

Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie 3D D-HYDRO Veerse Meer

Modelbouw en Toetsing



Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie 3D D-HYDRO Veerse Meer
Modelbouw en Toetsing

Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie 3D D-HYDRO Veerse Meer

Modelbouw en Toetsing

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water Verkeer en Leefomgeving & Rijkswaterstaat – Zee en Delta
Contactpersoon	Martin Scholten Yann Friocourt
Referenties	
Trefwoorden	D-HYDRO Suite, zesde generatie, Modelschematisaties, KPP, D-Flow Flexible Mesh, Veerse Meer, KPP2020/2021, hydrodynamica, saliniteit, temperatuur, stratificatie

Documentgegevens

Versie	1.2
Datum	14-7-2021
Projectnummer	11206814-000
Document ID	11206814-000-ZKS-0001
Pagina's	137
Status	definitief

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Theo van der Kaaij David Kerkhoven			
1.1	Theo van der Kaaij David Kerkhoven	Arno Nolte	Myra van der Meulen	
1.2	Theo van der Kaaij TK	Arno Nolte AN	Paul Saager b/a Myra van der Meulen. PC	

Samenvatting

Algemeen

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van het driedimensionale zesde-generatie D-HYDRO waterbewegingsmodel van het Veerse Meer voor Rijkswaterstaat (RWS) op basis van het nieuwe simulatiesoftwarepakket D-HYDRO Suite. De kern van de D-HYDRO Suite is de D-Flow Flexible Mesh module (D-Flow FM) waarmee ééndimensionale (1D), tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters.

Gebruik is gemaakt van de landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties voor alle nieuwe zesde-generatie modelschematisaties voor Rijkswaterstaat (RWS). Ook is rekening gehouden met het door RWS opgestelde Programma van Eisen (PvE) voor de 2D en 3D zesde-generatie watermodellen. Voor het aanmaken van de modelschematisatie is gebruik gemaakt van Baselineboom zwd_6-j19_6-w4.

Veerse Meer

RWS Zee en Delta is verantwoordelijk voor het beheer, dus inclusief het peilbeheer, van het Veerse Meer. De doelen van het peilbeheer zijn het verbeteren van het ecologisch functioneren, het verbeteren van natuur- en recreatiewaarden, het optimaliseren van waterbeheersing bij extreme situaties en het tegemoetkomen aan landbouwbelangen.

De ontwikkeling van het nieuwe driedimensionale zesde-generatie D-HYDRO-model van het Veerse Meer borduurt voort op het diepte-gemiddelde model zoals beschreven in (Tiessen, et al. 2019). Het model heeft conform de naamconventies van Rijkswaterstaat de aanduiding *dflowfm3d-veerse_meer-j19_6-w4* gekregen.

Dit 3D hydrodynamisch model dient als basis voor het, nog te ontwikkelen, waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer. Voor de toetsing van het hydrodynamisch model voor deze toepassing is gekeken naar indicatoren die de geschiktheid van het model als basis voor waterkwaliteitsberekeningen toetsen. Dit zijn de (horizontale) saliniteitgradiënt in het meer en de (verticale) stratificatie van saliniteit en temperatuur.

Voor de derde dimensie, de verticaal, is in eerste instantie de laagdikteverdeling zoals gebruikt in het vergelijkbare Grevelingenmodel geadopteerd (Groenenboom, Markus and Laan 2020). Dit betekent een dikte van de rekenlagen in het model gelijk aan 1,25 m.

Uit de toetsing van het model voor de jaren 2011 en 2012 met deze laagdikte volgde dat:

- De dieptegemiddelde horizontale saliniteitgradiënt in het meer in het algemeen goed wordt weergegeven. Dit impliceert dat horizontale transportpatronen in het meer correct worden gereproduceerd. Verder geeft dit aan dat een realistische saliniteitswaarde voor de lozingen op het meer is gekozen.
- De seizoensvariatie in temperatuur goed wordt weergegeven. Ruimtelijk geven zowel metingen als de berekening aan dat er geen horizontale gradiënten zijn in het meer.
- Zowel voor saliniteit als temperatuur geldt dat er momenten zijn dat het meer gestratificeerd is. Deze stratificatie wordt onderschat in de modelberekening.

Vervolgens is de gevoeligheid voor de dikte van de rekenlagen op de stratificatie nader onderzocht. Met een laagdikte van 0,5 m wordt meer stratificatie berekend dan in de oorspronkelijke toetsingsberekening: de berekende stratificatie van saliniteit is groter dan blijkt uit de metingen. Voor temperatuur geldt dat de berekende stratificatie kleiner is dan volgt uit de metingen.

Er wordt aanbevolen het 3D waterkwaliteitsmodel model van het Veerse Meer te baseren op rekenlagen met een dikte van 0,5 m en middels toetsing met het waterkwaliteitsmodel te bepalen of er nog nadere aanpassingen aan het hydrodynamica model nodig zijn.

Zoals in elk bijna gesloten watersysteem wordt de waterbeweging bijna volledig bepaald door de lozingen op en de onttrekkingen uit het watersysteem. Voor het 3D D-HYDRO model van het Veerse Meer en ook

voor het nog te ontwikkelen waterkwaliteitsmodel geldt dat data van meerdere instanties nodig is. Het controleren en het bewerken van deze gegevens is arbeidsintensief. Het verdient de aanbeveling de datatoelevering te stroomlijnen zodat alle noodzakelijke gegevens in dezelfde vorm worden toegeleverd. Dit maakt het simuleren van een andere periode dan 2011/2012 aanmerkelijk eenvoudiger.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doel van deze studie	9
1.3	Toepassingen van het model	10
1.4	Gebuchte programmatuur en hardware:	11
1.5	Organisatie en bijdragen	11
1.6	Leeswijzer	12
1.7	Terminologie	12
2	Systeembeschrijving	13
2.1	Gebiedsbeschrijving	13
2.2	Verbinding met andere gebieden	14
3	Beschikbare data	15
3.1	Geometrie in Baseline	15
3.2	Toegeleverde meetgegevens ten behoeve van modelbouw en toetsing	15
4	Modelopzet	16
4.1	Algemene modelgegevens	16
4.2	Rekenrooster	16
4.2.1	Horizontaal grid	16
4.2.2	Verticale grid	16
4.3	Projectie vanuit Baseline	17
4.3.1	Bathymetrie	18
4.3.2	Bodemruwheid	19
4.3.3	Dunne dammen, droge gebieden en overlaten	19
4.3.4	Observatiepunten	20
4.4	Randvoorwaarden	22
4.4.1	Open randen	22
4.4.2	Kunstwerken	22
4.4.2.1	Katse Heule	22
4.4.2.2	Scheepvaartsluizen	23
4.4.3	Overige Bronnen en Putten	24
4.4.3.1	Gemalen	24
4.4.3.2	Regenval	24
4.4.3.3	Verdamping	24
4.4.4	Meteorologische forcering	24
4.4.4.1	Wind	24
4.4.4.2	Temperatuur	25
5	Toetsing modelgedrag	26
5.1	Inleiding	26
5.1.1	Simulatieperioden	26
5.2	De Waterbalans van het Veerse Meer (2011 – 2012)	26
5.2.1	Kunstwerken (2011 – 2012)	26
5.2.1.1	Katse Heule	26
5.2.1.2	Sluis Veere	26

5.2.2	Overige Bronnen en Putten (2011 – 2012)	26
5.2.2.1	Poldergemalen	26
5.2.2.2	Regenval	27
5.2.2.3	Verdamping	27
5.2.3	Resterende sluitfout Waterbalans	27
5.2.4	Verbetering waterbalans	29
5.3	Initiële condities	30
5.4	Resultaten Toetsingsberekening	30
5.4.1	Waterstanden	30
5.4.2	Saliniteit en temperatuur vaste meetpunten	31
5.4.2.1	Saliniteit	31
5.4.2.2	Temperatuur	32
5.4.3	Saliniteit en temperatuur TSO metingen	33
5.4.3.1	Dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur	33
5.4.3.2	Profielen saliniteit en temperatuur	35
5.4.3.3	Kwantificering stratificatie	37
6	Gevoeligheid Laagdikte	39
6.1.1	Waterstanden	39
6.1.2	Saliniteit en temperatuur vaste meetpunten	39
6.1.3	Saliniteit en temperatuur TSO metingen	39
6.1.3.1	Dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur	39
6.1.3.2	Profielen saliniteit en temperatuur	42
6.1.3.3	Kwantificering stratificatie	44
6.2	Benodigde rekentijd	45
7	Conclusies en aanbevelingen	46
7.1	Conclusies	46
7.2	Aanbevelingen	46
8	Referenties/Literatuur	48
A	Input voor generieke specificaties D-HYDRO meren-modelschematisaties	49
A.1	Inleiding	49
A.2	Wijze van modelleren van neerslag en verdamping	49
A.3	Waterbalans en sluitfout	50
B	Memo: Debietmetingen Katse Heule 2005 en 2020; Bijdrage Piet Lievense Rijkswaterstaat Zee en Delta	51
B.1	Inleiding	51
B.2	Debietmeting 2005 tijdens spuien	51
B.3	Debietmeting 20 oktober 2020 tijdens spuien.	52
B.4	Debietmeting 11 november 2020 tijdens inlaten.	53
B.5	Conclusies en aanbevelingen	54
C	Resultaten Toetsberekening: Waterstanden	55
D	Resultaten Toetsingsberekening: Tijdreeksen Saliniteit en Temperatuur	57
E	Resultaten Toetsingsberekening: Diepte gemiddelde Saliniteit en Temperatuur TSO metingen	59
F	Resultaten Toetsingsberekening: Saliniteit en Temperatuur profielen TSO metingen	65

G	Resultaten Toetsingsberekening: Saliniteit en Temperatuur Variantie TSO metingen	91
H	Resultaten Gevoeligheidsberekening dZ = 0,5 m: Tijdreeksen Saliniteit en Temperatuur	97
I	Gevoeligheidsberekening dZ = 0,5 m: Diepte gemiddelde Saliniteit en Temperatuur TSO metingen	99
J	Gevoeligheidsberekening dZ = 0,5 m: Saliniteit en Temperatuur profielen TSO metingen	105
K	Gevoeligheidsberekening dZ = 0,5 m: Saliniteit en Temperatuur Variantie TSO metingen	131

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Rijkswaterstaat Zee en Delta (RWS-ZD) is verantwoordelijk voor het totale beheer, dus inclusief het peilbeheer, van het Veerse Meer. Het doel van het peilbeheer is het verbeteren van het ecologisch functioneren, het verbeteren van natuur- en recreatiewaarden, het optimaliseren van waterbeheersing bij extreme situaties en het tegemoetkomen aan landbouwbelangen (Projectgroep MER Peilbesluit Veerse Meer 2007). Om inzicht te verwerven in het functioneren van het watersysteem Veerse Meer wordt regelmatig gemonitord.

De eerder voor dit interessegebied opgezette modellen komen voort uit studies en analyses in aanloop naar het ontwerp en realisatie van het doorlaatmiddel Katse Heule (Kernkamp, Boot and Nolte 2002). In 2004 en 2006 is een onderzoek uitgevoerd met Delft3D modellen voor waterbeweging, waterkwaliteit en primaire productie om de waterkwaliteit en ecologie van het meer te verbeteren door aanpassing van het (winter)peilbeheer (Nolte, Arentz and Haasnoot 2006). Dit onderzoek is uitgevoerd met gebiedsmodellen die in de periode 2000-2003 zijn ontwikkeld. Deze gebiedsmodellen zijn intussen sterk verouderd en zijn niet in beheer en onderhoud opgenomen.

In het kader van het opzetten van de nieuwe zesde-generatie modellen voor Rijkswaterstaat is nu een 3D D-HYDRO-model van het Veerse Meer voor de waterbeweging inclusief saliniteit en temperatuur ontwikkeld. Dit ontwikkeltraject is een vervolg op het 2D ontwikkeltraject uit 2019 van *dflowfm2d-veerse_meer_j19_6-v1* (Tiessen, et al. 2019) ten behoeve van het simuleren van de windgedreven op- en afwaaiing op het Veerse Meer tijdens korte stormsituaties. Het nieuwe 3D model heeft conform de naamconventies van Rijkswaterstaat de aanduiding *dflowfm3d-veerse_meer-j19_6-w4* gekregen.

Dit rapport geeft een overzicht van de verschillende stappen die gezet zijn bij het tot stand komen van de bovenstaande 3D schematisatie: de modelopzet en de toetsing van het hydrodynamische model voor saliniteit en temperatuur. Deze modelontwikkeling is gestart als deelproject van het project *KPP Hydraulica Schematisaties Zout 2020* (uitgevoerd door Deltares onder projectnummer 11205259-014). Het vervolg van de modelontwikkeling heeft plaatsgevonden in *KPP Hydraulica Schematisaties Zout 2021* (uitgevoerd onder Deltares projectnummer 11206814-010).

1.2 Doel van deze studie

Het doel van deze studie is het ontwikkelen van een 3D D-HYDRO zesde-generatie model voor de waterbeweging inclusief saliniteit en temperatuur van het Veerse Meer. Dit model zal voornamelijk worden toegepast als hydrodynamische basis voor een waterkwaliteitsmodel van dit gebied. Om aan deze beoogde toepassingen te kunnen voldoen, is het model getoetst¹ op het correct berekenen van saliniteit en temperatuur.

Reproductie van saliniteit wordt gezien als indicator voor het juist weergeven van transporten en is daarmee een maat voor de geschiktheid van het model als basis voor waterkwaliteitsberekeningen. Omdat de watertemperatuur in het meer vooral bepaald wordt door de uitwisseling van warmte met de atmosfeer en in mindere mate door horizontale transporten, is de reproductie van temperatuur

¹ Terminologie Toetsing: Er wordt binnen deze studie gekozen voor een toetsing, in plaats van kalibratie en validatie, omdat er geen fysische modelparameters als ruwheid of windschuifspanningscoëfficiënt zijn aangepast om de berekende resultaten beter in overeenstemming met metingen te laten zijn: Getoetst is of het model met default settings geschikt is voor de beoogde toepassing als basis voor waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer.

een indicator voor de juistheid van het gebruikte uitwisselingsmodel voor temperatuur, de voor dit model noodzakelijke parameters en de verticale transporten/menging.

Specifiek voor het Veerse Meer geldt dat saliniteit ook een indicator is voor de correctheid van de bronnen en putten die water, en daarmee ook stoffen, lozen op en onttrekken aan het Veerse Meer. Er is overigens noch voor saliniteit noch voor temperatuur een objectieve maat voor geschiktheid (goodness of fit) opgesteld, ofwel geen getalsmatige of statistische beoordeling of het model “goed genoeg” is². Dit oordeel wordt voornamelijk als expert judgement gegeven en zal later mede op basis van het te koppelen waterkwaliteitsmodel aangevuld worden. Het waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer wordt in het kader van MA05 KPP2021 BOO Waterkwaliteitsschematisaties en WR08 KPP2021 BOA ZW Delta ontwikkeld.

1.3 Toepassingen van het model

De modellen van het Veerse Meer worden gebruikt in verschillende toepassingen die gerelateerd zijn aan de functies van het watersysteem (zie Figuur 1.1) en dienen geschikt te zijn om vragen die hierop betrekking hebben te helpen beantwoorden. Elke toepassing stelt zijn eigen eisen aan de te gebruiken modellen. Deze eisen, wensen en verwachtingen zijn geïnterviewd in (Spruyt, et al. 2016) volgens een indeling langs de lijn van de RWS-missie:

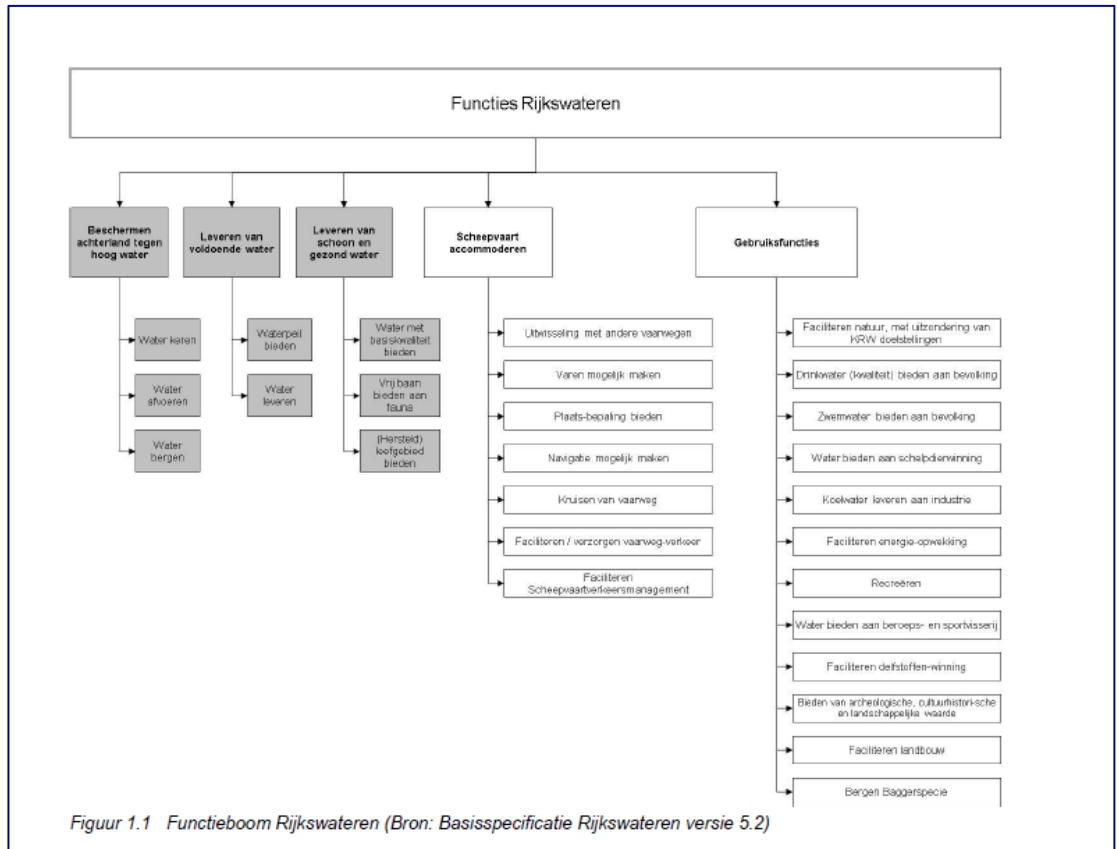
- Veilig;
- Schoon;
- Voldoende;
- Vlot.

