsnelheid ongeveer 5 m/s uit zuidelijke/oostelijke richting.

Bij aanvang van de meting van 20 februari werd gespuid (spuidebiet 2000 m<sup>3</sup>/s). Gedurende bijna de gehele meting is gespuid. Vlak voor het einde van de meting zijn de Haringvlietsluizen gesloten. Windsnelheden bedroegen ongeveer 5 – 7 m/s waarbij de windrichting ongeveer Zuidwest was.

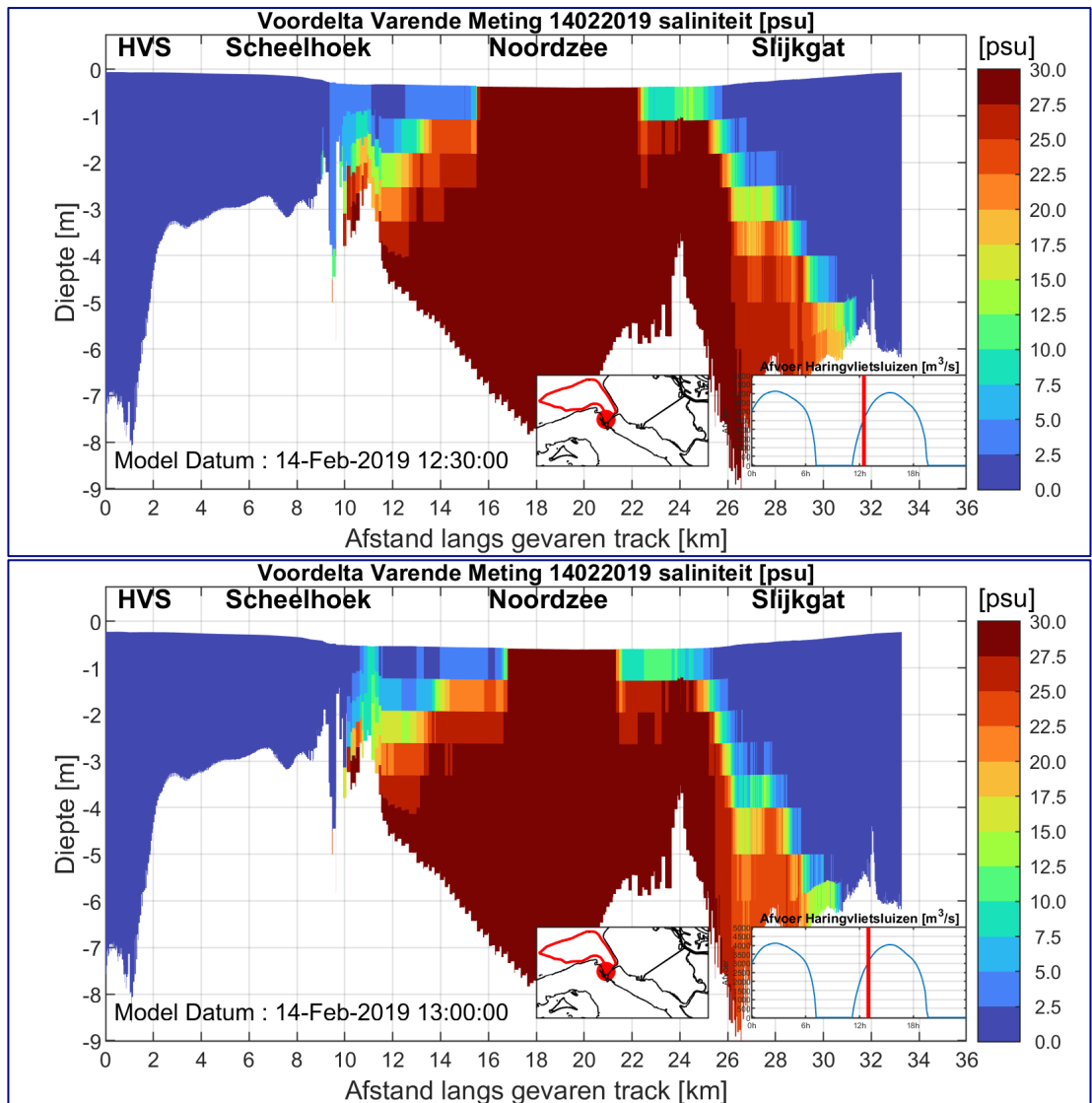
Omdat bij varende metingen de profielen niet synchroon gemeten worden, is het niet mogelijk om een volledig ruimtelijk beeld te schetsen voor een of meerdere fases van het getij en de daarbij behorende spuicondities. Voor de vergelijking van de varende metingen met berekeningsresultaten is verondersteld dat binnen een interval van 1 uur zoutgehalten niet teveel veranderen. Alle gemeten profielen binnen 1 uur worden vergeleken met berekende zoutgehalten halverwege het uur. Dit betekent dat er maximaal een half uur verschil kan zitten tussen het tijdstip waarop het saliniteitsprofiel is gemeten en het tijdstip waarop de berekeningsresultaten worden gepresenteerd.

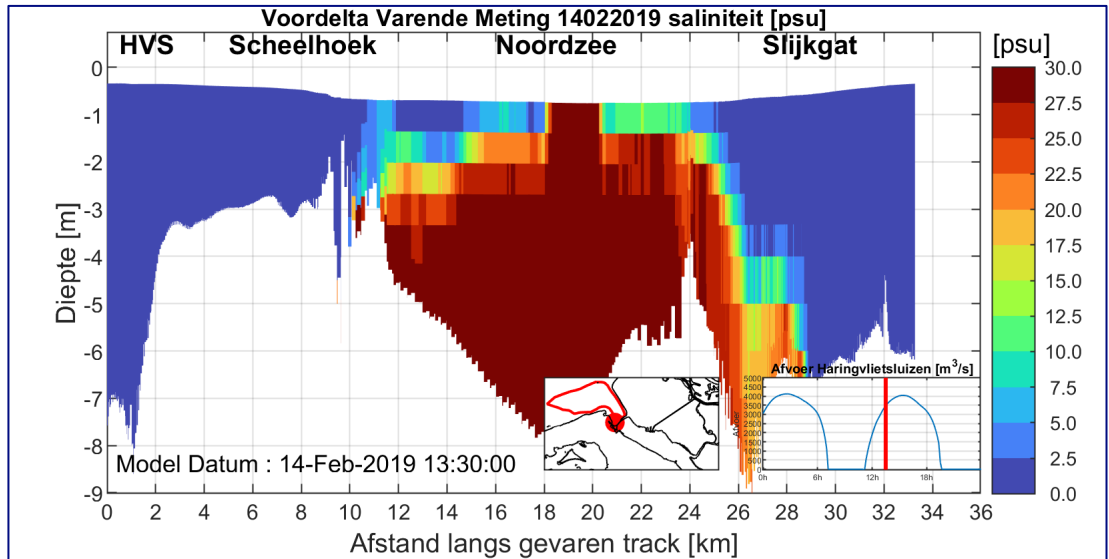


Het effect van dit tijdsverschil op de berekeningsresultaten wordt getoond in Figuur 3-1. In deze figuur worden de berekende saliniteiten langs de gehele gevaren track gepresenteerd. De afstand langs de gevaren track is gebaseerd op de eerste meettocht. Dit betekent dat:

- km 0 is meetlocatie Stellendam Buiten,
- km 3 – km 11 is het rak van Scheelhoek, en,
- km 25 – km 32 is het Slijkgat.

De figuren laten zien dat een half uur eerder of een half uur later niet een wezenlijk andere berekende saliniteitsverdeling geeft. Het is dus gerechtvaardigd om metingen op tijdstip x te vergelijken met berekeningsresultaten op tijdstip x – half uur of tijdstip x + half uur.



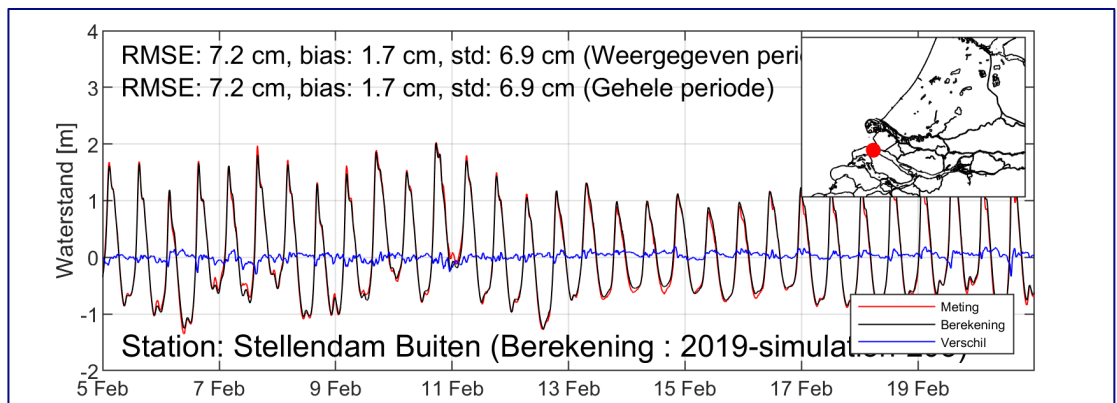


Figuur 3-1: Effect tijdsverschuiving van een half uur op berekende saliniteit langs de gevaren track (afstand langs de gevaren track, begin Stellendam Buiten, linksom gevaren).

## 3.2 Vergelijking met metingen

### 3.2.1 Waterstanden

Figuur 3-2 toont de vergelijking tussen gemeten en berekende waterstanden te Stellendam Buiten (Voordelta, Nabij de Haringvlietssluzen). De figuur laat zien dat het model de gemeten waterstanden goed reproduceert. Dit geldt voor alle in het modeldomein aanwezige waterstandlocaties. Zie Appendix A.



Figuur 3-2: Gemeten en berekende waterstand Stellendam Buiten.

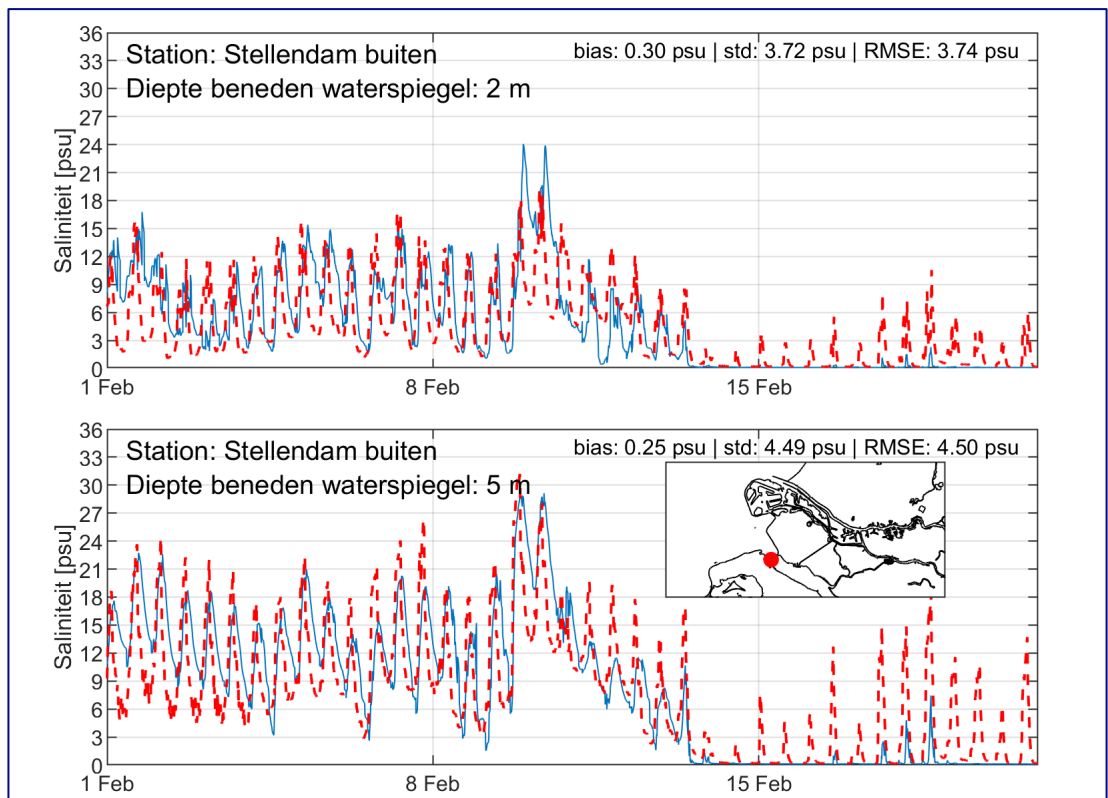
### 3.2.2 Tijdreeksen saliniteit

Gemeten en berekende saliniteit voor de periode voorafgaand aan beide meetdagen en beide meetdagen zelf te meetlocatie Stellendam Buiten worden getoond in Figuur 3-3. Uit deze periode blijkt dat, voor de eerste meetdag en de periode voorafgaand aan de eerste meetdag, de overeenstemming tussen gemeten en berekende waarden goed is. Wel treedt de piekwaarde van de gemeten saliniteit, optredend bij gesloten Haringvlietssluzen, vaak eerder op dan de berekende waarde. Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat het

transport van zout, vanuit zee door het Slijkgat naar de Haringvlietsluizen, in werkelijkheid wat groter is dan in de berekening.

Voor de periode na de eerste meetdag, van 14 februari tot 20 februari, geldt dat de meting een toename van pieken in saliniteit laat zien (maximale saliniteit ongeveer 10 psu, 2 m onder wateroppervlak, a 20 psu, 5 m onder wateroppervlak), bij gesloten Haringvlietsluizen die slechts beperkt door het model wordt weergegeven. Het model is bijna geheel zoet met enkel incidenteel een kleine verhoging van saliniteit.

Voor de volledigheid geeft Appendix B ook de berekende saliniteit te Haringvliet 10. Ter plaatse van deze meetlocatie wordt ook saliniteit gemeten. Echter, voor de periode van de metingen zijn geen gevalideerde metingen aanwezig. De berekening laat een uiterst geringe variatie van het zoutgehalte zien, waarbij de waarde ongeveer overeenkomt met de waarde van de saliniteit van zeewater.



Figuur 3-3: Gemeten en berekende saliniteit Stellendam Buiten (meting rood, berekening blauw).

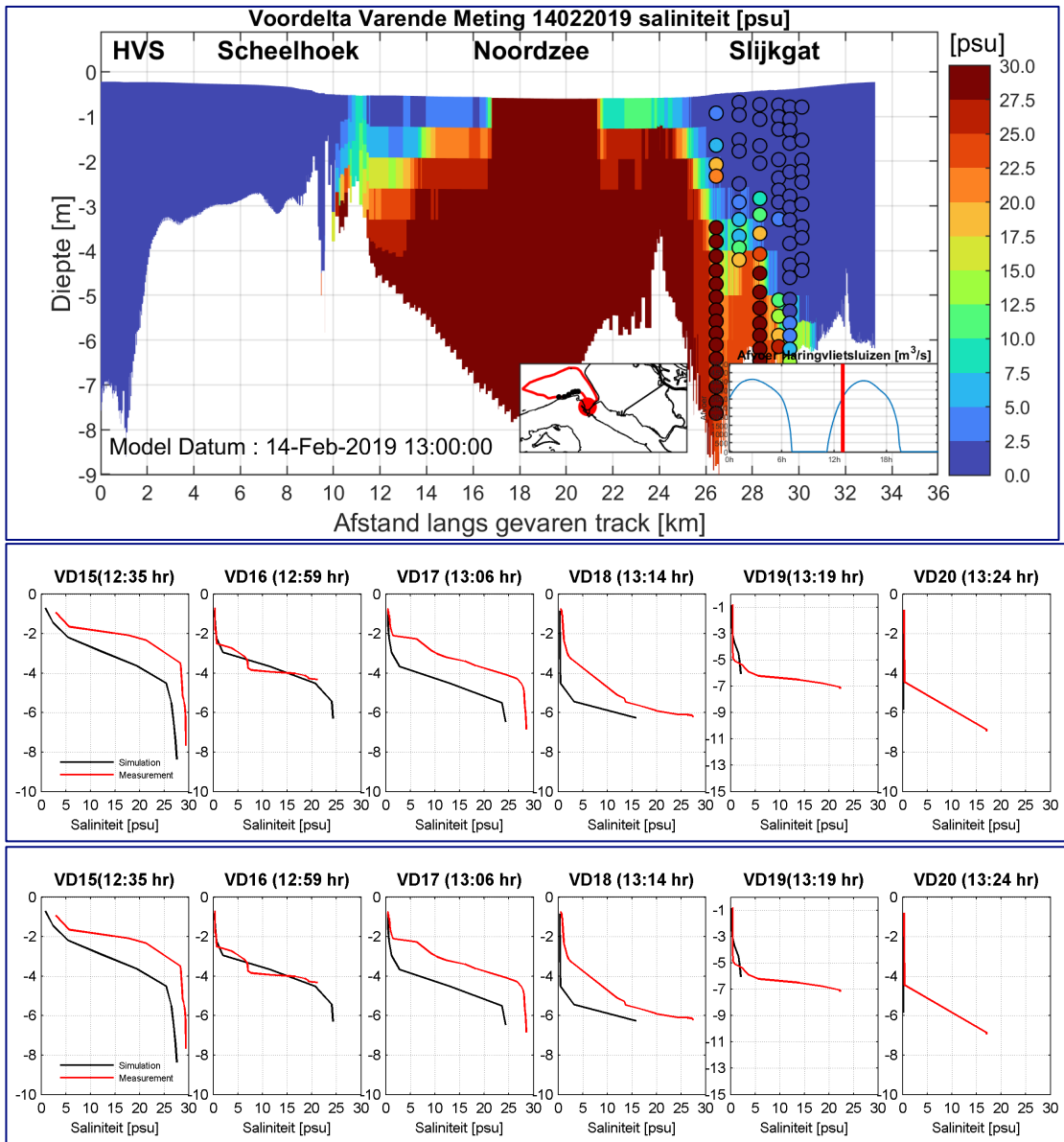
### 3.2.3 Ruimtelijke verdeling saliniteit (horizontaal en verticaal)