Op deze manier staan de toepassingen voor RWS centraal en worden de modellen hiervoor gebouwd, in plaats van dat er eerst een model wordt gemaakt en dat iedere toepassing hiervan gebruik moet maken (of het geschikt is of niet).

Toepassing van hydraulische modellen van het Veerse Meer vindt in alle RWS-processen plaats, bijvoorbeeld:

- Aanleg en onderhoud
 - Verkenningen en planstudies
 - Aanleg doorlaatmiddelen
- Informatievoorziening
 - toeleverend: gegevensinwinning (bodem, water, etc.)
 - aanleverend: vervaardigen betrekkinglijnen
 - peilbeheer
- Kennis en netwerkkwaliteit
 - bouw, ontwikkeling, actualisatie, software
 - netwerkmonitoring (Bekkenrapportage)
 - onderzoek

² Statistische kentellen kunnen wel gebruikt worden om berekeningen onderling te vergelijken.



1.4 Gebruikte programmatuur en hardware:

Tijdens de modelontwikkeling is gebruik gemaakt van Baseline versie 6.1.1 en D-HYDRO Suite 2020.05. De simulaties zijn uitgevoerd op het h6 (CentOS 7) Linux-cluster van Deltares.

1.5 Organisatie en bijdragen

Tabel 1-1 en Tabel 1-2 geven een overzicht van de bij dit project betrokken personen, zowel bij Rijkswaterstaat als bij Deltares. Piet Lievense van Rijkswaterstaat Zee en Delta heeft, naast de aanlevering van data en gegevens, ook een sterke inhoudelijke bijdrage geleverd bij de totstandkoming van deze rapportage.

Tabel 1-1 Overzicht projectteam bij Rijkswaterstaat

Naam	Functie
Martin Scholten	Projectleider KPP Hydraulica Schematisaties bij de afdeling Modellen en Applicaties bij RWS-WVL
Piet Lievense	Adviseur bij RWS-ZD
Alexander Nefs	Adviseur Hoofdwatersystemen bij RWS-ZD

Tabel 1-2 Overzicht betrokken teamleden bij Deltares

Naam	functie
Theo van der Kaaij	Deelprojectleider Hydraulica Schematisaties Veerse Meer
Remco Plieger	Projectmedewerker hydrodynamica
David Kerkhoven	Projectleider KPP Hydraulica schematisaties zout
Arno Nolte	Review & QA; Projectleider KPP Waterkwaliteitsmodelschematisaties

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de systeembeschrijving van het Veerse Meer gegeven. Een overzicht van de beschikbare en toegeleverde data wordt gegeven in hoofdstuk 3. De modelopzet van het hydrodynamische D-HYDRO-model van het Veerse Meer in relatie tot rekenrooster, projectie vanuit Baseline en de gehanteerde randvoorwaarden wordt in hoofdstuk 4 beschreven.

Hoofdstuk 5 omschrijft de toetsing van het modelgedrag op basis van saliniteit en temperatuur en de afhankelijkheid van deze resultaten van de waterbalans. Hoofdstuk 6 presenteert de resultaten van de gevoeligheidsanalyse met een aangepaste laagdikte en beoogt meer inzicht te geven in de toepasbaarheid van het model in combinatie met rekestijden. Tot slot worden in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen naar aanleiding van deze modeltoetsing en gevoeligheidsanalyse gegeven.

1.7 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedsschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedsschematisatie Een rekenkundig model van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem gebouwd met specifieke modelsoftware, voor een specifiek systeem en een specifieke periode	waqua-rijn-j15_5-v1 (software: WAQUA, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelsoftware</i>	Een software pakket waarmee modelschematisaties kunnen worden doorgerekend aan de hand van een numerieke implementatie van fysische processen	D-Flow FM, WAQUA
<i>modelsoftwaresuite</i>	Een samenhangend geheel van modelsoftware systemen	D-HYDRO, SIMONA

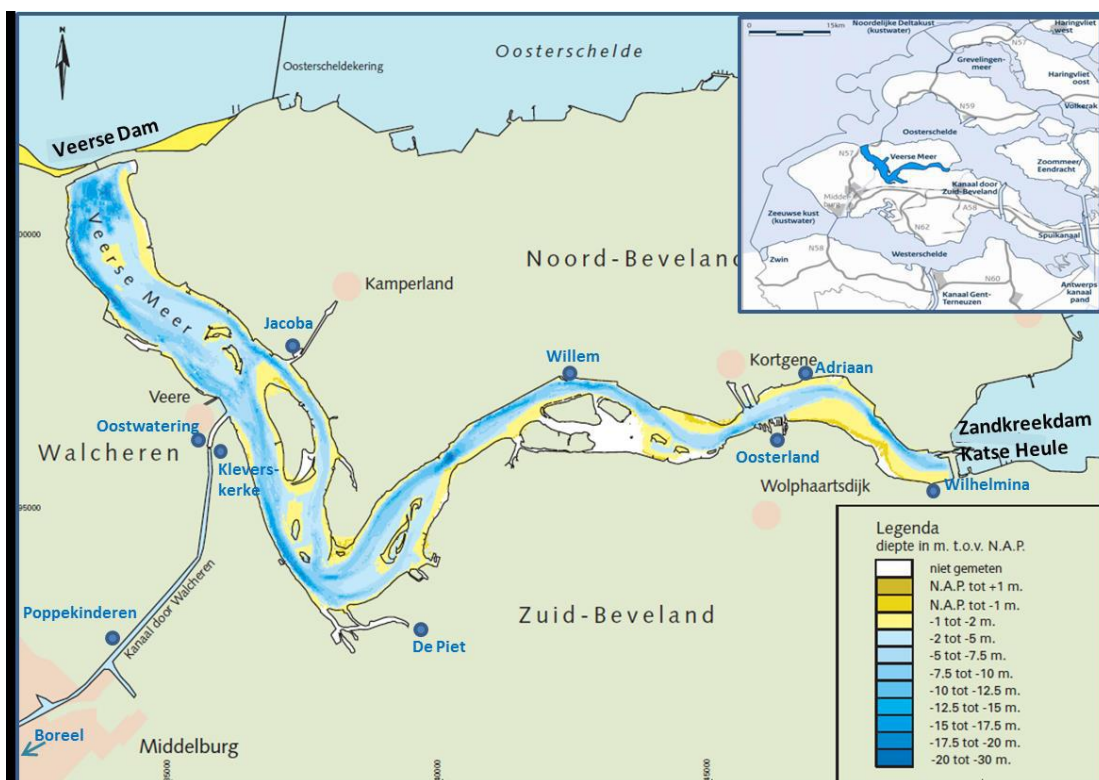
Wanneer alleen het woord 'model' wordt gebruikt, wordt hier specifiek een 'modelschematisatie' mee bedoeld.

2 Systeembeschrijving

2.1 Gebiedsbeschrijving

De hieronder beschreven systeembeschrijving is grotendeels afkomstig uit het bekkenrapport van Veerse Meer (Prins and Vergouwen 2015).

Het Veerse Meer is een voormalig zeearm van de Noordzee in de Zuidwestelijke Delta (het Veerse Gat) dat in 1961 is ontstaan door afsluiting met de Zandkreekdam (1960) en de Veerse Gatdam (1961). Als gevolg van de afsluiting van het Veerse Gat ontstond een afgesloten waterlichaam zonder getij, met brak water, met grote zout fluctuaties en een slechte waterkwaliteit. In 2004 is daarom in de Zandkreekdam een doorlaatmiddel gekomen (Katse Heule) welke uitwisseling van water met de Oosterschelde bevorderde (wateruitwisseling van gemiddeld 40 m³/s). Door de grotere uitwisseling met de Oosterschelde is aansluitend het zoutgehalte in het Veerse Meer verder toegenomen, terwijl in de periode 2008-2011 geleidelijk het (winter)peil in het Veerse Meer met 30 centimeter is verhoogd (winterpeil van -0,60 m NAP naar -0,30 m NAP).³



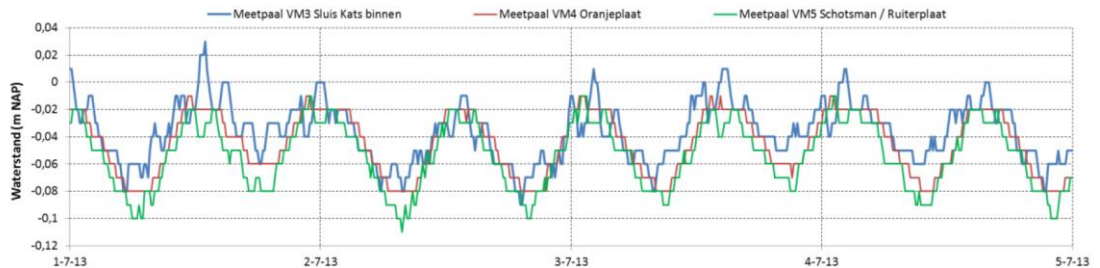
Figuur 2-1 Gebiedsoverzicht Veerse Meer met gemalen, doorlaatmiddel Katse Heule en Kanaal door Walcheren

Er lozen verschillende poldergemalen en uitwateringssluizen water direct op het Veerse Meer: Oostwating, Kleverskerke, Jacoba, De Piet, Willem, Adriaan, Muidenweg, Oosterland en de Wilhelmina. Door schutverliezen in de sluisen bij Veere wordt jaarlijks ongeveer 25 miljoen m³ water

³ Peilbeheer Veerse Meer: RWS-ZD is verantwoordelijk voor het peilbeheer van het Veerse Meer, Het doel van het peilbeheer is het verbeteren van het ecologisch functioneren, het verbeteren van natuur- en recreatiewaarden, het optimaliseren van waterbeheersing bij extreme situaties en het tegemoetkomen aan landbouwbelangen. Het peil op het Veerse Meer kan in de winterperiode fluctueren tussen N.A.P. - 0,20 m en N.A.P. - 0,40 m en in de zomerperiode tussen in de zomerperiode fluctueren tussen N.A.P. 0 m en N.A.P. - 0,10 m (zie ook peilbesluit Veerse Meer uit 2007).

vanuit het Kanaal door Walcheren afgevoerd naar het Veerse Meer, dit is ongeveer 40% van het water dat wordt afgevoerd uit het kanaal.

Het Veerse Meer zelf heeft een oppervlak van circa 22 km² bij NAP -0,3 m (winterpeil) en ongeveer 23,5 km² bij NAP -0,05 m (zomerpeil). Daarnaast omvat het watersysteem ook nog ongeveer 19 km² aan platen en buitendijkse gronden. Het meer is qua bodemligging nog relatief onveranderd gebleven na de afsluiting in 1961, met een hoofdgeul en aan de westzijde, een nevengeul en daar tussen verschillende platen, zie Figuur 2-1. Als gevolg van het in- en uitlaten van water via de Katse Heule is er ook weer sprake van een (zeer) beperkt getij op het Veerse Meer (Figuur 2-2), van minder dan 10 cm.



Figuur 2-2 Waterstandsverloop op het Veerse Meer gedurende een aantal dagen in juli 2013 (zomerpeil)

2.2 Verbinding met andere gebieden

De belangrijkste verbindingen van het Veerse Meer met andere gebieden zitten in het oosten en halverwege, bij respectievelijk doorlaatmiddel de Katse Heule en Zandkreeksluis (verbinding met de Oosterschelde) en sluisencomplex bij Veere (verbinding met het kanaal door Walcheren).

3 Beschikbare data

Bij de modelopzet en toetsing van het D-HYDRO Veerse Meer is gebruik gemaakt van gegevens van verschillende bronnen van verschillende instanties. Hieronder worden de toegeleverde gegevens en bronnen nader beschreven.

3.1 Geometrie in Baseline

Door middel van een zogenoemde Baselineprojectie zijn geometrische gegevens uit Baselineboom zwd_6-j19_6-w4 geprojecteerd op het rekenrooster. De resulterende modelbestanden zijn gebruikt als invoer voor het D-HYDRO-model, zie hoofdstuk 4.

3.2 Toegeleverde meetgegevens ten behoeve van modelbouw en toetsing

Vanuit RWS-ZD zijn in 2020 voor dit project de volgende datasets aangeleverd:

1. TSO-metingen (Temperatuur Saliniteit en O_2 (zuurstof)) voor de periode 2010 tot 2013. Vanaf april 2012 wordt er nog maar op één locatie in het Veerse Meer gemeten (In 2020 is de monitoring van het gehele Veerse Meer weer opgestart).
2. Waterbalans Veerse Meer 2019 – Excelbestand van RWS-ZD met meerdere tabbladen – versie 25 september 2020:
3. De debieten door het doorlaatmiddel Katse Heule voor 2011 en 2012:
4. Openwater verdampingsgegevens Veerse Meer voor 2011 en 2012.
5. Schutgegevens sluis Veere 2019 op maandbasis voor 2019.
6. Kolkgebruik sluizen Veere en Vlissingen van 1990 tot 2019 (totaal aantal schuttingen per jaar).
7. Schutgegevens Zandkreeksluis op maandbasis voor 2019.
8. Waterkwaliteitsgegevens Kanaal door Walcheren, meetpunt Stationsbrug Middelburg - MPN7966 van 2012 en 2018 (bron: Waterschap Scheldestromen).
9. Gemeten saliniteit en temperatuur te OS4 en Marollegat (Oosterschelde)

Vanuit RWS-ZD waren in 2019 reeds de volgende meetgegevens aangeleverd:

1. Polderlozingen (10-minuut) van 2009-2016 voor de gemalen Aalvanger, Adriaan, de Piet, Jacoba, Kleverskerke, Muidenweg, Oosterland, Oostwating, Oranjeplaat, Wilhelmina en Willem
2. Stuw sluis Jacoba (bron: Waterschap Scheldestromen).
3. Windsnelheid en -richting locatie Kats Zandkreeksluis van 2011 en 2012
4. Waterstanden, saliniteit en temperatuur (onder en boven) locaties VM4 (Oranjeplaat) en VM5 (De Schotsman) voor 2011 en 2012 (bron: Meetnet ZEGER).

In 2021 is door het Waterschap Scheldestromen de gemeten watertemperatuur en saliniteit bij de Stationsbrug te Middelburg (MPN 7966, Kanaal door Walcheren) voor 2011 nageleverd.

Vanaf de KNMI-website (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>) zijn de volgende datareeksen opgehaald:

1. Neerslaggegevens voor station Wolphaartsdijk, 1951-2016
2. Vochtigheid, luchttemperatuur en bewolgingsgraad voor station Vlissingen.

4 Modelopzet

4.1 Algemene modelgegevens

Het referentieniveau van het model, het coördinaten systeem waarin het model is opgezet en de gebruikte tijdzone worden gegeven in Tabel 4-1.

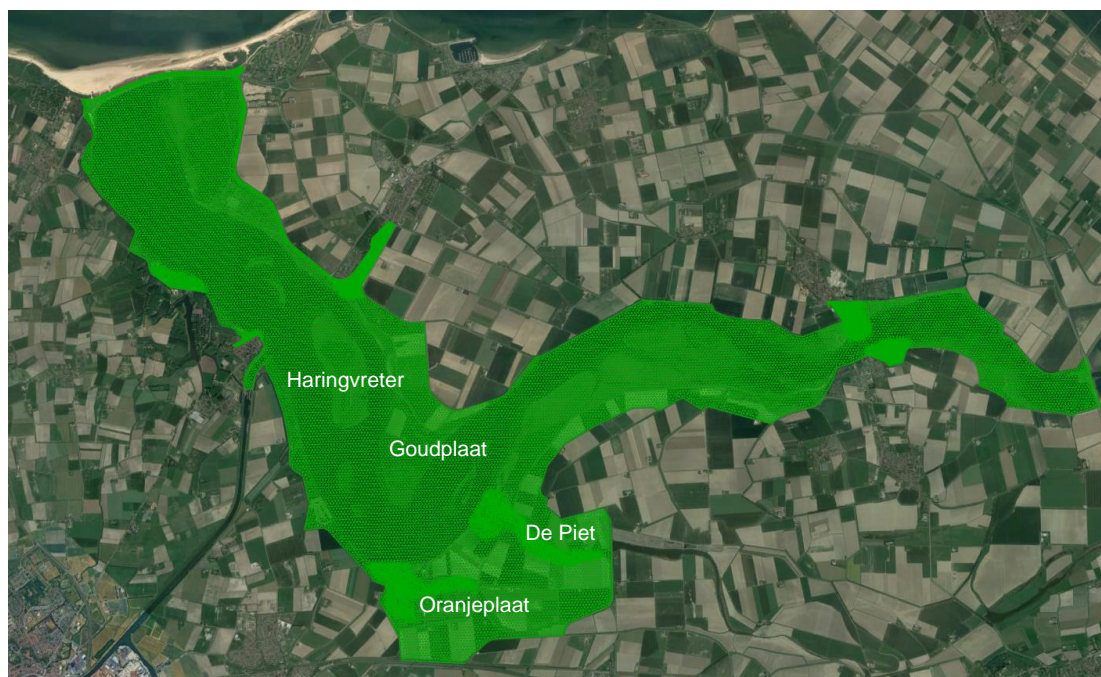
Tabel 4-1 Algemene modelgegevens

Omschrijving	Waarde
Verticaal referentieniveau	Normaal Amsterdams Peil (NAP)
Tijdzone	GMT +1 uur
Coördinatensysteem	Cartesisch Rijksdriehoekscoördinaten (EPSG: 28992)

4.2 Rekenrooster

4.2.1 Horizontaal grid

Het modeldomein (zie Figuur 4-1) omvat het Veerse Meer en wordt omsloten door de omliggende dijken, waarvan de geometrie afkomstig is uit Baseline (DTB). Het rooster is uitgelijnd op de Zandkreekdam en op de Veerse Dam. Het binnengebied is gevuld met volledig regelmatige driehoekige rekencellen van 50 meter resolutie, nabij een aantal havens worden deze driehoekige cellen verfijnd naar 20 meter resolutie. Ook de droogliggende buitendijkse gebieden, onder andere nabij eiland de Haringvreter, Goudplaat, de Piet en Oranjeplaat, zijn in het rekenrooster opgenomen. Dit rekenrooster is opgezet om als deelgebied van het D-HYDRO-model van de Oosterschelde (Tiessen, et al. 2019) te kunnen fungeren.



Figuur 4-1 Modeldomein en het rekenrooster van het D-HYDRO Veerse Meer model

4.2.2 Verticale grid

In verticale richting wordt het rekenrooster beschreven door z-lagen. Deze vaste lagen hebben roosterlijnen die strikt horizontaal zijn. Doordat in het Veerse Meer stratificatie kan bestaan door

dichtheidsverschillen ten gevolge van saliniteit- en temperatuurgradiënten, en er relatief weinig verticale menging is door afwezigheid van getij, is ervoor gekozen om z-lagen te gebruiken aangezien deze (min of meer) parallel lopen met de pycnoclines in het model (lijnen van gelijke dichtheid). Ten opzichte van de tot nu toe meer gangbare σ -lagen zorgt dit voor minder artificiële menging bij stratificatie in combinatie met grote verschillen in de bodemligging. In het D-HYDRO-model is een constante laagdikte van 1,25 m toegepast. Deze laagdikte is identiek aan de laagdikte zoals gebruikt in het zesde generatie D-HYDRO model van het Grevelingenmeer (Groenenboom, Markus and Laan 2020).

De bodemlaag komt, op basis van de maximale bodemligging, op NAP -21,96 m te liggen. De onderkant van de bovenste rekenlaag ligt op NAP -1,0 m. Deze waarde is zo gekozen dat bij met een zomerpeil van circa NAP -0,05 m, de toplaag ook een dikte heeft van zo'n 1,25 m. De bovenkant van de toplaag bevindt zich op de hoogte van de lokale waterstand waardoor de laagdikte varieert en kan meebewegen met zomerpeil. Tabel 4-2 toont de verdeling van de z-lagen over de verticaal. In elke rekencel wijkt de onderste actieve laagdikte af van onderstaande z-laagverdeling (dit zou anders een overschatting van het volume als gevolg hebben) en wordt de modelbodemligging gebruikt voor de bepaling van de onderste laagdikte.

Tabel 4-2 Verdeling verticale lagen

Laagnummer	Bovenkant laag [m NAP]	Onderkant laag [m NAP]	Laagdikte
19	<waterstand>	-1,0	Afhankelijk van de hoogte waterstand
18	-1,00	-2,25	1,25
17	-2,25	-3,50	1,25

* Door de veranderde waterstand varieert de laagdikte in de bovenste laag.

4.3 Projectie vanuit Baseline

Voor de opzet van het model wordt gebruik gemaakt van de geometrische gebiedsbeschrijving zoals opgenomen in Baseline (Baselineboom zwd_6-j19_6-w4). Vanuit Baseline worden de bestanden aangemaakt zoals weergegeven in Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Overzicht van de verschillende soorten bestanden uit een Baselineproject (inclusief ter vergelijking de WAQUA- en Baseline 5-bestandsnamen)

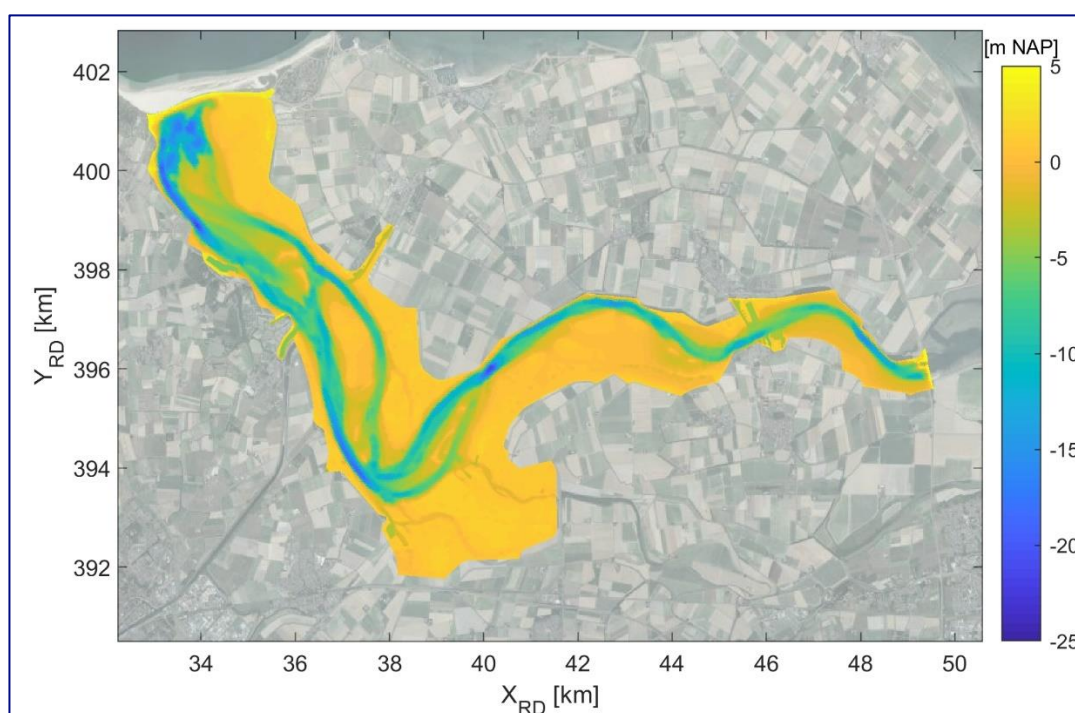
Naamgeving D-Flow FM	Extensie	Naamgeving WAQUA	Naamgeving Baseline 5	Beschrijving
netwerk	_net.nc	grid & bathymetry	rooster & bodem	De bodemhoogte wordt toegevoegd aan het rooster op de hoekpunten
landboundaries	.ldb		secties	<i>Enkel voor visualisatie</i>
fixed weirs	.pliz	weirs	overlaten	Subgrid afhandeling voor lokale bodemveranderingen, door een drempelwaarde op de snelheidspunten
trachytopes	.arl	roughcombination	ruwheid	Voor iedere snelheidslink is aangegeven uit welke trachytopen de ruwheid bestaat en in welke verhouding.
dry_areas	.pol	drypoints	schotjes	Definieert dat een roostercel niet actief is
thin dams	.pli	drypoints	schotjes	Definieert dat een snelheidspunt niet actief is
laterals	.pli	discharges	lateraal	Een lokale in- of uitstroming op een roostercel die niet aan de rand van het rooster zit.
weirs_gates	.pli	barriers	kunstwerken	In tijd-variabele kunstwerken, afgehandeld als overlaat

observation points	.xyn	checkpoints	uitvoerlocaties	Locaties (waterstandspunten) waarop de waterstand met een hogere frequentie wordt weggeschreven
---------------------------	------	-------------	-----------------	---

4.3.1 Bathymetrie

De bodemligging van het model wordt getoond in Figuur 4-2. De onderliggende gegevens bestaan uit een combinatie van lodingen uit de periode 2014 – 2018 en dieptegegevens voor aanloopgebieden en havens uit de Wateralmanak. Voor details wordt verwezen naar van (Doornik 2019). Omdat de verwachting is dat deze recente versie betrouwbaardere bodemgegevens bevat dan Baselinebomen van eerdere jaren en er geen grote morfologische verandering in het interessegebied geweest zijn, wordt dezelfde via Baseline verkregen bathymetrie gebruikt voor de sommen van 2011 en 2012.

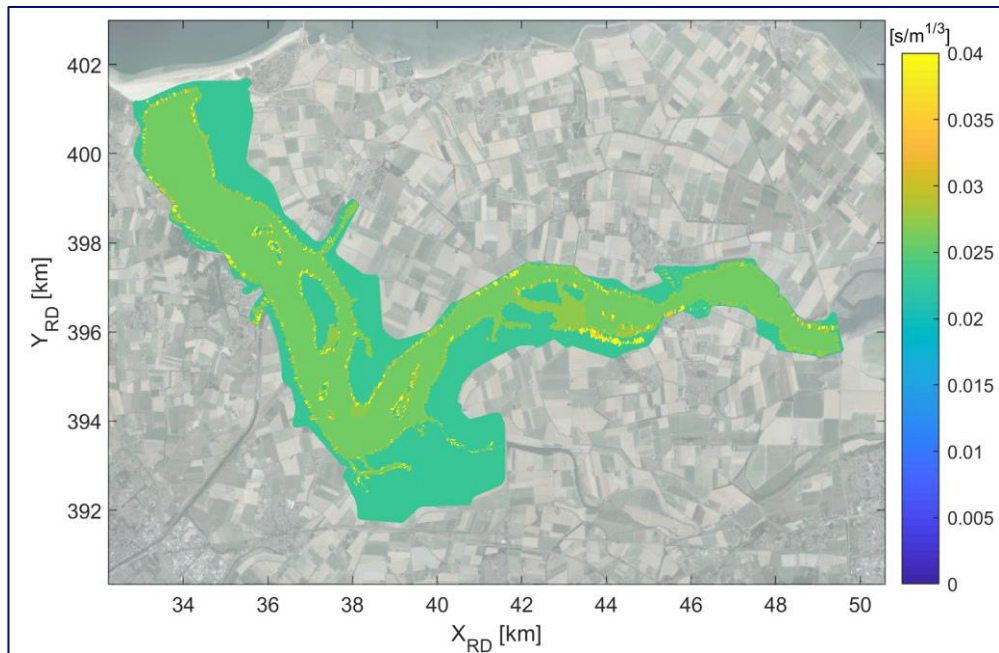
Omdat het Veerse Meer een voormalige zeearm van de Noordzee is, bestaat het systeem uit platen en geulen. De gemiddelde diepte in de geulen is zo'n 8 tot 12 m, het diepste punt in modelbodem bevindt zich op NAP -21,96 m (dit rekenpunt bevindt zich in de onderste laag). De modelbathymetrie is beschreven op de zogenoemde netnodes/bodempunten.



Figuur 4-2 Modelbathymetrie Veerse Meer (in m NAP)

4.3.2 Bodemruwheid

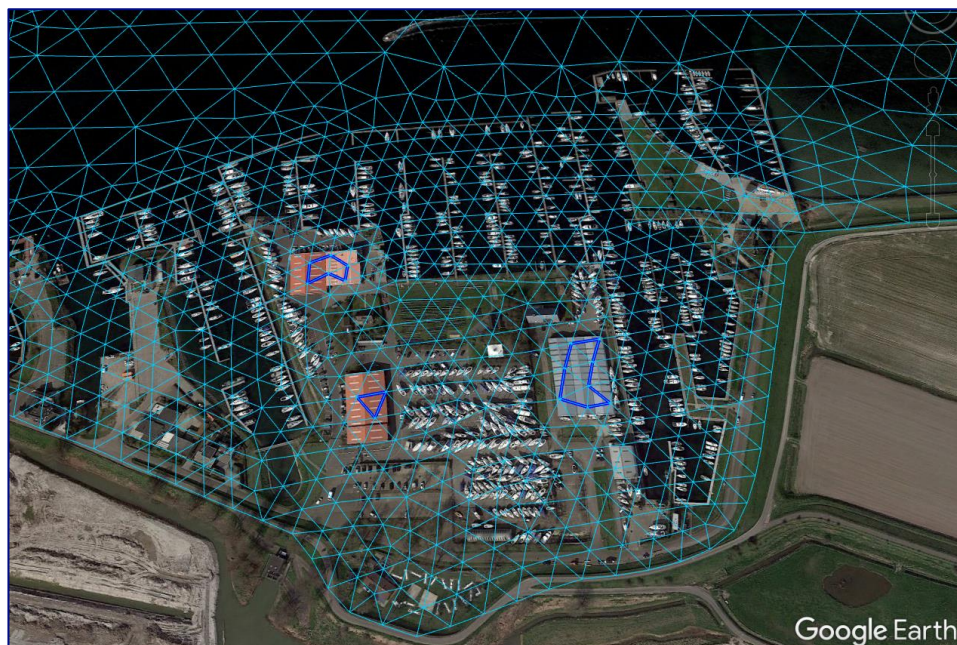
Figuur 4-3 toont de Manning-coëfficiënt die in het model gebruikt wordt om de bodemruwheid weer te geven. Voor het zomerbed wordt een waarde gelijk aan $0,027 \text{ s/m}^{1/3}$ gebruikt. Deze waarde volgt uit de kalibratie van het model op windopzet (Tiessen, et al. 2019).



Figuur 4-3 Bodemruwheid (Manning-coëfficiënt)

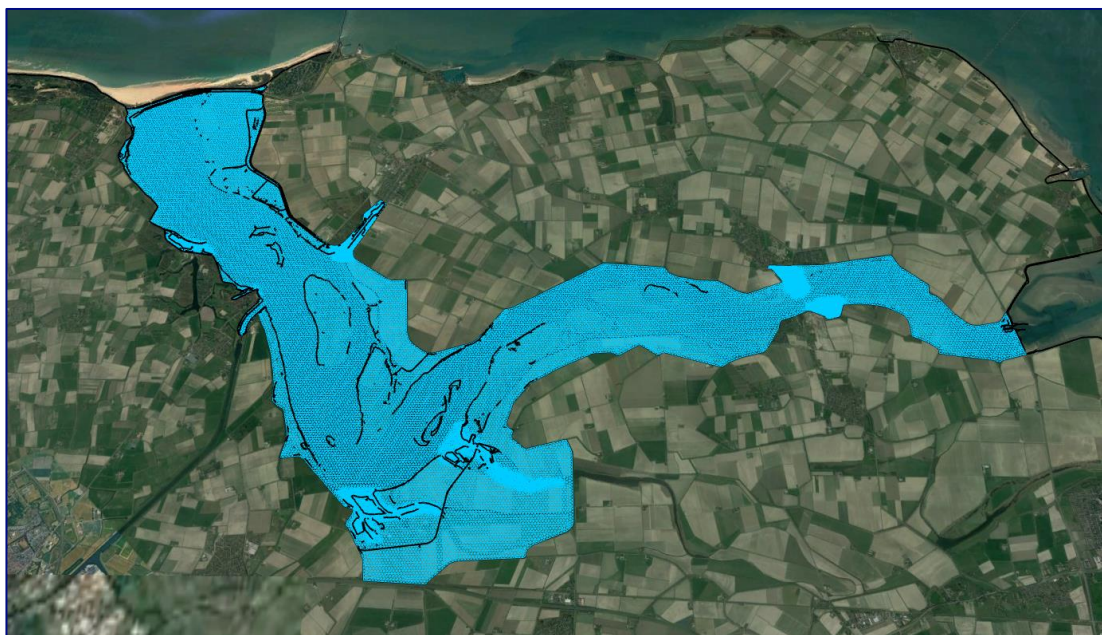
4.3.3 Dunne dammen, droge gebieden en overlaten

Uit de Baseline-projectie komt een beperkt aantal dunne dammen en droge gebieden (polygonen). Onder andere bij de haven van Wolphaartsdijk en bij Kamperland zijn enkele droge gebieden ten gevolge van hoge gebouwen.



Figuur 4-4 Dunne dammen en droge gebieden (donkerblauw). Ter illustratie is ingezoomd op de jachthaven bij Wolphaartsdijk. Netwerk is lichtblauw

De door Baseline geproduceerde overlaten zijn weergegeven in Figuur 4-5. Elke overlaat bestaat uit een lijnsegment met naast x,y-coördinaten ook een z-coördinaat. Alleen bij een waterstand boven de kruinhoogte kan stroming over deze lijnsegmenten plaatsvinden.



Figuur 4-5 Netwerk (lichtblauw) en overlaten (zwarte lijnen)

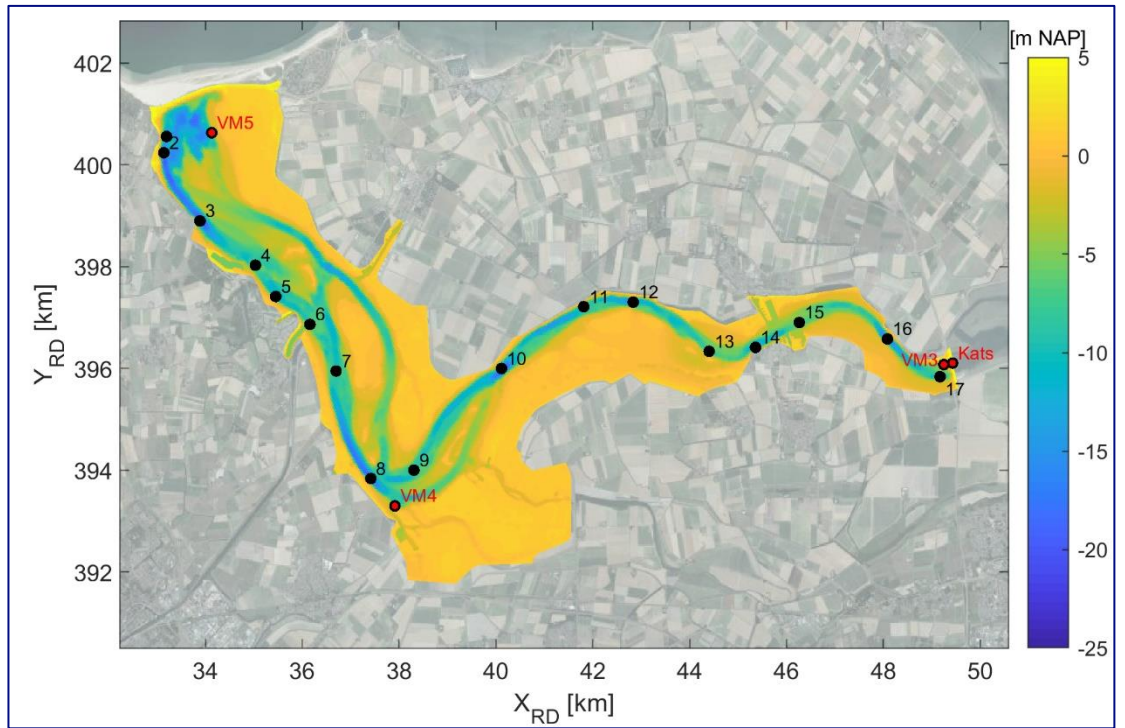
4.3.4 Observatiepunten

In het modeldomein bevinden zich meerdere waterstandsmmeetpunten. De locaties van deze stations zijn weergegeven in Figuur 4-6.