De ruimtelijke variatie van saliniteit, zowel horizontaal als verticaal, wordt voor alle uursintervallen en voor beide meettochten getoond in Appendix C (zijaanzicht, verticale verdeling) en appendix D (bovenaanzicht, horizontale verdeling nabij wateroppervlak en bodem). De gehele serie aan berekeningsresultaten geeft een beeld dat kwalitatief overeenstemt met de varende metingen:

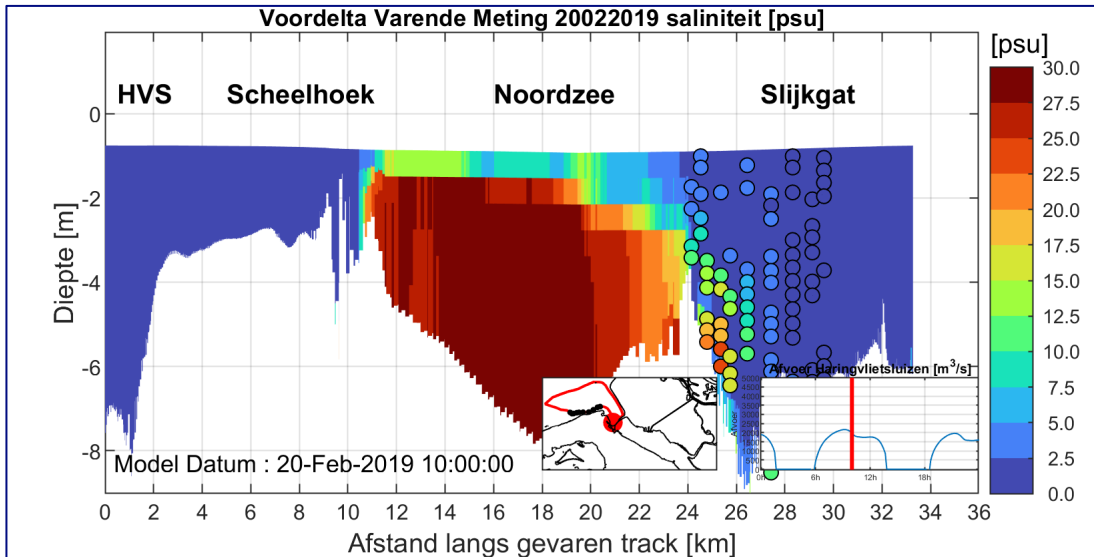
- Vlak voor de sluizen aan zeezijde is de Voordelta zowel in de meting als in de berekening, voor beide meetdagen, volledig zoet,
- Op zee is zowel de meting als de berekening voor beide meetdagen volledig zout,
- Op momenten dat metingen stratificatie laten zien wordt ook stratificatie berekend, zie FiguurApp C-2, FiguurApp C-3, FiguurApp C-5, FiguurApp C-9 en FiguurApp C-11.

Denkend aan het voorgenomen Kieren met de Haringvlietsluizen is kwalitatieve overeenstemming niet voldoende. Vlak voor de Haringvlietsluizen moet ook kwantitatief de overeenstemming goed zijn omdat de saliniteit hier bepaalt hoeveel zout gaat worden ingelaten. In paragraaf 3.2.2 is al geconcludeerd dat vlak voor het spuicomplex (aan zeezijde) de gemeten maximale saliniteit wordt onderschat. Zijaanzichten waarin gemeten en berekende saliniteitsprofielen worden vergeleken in het "*Slijkgat*" laten zien dat de indringing van zout door het Slijkgat, de zuidelijke geul, niet voldoende is. Dit geldt zowel voor de varende meting van 14 februari (Figuur 3-4) als voor de meting van 20 februari (Figuur 3-5). Beide metingen hebben betrekking op (deels) geopende sluizen en dus op spuicondities. Echter, voor zowel meting als berekeningen geldt dat de saliniteitsverdeling ook sterk bepaald wordt door de spuigeschiedenis, i.e. spuiperioden voorafgaand aan de eigenlijke meting.

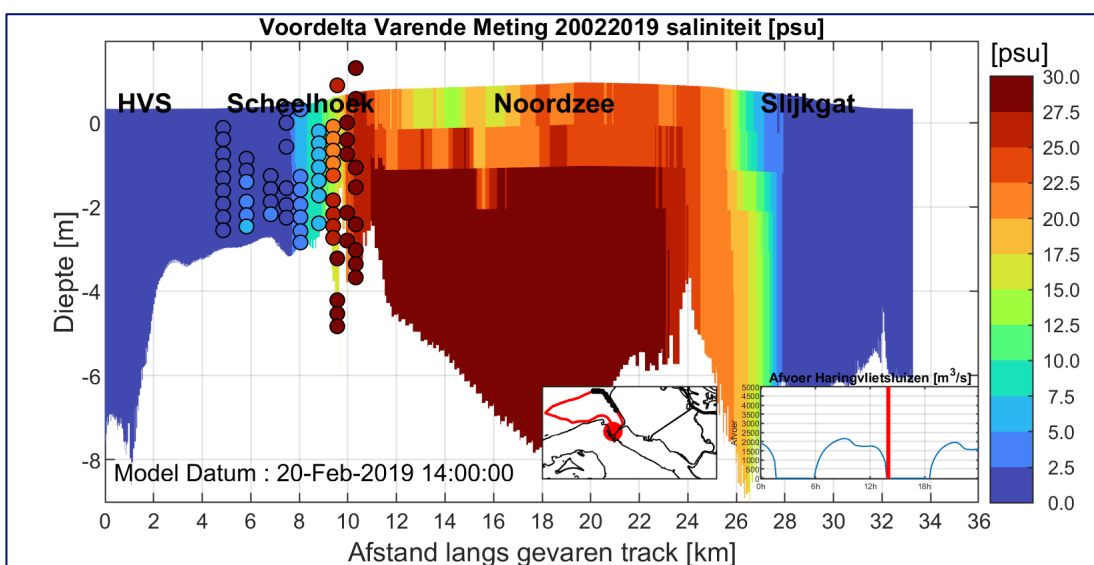
Voor de noordelijke geul, "*rak van Scheelhoek*", geldt dat gemeten horizontale saliniteitsgradient sterker is dan de berekende. Aan het einde van de geul (gezien van het spuicomplex) is het model zouter, Op de Noordzee is het model zoeter dan de metingen aangeven. Dit volgt uit zowel het zijaanzicht waarin gemeten met berekende saliniteiten worden vergeleken (Figuur 3-6) als het bovenaanzicht waarin gemeten met berekende saliniteiten worden vergeleken (Figuur 3-7). Voor de in deze figuren gepresenteerde metingen geldt dat ze betrekking hebben op de periode van een half uur voor tot een half uur na het berekeningsresultaat.



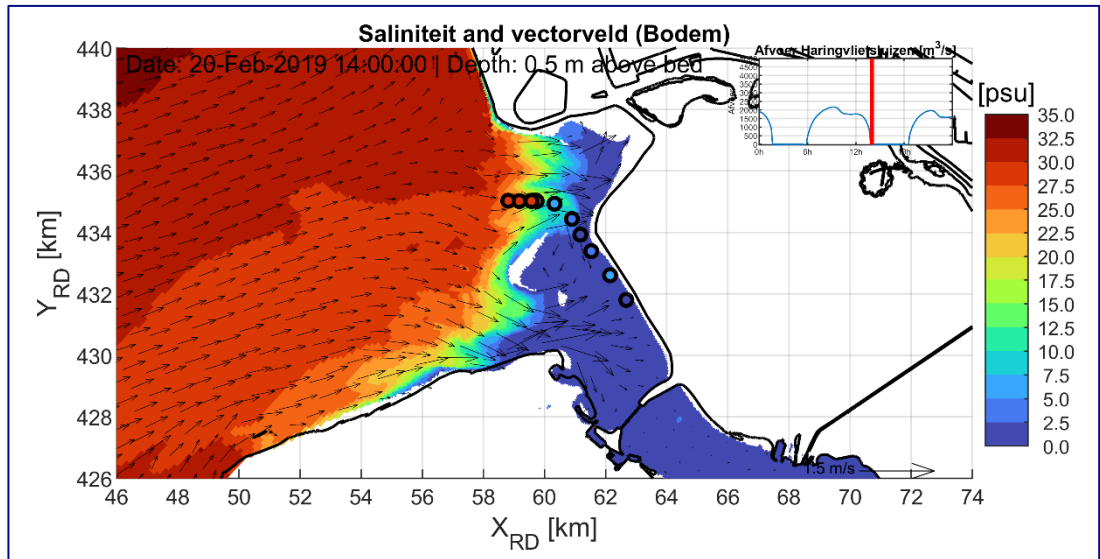
Figuur 3-4: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slikgat. Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).



Figuur 3-5: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slikgat 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 09:30 – 10:30 (berekeningsresultaat van 10:00 uur).



Figuur 3-6: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slikgat 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).



Figuur 3-7: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Rak van Scheelhoek, meting 20 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).

### 3.3 Synthese modelvergelijking met varende metingen

De vergelijking van gemeten met berekende saliniteit laat zien dat de gemeten hoeveelheid zoet water in de voordelta, een gevolg van het spuien met de Haringvlietssluisen, kleiner is dan de berekende hoeveelheid. Dit verklaart waarom de tijdreeks Stellendam Buiten laat zien dat bij gesloten sluisen het gemeten zoutgehalte ter plaatse vaak groter is dan de berekende waarden.

Mogelijke verklaringen voor de te grote hoeveelheid zoet water zijn:

1. De hoeveelheid gespuid zoet Haringvliet water is in de modelberekening groter dan in werkelijkheid, of,
2. Het gespuid zoet water wordt in het model onvoldoende afgevoerd uit de Voordelta. Gespuid zoet water wordt, bij gesloten sluisen tijdens de periode rond hoogwater op zee, afgevoerd in noordelijke richting. Het is denkbaar dat deze afvoer onvoldoende is waardoor gespuid zoet water teveel blijft “hangen” in de Voordelta.

Verklaring 1 lijkt onwaarschijnlijk. De gebruikte afvoercoëfficiënt voor het spuien in de relatie waarmee de afvoer wordt bepaald is kleiner dan de waarde van deze coëfficiënt zoals gebruikt in het SOBEK-RE model van het RMM gebied. Daarmee zijn ook de berekende afvoeren kleiner.

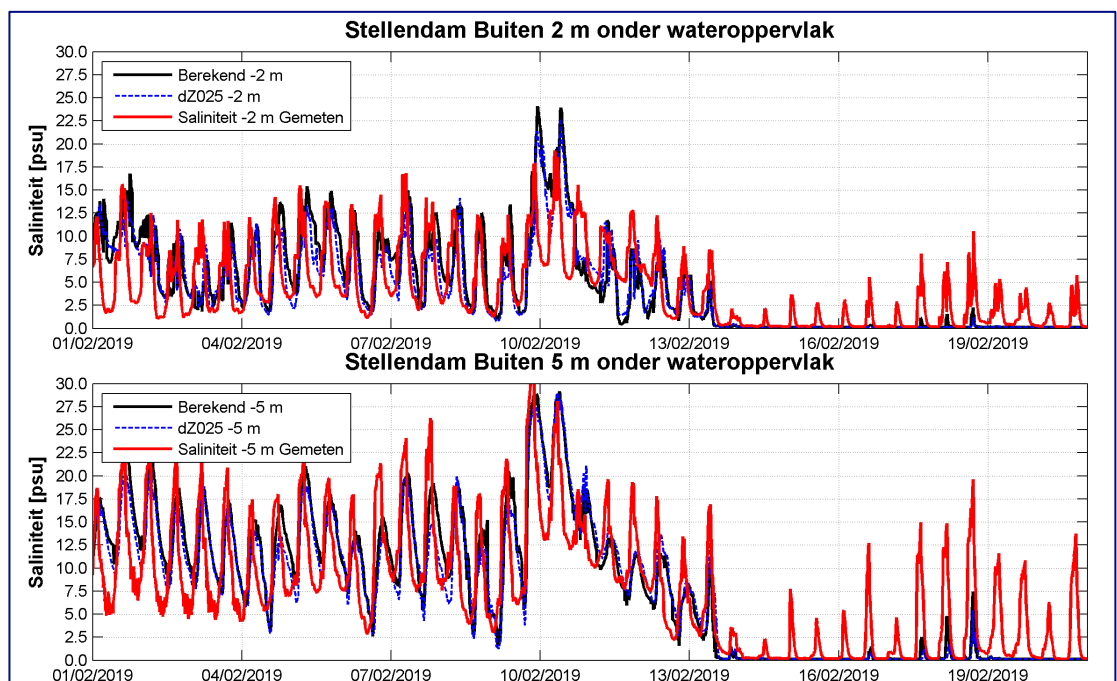
Vergelijking van de berekende afvoeren uit het SOBEK-RE model met de uit ADCP metingen afgeleide afvoeren in één van de sluisen lieten vaak, maar niet altijd, een goede overeenstemming zien<sup>4</sup> (Persoonlijke communicatie Sacha de Goederen, RWS-WNZ). Verder verkleinen van de afvoercoëfficiënt is dus niet voor de hand liggend, hoewel dit wel een beter overeenstemming tussen de varende meting en de berekening gaat geven. Meest waarschijnlijke reden voor de te grote hoeveelheid zoet water in de Voordelta is dus het gebrek aan afvoer van gespuid water uit de Voordelta.

<sup>4</sup> Voor het bepalen van de afvoer uit de ADCP metingen is voor deze vergelijking gebruik gemaakt van een voorlopige debietrelatie.

## 3.4 Gevoeligheidsberekeningen

### 3.4.1 Laagdikte ( $dZ = 0.25$ m; $vertadvtypsal = 4$ )

In paragraaf 2.4 is geconcludeerd dat berekeningsresultaten met de TRIWAQ afhandeling van verticale advectie ( $vertadvtypsal = 4$ ) in combinatie met een laagdikte van 1 m berekeningsresultaten erg vergelijkbaar zijn met de berekeningsresultaten met een laagdikte van 0.25 m met de standaard afhandeling van verticale advectie ( $vertadvtypsal = 6$ ). Denkbaar is dat een laagdikte van 0.25 m in combinatie met de TRIWAQ afhandeling van verticale advectie andere berekeningsresultaten geeft. Dit is onderzocht middels een gevoeligheidsberekening. De resultaten van deze berekening, in combinatie met de basisberekening met een laagdikte van 1 m, worden getoond in Figuur 3-8. Er zijn kleine verschillen tussen beide berekeningen maar deze verschillen zijn klein in vergelijking met de verschillen tussen meting en berekening(en). Een kleinere laagdikte dan 1 m is dus niet noodzakelijk voor de Voordelta van het Haringvliet.



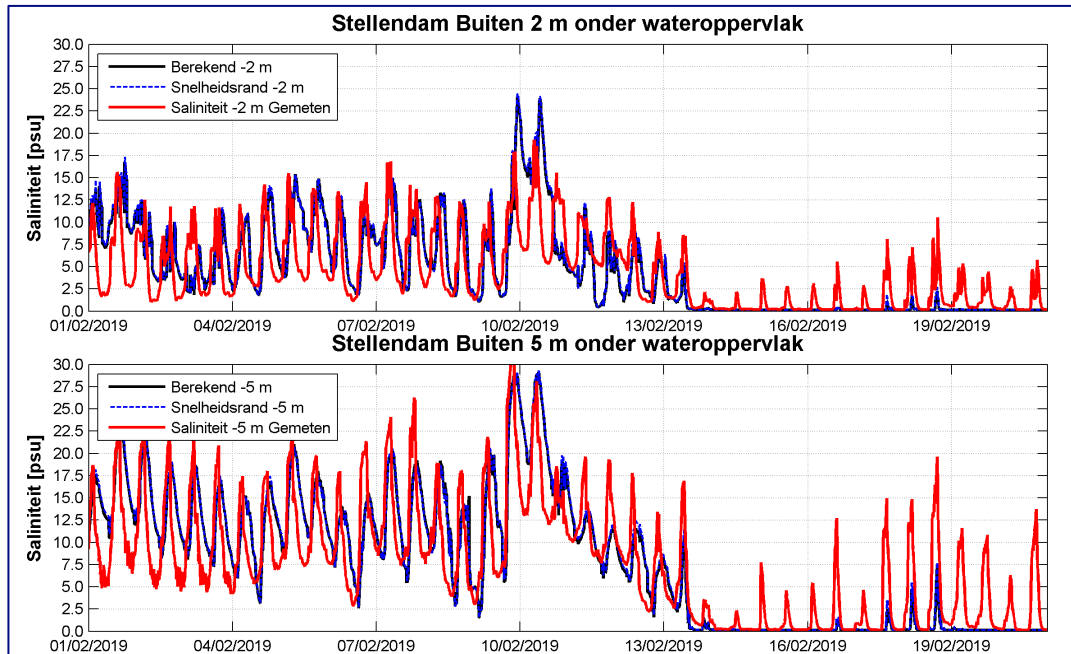
Figuur 3-8: Impact laagdikte bij TRIWAQ afhandeling van verticale advectie. Zwart is de default berekening met een laagdikte van 1 m (en  $vertadvtypsal=4$ ), blauw geeft de som weer met een laagdikte van 0.25 m (en  $vertadvtypsal=4$ ).