Tabel 4-4 Observatiepunten voor waterstanden, temperatuur en saliniteit.

Station	Afkorting in Figuur 4-6	[X]-coördinaat (RD, m)	Y-coördinaat (RD, m)
VM3 (Zandkreeksluis)	VM3	49248	396075
VM4 (Oranjeplaat)	VM4	37914	393297
VM5 (De Schotsman)	VM5	34132	400630

Om een data-model-vergelijking te kunnen maken, is gebruik gemaakt van TSO-metingen. Op basis van de coördinaten van de uitgevoerde metingen zijn de locaties van de verschillende observatiepunten (TSO-1 tot en met TSO-17, zie Figuur 4-6) bepaald en in het model als stationslocatie opgenomen.



Figuur 4-6 Overzicht observatiepunten van de waterstandsmeetpunten (VM3, VM4, VM5, rode punten) en TSO-stations (1 t/m 17) (zwarte punten)

4.4 Randvoorwaarden

4.4.1 Open randen

Het Veerse Meer model heeft geen open randen.

4.4.2 Kunstwerken

4.4.2.1 Katse Heule

Het Veerse Meer wisselt middels het doorlaatmiddel Katse Heule in de Zandkreeksdam water uit met de Oosterschelde. Het uitwisselingsdebiet is opgelegd via een “*sorsin*” (debietpunt). De debieten zijn gebaseerd op de debieten zoals toegeleverd door RWS-ZD. De debieten worden over de gehele verticaal opgelegd. Het debietpunt is in het D-HYDRO model iets verplaatst vanwege geringe diepte in de “*cel*” Katse Heule na projectie vanuit Baseline (De geleide dammen van het doorlaatmiddel zitten wel in het model, maar hebben vanwege de verplaatsing van het debietpunt geen richtend effect op het momentum).

De watertemperatuur en de saliniteit van het water, behorend bij de uitwisselingsdebieten, zijn gebaseerd op de metingen te OS4, eveneens toegeleverd door RWS-ZD⁴.

Voor toekomstig gebruik, waarbij Veerse Meer en Oosterschelde simultaan worden doorgerekend, moet de “*sorsin*” in de D-HYDRO schematisatie vervangen worden door een “*general structure*” en wordt het uitwisselingsdebiet uitgerekend op basis van waterstandverschillen tussen het Veerse Meer en de Oosterschelde in combinatie met (energie)verliescoëfficiënten.



Figuur 4-7 Doorlaatmiddel Katse Heule en op de achtergrond de Zandkreeksluis (sluis Kats) (bron: Beeldbank RWS)

⁴ OS4 ligt buiten de Oosterschelde o zee. Ook gemeten saliniteit en temperatuur te Marollegat is toegeleverd en zou gebruikt kunnen worden voor Katse Heule. De gemeten saliniteit te Marollegat is wat lager dan de gemeten saliniteit te OS4. De keuze voor OS4 is ingegeven door initiële berekeningsresultaten die aangaven dat een zoetere randvoorwaarde te Katse Heule niet wenselijk was uit het oogpunt van reproductie van in het Veerse Meer gemeten saliniteitsprofielen.

4.4.2.2 Scheepvaartsluizen

Het Veerse Meer is een gesloten watersysteem. Het is voor scheepvaart bereikbaar middels een tweetal schutsluizen, Sluis Veere, via het Kanaal door Walcheren een verbinding met de Westerschelde, en de Zandkreeksluis waarmee het Veerse Meer verbonden is met de Oosterschelde.

- *Sluis Veere*

Sluis Veere is in de modelschematisatie opgenomen als een “*sorsin*” (debietpunt).

De gemiddelde waterstand in het Kanaal door Walcheren is hoger dan de waterstand in het Veerse Meer. Dit betekent een netto verlies van schutwater vanuit het Kanaal door Walcheren. Dit schutverlies kan worden geschat op basis van het aantal schutbewegingen. Naast schutverlies lekt het sluisencomplex. Het lekverlies wordt constant, $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, verondersteld. De waarde van het lekverlies is de waarde zoals door Rijkswaterstaat Zee en Delta in de waterbalans gebruikt wordt voor Sluis Veere. De achtergrond van deze waarde is niet meer te achterhalen.

Voor saliniteit en temperatuur van zowel het schut- als het lekverlies wordt de gemeten saliniteit en watertemperatuur bij de Stationsbrug te Middelburg aangehouden, welke afkomstig is van Waterschap Scheldestromen.



Figuur 4-8 Sluizencomplex Veere – verbinding tussen Kanaal door Walcheren en Veerse Meer (bron: Beeldbank RWS)

- *Zandkreeksluis (sluis Kats)*

Zandkreeksluis is gelegen in de Zandkreekdam ten noorden van het doorlaatmiddel Katse Heule. Schut- en lekverliezen van deze sluis zijn veel kleiner dan de schuit- en lekverliezen van Sluis Veere. Vanwege deze geringe grootte is de Zandkreeksluis niet in het model opgenomen.

4.4.3 Overige Bronnen en Putten

4.4.3.1 Gemalen

De gemalen die water uitslaan op het Veerse Meer, zie Figuur 2-1, zijn in het model opgenomen als “sorsin” (debietpunt). De uitgeslagen grootte van de debieten is gebaseerd op gegevens zoals toegeleverd door RWS-ZD.

De saliniteit van het door de gemalen uitgeslagen water is voor de meeste gemalen enkel op jaarbasis bekend. Vandaar dat voor de gemalen het jaargemiddelde saliniteit wordt voorgeschreven. Bij gebrek aan meetdata is voor de temperatuur van het uitgeslagen water de gemeten luchttemperatuur te Vlissingen verondersteld.

Als alternatief voor luchttemperatuur zou ook verondersteld worden dat het uitgeslagen water een temperatuur heeft gelijk aan de watertemperatuur ter plaats van het lozingspunt. Effectief betekent dit dat de gemalen geen verandering van de watertemperatuur tot gevolg hebben. Deze benadering vraagt wel een aanpassing van het D-HYDRO rekenhart.

4.4.3.2 Regenval

Direct

Regenval is in de modelschematisatie opgenomen als “*lateral discharge*”. Voor een “*lateral discharge*” wordt een tijdreeks debiet gelijkmatig verdeeld binnen een polygoon. De grootte van de regenval debieten kan worden bepaald uit de gemeten regenval in combinatie met het natte oppervlak van het watersysteem (ongeveer 23 km²). Voor het Veerse Meer is de gemeten regenval te Wolphaartsdijk gebruikt. De “regenval” polygoon is zo gekozen dat, onafhankelijk van de waterstand, rekenpunten binnen de polygoon altijd nat zijn.

Regenval betreft zoet water, vandaar dat voor regenval een saliniteit van 0 psu wordt verondersteld. Als temperatuur van het regenwater wordt de luchttemperatuur gemeten te Vlissingen aangehouden.

Indirect (Zijdelingse afstroming)

Regenval op buitendijkse gebieden stroomt zijdelings af op het Veerse Meer. Deze zijdelingse afstroming is klein en bovendien niet eenvoudig te bepalen. Zijdelingse afstroming is dan ook niet meegenomen als bron in de D-HYDRO modelschematisatie van het Veerse Meer.

4.4.3.3 Verdamping

Verdamping van water wordt verdisconteerd op dezelfde manier als regenval. Een “*lateral discharge*” waar binnen een polygoon water wordt onttrokken. Voor het te gebruiken polygoon is de “regenval” polygoon gebruikt. De grootte van de verdamping wordt gebaseerd op de gemeten verdamping te Wilhelminadorp afkomstig van KNMI en toegeleverd door RWS-ZD.

In tegenstelling tot regenval hoeft voor verdamping in D-HYDRO de saliniteit en de temperatuur niet gespecificeerd te worden. Zoet water wordt onttrokken en de temperatuur van het onttrokken water is de watertemperatuur bij het wateroppervlak.

4.4.4 Meteorologische forcering

4.4.4.1 Wind

De windaansturing is van belang voor de aandrijving van de stroming en menging in het Veerse Meer en voor de windopzet. Stratificatie kan worden afgebroken door menging ten gevolge van windgedreven stroming en productie van turbulentie aan het oppervlak.

Voor de windaansturing, windsnelheid en -richting, worden 10-minuutwaarden van meetstation Kats gebruikt (toegeleverd door RWS-ZD). De aansturing wordt uniform over het wateroppervlak toegepast.

Windsnelheid wordt “vertaald” naar een kracht op het wateroppervlak middels een Cd-coëfficiënt formulering. Voor het Veerse Meer zijn de coëfficiënten zoals gebruikt in de 2Dh kalibratie op waterstanden gebruikt (Tiessen, et al. 2019). Deze coëfficiënten zijn identiek aan de waarde zoals gebruikt in het zesde generatie Oosterschelde model en in de vijfde generatie modellen. De waarde van de Cd-coëfficiënten bedraagt 0,0014 (bij een windsnelheid van 7,8 m/s) en 0,0039 (bij een windsnelheid van 50 m/s). Voor tussenliggende waarden van de windsnelheid wordt de Cd coëfficiënt lineair geïnterpoleerd⁵.

Voor de dichtheid van lucht is 1,205 kg/m³ gebruikt.

4.4.4.2 Temperatuur

Voor de berekening van de temperatuur wordt het ‘Ocean Heat Flux’-model gebruikt. Dit warmte-uitwisselingsmodel gebruikt als invoer, naast de windsnelheid, ook de luchttemperatuur op 2 m boven het wateroppervlak, de relatieve luchtvochtigheid en de bewolgingsgraad. De bruto zoninstraling wordt berekend op basis van de datum en de breedtegraad. De netto zoninstraling wordt dan berekend door te corrigeren voor de bewolgingsgraad. De warmteflux door verdamping (latente warmteflux) is een van de termen van het warmte-uitwisselingsmodel en wordt dus ook in de berekening van temperatuur verdisconteerd. De, hiermee corresponderende, massaflux door verdamping wordt echter voorgeschreven op basis van metingen (zie paragraaf 4.4.3.3).

Voor de meteoaansturing worden uurswaarden voor de luchttemperatuur, de luchtvochtigheid en de bewolgingsgraad van meetstation Vlissingen gebruikt, afkomstig van het KNMI. Deze aansturing wordt uniform over het modeloppervlak toegepast.

De voor het temperatuurmodel benodigde Stanton- en Dalton-coëfficiënt voor respectievelijk de convectieve en evaporatieve (latente) warmte flux zijn allebei op 0,0013 gezet (conform de 6^e generatie generieke specificaties). De Secchi diepte, die de troebelheid van het water weergeeft, is op 3 m ingesteld (Nolte, Arentz and Haasnoot 2006).

⁵ Deze waarden stemmen overeen met de generieke 6^e generatie instellingen met dien verstande dat recent het 2^e knikpunt is gedefinieerd als behorend bij een windsnelheid van 30 m/s in plaats van 50 m/s

5 Toetsing modelgedrag

5.1 Inleiding

5.1.1 Simulatieperioden

Voor de toetsing van het model zijn de jaren 2011 en 2012 gesimuleerd. De te simuleren periode is gekozen op basis van de beschikbaarheid van saliniteit en temperatuurmetingen. Het betreft hier de zogenaamde TSO metingen waarbij TSO staat voor Temperatuur, Saliniteit en Oxygen (=zuurstof).

Tabel 5-1 Overzicht gebruikte simulatieperiode

Omschrijving	Simulatieperiode
Run 027 (3D-hydrodynamica)	1 januari 2011 tot 1 januari 2013

5.2 De Waterbalans van het Veerse Meer (2011 – 2012)

5.2.1 Kunstwerken (2011 – 2012)

5.2.1.1 Katse Heule

Rijkswaterstaat bepaalt de debieten door dit kunstwerk uit de waterstandverschillen over de Katse Heule in combinatie met een energieverliescoëfficiënt. Momenteel wordt zowel voor eb als voor vloed een verliescoëfficiënt van 0,6 gebruikt. Deze verliescoëfficiënt resulteert voor de jaren 2011 – 2012 in een netto volume uitstroom van het Veerse Meer naar de Oosterschelde gelijk aan ongeveer 500 miljoen m³, gelijk aan 8 m³/s.

5.2.1.2 Sluis Veere

Het schutverlies voor Sluis Veere is voor 2019 geschat op basis van het aantal maandelijkse schuttingen (verlies per schutting ongeveer 3000 m³). Voor 2011-2012 zijn de maandelijkse schutgegevens niet beschikbaar. Wel is voor deze twee jaren het aantal jaarlijkse schuttingen bekend (2011: 9.307 & 2012: 8.511). Op basis van dit jaarlijkse aantal zijn de maandelijkse schutverliezen voor 2011 en 2012 geschat door de maandelijkse schutverliezen voor 2019 te vermenigvuldigen met de verhouding jaarlijks aantal schuttingen 2011 en 2012 gedeeld door het jaarlijkse aantal schuttingen 2019. Het lekverlies van Sluis Veere voor 2011 – 2012 wordt gelijk verondersteld aan het lekverlies voor 2019, i.e. 0,5 m³/s (grote sluiskolk).

Voor 2011 – 2012 resulteert schut- en lekverlies Sluis Veere gecombineerd tot een netto instroom vanuit het Kanaal door Walcheren in het Veerse Meer van 85 miljoen m³ (zie Figuur 5-1) hetgeen overeenkomt met een netto instroom debiet van 1,3 m³/s.

5.2.2 Overige Bronnen en Putten (2011 – 2012)

5.2.2.1 Poldergemalen

Voor de periode 2011 – 2012 geldt dat het totaal aan uitgeslagen polderwater door poldergemalen 115 miljoen m³ bedraagt (bepaald door de debieten van de afzonderlijke gemalen te integreren en vervolgens te sommeren). Dit komt overeen met een netto instromend debiet in het Veerse Meer van 1.8 m³/s. De voor 2011 en 2012 aan het uitgeslagen water toegekende saliniteit wordt gegeven in Tabel 5-2. Voor de temperatuur van het uitgeslagen water is de luchttemperatuur verondersteld.

Tabel 5-2: Saliniteit uitgeslagen polderwater

Gemaal	Saliniteit (psu)
Stuw Sluis Jacoba	5,5
Gemaal Wilhelmina	12,6
Gemaal Oranjeplaat	5,5
Gemaal Oostwatering	5,5
Gemaal Oosterland	3,0
Gemaal Muidenweg	5,5
Gemaal Kleverskerke	5,5
Gemaal Jacoba	5,5
Gemaal De Piet	3,2
Gemaal Adriaan	4,4
Gemaal Aalvanger	5,5
Gemaal Willem	4,1

5.2.2.2 Regenval

De regenval op het Veerse Meer voor 2011 – 2012, gebaseerd op de gemeten neerslag te Wolphaartsdijk, resulteert voor 2011 – 2012 in een netto instroom in het Veerse Meer van, zoet, regenwater gelijk aan ongeveer 45 miljoen m³. Dit komt overeen met een netto instroom van 0,7 m³/s.

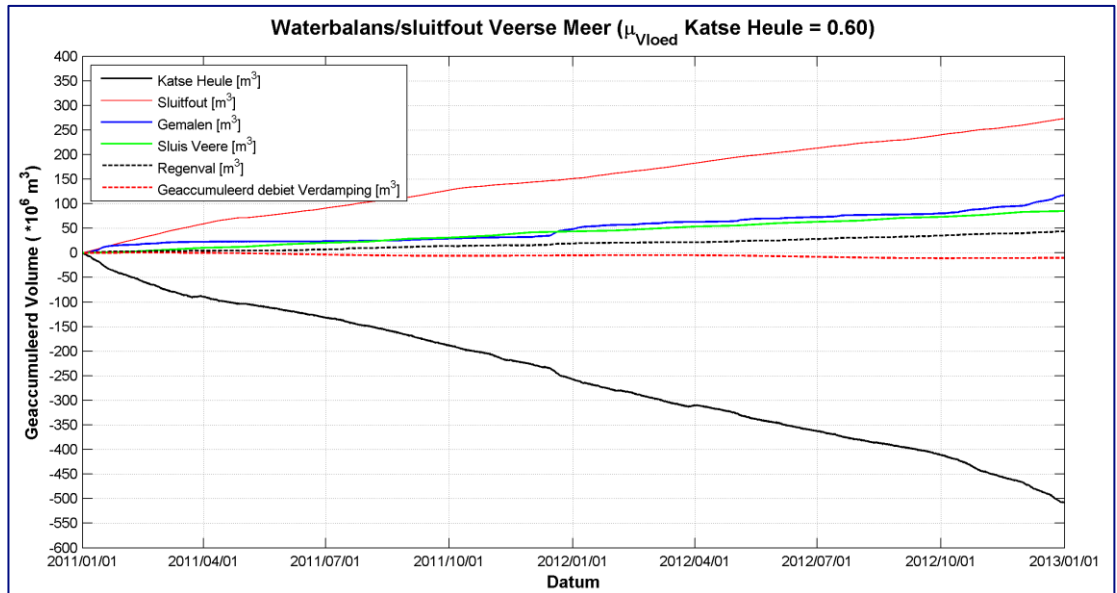
5.2.2.3 Verdamping

Voor de (open water) verdamping zijn de gemeten dagwaarden in Wilhelminadorp, afkomstig van KNMI en door RWS-ZD omgerekend naar maandgemiddelden, gebruikt. Hierbij is rekening gehouden met het natte oppervlak van het Veerse Meer in zomer en winter. Voor 2011 – 2012 heeft verdamping een verlies van zoet water gelijk aan 10 miljoen m³, of 0,15 m³/s, tot gevolg.

5.2.3 Resterende sluitfout Waterbalans

Door de Katse Heule en door verdamping is het verlies aan water uit het Veerse Meer groter dan wat door de poldergemalen, regen en Sluis Veere in het Veerse Meer wordt gebracht. Dit verlies aan water betekent een dalende waterstand die in werkelijkheid niet optreedt, i.e. de waterbalans is niet sluitend. De grootte van de sluitfout kan bepaald worden door de debieten door de kunstwerken, de poldergemalen, regenval en verdamping te combineren met de gemeten waterstand in het meer. Deze methodiek wordt beschreven in Appendix A.3. De grootte van de resterende sluitfout (rode lijn), in combinatie met de afzonderlijke termen in de waterbalans, wordt getoond in Figuur 5-1⁶.

⁶ De grootte van de sluitfout wordt initieel bepaald met een tijdstap van 10 minuten. Echter, om een glad verloopende sluitfoutcorrectie te verkrijgen, en daarmee te voorkomen dat meet onnauwkeurigheden de sluitfout beïnvloeden, wordt een lopend gemiddelde over 7 dagen toegepast. Dit betekent dat in de resterende definitieve sluitfoutcorrectie geen eb/vloed afhankelijkheid valt te herkennen.



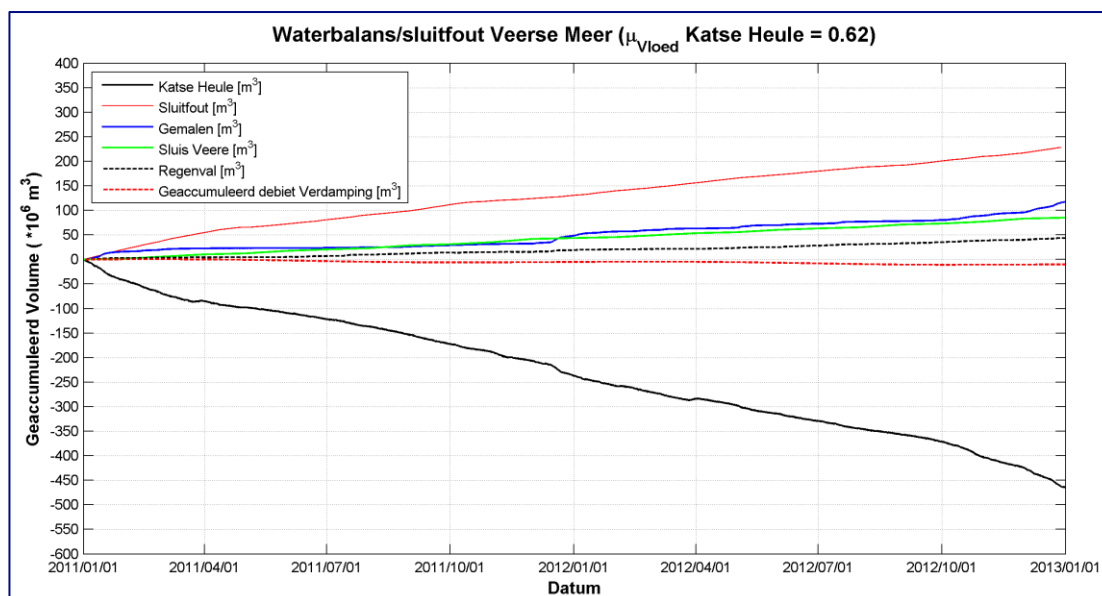
Figuur 5-1: Sluitfout waterbalans Veerse Meer in combinatie met afzonderlijke termen in de waterbalans

De grootte van de sluitfout bedraagt na twee jaar ongeveer 270 miljoen m³. Dit is ongeveer de helft van de grootste (netto) term in de waterbalans, het debiet door de Katse Heule, en aanmerkelijk groter dan de overige termen in de waterbalans.

De manier van verdisconteren van de sluitfout, en de keuze voor de aan de sluitfout toegekende saliniteit en temperatuur, kan sturend zijn voor de in het Veerse Meer door het model berekende saliniteits- en temperatuurverdeling. Dit wordt als ongewenst gezien en vraagt om verbetering van de waterbalans.

5.2.4 Verbetering waterbalans

De grootste onzekerheid in de waterbalans van het Veerse Meer is het debiet door het doorlaatmiddel Katse Heule. De overige termen in de waterbalans zijn niet groot genoeg om de grootte van de sluitfout te kunnen verklaren. Naar aanleiding van de grootte van de sluitfout zijn de metingen, waarop de schatting van de verliescoëfficiënt gebruikt bij de bepaling van de debieten door de Katse Heule, opnieuw geanalyseerd. Uit deze her-analyse volgde een verbeterde schatting van de verliescoëfficiënt voor de vloedperiode, 0,62 in plaats van 0,60⁷. Gebruik van debieten door de Katse Heule gebaseerd op deze verbeterde schatting van de verliescoëfficiënt gaf vervolgens geen grote verbetering waar het de resterende sluitfout betreft, zie Figuur 5-2.



Figuur 5-2: Sluitfout waterbalans Veerse Meer in combinatie met afzonderlijke termen in de waterbalans ($\mu_{Vloed} = 0,62$)

Naar aanleiding van de grote sluitfout bij Katse Heule is vervolgens op 20 oktober 2020, op initiatief van Rijkswaterstaat ZD, een nieuwe debietmeting bij de Katse Heule uitgevoerd. Uit de analyse van deze meting volgde een verliescoëfficiënt voor de vloedperiode van 0,73. De meting en de analyse van de meting wordt beschreven in Appendix B van dit rapport.

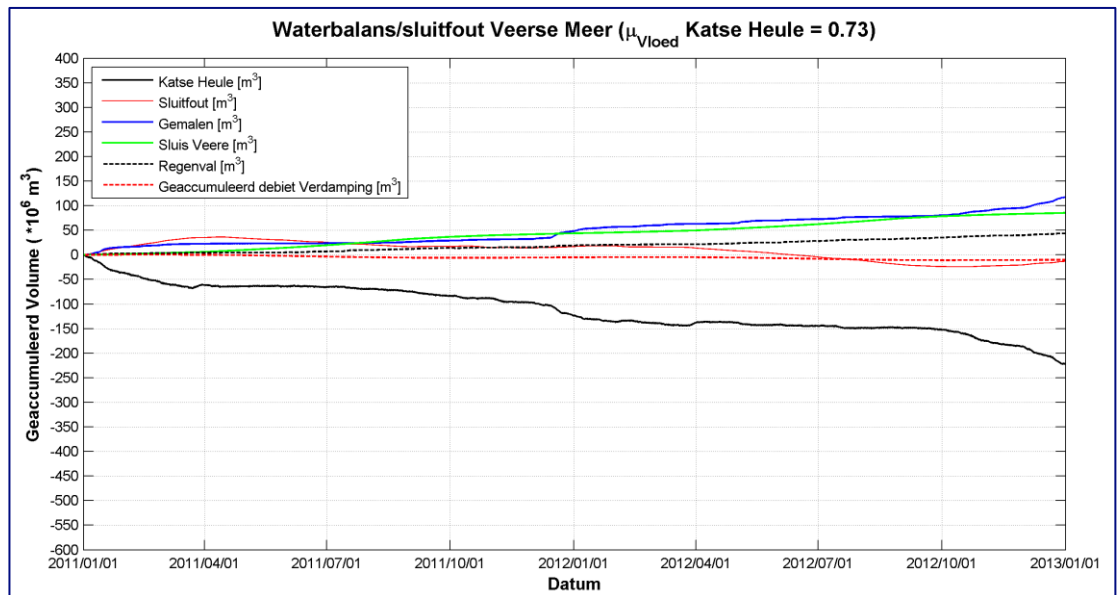
Met herrekenende debieten Katse Heule, gebaseerd op een verliescoëfficiënt vloed van 0,73, is een veel beter sluitende waterbalans verkregen, zie Figuur 5-3. Over geheel 2011 – 2012 is de resterende sluitfout bijna 0. Gedurende 2011 en 2012 wisselt het teken van het sluitfoutdebiet, de helling van het geaccumuleerde volume zoals gepresenteerd in Figuur 5-1 - Figuur 5-3, tussen positief en negatief. Dit geeft aan dat verdere verbetering van de waterbalans waarschijnlijk niet mogelijk is.

De bruto uitstroom vanuit het Veerse Meer naar de Oosterschelde bedraagt met deze aangepaste verlies coëfficiënt Katse Heule ongeveer 225 miljoen m³ voor de jaren 2011 – 2012. Dit is een gevolg van een netto instroom van ongeveer 1600 miljoen m³ in combinatie met een netto uitstroom van 1825 miljoen m³.

Conform de methodiek beschreven in Appendix B wordt de sluitfout in het model verdisconteerd daar waar, naar verwachting, de grootste onzekerheid in de waterbalans zit. Voor het Veerse Meer betreft dit de debieten door de Katse Heule. Om "meting debiet Katse Heule" te kunnen onderscheiden van de sluitfout, is het sluitfoutdebiet als afzonderlijke "sorsin" (debietpunt) opgelegd op de locatie van de Katse Heule. Voor de saliniteit en de temperatuur behorend bij de sluitfout zijn

⁷ Email Piet Lieveense dd 28 september 2020

de waarden identiek gekozen aan de waarden gebruikt voor het debiet Katse Heule, d.w.z. de gemeten saliniteit en temperatuur te meetlocatie OS4.



Figuur 5-3: Sluitfout waterbalans Veerse Meer in combinatie met afzonderlijke termen in de waterbalans ($\mu_{Vloed} = 0,73$)

Ook wanneer de waterbalans voor een langere periode wordt opgesteld geeft een verliescoëfficiënt voor vloed gelijk aan 0,73 een beter sluitende waterbalans. In (Heijden 2021) wordt een jaarlijks gemiddelde sluitfout gelijk aan ongeveer 3% van het meervolume gerapporteerd voor de jaren 2011 - 2020. Met de oorspronkelijke verlies coëfficiënt gelijk aan 0,6 bedraagt deze sluitfout 15%.

5.3 Initiële condities

De initiële condities voor de toetsberekening 2011 - 2012, met als startdatum 1 januari 2011, zijn gebaseerd op gemeten temperatuur- en saliniteitprofielen in het Veerse Meer, de TSO metingen, gedurende januari 2011 in combinatie met de gemeten saliniteit en temperatuur bij het oppervlak en bij de bodem te meetlocaties VM4 en VM5.

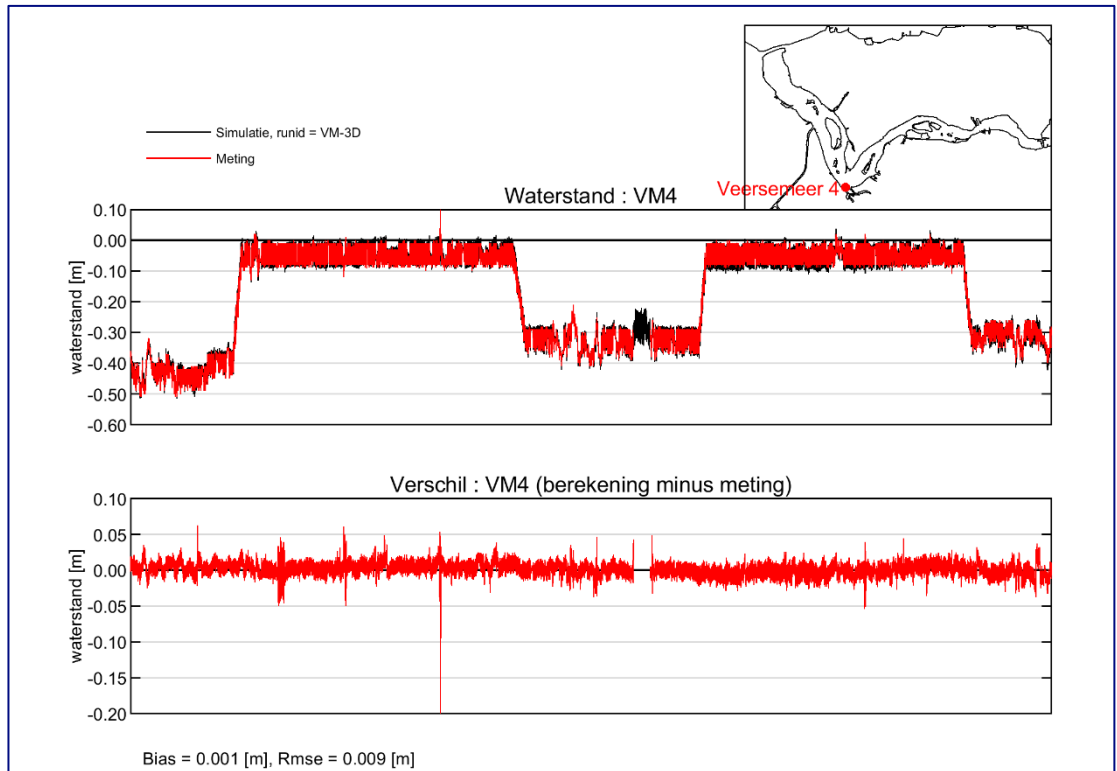
Voor saliniteit resulteerde dit in een ruimtelijk uniforme waarde van 22 psu boven de -5 m NAP en een ruimtelijk uniforme waarde van 28 psu onder -5 m NAP.

Voor temperatuur is een ruimtelijk, zowel horizontaal als verticaal, uniforme waarde van 3 °C gebruikt.

5.4 Resultaten Toetsingsberekening

5.4.1 Waterstanden

De in het meer gemeten waterstanden worden vergeleken met berekende waterstanden in Figuur 5-4 voor meetlocatie VM4, wat ongeveer halverwege het meer is gelegen. Voor de volledigheid worden in Appendix C de figuren met vergelijking voor alle overige meetlocaties getoond voor de periode 2011-2012. Tabel 5-3 geeft statistische kentallen behorend bij de waterstandsreproductie voor alle waterstandsmeetstations in het meer.



Figuur 5-4: Waterstanden: Gemeten tegen berekende Waterstanden; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012

Tabel 5-3: Statistische kentallen behorend bij de waterstandreproductie, periode 2011-2012

Locatie	Bias [m]	RMSE [m]
VM3	-0,008	0,014
VM4	0,001	0,009
VM5	-0.005	0,012

Voor alle locaties geldt dat de gemeten waterstanden goed worden gereproduceerd. Dit geldt met name voor de als gevolg van het peilbeheer optredende seizoensvariatie in de gemiddelde waterstand (zomer- en winterpeil). Wel geldt dat de gemeten getijslag, verschil tussen hoog- en laagwater, een paar centimeter kleiner is dan de berekende getijslag. Dit impliceert dat de op het model opgelegde uitwisselingsdebieten, waarin indirect de gehanteerde stuurgrenzen van het Hydro Meteo Centrum Zeeland zijn verwerkt, bij de Katse Heule iets te groot zijn.

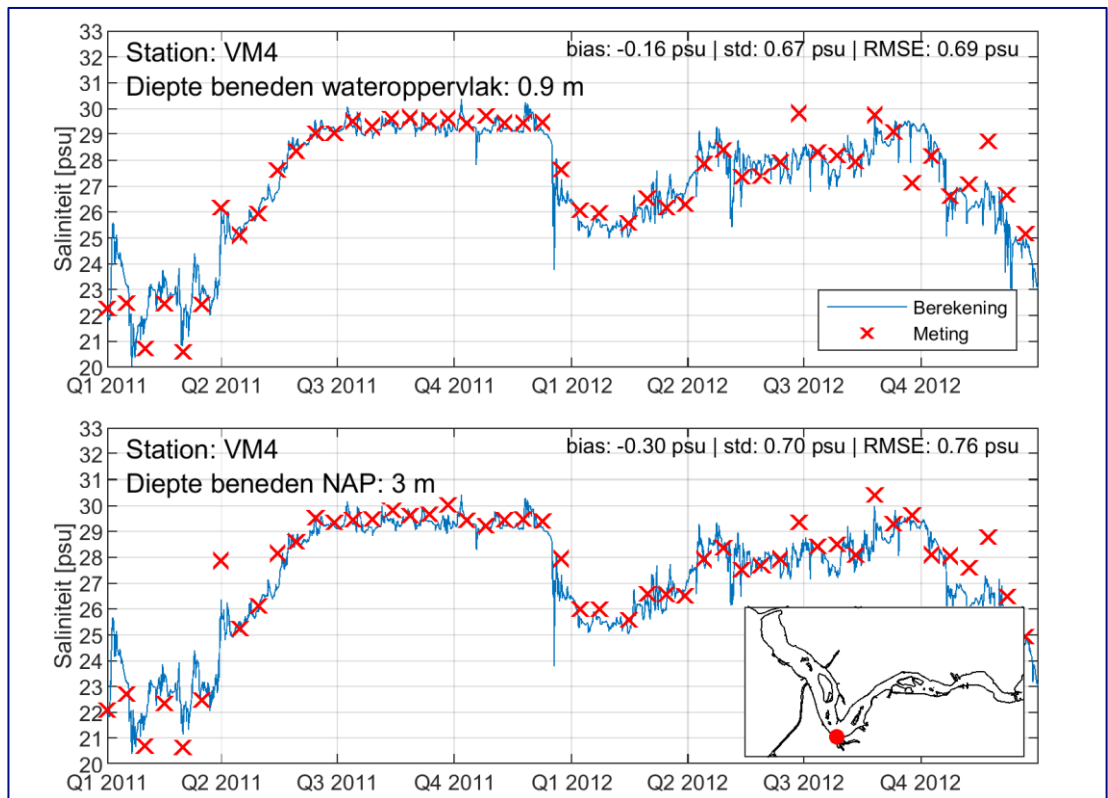
De goede waterstandsreproductie kan *niet* gezien worden als “kwaliteit” van het model. Bij het bepalen van de sluitfout in de waterbalans wordt de in het meer gemeten waterstand meegenomen. De juiste reproductie van de gemeten waterstanden zegt dus niet meer dan dat de sluitfout juist bepaald is ofwel dat een correcte waterbalans aan het model is opgelegd.