### 3.4.2 “Transport” randvoorwaarden

Als mogelijke verklaring voor de Voordelta die in werkelijkheid zouter is dan in de berekeningen, is in paragraaf 3.3 een te kleine noordwaarts gerichte reststroming genoemd. Het is mogelijk meer van het (rest)transport, zoals dat in het overall model (3D DCMS FM) optreedt, op te leggen aan het detailmodel door ook snelheidsinformatie uit het overall model als randvoorwaarde voor te schrijven middels zogenaamde *uxuyadvectionvelocity*<sup>5</sup> randvoorwaarden. Gebruik van deze randvoorwaarden heeft echter geen gevolgen voor berekende zoutgehalten in de Voordelta en daarmee de zoutgehalten zoals die berekend worden te Stellendam Buiten (Figuur 3-9).

<sup>5</sup> Met deze optie worden door het overall model berekende snelheden ook opgelegd als randvoorwaarden (al dan niet in combinatie met waterstanden). Deze snelheden worden enkel gebruikt in de benadering van de advectieve term in de impulsvergelijking. Dit is anders dan WAQUA/TRIWAQ snelheidsranden waar de als randvoorwaarde voorgeschreven snelheid exact gelijk is aan de berekende snelheid op de open rand en de waterstand zich aanpast bij de voorgeschreven snelheid.

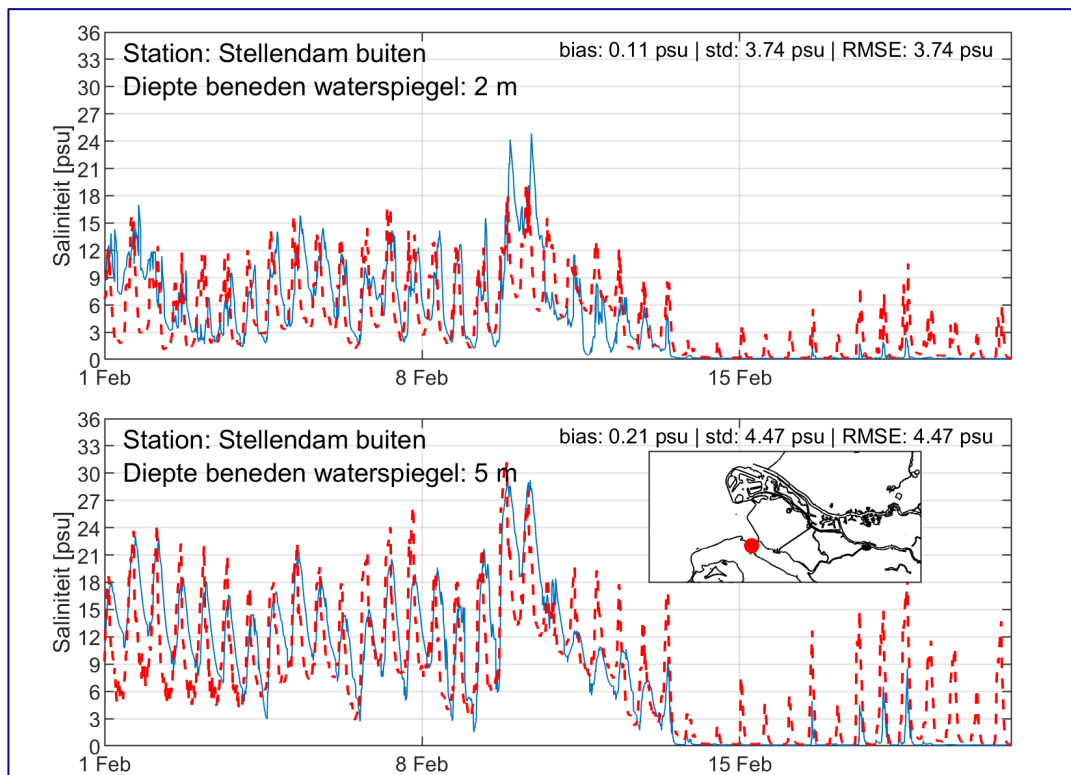




Figuur 3-9: Impact voorschrijven snelheid op open zeerand (uxuyadvectionvelocity).

### 3.4.3 Effect ruwheid Slijkgat

Bij gesloten Haringvlietsluizen is het Slijkgat de transportroute van zee naar de Voordelta nabij de Haringvlietsluizen. Onderzocht is wat de invloed van de bodemruwheid van het Slijkgat is op dit zouttransport richting Voordelta. Het verlagen van de Manning waarde in het Slijkgat van 0.020 naar 0.016 s/m<sup>2/3</sup> (relatief glad) heeft geen merkbare invloed op dit zouttransport, zie Figuur 3-10 en Figuur 3-3.



Figuur 3-10: Effect Ruwheid Slijkgat (Manning waarde van 0.016 s/m<sup>2/3</sup> in plaats van 0.020 s/m<sup>2/3</sup>) (berekening: rood, meting: blauw).

## 4 Conclusies en aanbevelingen

### 4.1 Conclusies

Op basis van een aantal berekeningen met verschillende laagdikten is voor de Voordelta van het Haringvliet een zogenaamde z- $\sigma$  laagverdeling gekozen. Beneden de -4 m NAP wordt een laagdikte van 1 m gebruikt. Boven de -4 m NAP worden 5  $\sigma$  lagen gebruikt. Om deze laagverdeling te gebruiken is het wel noodzakelijk een andere afhandeling van verticaal advectief transport dan standaard te gebruiken. Deze andere afhandeling (*vertadvtypsal* = 4 in plaats van *vertadvtypsal* = 6) lijkt op wat in het verleden in het simulatiesysteem TRIWAQ werd gebruikt.

De vergelijking van saliniteitsprofielen, zoals gemeten tijdens de vaartochten van 14 en 20 februari, met berekeningsresultaten laat zien dat de hoeveelheid zoet water in de Voordelta in de meting kleiner is dan in de berekening. Een mogelijk verklaring hiervoor is dat de spuidebieten door de Haringvlietsluizen in werkelijkheid kleiner zijn dan berekend. Echter, de meest waarschijnlijk verklaring hiervoor is dat gespuid zoet water in het model onvoldoende wordt afgevoerd in het model. Het noordelijk gerichte resttransport, waarmee zoet water wordt afgevoerd en zout water wordt getransporteerd naar de Voordelta, wordt vermoedelijk onderschat in de berekening. Dit laatste wordt als waarschijnlijker beschouwd omdat de gebruikte afvoercoëfficiënt voor het spuien, en daarmee de berekende spuidebieten, al klein is in vergelijking met waarden gebruikt in andere modellen (het D-Hydro RijnMaasMonding model en het Sobek-RE model van hetzelfde gebied).

### 4.2 Toepasbaarheid van het Haringvliet/Voordelta model

De modelschematisatie zoals die hier is gebruikt en onderzocht is ten dele geschikt voor de beoogde toepassingen van Rijkswaterstaat:

- Water- en zoutbeweging in de Voordelta tijdens spuien:
  - o Uit de vergelijking tussen de varende metingen en de berekeningsresultaten volgt dat de Voordelta in werkelijkheid zouter is dan in de berekeningen.
  - o Kwalitatief stemt de berekende zoutverdeling overeen met meetresultaten tijdens de twee varende metingen die gesimuleerd zijn.
  - o Dit betekent dat indien enkel de orde van grootte van het zoutgehalte in de Voordelta en/of de variatie in het zoutgehalte van belang zijn, het model hiervoor geschikt is.
  - o Voor ecologische analyses lijkt het model dan ook inzetbaar mits in de ecologische beoordeling van modelresultaten de onderschatting van zoutgehalten wordt meegewogen.
  
- Water en zoutbeweging tijdens Kieren:
  - o Als basis om zouttransport door de Haringvlietsluizen te bepalen is het model ongeschikt. Zoutgehalten te Stellendam buiten worden onderschat (tot 10 PSU tijdens vloed bij gesloten sluisen) wat resulteert in hoeveelheden zout, getransporteerd van zee naar het Haringvliet, die te klein zijn waarmee verzilting in het Haringvliet wordt onderschat.
  - o Daarnaast is de laagverdeling zoals die tijdens dit project is toegepast alleen getoetst voor de Voordelta. Naar verwachting zal de laagverdeling onvoldoende zijn om de sterke stratificatie in het Haringvliet te beschrijven.

Samenvattend, met het oog op de beoogde toepassing van het model ter ondersteuning van het “kieren” met de Haringvlietsluizen is kwalitatieve overeenstemming tussen gemeten en berekende zoutgehalten in de Voordelta niet voldoende. Immers, een te zoete Voordelta betekent dat tijdens het “kieren” ingelaten water te zoet is waardoor de werkelijke zoutindringing in het Haringvliet wordt onderschat. Voor ecologische vragen met betrekking tot de Voordelta is de onderschatting door het model minder een probleem en is het model wel toepasbaar.

### 4.3 Aanbevelingen

De conclusie dat de gemeten hoeveelheid zoetwater in de Voordelta kleiner is dan de berekende hoeveelheid is gebaseerd op een beperkt aantal gemeten saliniteitsprofielen in een interval van 1 uur voor slechts 2 spuicondities. Er wordt, in navolging van de aanbeveling in (Kranenburg, Jaksic, & Leummens, 2024), nadrukkelijk aanbevolen met name het *Slijkgat*, waardoor zout zeewater wordt getransporteerd van de Noordzee naar het sluisencomplex, intensief te bemeten. Gedacht wordt aan een vaste meetopstelling waarmee continu de saliniteit op meerdere hoogten in de verticaal wordt gemeten. Op dezelfde locaties zijn ook snelheidsmetingen, eveneens op meerder hoogten in de verticaal, wenselijk. Hiermee kan, bij voldoende lange duur van de metingen, wellicht de grootte van de restsnelheid en daarmee het resttransport worden bepaald. Deze metingen kunnen daarnaast worden gebruikt voor verdere validatie en toetsing van de modelmatige beschrijving van de zoet-zout dynamiek in de Voordelta van het Haringvliet.

Aangezien een mogelijke oorzaak van de Voordelta die in werkelijkheid zouter is dan in de berekeningen te grote berekende afvoeren door de Haringvlietsluizen is, wordt aanbevolen meer zekerheid over deze afvoeren te verkrijgen.

Verder wordt aanbevolen om het effect van de TRIWAQ optie waar het verticaal advectief transport betreft ook te onderzoeken voor modellen waarvoor nu een extreem kleine laagdikte in de verticaal noodzakelijk is. Te denken valt aan:

- Het 6<sup>e</sup> generatie 3D Haringvliet model (Bom, 2023),
- Het 6<sup>e</sup> generatie 3D Grevelingen model
- Het 6<sup>e</sup> generatie 3D IJsselmeer model, en,
- Het 6<sup>e</sup> generatie 3D Veerse Meer model.

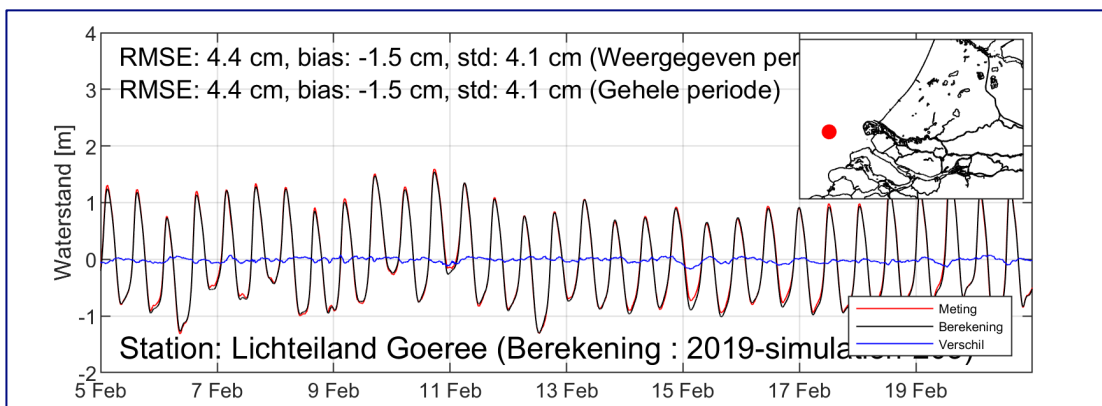
Wellicht dat met de aangepaste instelling voor deze modellen met minder rekentijd kan worden volstaan.

Als laatste wordt aanbevolen te onderzoeken met welk aantal lagen, in combinatie met de TRIWAQ optie voor verticaal advectief transport, het gecombineerde Haringvliet/Voordelta model het nog goed doet voor situaties waarin laagdynamische verziltingssituaties op het Haringvliet voorkomen.

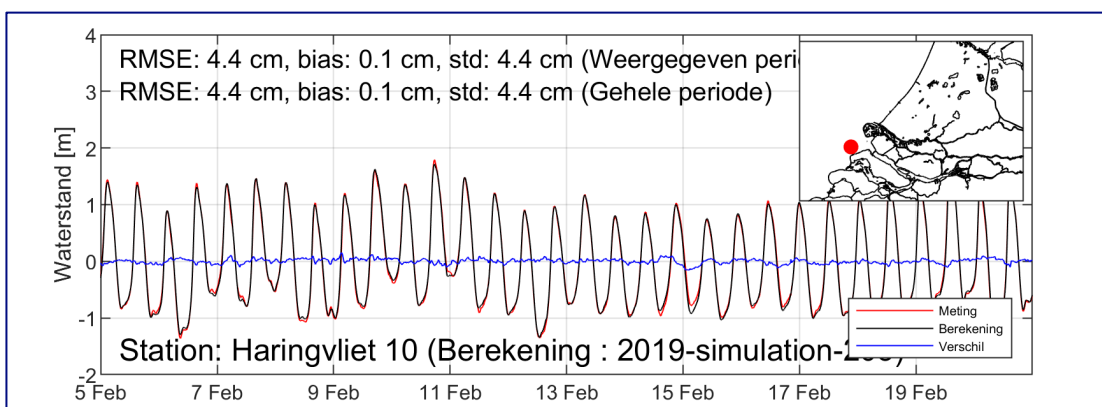
## 5 Referenties

- Bom, S. (2023). Tussentijdse resultaten 3D modellering Kier Haringvliet. Rotterdam: Svasek Hydraulics.
- Kaaij, T. v. (2024). *Ontwikkeling en eerste resultaten D-HYDRO model Voordelta en Haringvliet*. Delft: Deltares.
- Kranenburg, W., Jaksic, L., & Leummens, L. (2024). *Verkenning Dynamiek Voordelta Haringvliet*. Delft: Deltares.
- Zijl, F., Zijlker, T., Laan, S., & Groenenboom, J. (2023). *3D DCSM FM: a sixth-generation model for the NW European Shelf; 2022 release*. Delft: Deltares.

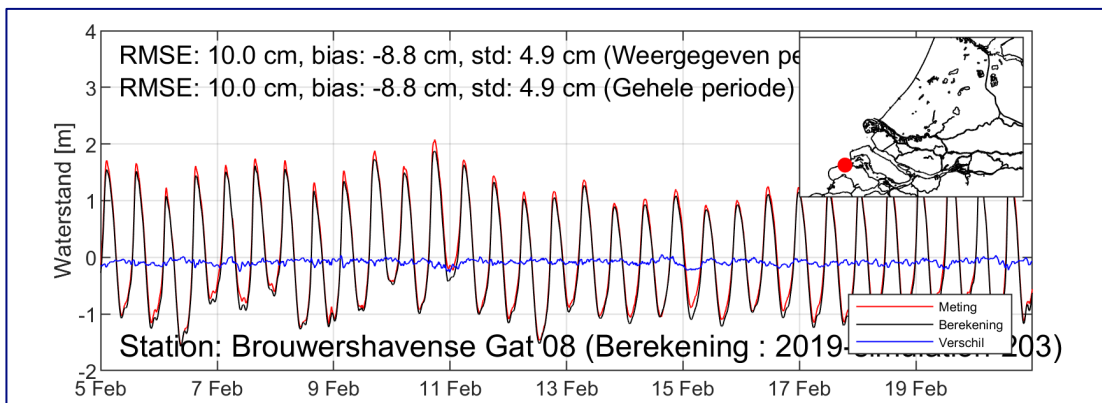
# A Vergelijking gemeten berekende waterstanden



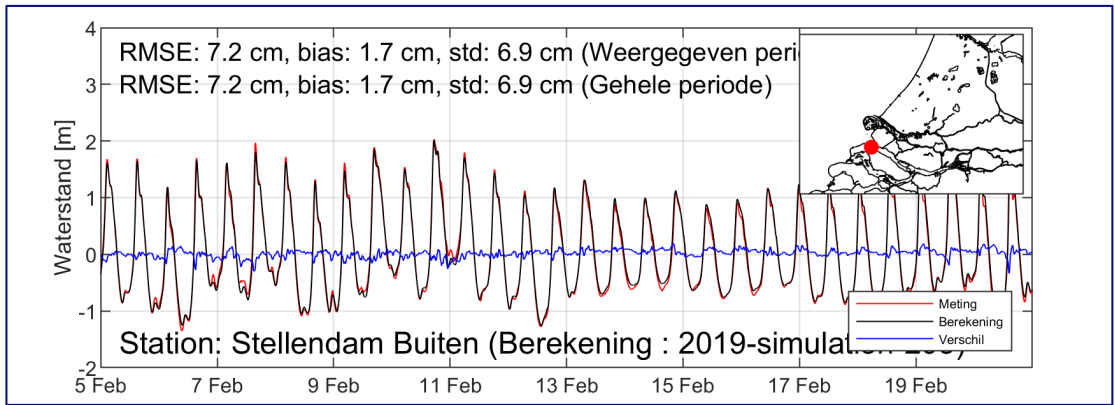
Figuur A-1: Gemeten en berekende waterstanden te Lichteiland Goeree.



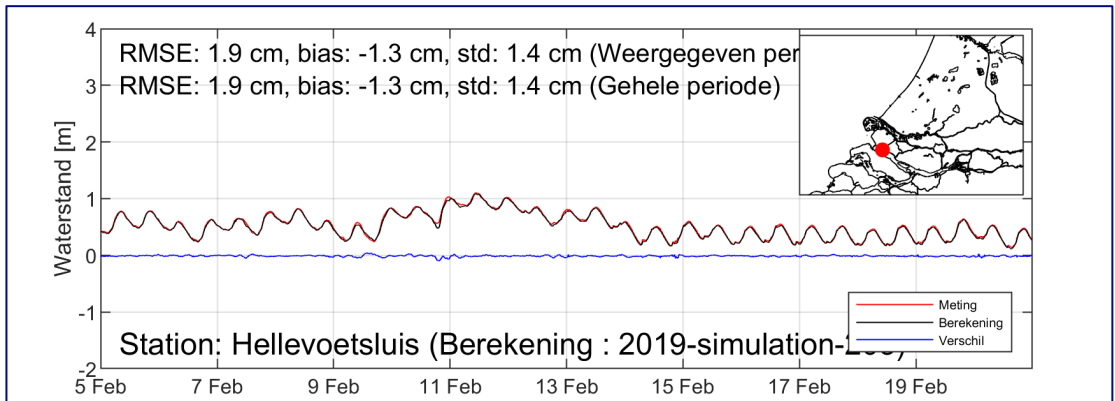
Figuur A-2: Gemeten en berekende waterstanden te Haringvliet 10.



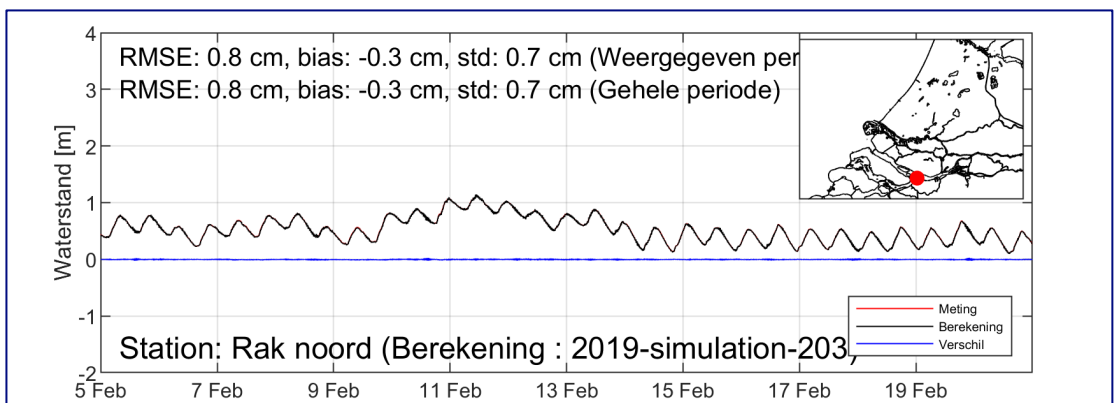
Figuur A-3: Gemeten en berekende waterstanden Brouwershavense Gat 8.



Figuur A-4: Gemeten en berekende waterstanden te Stellendam Buiten.

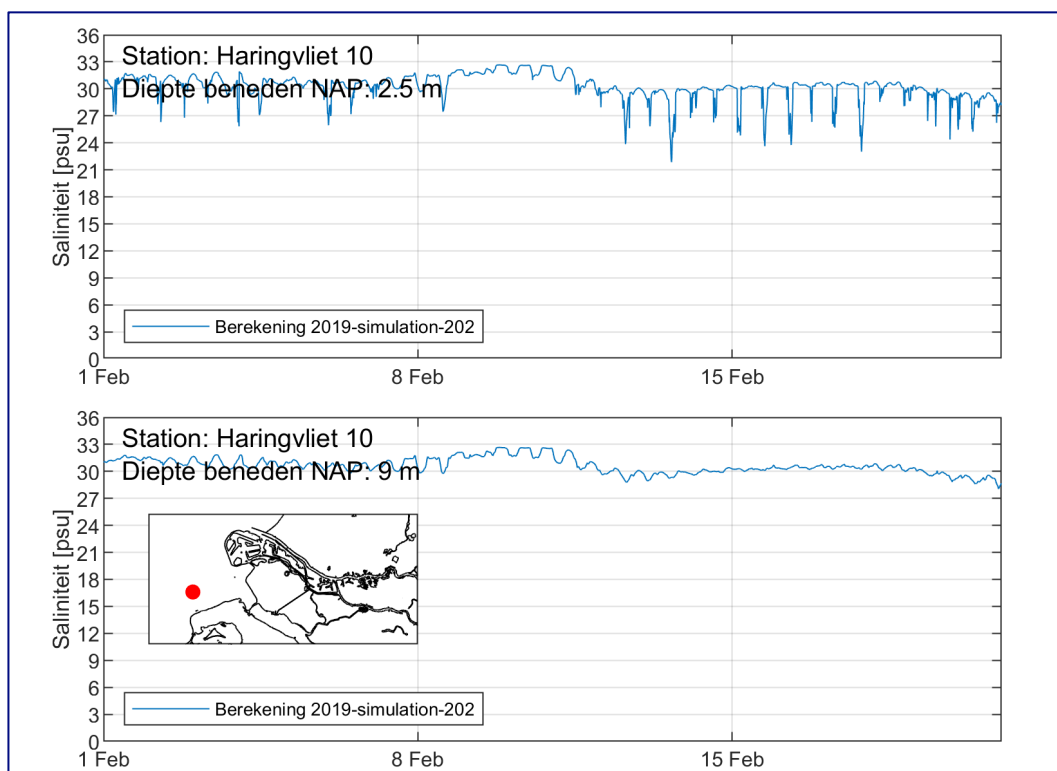


Figuur A-5: Gemeten en berekende waterstanden te Hellevoetsluis (Haringvliet).

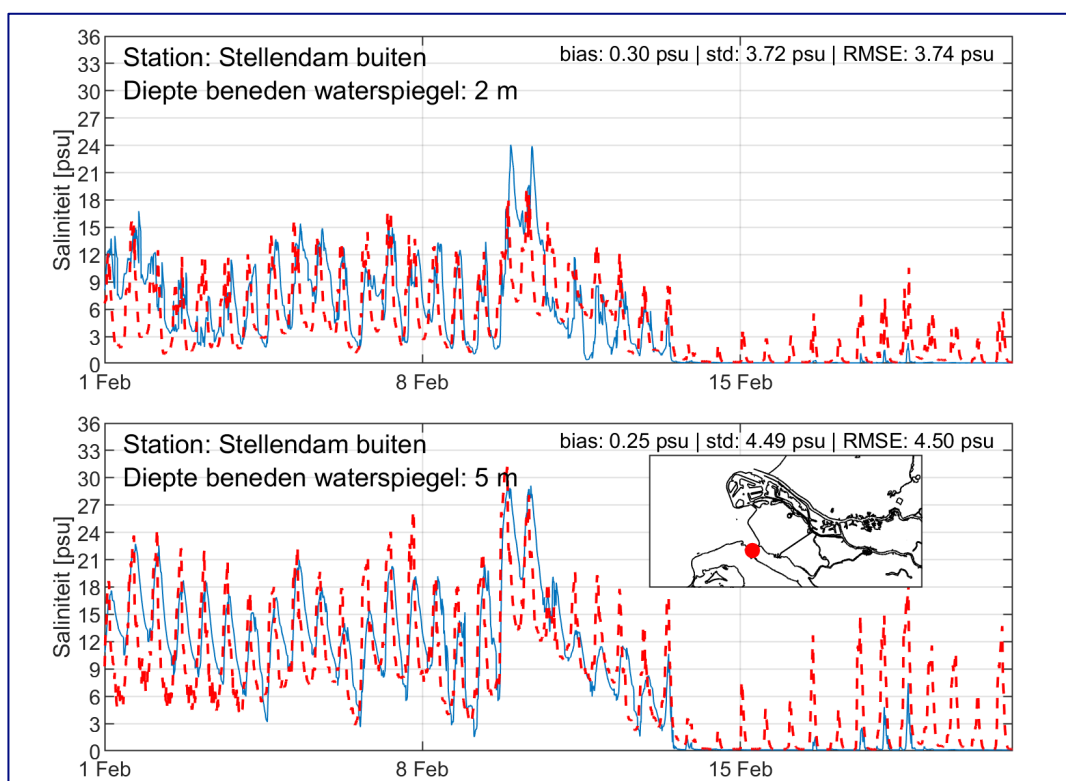


Figuur A-6: Gemeten en berekende waterstanden te Rak Noord (Hollandsch Diep).

## B Tijdreeksen gemeten en berekende saliniteit



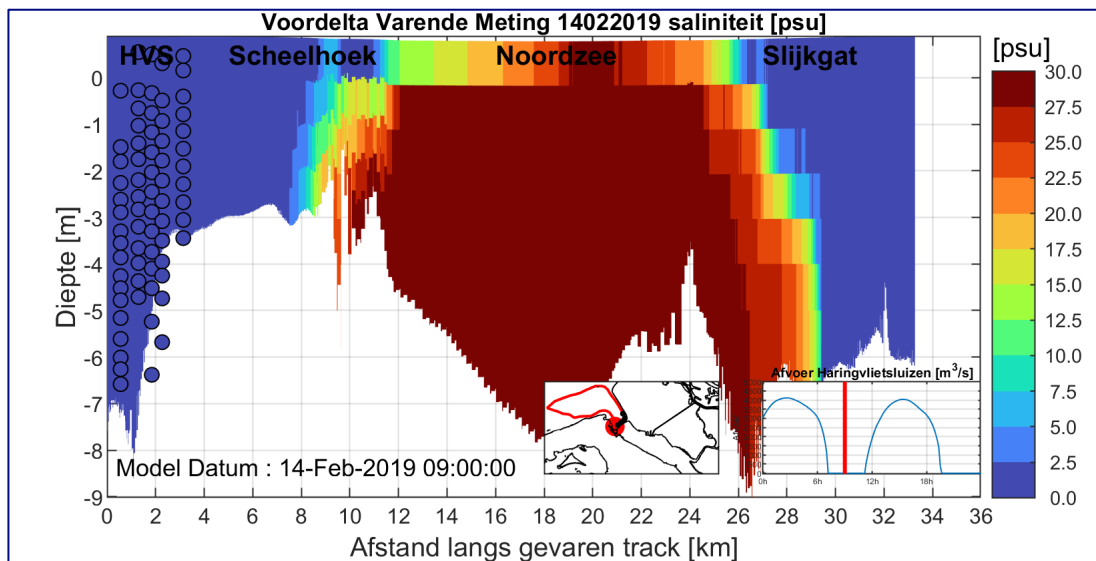
Figuur B-1: Berekende saliniteit HA10 (gecontroleerde meetreeks ontbreekt).



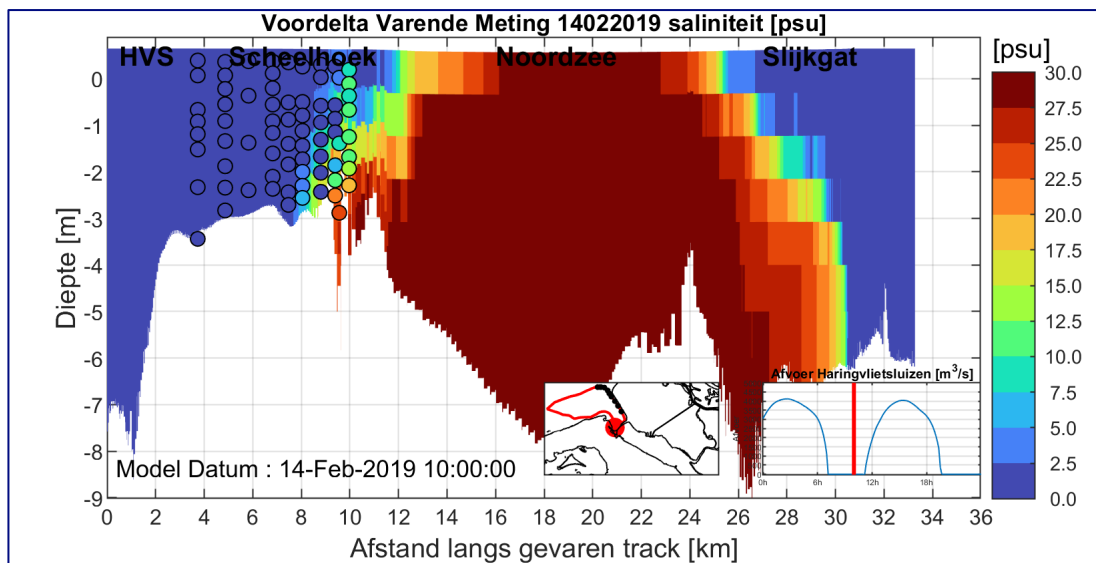
Figuur B-2: Berekende saliniteit Stellendam Buiten (meting rood, berekening blauw).

# C Vergelijking gemeten met berekende saliniteitsprofielen (zijaanzicht)

## C.1 Varende meting 14 februari 2019

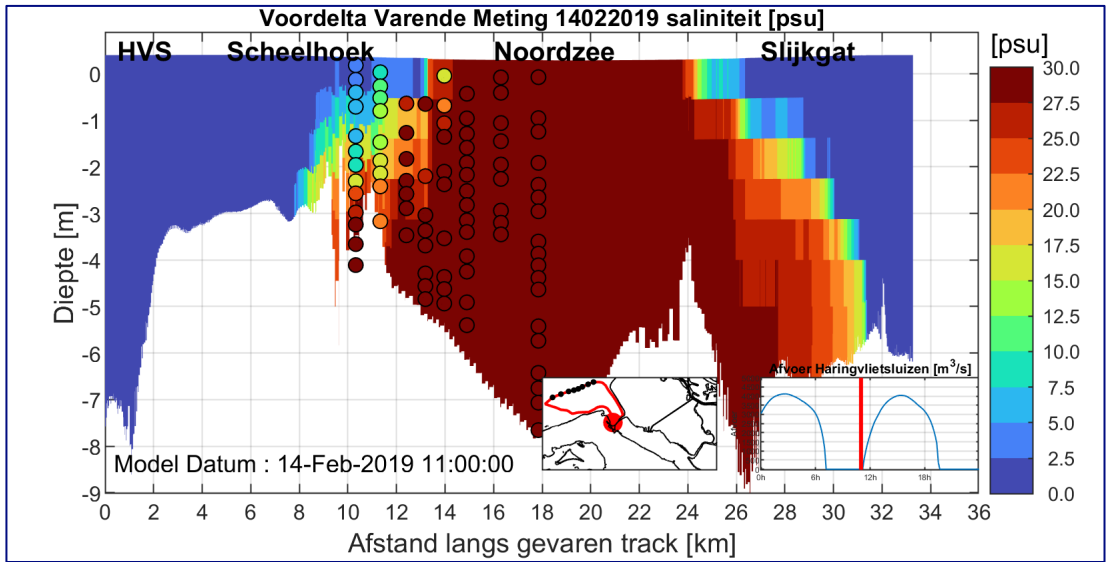


Figuur C-1: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Zeezijde Haringvlietsluizen, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).