5.4.2 Saliniteit en temperatuur vaste meetpunten

5.4.2.1 Saliniteit

In het Veerse Meer wordt op een tweetal locaties continu saliniteit en temperatuur gemeten. Er wordt bemonsterd op een 2-tal diepten, nabij het oppervlak en nabij de bodem. Het betreft locatie “VM4”, ongeveer in het midden van het meer, en locatie “VM5”, westelijk in het meer.

De gemeten saliniteit wordt vergeleken met de berekende saliniteit in Figuur 5-5 en Appendix D. Voor beide meetlocaties geldt dat de gemeten saliniteit goed wordt gereproduceerd.

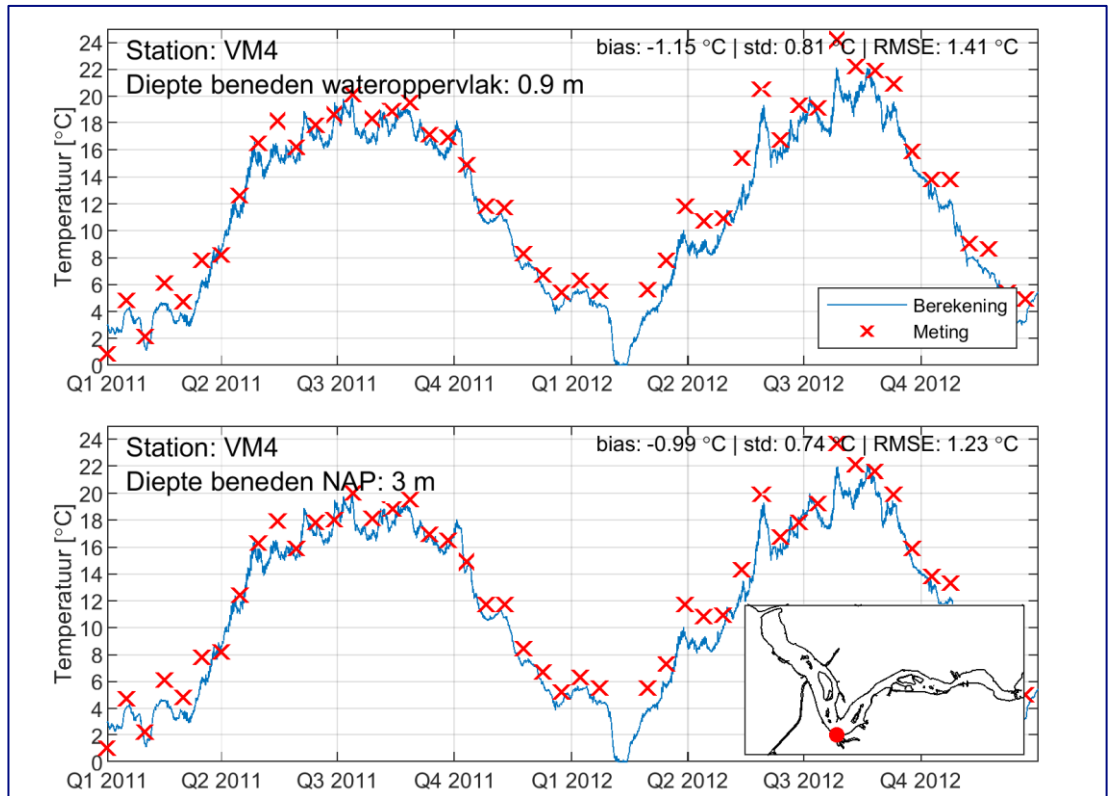


Figuur 5-5: Saliniteit: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012: Bovenste figuur nabij wateroppervlak. Onderste figuur nabij de bodem. (Meetwaarden (per 10-minuten) zijn uitgedund t.b.v. visualisatie)

5.4.2.2 Temperatuur

Op meetlocaties “VM4” en “VM5” wordt ook de watertemperatuur gemeten.

De gemeten watertemperatuur nabij de bodem en het wateroppervlak wordt vergeleken met de berekende temperatuur in Figuur 5-6 en Appendix D. Momentaan kan de gemeten temperatuur tot 2 °C afwijken van de berekende temperatuur. Gemiddeld over de jaren 2011 – 2012 is de gemeten temperatuur ongeveer 1 °C hoger dan de berekende temperatuur. De temperatuurvariatie over de seizoenen, verschil zomer/winter van ongeveer 20 °C, wordt goed gereproduceerd door het model.



Figuur 5-6: Temperatuur: Gemeten tegen Berekende Temperatuur; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012. Bovenste figuur nabij wateroppervlak. Onderste figuur nabij de bodem.

5.4.3 Saliniteit en temperatuur TSO metingen

In de jaren 2011 en 2012 werden een- of tweemaal per maand saliniteit- en temperatuurprofielen gemeten. De locaties van deze metingen, de TSO metingen, worden getoond in Figuur 4-6.

In deze paragraaf worden achtereenvolgens de diepte-gemiddelde saliniteit en watertemperatuur⁸ vergeleken met waarden zoals afgeleid uit de TSO metingen. Vervolgens worden de daadwerkelijk gemeten profielen vergeleken met berekende profielen van saliniteit en temperatuur. Tenslotte wordt de uit de profielen afgeleide stratificatie van saliniteit en temperatuur vergeleken met berekeningsresultaten.

5.4.3.1 Dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur

Saliniteit

De reproductie van de dieptegemiddelde saliniteit wordt gezien als indicator voor de correctheid van de berekende, diepte-gemiddelde, transporten en in het bijzonder de mengverhouding tussen Oosterscheldewater en zoete/brakke lozingen van neerslag, polders en het Kanaal door Walcheren. De mengverhouding is een belangrijke (geschiktheids)maat voor de nutriëntconcentraties in de waterkwaliteitsberekeningen. Specifiek voor het Veerse Meer geldt dat de reproductie ook een maatstaf is voor de correctheid van aan lozingen toegekende saliniteit in het model.

⁸ Als alternatief voor een dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur zou ook volumegemiddelde saliniteit en temperatuur gebruikt kunnen worden: Dit heeft een voordeel vooruitkijkend naar waterkwaliteitsmodellering van het Veerse Meer, maar wel als nadeel dat vooraf arbitrair gekozen polygonen gedefinieerd moeten worden. De verwachting is niet dat volumegemiddelde bepaling van saliniteit en temperatuur tot andere conclusies gaat leiden.

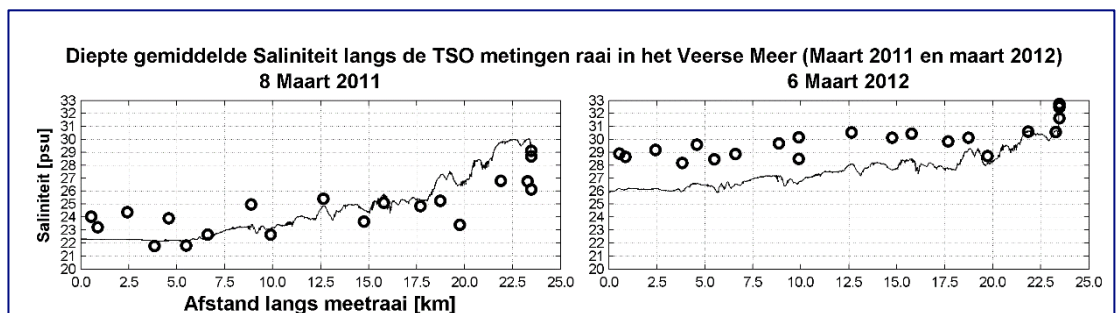
De gemeten dieptegemiddelde saliniteit langs de TSO-meetraai wordt voor een tweetal dagen in 2011 en 2012 getoond in Figuur 5-7. In Appendix E wordt dezelfde informatie gepresenteerd maar dan voor alle dagen waarop in 2011 en 2012 TSO metingen zijn uitgevoerd.

In het algemeen is de saliniteit in westelijk deel van het Veerse Meer iets lager dan de saliniteit in het Oostelijk deel van het meer. Regenval, de uitslag van gemalen en het lekken van de Veerse Meer sluis zorgen voor lichte verzoeting/verbrakking van het Veerse Meer. Inlaten van Oosterscheldewater door de Katse Heule zorgt voor verzilting. Aangezien de Katse Heule oostelijk in het meer is gelegen, heeft dit relatief zouter water in het oostelijk deel van het Veerse Meer tot gevolg.

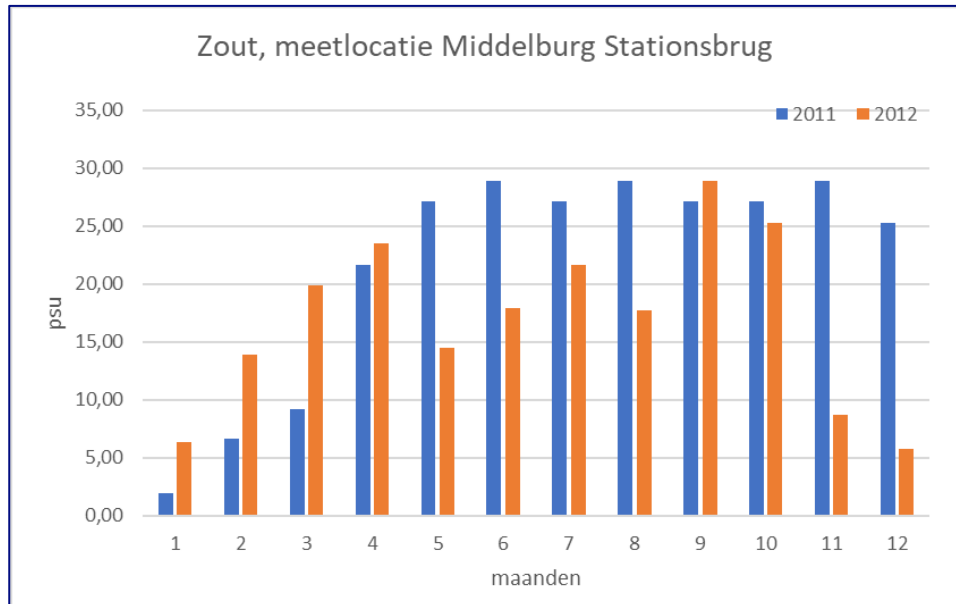
Zowel de dieptegemiddelde waarde van de saliniteit als de gradiënt in saliniteit worden door het model berekend met dieptegemiddelde afwijkingen tussen 0-3 psu. Daarbij vertonen de metingen duidelijk meer variatie langs de meetraai.

De grootte van de ruimtelijke variatie in “gemeten” dieptegemiddelde saliniteit, maximaal 3 psu over een afstand van 2 km, wordt niet goed begrepen. Fysisch is geen mechanisme denkbaar dat een dergelijk grote variatie kan verklaren. Verder geldt ook dat deze variatie te groot is om als meetonnauwkeurigheid te bestempelen. Opgemerkt wordt dat de TSO metingen zijn gebruikt zoals zijn toegeleverd. Er is geen data-analyse uitgevoerd voorafgaand aan de vergelijking met modelresultaten, waarbij onder andere op interne consistentie van metingen zou worden gecontroleerd.

Voor 6 maart 2012 (rechter paneel Figuur 5-7) geldt dat de dieptegemiddelde saliniteit duidelijk wordt onderschat, orde 2-3 psu, in het gehele meer behalve in het oosten. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door een (te) lage saliniteit van lekwater van de Veerse Sluis. De saliniteit toegekend aan de lek van Veerse Sluis is gebaseerd op de gemeten saliniteit in het kanaal van Walcheren bij meetlocatie Middelburg Stationsbrug (zie Figuur 5-8). Voor januari/februari 2012 geldt dat de saliniteit ter plaatse van deze meetlocatie veel lager is dan de saliniteit gemeten in januari/februari. Verder geeft dit aan dat een realistische saliniteitswaarde voor de lozingen op het meer is gekozen. 2011 en eveneens veel lager dan gemeten in december 2011. Er wordt aanbevolen deze saliniteiten te controleren.



Figuur 5-7: Voorbeeld reproductie dieptegemiddelde saliniteit langs de TSO meetraai in maart 2011 en 2012: Zwarte bolletjes zijn metingen, zwarte lijn is modeluitvoer. Oriëntatie is van West (Veerse Dam, 0 km) naar Oost (Zandkreekdijk, 22,5 km)

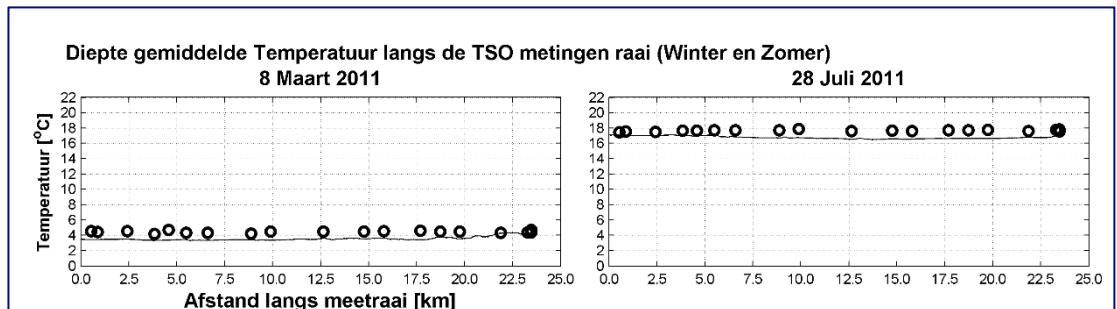


Figuur 5-8: Gemeten saliniteit (psu) meetlocatie Middelburg Stationsbrug voor 2011 en 2012 – gebruikt in het D-HYDRO model als saliniteit voor de Veerse Meer Sluis.

Temperatuur

De gemeten dieptegemiddelde temperatuur wordt voor een tweetal dagen getoond in Figuur 5-9. In Appendix E wordt dezelfde informatie gepresenteerd maar dan voor alle dagen waarop TSO-metingen zijn uitgevoerd.

De dieptegemiddelde temperatuur varieert ruimtelijk, zowel in de meting als in de berekening, veel minder of eigenlijk niet. Het model laat een geringe onderschatting van de diepte gemiddelde temperatuur zien ten opzichte van de meting (orde 0,5 - 1 °C). Verder is er een sterke seizoensafhankelijkheid zichtbaar. Deze seizoensafhankelijkheid wordt goed door het model gereproduceerd. Dit volgde ook al uit de vergelijking van gemeten tijdreeksen van temperatuur met berekende reeksen, zie Figuur 5-6.



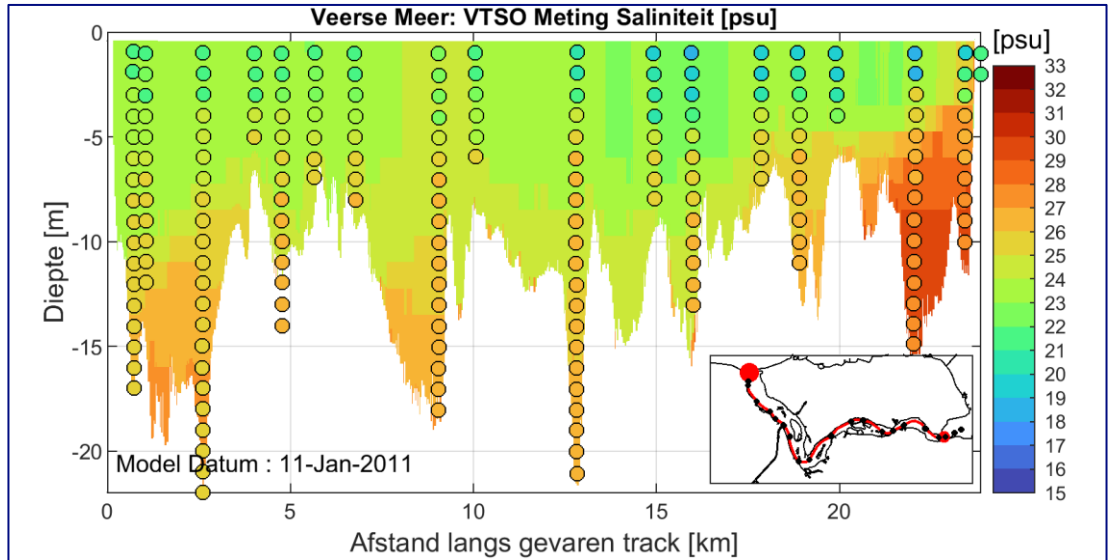
Figuur 5-9: Voorbeeld reproductie dieptegemiddelde temperatuur langs de TSO meetraai. Oriëntatie is van West (Veerse Dam, 0 km) naar Oost (Zandkreekdam, 22,5 km)

5.4.3.2 Profielen saliniteit en temperatuur

Saliniteitsprofielen

In Appendix F worden alle in 2011 en 2012 gemeten saliniteitsprofielen vergeleken met berekende profielen. De metingen laten soms, vaak niet, een saliniteitstratificatie zien. Dit wordt vermoedelijk veroorzaakt door heftige regenval met, daaraan gekoppeld, grote uitslag van de gemalen die lozen op het Veerse Meer.