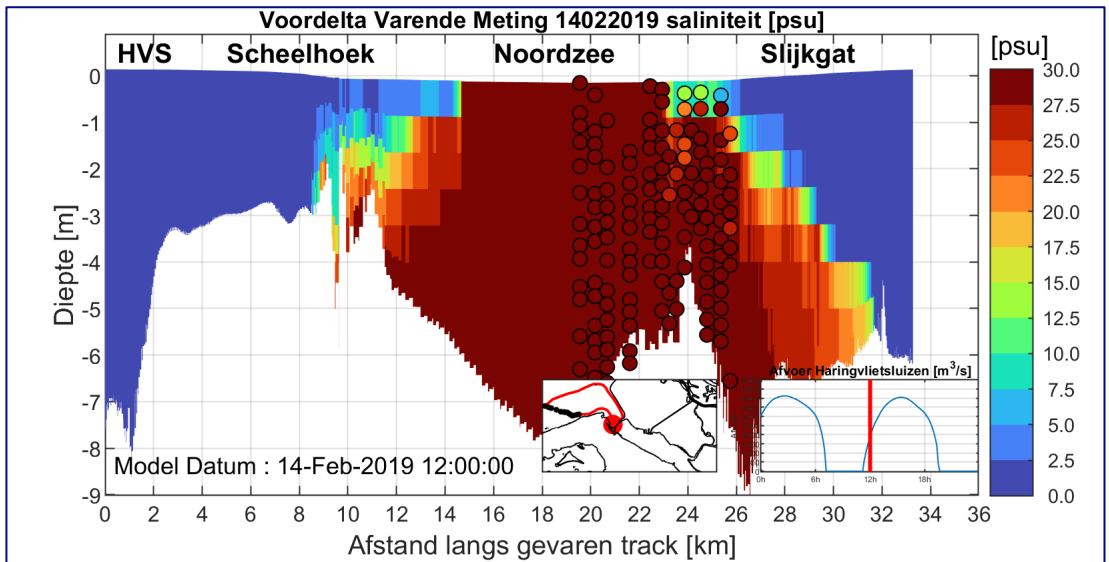


Figuur C-2: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Rak van Scheelhoek, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 09:30 – 10:30 (berekeningsresultaat van 10:00 uur).

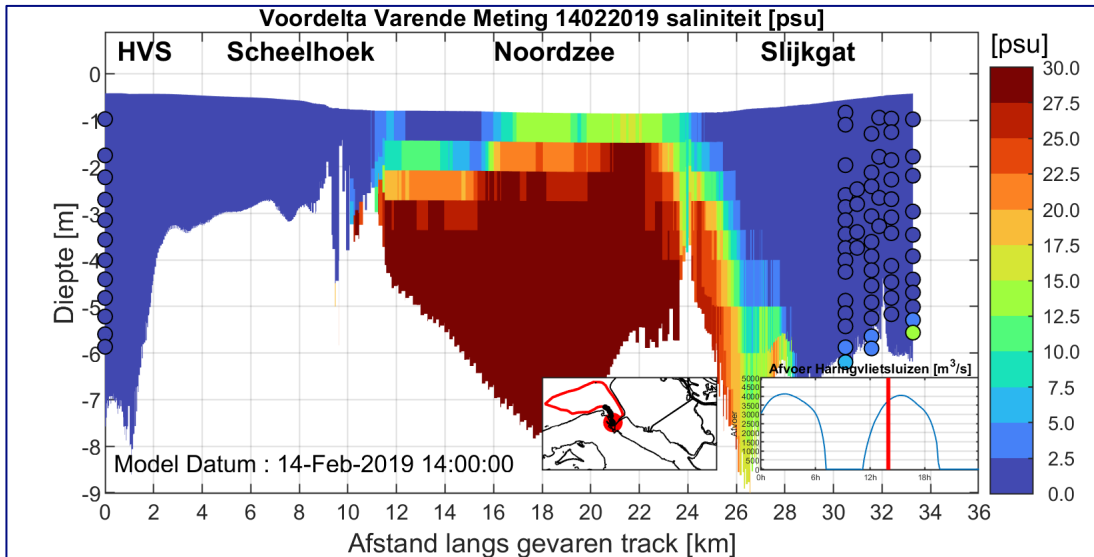




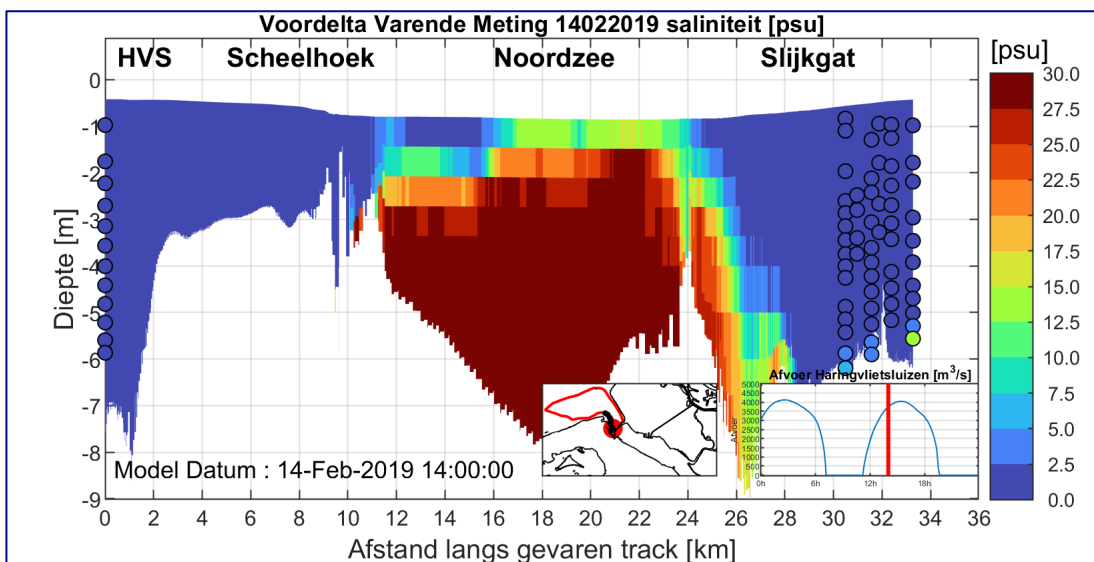
Figuur C-3: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Noordzee 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).



Figuur C-4: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Noordzee 2, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).

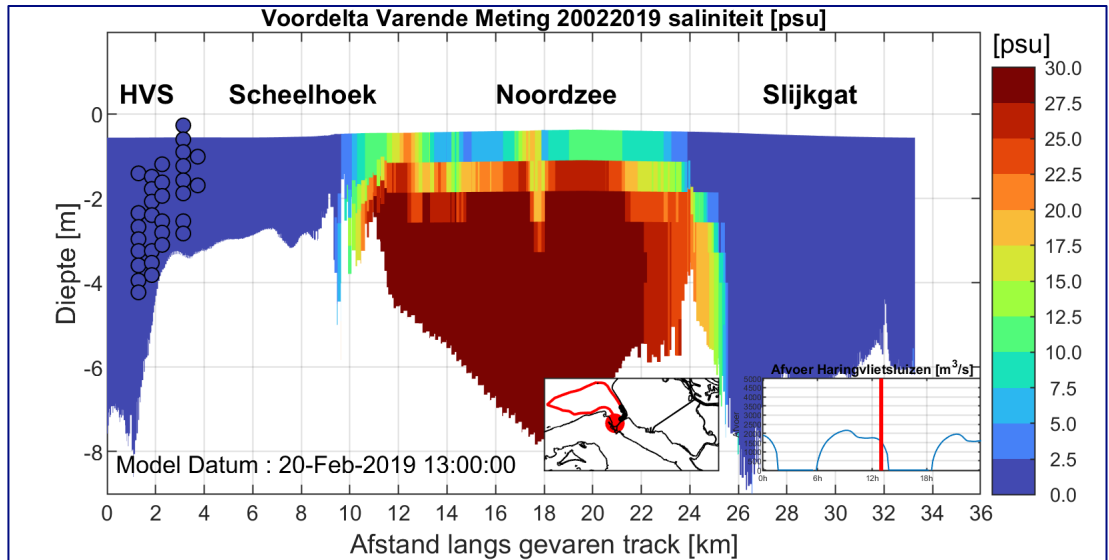


Figuur C-5: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slijkgat 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).

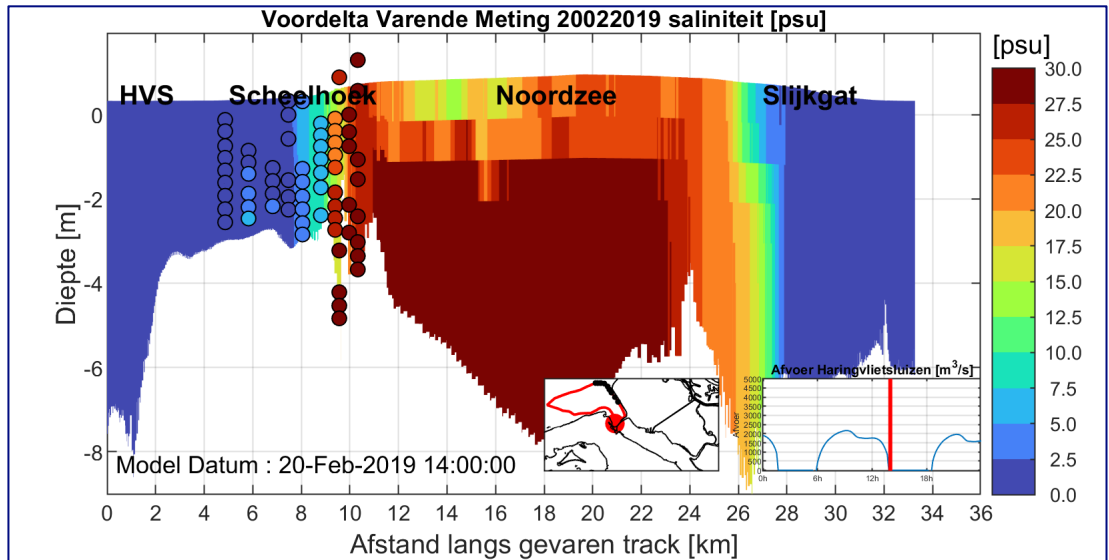


Figuur C-6: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slijkgat 2, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 14 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).

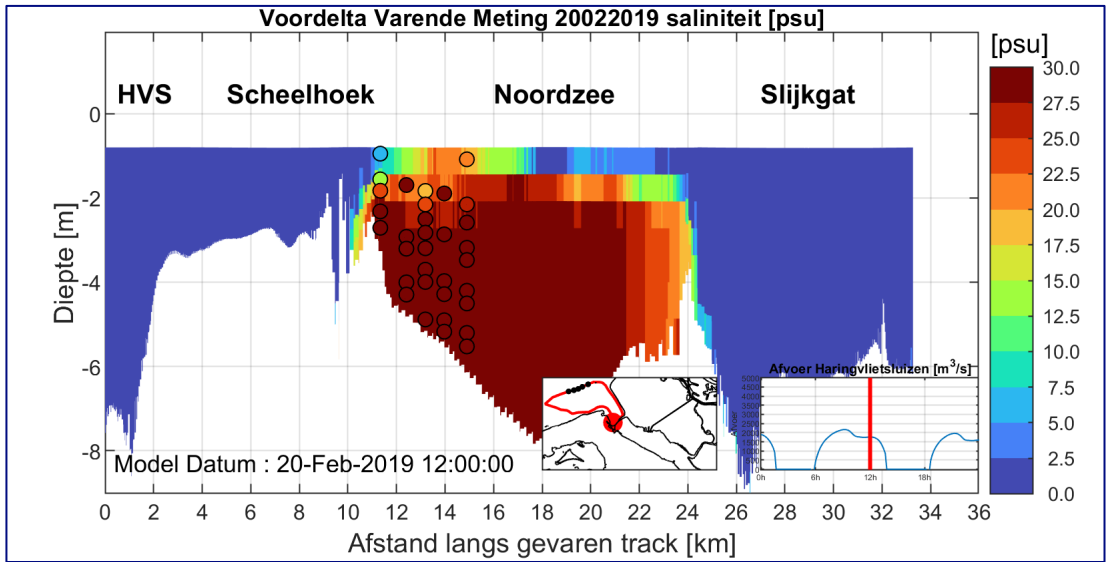
## C.2 Varende meting 20 februari 2019



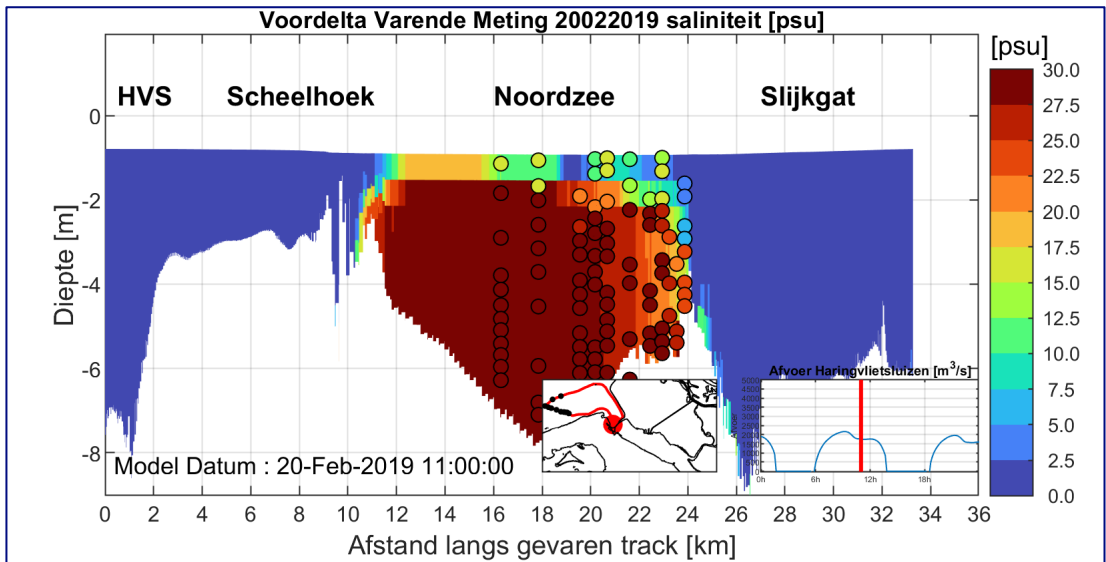
Figuur C-7: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Zeezijde Haringvlietsluizen, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).



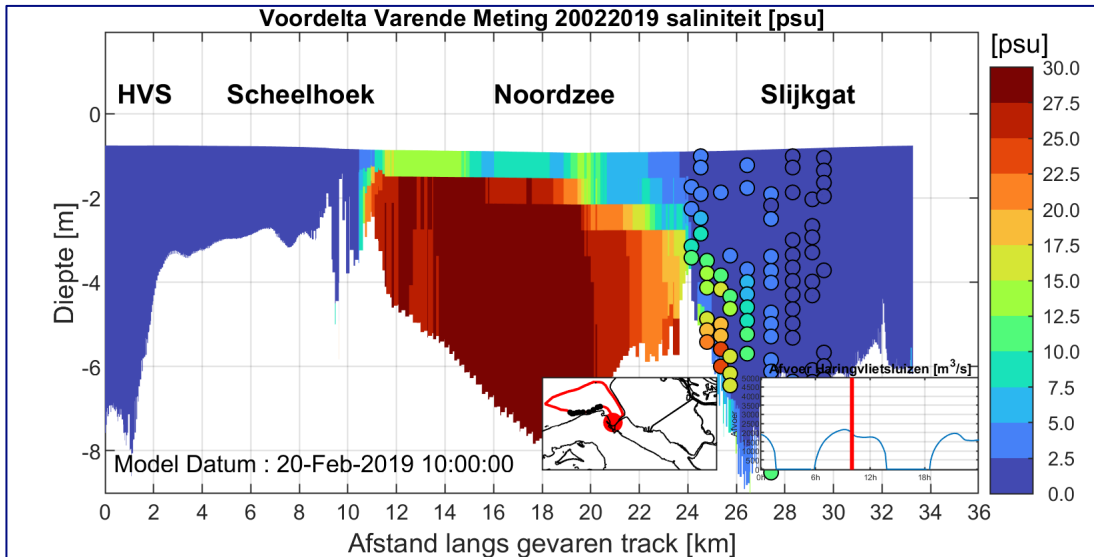
Figuur C-8: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Rak van Scheelhoek, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).



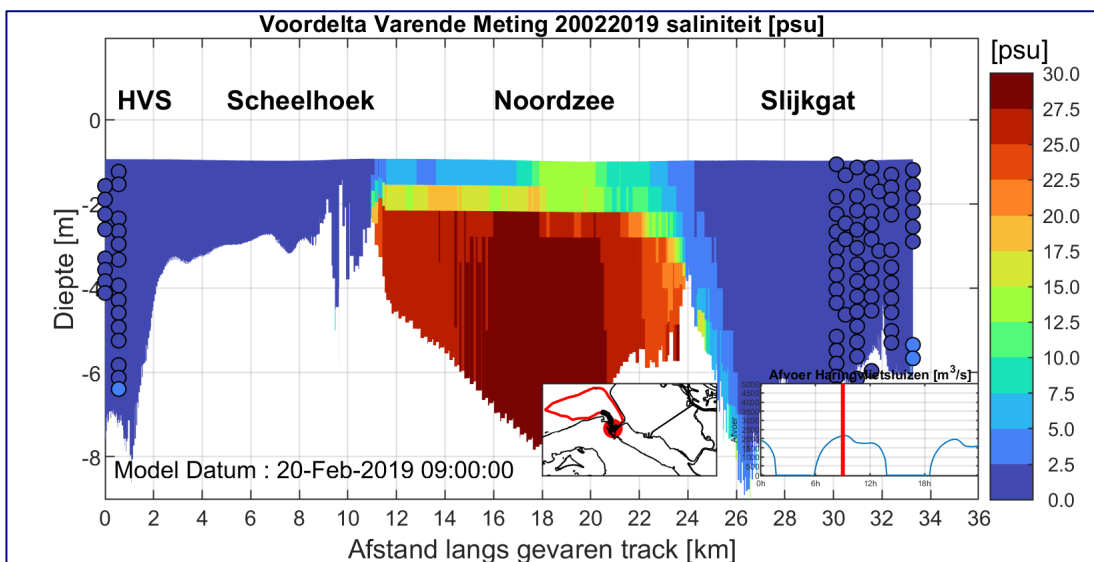
Figuur C-9: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Noordzee 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).



Figuur C-10: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Noordzee 2, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).



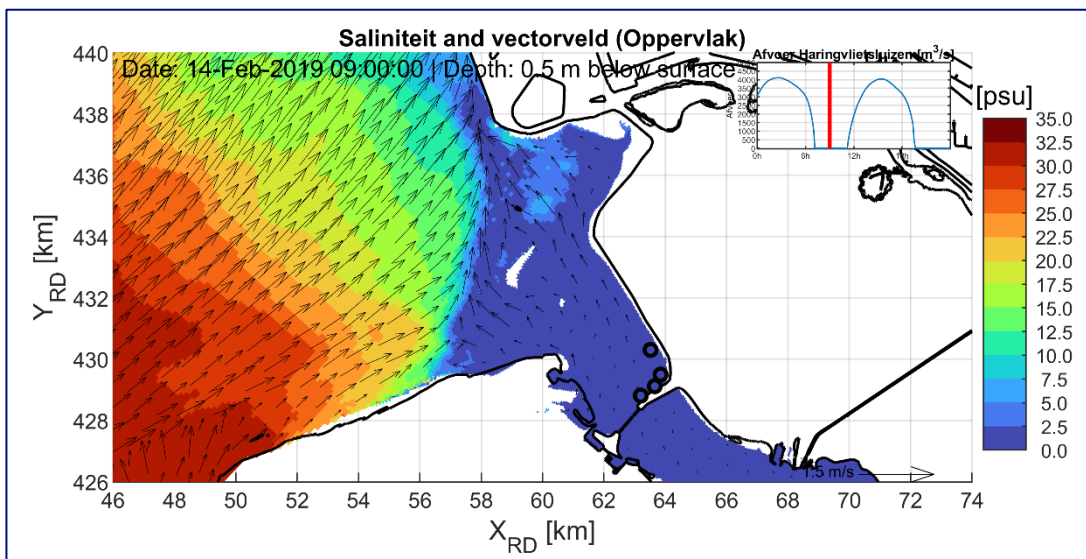
Figuur C-11: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slikgat 1, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 09:30 – 10:30 (berekeningsresultaat van 10:00 uur).



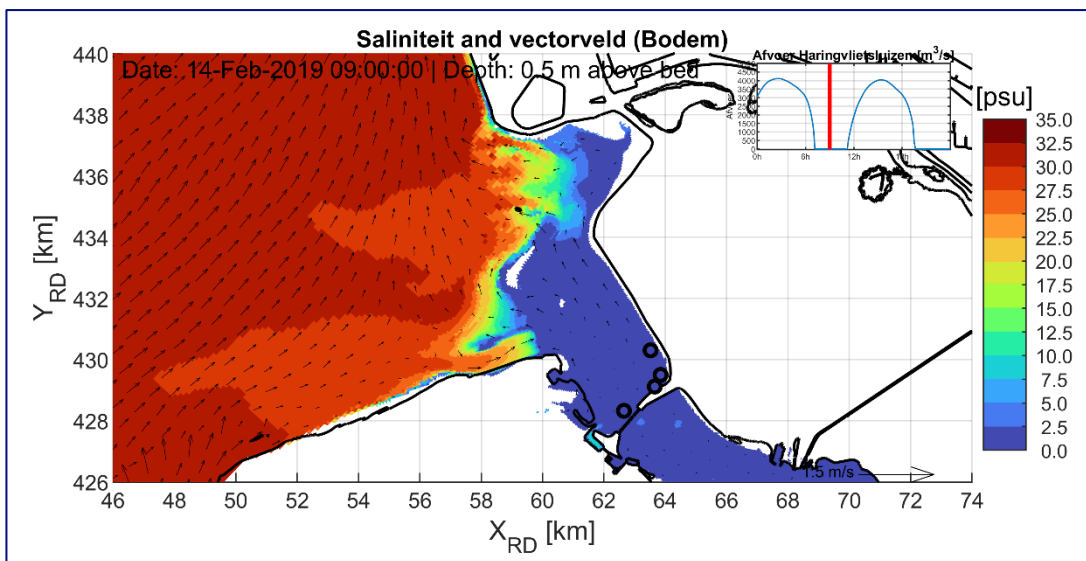
Figuur C-12: Gemeten en berekende saliniteitsprofielen, Slikgat 2, Locaties zwarte punten in locatieaanduiding, meting 20 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).

# D Boveraanzicht saliniteit zowel oppervlak als bodem

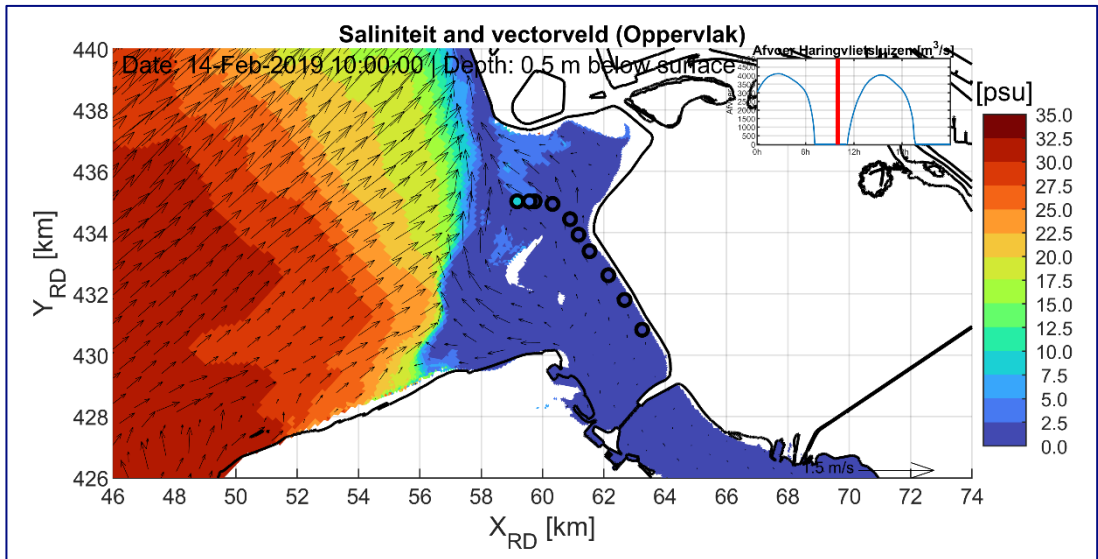
## D.1 Varende meting 14 februari 2019



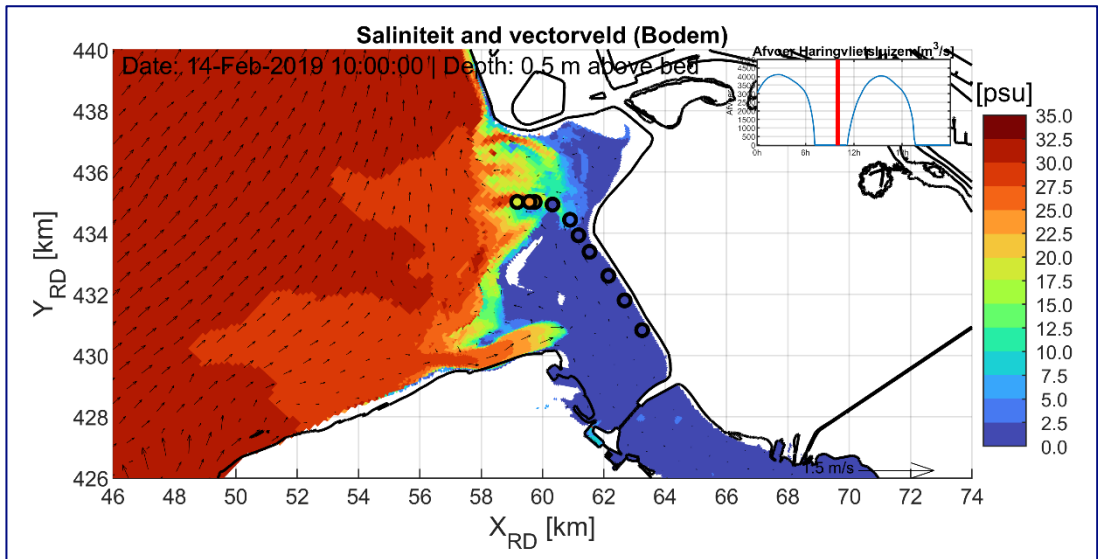
Figuur D-1: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Zeezijde Haringvliet, meting 14 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).



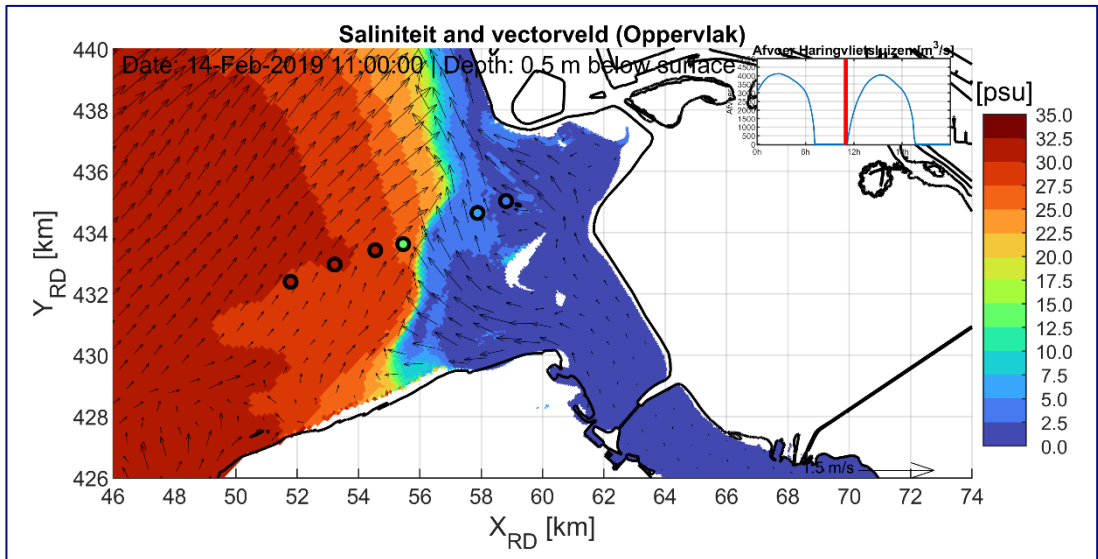
Figuur D-2: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Zeezijde Haringvliet, meting 14 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).



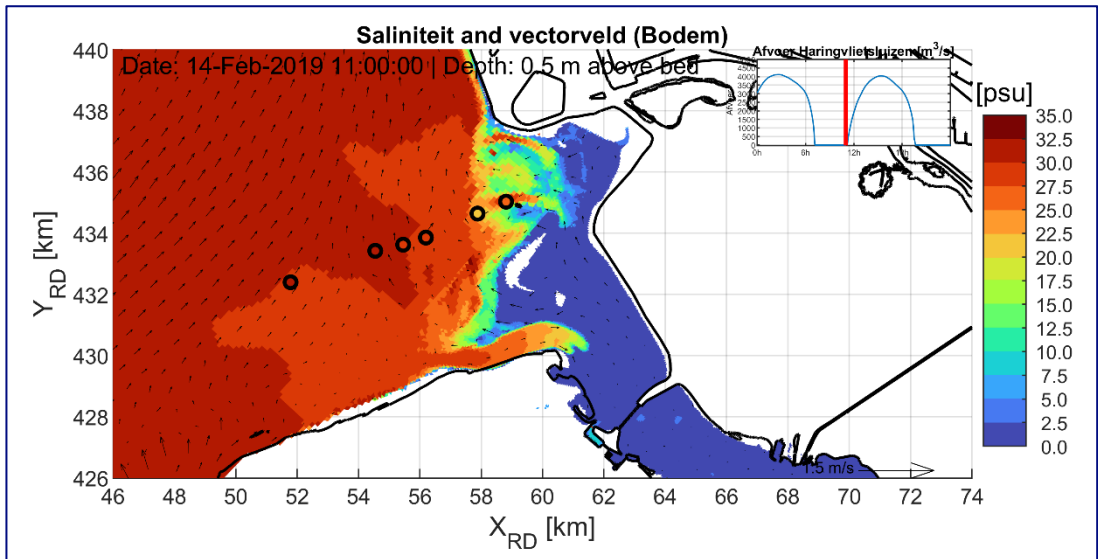
Figuur D-3: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Rak van Scheelhoek, meting 14 februari 09:30 – 10:30 (berekingsresultaat van 10:00 uur).



Figuur D-4: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Rak van Scheelhoek, meting 14 februari 09:30 – 10:30 (berekingsresultaat van 10:00 uur).

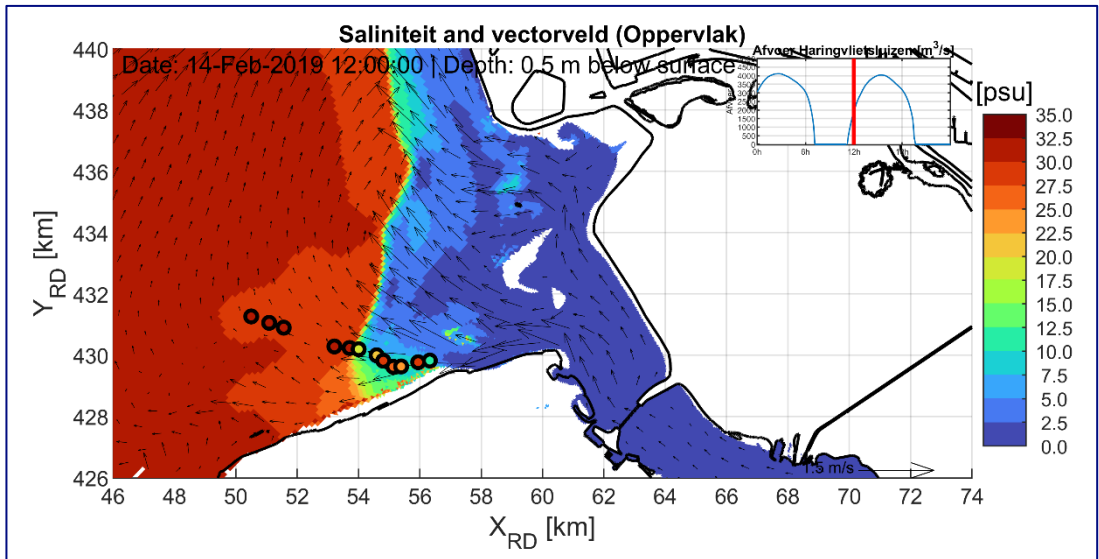


Figuur D-5: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Noordzee 1, meting 14 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).

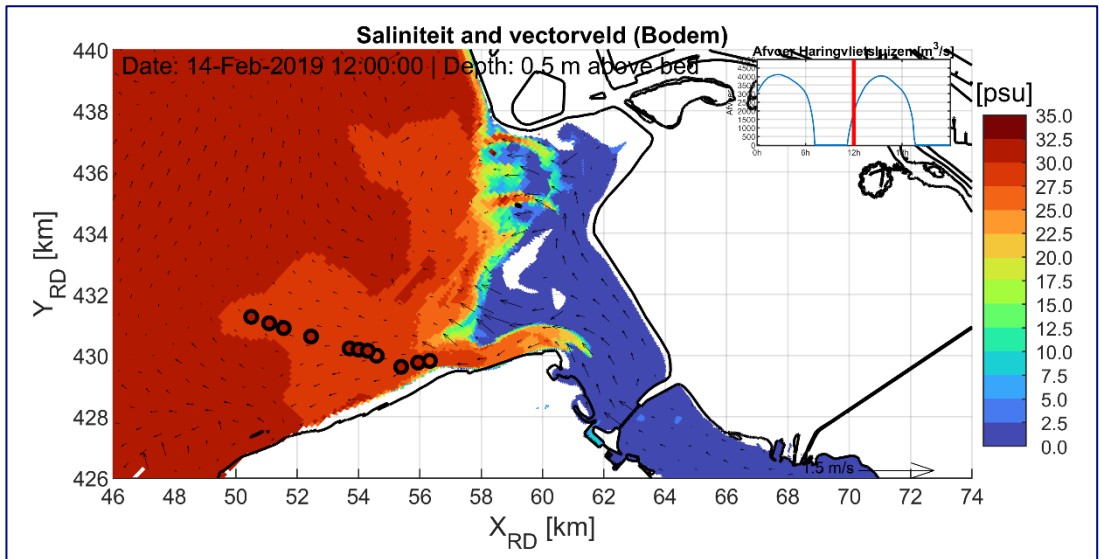


Figuur D-6: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Noordzee 1, meting 14 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).