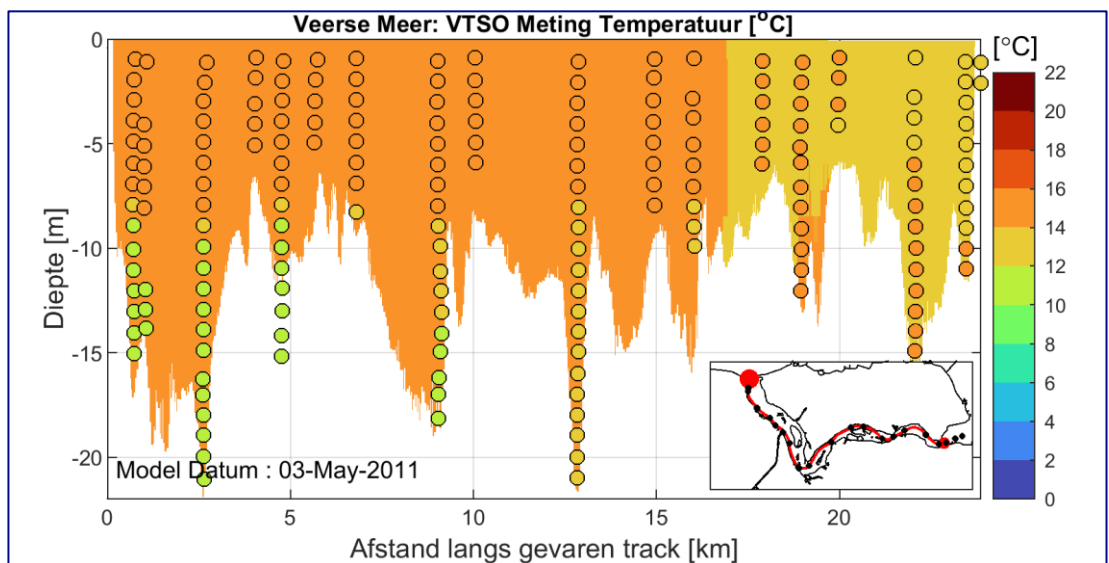
Deze “regenval” stratificatie wordt **niet** voldoende door het model gereproduceerd. Als voorbeeld hiervan toont Figuur 5-10 zowel de gemeten als berekende saliniteitsprofielen voor 11 januari 2011.



Figuur 5-10: Voorbeeld reproductie gemeten saliniteitsprofielen (11 januari 2011). Bolletjes zijn de TSO-metingen.

Temperatuur

In Appendix F worden alle in 2011 en 2012 gemeten temperatuurprofielen vergeleken met berekende profielen. Met name in het voorjaar, wanneer het water opwarmt, is in de metingen vaak sprake van temperatuurstratificatie. Ook voor temperatuur geldt dat de (temperatuur)stratificatie in het Veerse Meer niet goed wordt gereproduceerd door het model.



Figuur 5-11: Voorbeeld reproductie gemeten temperatuurprofielen. Bolletjes zijn de TSO-metingen.

5.4.3.3 Kwantificering stratificatie

Kental

Als kental om de stratificatie te kwantificeren wordt, in navolging van (Li, et al. 2018), de variantie van de saliniteit (of temperatuur) per profiel gebruikt⁹. Dit is een maat voor de afwijking van de (profiel)gemiddelde waarde van saliniteit (of temperatuur) en wordt toegepast voor zowel de meting als het model. De definitie van dit kental is:

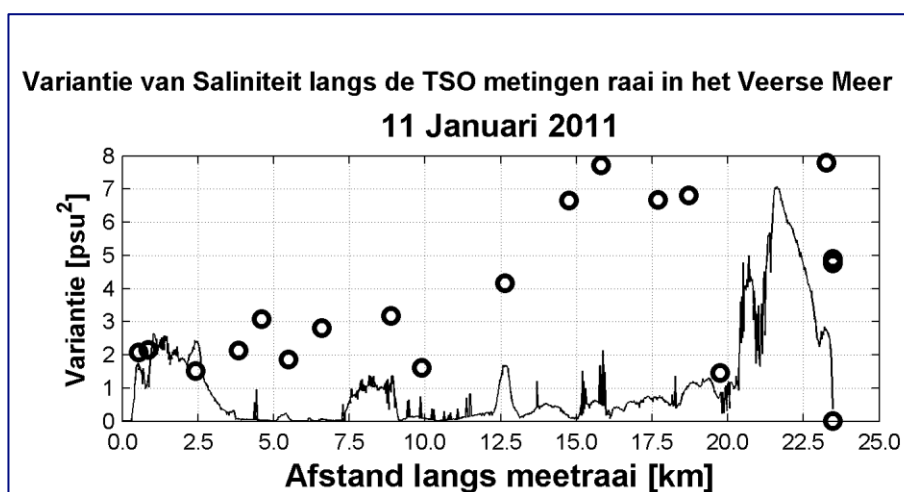
$$ST_v = \frac{1}{h} \int_0^h (ST(z) - \overline{ST}) dz$$

Waarin:

- ST_v = Variantie van saliniteit of temperatuur,
 $ST(z)$ = Saliniteit of temperatuur op hoogte z boven de bodem,
 \overline{ST} = Diepte of profiel gemiddelde waarde van saliniteit of temperatuur,
 h = Waterdiepte

Saliniteitstratificatie

In Appendix G wordt de variantie van saliniteit voor alle in 2011 en 2012 gemeten saliniteitsprofielen vergeleken met berekende waarden. Als voorbeeld toont Figuur 5-12 zowel de gemeten als berekende variantie van saliniteit op 11 januari 2011. Dit laat, meer kwantitatief dan Figuur 5-10, zien dat saliniteitstratificatie wordt onderschat in de modelberekening. Van km 5 tot km 20 langs de gevaren meetraai is er in werkelijkheid een stratificatie van een paar psu, terwijl het model een goed gemengde situatie berekend. Dit is opvallend omdat de initieel voorgeschreven stratificatie van 6 psu na 10 dagen bijna volledig is verdwenen. We komen hier op terug in Hoofdstuk 6.

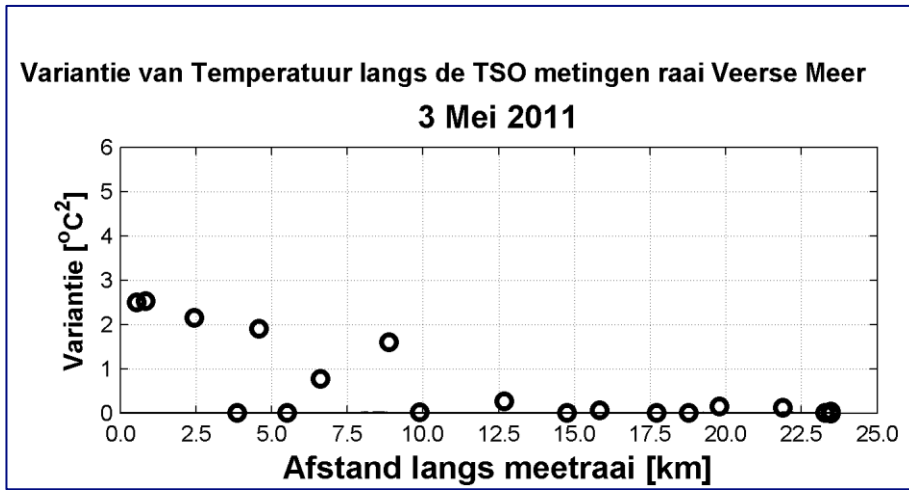


Figuur 5-12: Voorbeeld Variantie van Saliniteit (11 januari 2011) van metingen (bolletjes) en berekening. Oriëntatie is van West (Veerse Dam, 0 km) naar Oost (Zandkreekdijk, 22,5 km)

Temperatuurstratificatie

In Appendix G wordt de variantie van temperatuur voor alle in 2011 en 2012 gemeten temperatuurprofielen vergeleken met berekende waarden. Als voorbeeld toont Figuur 5-13 zowel de gemeten als berekende variantie van temperatuur op 3 mei 2011 (merk op: Variantie model is vrijwel 0). De meting, in het westelijk deel van het meer, laat stratificatie zien terwijl het model een goed gemengde situatie weergeeft.

⁹ Suggestie Wouter Kranenburg naar aanleiding van het 3D RMM rapport (Kaaij and Chavarrias 2020)



Figuur 5-13: Voorbeeld Variantie van temperatuur (3 mei 2011). Oriëntatie is van West (Veerse Dam, 0 km) naar Oost (Zandkreekdam, 22,5 km)

6 Gevoeligheid Laagdikte

De toetsingsberekening heeft laten zien dat diepte-gemiddelde saliniteit en temperatuur worden gereproduceerd door het model met een afwijking van respectievelijk orde 0-1 psu (met uitzondering van maart 2012) en orde 0,5 – 0,8 °C (met uitzondering van oktober 2011). Echter, indien er sprake is van saliniteit- of temperatuurstratificatie in het Veerse Meer dan wordt dit verschijnsel niet of onvoldoende gereproduceerd door het 3D-DHYDRO model van het Veerse Meer.

Voor het weergeven van steile gradiënten in saliniteit of temperatuur is (verticale) resolutie noodzakelijk. In de toetsingsberekening is een laagdikte van 1,25 m gebruikt. Deze waarde is bewust gekozen vanwege consistentie met het zesde generatie 3D Grevelingenmeer model, (Groenenboom, Markus and Laan 2020) waarin met deze laagdikte de in het Grevelingen optredende stratificatie goed kon worden gereproduceerd.

Vanwege het niet voldoende weergeven van stratificatie in de toetsingsberekening, is deze berekening herhaald met een laagdikte van 0,5 m. De resultaten van deze gevoeligheidsberekening worden in deze paragraaf besproken.

6.1.1 Waterstanden

Aangezien de gevoeligheidsberekening wordt aangestuurd met lozingen en onttrekkingen identiek aan de waarden gebruikt in de toetsingsberekening, zijn ook de berekende waterstanden identiek.

6.1.2 Saliniteit en temperatuur vaste meetpunten

De gemeten tijdreeksen van saliniteit en temperatuur laten geen stratificatie zien ter plaatse van de vaste meetlocaties VM4 en VM5. Dit komt omdat de onderste sensor op deze locaties nog boven de spronglaag zit en dus feitelijk, net als de bovenste sensor, de saliniteit en temperatuur van de oppervlaktelaag weergeeft. De reproductie van de gemeten tijdreeksen saliniteit en temperatuur is dan ook vergelijkbaar met de oorspronkelijke toetsingsberekening (Appendix D en Appendix H).

6.1.3 Saliniteit en temperatuur TSO metingen

6.1.3.1 Dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur

In Appendix I wordt, voor alle tijdstippen waarop TSO metingen zijn uitgevoerd, de uit de TSO-metingen bepaalde dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur vergeleken met de resultaten uit de gevoeligheidsberekening (met een laagdikte van 0,5 m). Figuur 6-1 en Figuur 6-2 tonen deze informatie voor 2 karakteristieke dagen in 2011 en 2012 in combinatie met het resultaat van de toetsberekening en van de gevoeligheidsberekening. De dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur, gemiddeld over alle profielen, voor alle tijdstippen van TSO metingen worden gegeven in respectievelijk Tabel 6-1 en Tabel 6-2. Hierbij wordt opgemerkt dat vanaf 3 mei 2012 door RWS nog maar op één locatie saliniteit en temperatuur wordt gemeten (Locatie TSO10). Voorafgaand aan 3 Mei 2012 werd op 17 locaties door RWS profielen gemeten. Voor de periode na 3 Mei 2012 wordt de enige beschikbare meting gezien als representatief voor het gehele meer en telt dus net zo zwaar mee in de bepaling van het gemiddelde over alle tijdstippen van TSO metingen in de tabellen.

Een kleinere laagdikte heeft een, relatief groot, gevolg voor de berekende dieptegemiddelde saliniteit. Met een kleinere laagdikte is de berekende saliniteit groter dan in de toetsingsberekening. In vergelijking met de metingen (28,7 psu) is de toetsingsberekening, gemiddeld over alle profielen en alle meetdagen, te zoet (28,4 psu) en de berekening met de kleinere laagdikte te zout (29,1 psu). Opgemerkt wordt dat de periode vanaf 3 mei 2012 voor zowel de toetsingsberekening als de

berekening met laagdikte van 0,5 m, een relatief constant verloop van het verschil in dieptegemiddelde saliniteit en temperatuur laat zien ten opzichte van de periode daarvoor – hetgeen verklaarbaar is vanwege de reductie in het aantal meetpunten. Verder valt op dat in periode januari-juni 2011 de gevoeligheidsberekening met een laagdikte van 0,5 m gemiddeld over alle profielen regelmatig meer afwijkt van de metingen dan de toetsingsberekening”

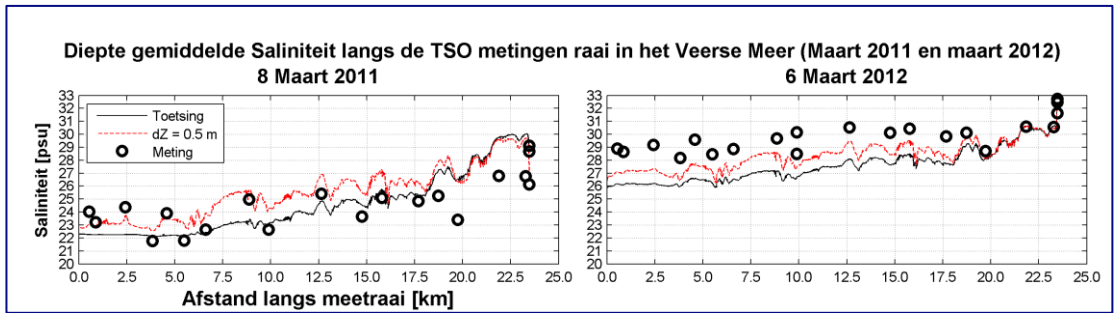
Zowel de toetsingsberekening als de berekening met een kleinere laagdikte geven, gemiddeld over alle profielen en alle TSO meetdagen, een iets lagere watertemperatuur dan volgt uit de metingen. Daarnaast geldt, vergelijkbaar met de dieptegemiddelde saliniteit, dat de laagdikte een gevolg heeft voor de berekende dieptegemiddelde temperatuur. De gevoeligheidsberekening met de kleinere laagdikte geeft wat lagere dieptegemiddelde watertemperaturen dan de oorspronkelijke toetsingsberekening. Het verschil tussen beide berekeningen, gemiddeld over alle profielen en alle TSO meetdagen, bedraagt 0,1 °C.

Tabel 6-1: Dieptegemiddelde saliniteit voor alle TSO meetdagen

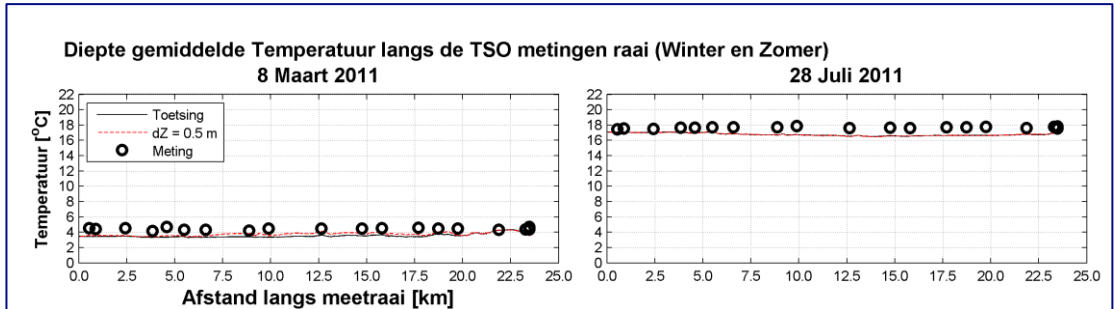
Datum	Variantie Meting	Variantie Toetsing	Variantie dZ = 0.5 m	Vershil Toetsing	Vershil dZ = 0.5 m
11 Januari 2011	24.077	24.567	25.112	-0.491	-1.035
08 Februari 2011	23.834	23.549	23.996	0.285	-0.162
08 Maart 2011	24.159	24.402	25.399	-0.244	-1.240
05 April 2011	26.239	26.211	27.366	0.028	-1.127
20 April 2011	26.819	27.195	28.420	-0.376	-1.601
03 Mei 2011	27.923	27.268	28.565	0.655	-0.642
19 Mei 2011	28.430	28.696	29.746	-0.266	-1.316
31 Mei 2011	29.105	29.308	30.104	-0.202	-0.999
17 Juni 2011	29.562	29.660	30.343	-0.097	-0.781
28 Juni 2011	30.221	29.797	30.362	0.425	-0.140
12 Juli 2011	30.402	30.337	30.869	0.065	-0.467
28 Juli 2011	29.905	29.800	30.225	0.106	-0.320
09 Augustus 2011	30.082	29.710	30.125	0.372	-0.043
25 Augustus 2011	30.473	30.153	30.552	0.320	-0.079
06 September 2011	29.933	29.781	30.158	0.152	-0.225
20 September 2011	30.144	29.847	30.165	0.297	-0.021
17 Oktober 2011	29.995	30.043	30.325	-0.047	-0.330
15 November 2011	30.497	29.895	30.316	0.602	0.181
21 December 2011	27.091	26.594	27.109	0.498	-0.017
10 Januari 2012	25.957	25.686	26.074	0.271	-0.117
16 Februari 2012	27.427	26.764	27.332	0.663	0.096
06 Maart 2012	29.513	27.418	28.248	2.096	1.265
04 April 2012	29.364	28.909	29.787	0.454	-0.424
19 April 2012	29.372	28.979	29.832	0.393	-0.459
Vanaf hier maar 1 profielmeting					
03 Mei 2012	29.440	29.021	29.867	0.419	-0.427
30 Mei 2012	29.395	29.014	29.861	0.381	-0.466
12 Juni 2012	29.348	28.940	29.772	0.408	-0.424
26 Juni 2012	29.355	28.984	29.803	0.371	-0.448
12 Juli 2012	29.661	28.964	29.786	0.697	-0.125
25 Juli 2012	29.380	28.964	29.804	0.415	-0.425
09 Augustus 2012	29.406	29.018	29.857	0.389	-0.450
23 Augustus 2012	29.446	29.052	29.896	0.393	-0.451
05 September 2012	29.445	29.045	29.868	0.400	-0.423
20 September 2012	29.438	29.062	29.882	0.377	-0.444
16 Oktober 2012	29.400	28.924	29.738	0.476	-0.338
14 November 2012	29.364	28.854	29.711	0.510	-0.347
13 December 2012	29.312	28.758	29.674	0.554	-0.362
Gemiddeld	28.727	28.410	29.136	0.317	-0.409