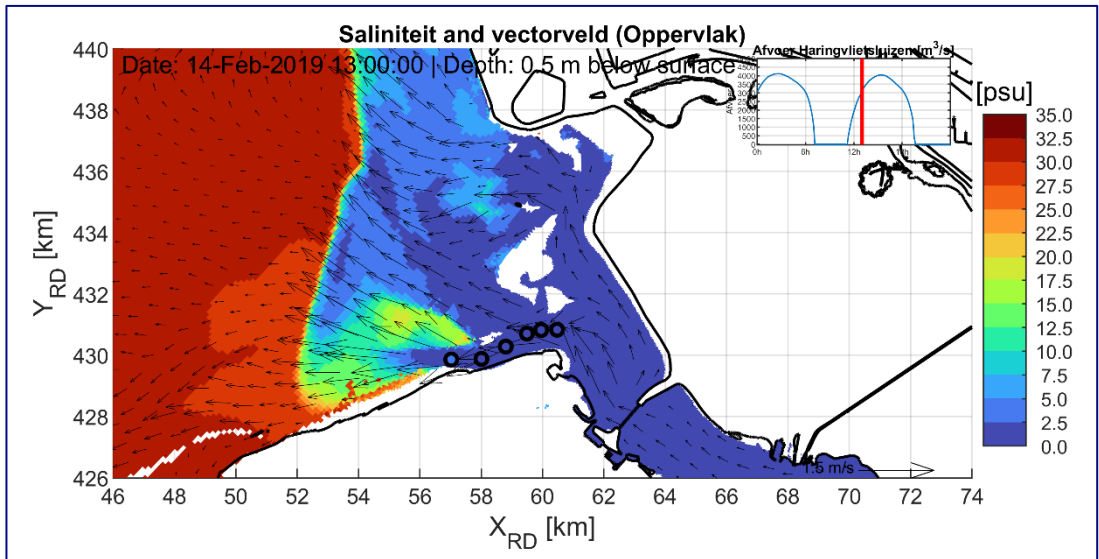




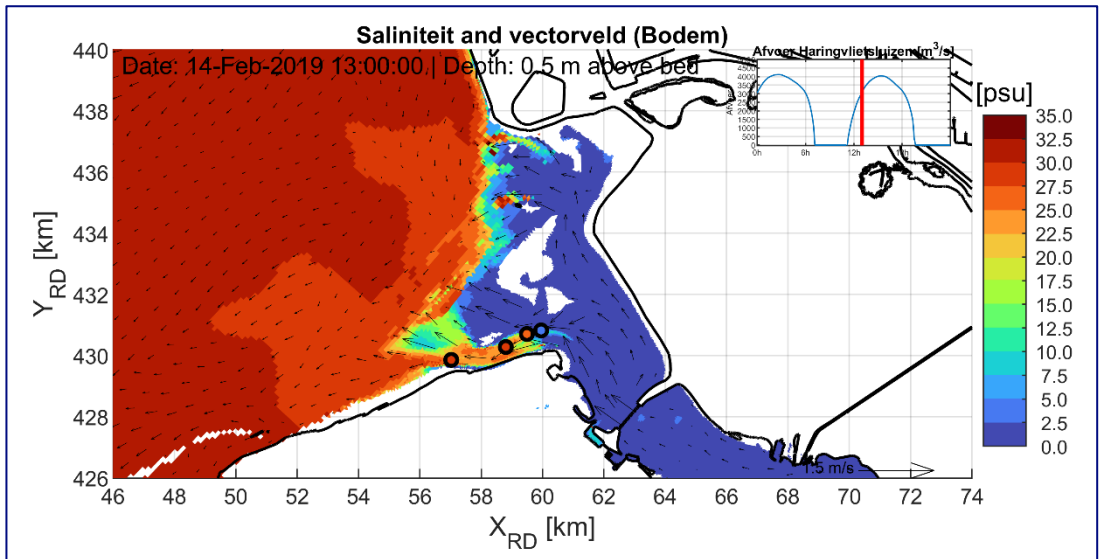
Figuur D-7: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Noordzee 2, meting 14 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).



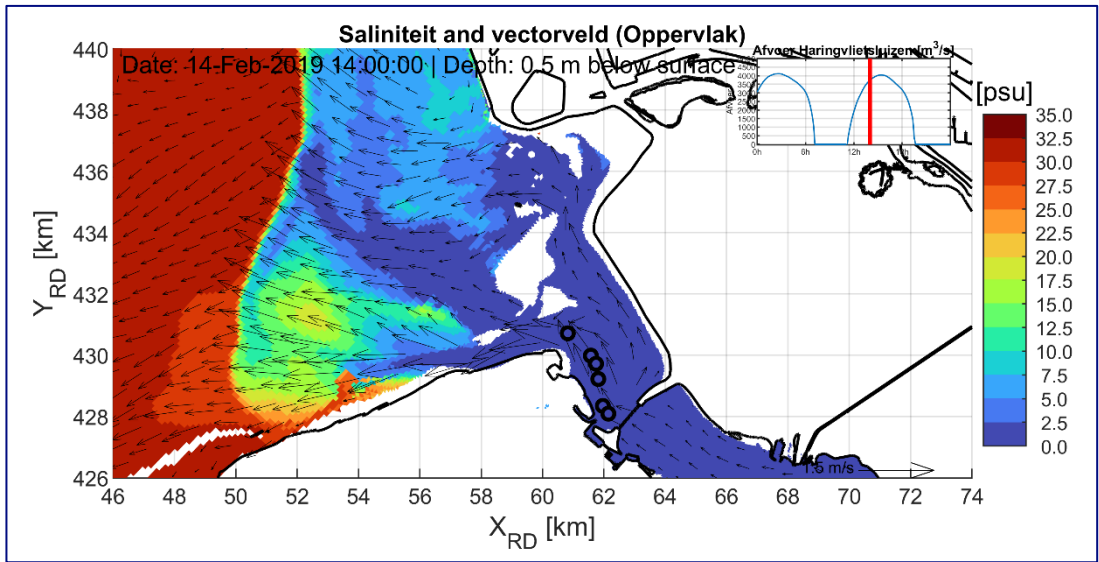
Figuur D-8: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Noordzee 2, meting 14 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).



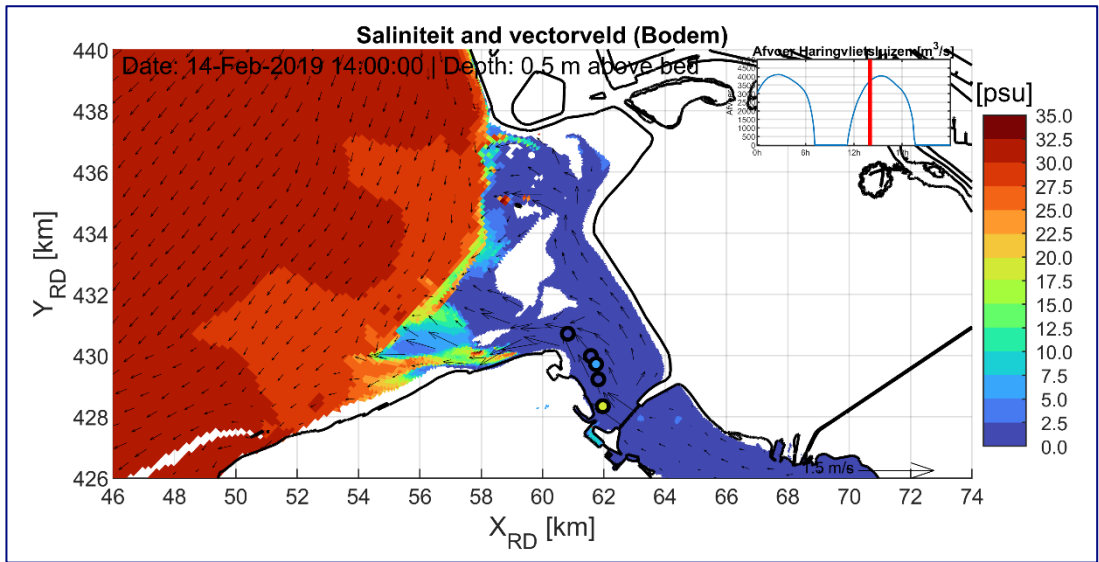
Figuur D-9: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Slijkgat 1, meting 14 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).



Figuur D-10: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Slijkgat 1, meting 14 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).

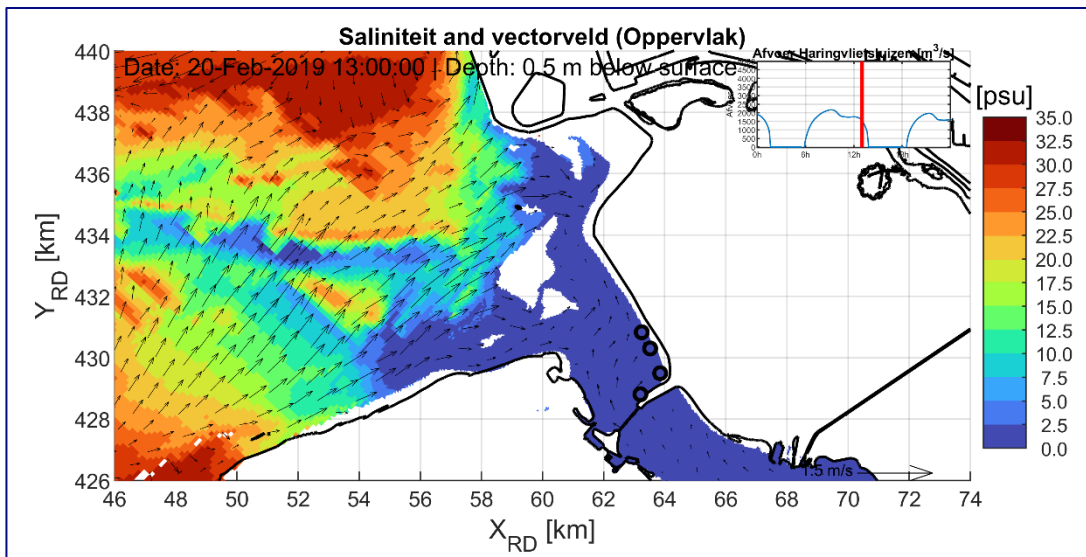


Figuur D-11: Gemeten en berekende saliniteit Oppervlak, Slijkgat 2, meting 14 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).

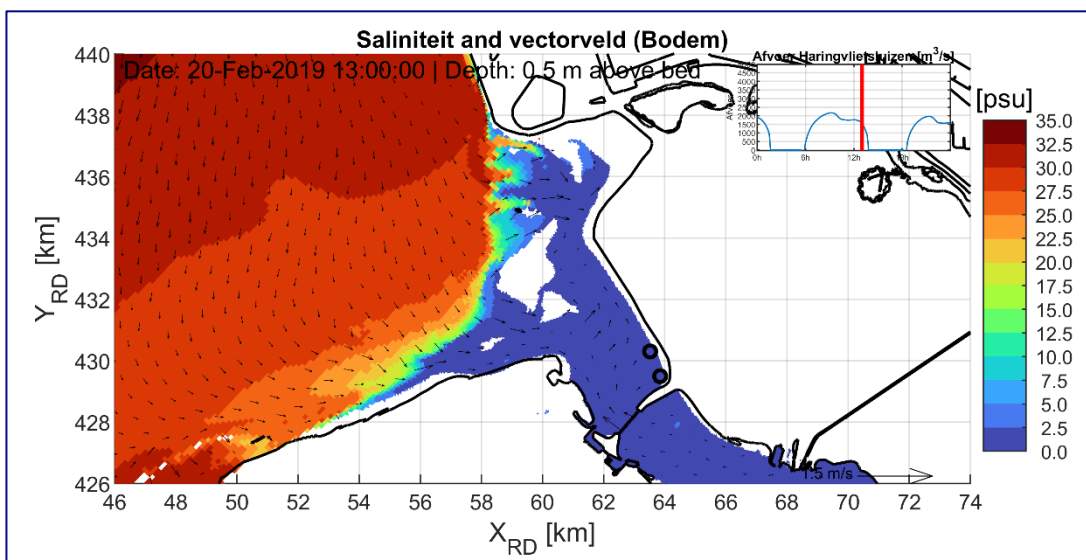


Figuur D-12: Gemeten en berekende saliniteit Bodem, Slijkgat 2, meting 14 februari 13:30 – 14:30 (berekeningsresultaat van 14:00 uur).

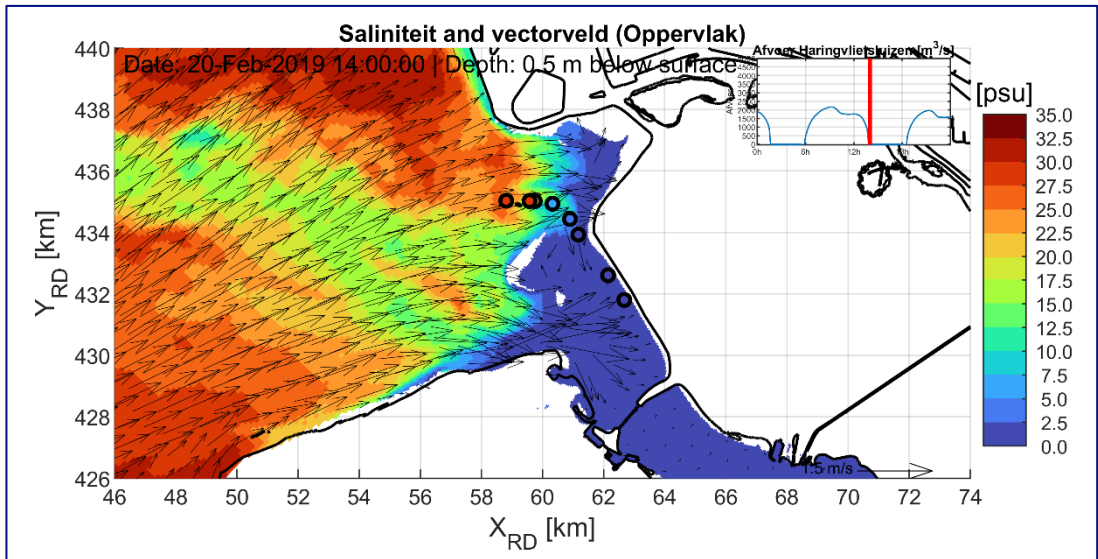
D.2 Varende meting 20 februari 2019



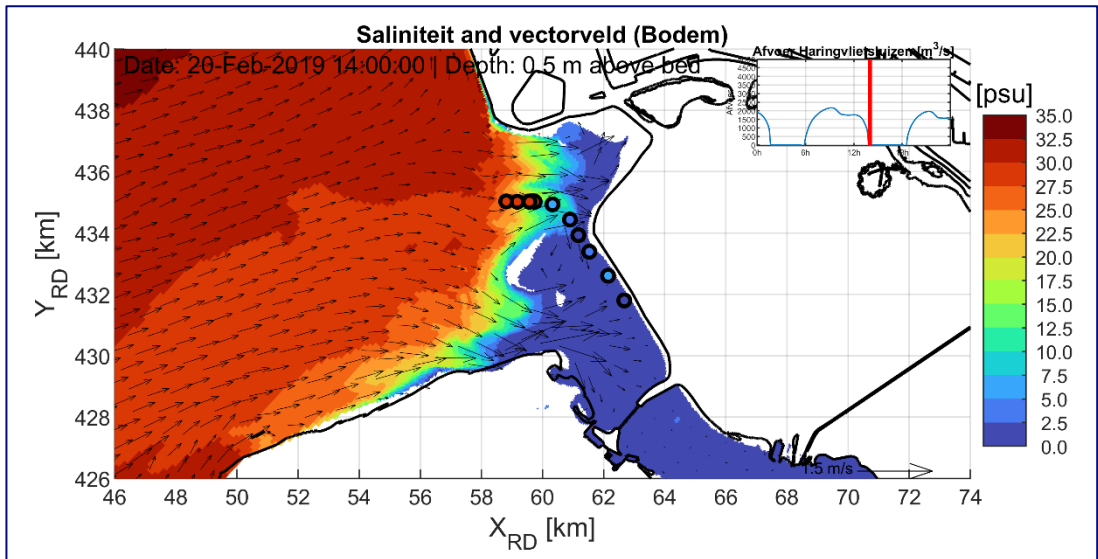
Figuur D-13: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Zeezijde Haringvlietsluizen, meting 20 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).



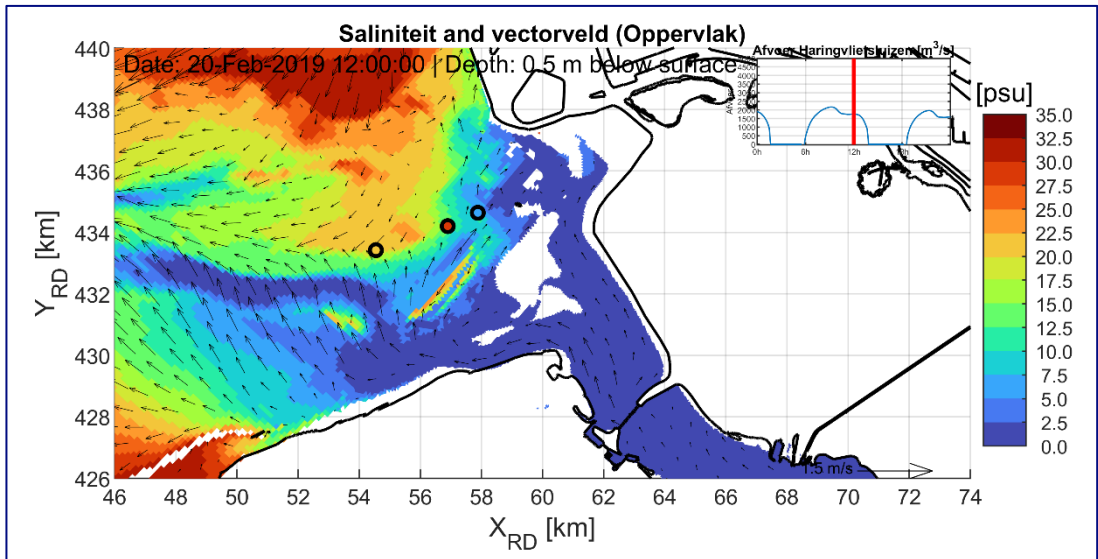
Figuur D-14: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Zeezijde Haringvlietsluizen, meting 20 februari 12:30 – 13:30 (berekeningsresultaat van 13:00 uur).



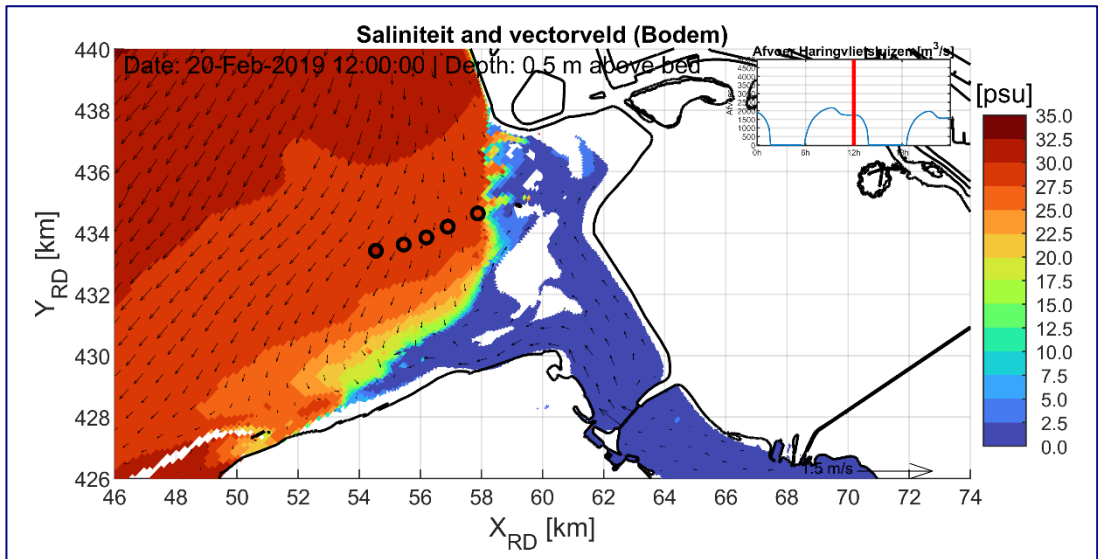
Figuur D-15: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Rak van Scheelhoek, meting 20 februari 13:30 – 14:30 (berekingsresultaat van 14:00 uur).



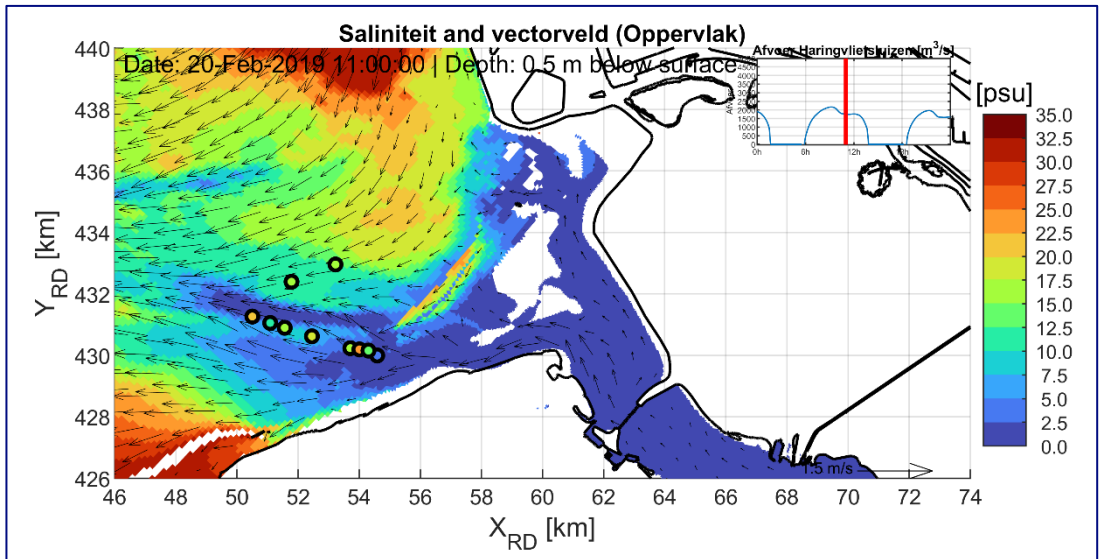
Figuur D-16: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Rak van Scheelhoek, meting 20 februari 13:30 – 14:30 (berekingsresultaat van 14:00 uur).



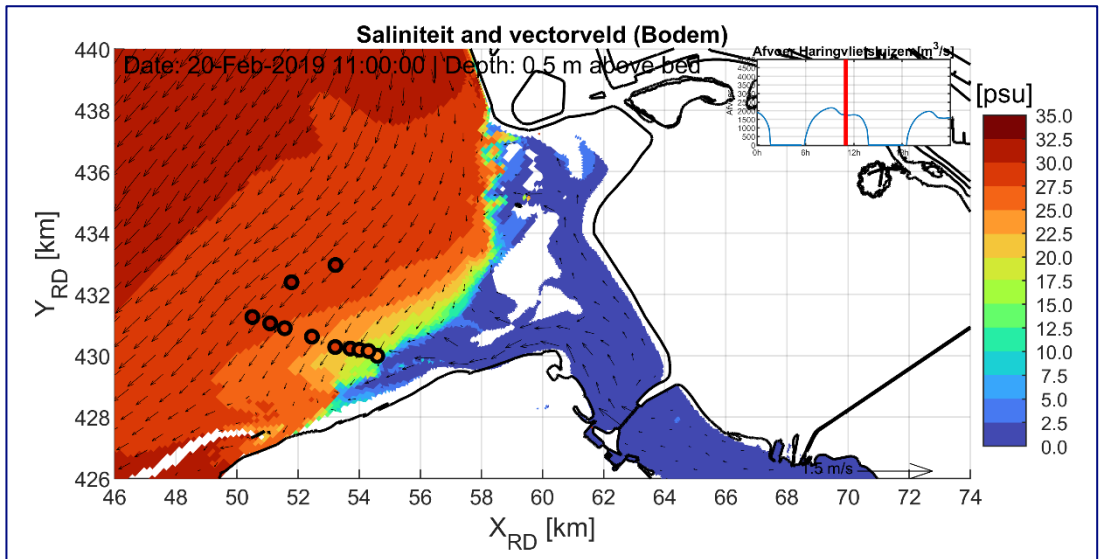
Figuur D-17: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Noordzee 1, meting 20 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).



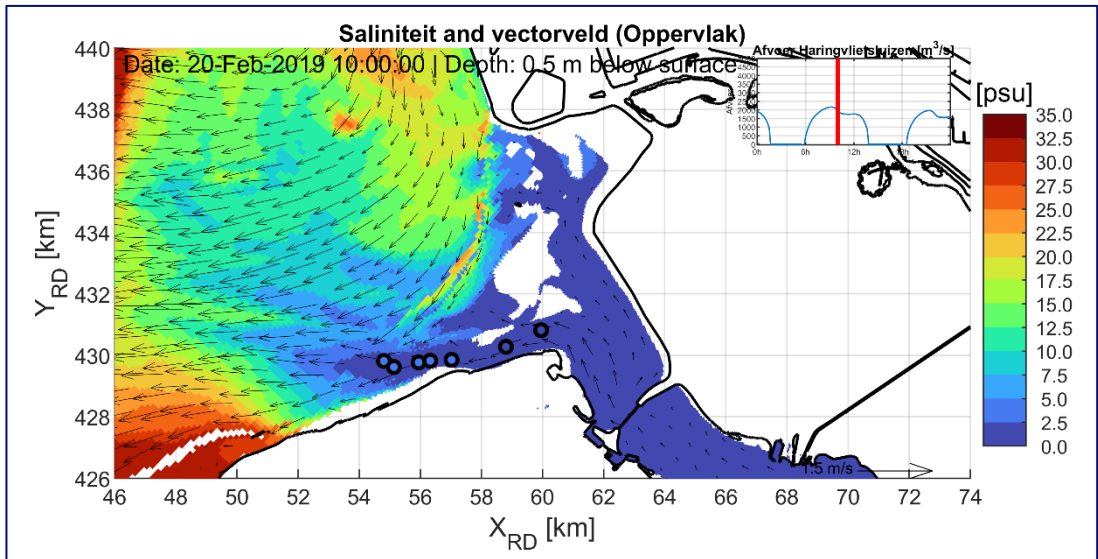
Figuur D-18: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Noordzee 1, meting 20 februari 11:30 – 12:30 (berekeningsresultaat van 12:00 uur).



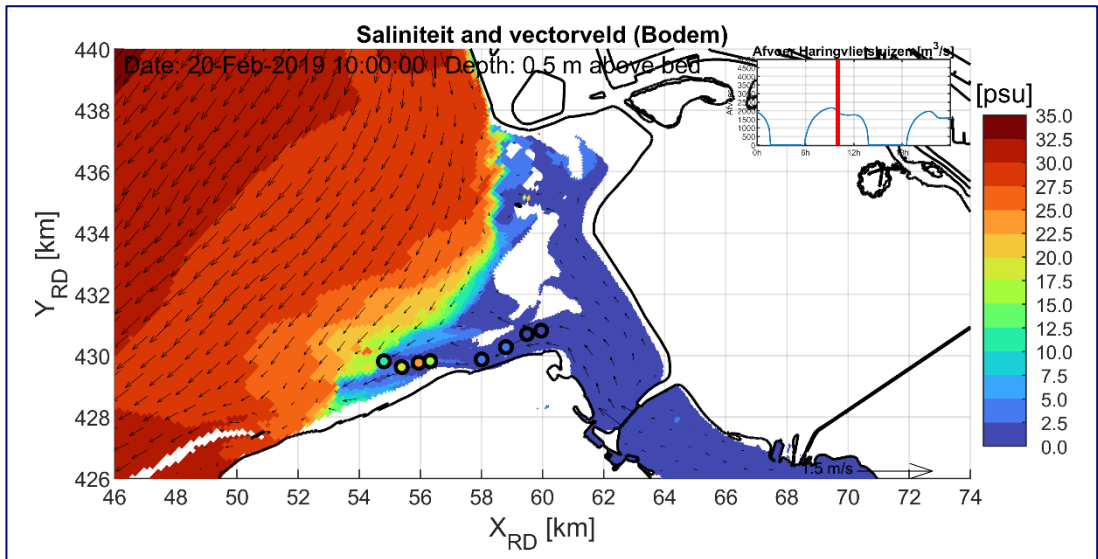
Figuur D-19: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Noordzee 2, meting 20 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).



Figuur D-20: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Noordzee 2, meting 20 februari 10:30 – 11:30 (berekeningsresultaat van 11:00 uur).

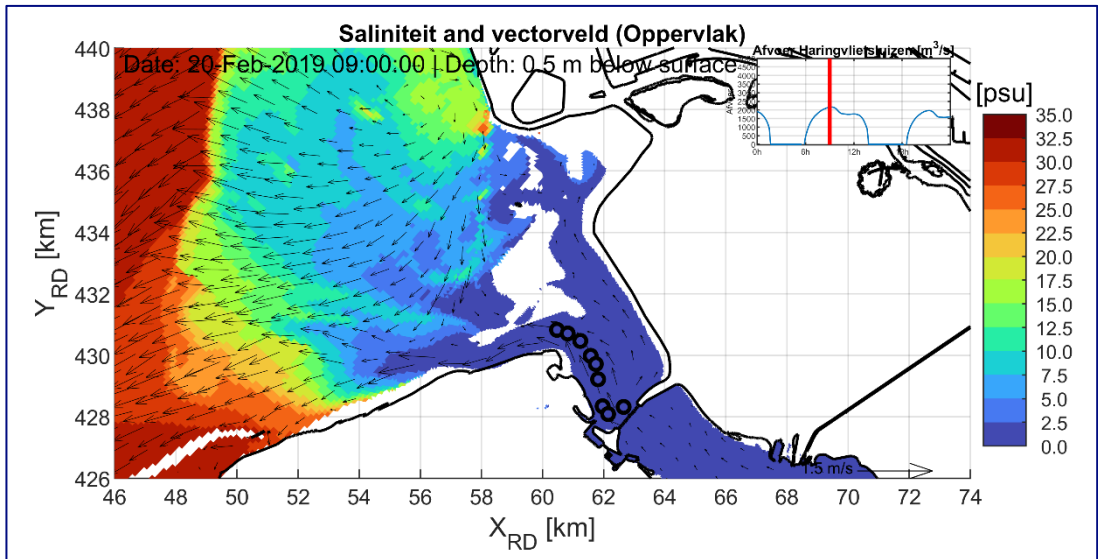


Figuur D-21: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Slijkgat 1, meting 20 februari 09:30 – 10:30 (berekeningsresultaat van 10:00 uur).

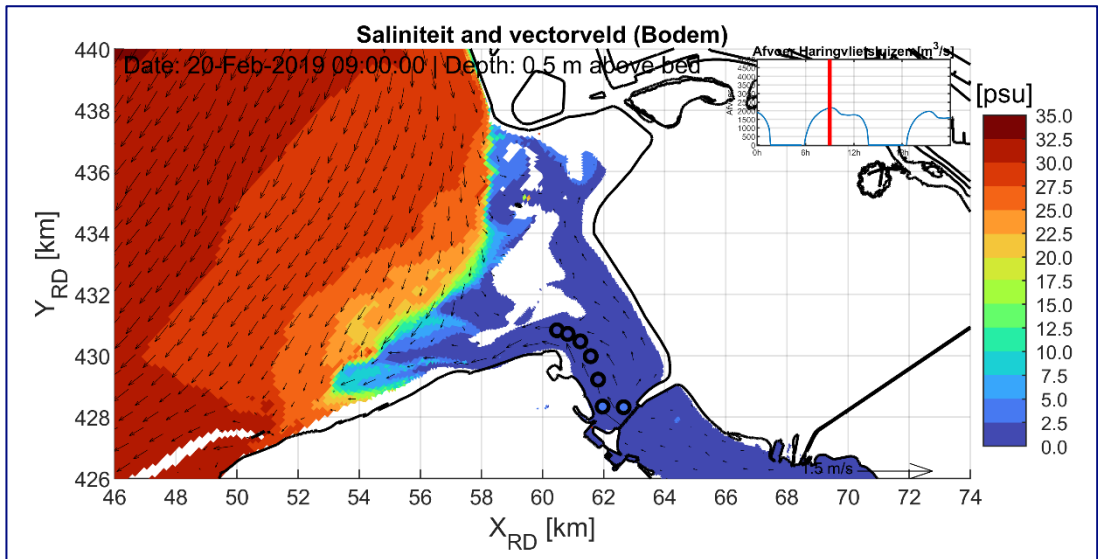


Figuur D-22: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Slijkgat 1, meting 20 februari 09:30 – 10:30 (berekeningsresultaat van 10:00 uur).





Figuur D-23: Gemeten en berekende saliniteit oppervlak, Slijkgat 2, meting 20 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).



Figuur D-24: Gemeten en berekende saliniteit bodem, Slijkgat 2, meting 20 februari 08:30 – 09:30 (berekeningsresultaat van 09:00 uur).

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)