Tabel 6-2: Dieptegemiddelde temperatuur voor alle TSO meetdagen

Datum	Variantie Meting	Variantie Toetsing	Variantie dZ = 0.5 m	Vershil Toetsing	Vershil dZ = 0.5 m
11 Januari 2011	2.863	2.653	2.775	0.210	0.088
08 Februari 2011	5.344	4.300	4.335	1.044	1.009
08 Maart 2011	4.446	3.556	3.760	0.889	0.686
05 April 2011	9.597	9.496	9.063	0.102	0.534
20 April 2011	11.855	12.078	11.400	-0.223	0.454
03 Mei 2011	13.809	14.320	13.571	-0.512	0.237
19 Mei 2011	15.526	15.018	14.716	0.507	0.810
31 Mei 2011	15.974	15.676	15.549	0.297	0.424
17 Juni 2011	17.809	16.992	16.883	0.817	0.926
28 Juni 2011	17.629	17.699	17.590	-0.070	0.039
12 Juli 2011	19.619	18.930	18.859	0.689	0.760
28 Juli 2011	17.669	16.819	16.808	0.850	0.861
09 Augustus 2011	18.762	18.092	18.007	0.670	0.755
25 Augustus 2011	19.265	18.849	18.808	0.417	0.458
06 September 2011	18.410	17.595	17.591	0.816	0.819
20 September 2011	16.064	15.779	15.814	0.284	0.250
17 Oktober 2011	14.070	12.776	12.804	1.294	1.266
15 November 2011	10.085	9.525	9.676	0.560	0.409
21 December 2011	4.952	4.148	4.248	0.804	0.704
10 Januari 2012	6.217	5.620	5.636	0.597	0.581
16 Februari 2012	0.535	1.395	1.511	-0.860	-0.977
06 Maart 2012	5.047	4.331	4.417	0.716	0.630
04 April 2012	9.013	8.584	8.355	0.429	0.658
19 April 2012	9.118	8.554	8.391	0.564	0.727
Vanaf hier maar 1 profielmeting					
03 Mei 2012	9.210	8.724	8.535	0.486	0.675
30 Mei 2012	9.457	9.044	8.766	0.413	0.690
12 Juni 2012	9.492	8.971	8.792	0.522	0.700
26 Juni 2012	9.581	9.054	8.879	0.527	0.702
12 Juli 2012	9.684	9.153	8.982	0.531	0.702
25 Juli 2012	9.671	9.145	8.966	0.526	0.705
09 Augustus 2012	9.748	9.192	9.036	0.556	0.713
23 Augustus 2012	9.823	9.328	9.145	0.495	0.677
05 September 2012	9.694	9.138	8.966	0.556	0.728
20 September 2012	9.568	9.024	8.867	0.544	0.702
16 Oktober 2012	9.346	8.765	8.605	0.580	0.741
14 November 2012	9.123	8.532	8.386	0.591	0.738
13 December 2012	8.960	8.270	8.190	0.691	0.770
Gemiddeld	11.001	10.517	10.397	0.484	0.604



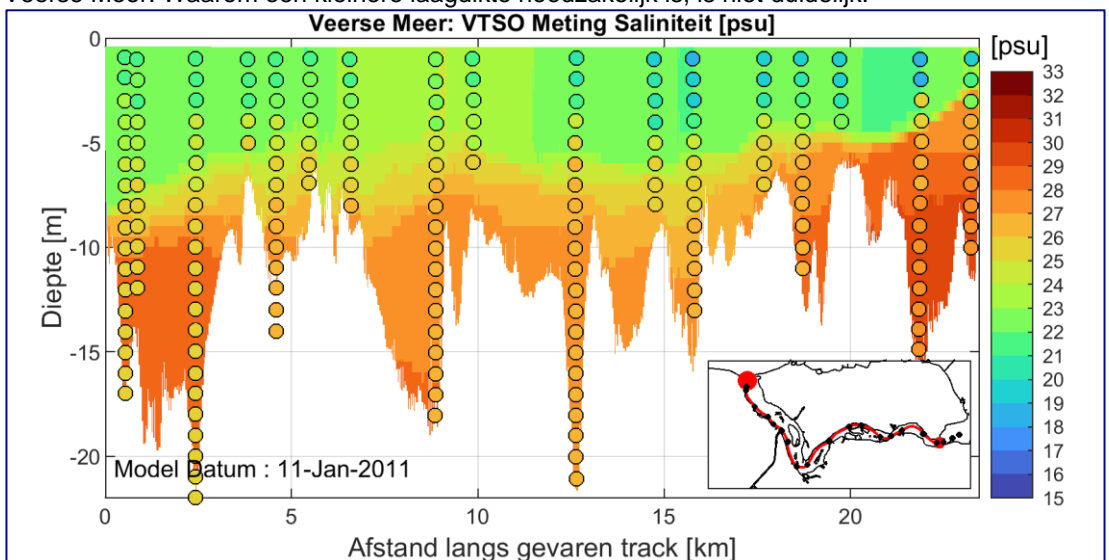
Figuur 6-1: Voorbeeld reproductie dieptegemiddelde saliniteit langs de TSO meetraai ($dZ = 0,5\text{ m}$ en Toetsing $dZ = 1,25\text{ m}$)



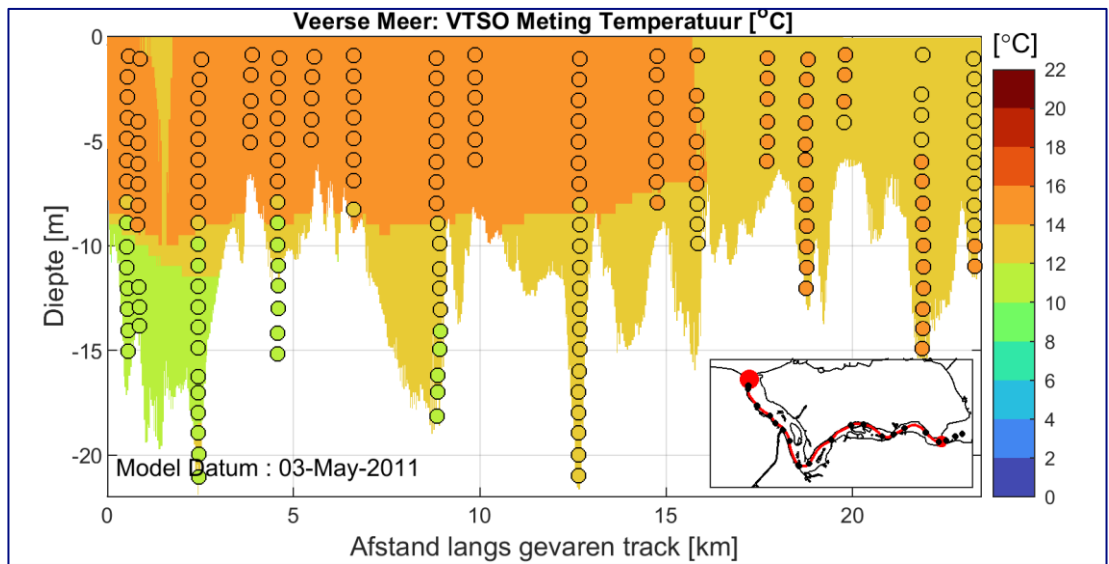
Figuur 6-2: Voorbeeld reproductie dieptegemiddelde temperatuur langs de TSO meetraai ($dZ = 0,5\text{ m}$ en Toetsing $dZ = 1,25\text{ m}$)

6.1.3.2 Profielen saliniteit en temperatuur

In Appendix J worden alle gemeten saliniteit- en temperatuurprofielen vergeleken met het berekeningsresultaat van de gevoeligheidsberekening. Voor een tweetal karakteristieke dagen, dagen waarop de oorspronkelijke toetsingsberekening te weinig stratificatie liet zien, worden in Figuur 6-3 en Figuur 6-4 de gemeten saliniteit- en temperatuurprofielen vergeleken met de resultaten van de gevoeligheidsberekening. Uit deze figuren blijkt overduidelijk dat een kleinere laagdikte een veel betere reproductie van zowel de gemeten saliniteit als de gemeten temperatuur in de verticaal en horizontaal tot gevolg heeft. Dit betekent dus dat de noodzakelijke verticale laagdikte systeem/gebiedsafhankelijk is. Ondanks dat het Grevelingen vergelijkbaar is met het Veerse Meer waar het stratificatie betreft, is toch een kleinere laagdikte noodzakelijk voor het Veerse Meer. Waarom een kleinere laagdikte noodzakelijk is, is niet duidelijk.



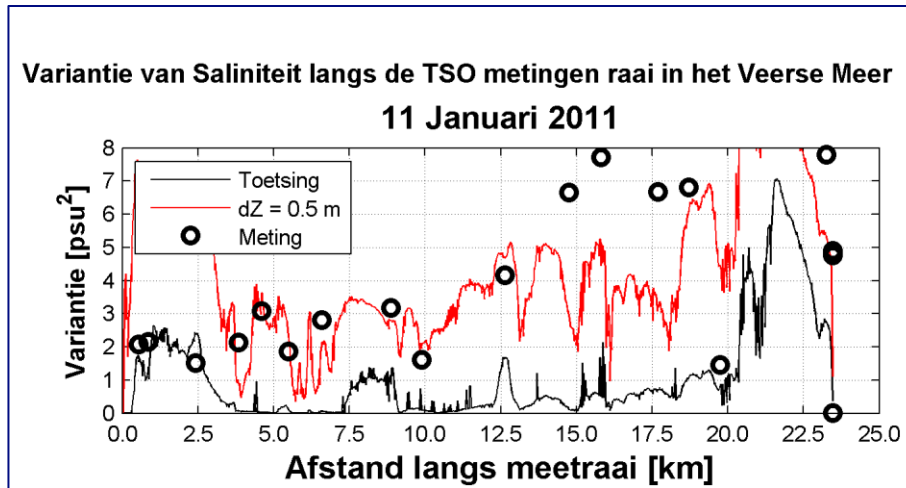
Figuur 6-3: Voorbeeld reproductie gemeten saliniteitsprofielen (11 januari 2011; $dZ = 0,5\text{ m}$) (ter vergelijking met Figuur 5-10)



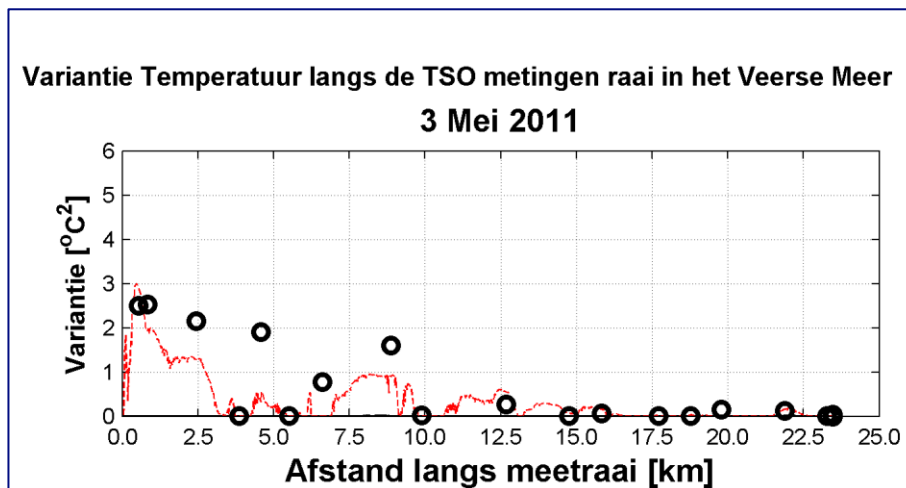
Figuur 6-4: Voorbeeld reproductie gemeten temperatuurprofielen (3 mei 2011; $dZ = 0,5\text{ m}$) (ter vergelijking met Figuur 5-11)

6.1.3.3 Kwantificering stratificatie

In Appendix G wordt de variantie van zowel saliniteit als temperatuur voor alle in 2011 en 2012 gemeten profielen vergeleken met berekende waarden. Als voorbeeld tonen Figuur 6-5 en Figuur 6-6 de variantie van zowel saliniteit en temperatuur voor twee karakteristieke dagen, i.e. tijdstippen waarop in de oorspronkelijke toetsingsberekening ($dz=1,25$ m) de stratificatie door het model werd onderschat. Uit de figuren blijkt overduidelijk, meer kwantitatief dan dat uit de profielen blijkt, dat een kleinere laagdikte meer stratificatie tot gevolg heeft¹⁰.



Figuur 6-5: Voorbeeld Variantie van Saliniteit (11 Januari 2011; $dZ = 0,5$ m)



Figuur 6-6: Voorbeeld Variantie van temperatuur (3 Mei 2011; $dZ = 0,5$ m)

De over het gehele meer gemiddelde saliniteit- en temperatuurvariantie wordt in tabelvorm gegeven in Tabel 6-3 en Tabel 6-4. In deze tabel wordt de saliniteits- en temperatuurvariantie over alle op 1 meetdag gemeten profielen gemiddeld. Dit wordt gezien als maat voor de in het Veerse Meer op die meetdag optredende saliniteits- dan wel temperatuurstratificatie.

Alleen tijdstippen waarop sprake is van stratificatie in de metingen en/of in de modelberekening, arbitrair gedefinieerd als een variantie groter dan $0,5 \text{ psu}^2$ of $0,5 \text{ °C}^2$, worden in deze tabellen gepresenteerd. De tabellen laten zien dat met een laagdikte gelijk aan $1,25$ m de saliniteitstratificatie, gemiddeld over alle meetdagen, wordt onderschat. Wel geldt dat na 3 mei 2012

¹⁰ De reproductie van de stratificatie 11 Januari 2011 laat zien dat de gekozen initiële conditie een goede weergave is van de daadwerkelijk in het meer aanwezige stratificatie op het startmoment van de berekening (1 Januari 2011). De benodigde inspeeltijd is dan ook kort.

de stratificatie wordt overschat. Deze laatste constatering is echter gebaseerd op slechts 1 profielmeting.

Met een laagdikte van 1,25 m wordt de temperatuurstratificatie, alleen optredend in het voorjaar, fors onderschat.

Met een laagdikte van 0,5 m wordt de saliniteitstratificatie op bijna alle meetdagen overschat, d.w.z. de berekende stratificatie is groter dan de gemeten stratificatie, maar de temperatuurstratificatie wordt iets onderschat.

Tabel 6-3: Variantie van saliniteit (gemiddeld over het gehele meer)

Datum	Variantie Meting	Variantie Toetsing	Variantie dZ = 0.5m	Vershil Toetsing	Vershil dZ = 0.5m
11 Januari 2011	4.120	1.295	4.340	2.825	-0.220
08 Februari 2011	1.517	0.430	1.041	1.087	0.476
08 Maart 2011	2.375	1.118	3.555	1.257	-1.180
05 April 2011	1.290	1.055	2.294	0.235	-1.004
20 April 2011	0.843	1.073	1.810	-0.230	-0.967
03 Mei 2011	0.350	0.116	0.741	0.234	-0.391
19 Mei 2011	0.457	1.042	1.350	-0.585	-0.893
21 December 2011	3.408	0.676	1.614	2.732	1.794
10 Januari 2012	0.910	0.630	0.576	0.280	0.334
16 Februari 2012	1.030	0.366	1.095	0.663	-0.066
06 Maart 2012	1.126	0.928	2.293	0.197	-1.167
04 April 2012	0.605	0.905	1.365	-0.300	-0.760
19 April 2012	0.617	0.909	1.385	-0.292	-0.768
Vanaf hier maar 1 profielmeting					
03 Mei 2012	0.615	0.932	1.401	-0.317	-0.787
30 Mei 2012	0.611	0.924	1.403	-0.314	-0.793
12 Juni 2012	0.611	0.905	1.381	-0.294	-0.770
26 Juni 2012	0.609	0.917	1.376	-0.309	-0.767
12 Juli 2012	0.620	0.905	1.375	-0.284	-0.754
25 Juli 2012	0.627	0.923	1.397	-0.296	-0.771
09 Augustus 2012	0.614	0.927	1.418	-0.313	-0.803
23 Augustus 2012	0.640	0.963	1.486	-0.323	-0.846
05 September 2012	0.611	0.928	1.382	-0.317	-0.771
20 September 2012	0.602	0.914	1.373	-0.312	-0.771
16 Oktober 2012	0.643	0.920	1.372	-0.277	-0.729
14 November 2012	0.642	0.911	1.415	-0.268	-0.772
13 December 2012	0.827	0.944	1.601	-0.117	-0.774
Gemiddeld	1.035	0.868	1.609	0.168	-0.574

Tabel 6-4: Variantie van temperatuur (gemiddeld over het gehele meer)

Datum	Variantie Meting	Variantie Toetsing	Variantie dZ = 0.5m	Vershil Toetsing	Vershil dZ = 0.5m
20 April 2011	1.879	0.353	1.642	1.526	0.237
03 Mei 2011	0.713	0.004	0.508	0.709	0.205
28 Juni 2011	0.344	0.439	0.518	-0.094	-0.174
06 Maart 2012	0.673	0.015	0.025	0.658	0.648
30 Mei 2012	0.596	0.121	0.388	0.474	0.207
Gemiddeld	0.841	0.186	0.616	0.655	0.225

6.2 Benodigde rekestijd

Alle berekeningen zijn uitgevoerd op het H6 (CentOS 7) rekencluster van Deltares. De berekeningen zijn uitgevoerd op 20 cores (rekenkernen). De doorlooptijd van de toetsingsberekening (dZ = 1,25m) van twee jaar (2011-2012) bedraagt 2 dagen. Voor de gevoeligheidsberekening (dZ = 0,5m) van twee jaar (2011-2012) geldt dat de doorlooptijd ongeveer 5 dagen bedraagt.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Er is een 3 dimensionaal waterbewegingsmodel voor het Veerse Meer opgezet. Dit model dient als basis voor een nog op te zetten waterkwaliteitsmodel van dit meer.

Tijdens de opzet van het model is, zoveel als mogelijk, consistentie met het 3D waterbewegingsmodel van het Grevelingen nagestreefd. Voor de derde dimensie, de verticaal, is dan ook in eerste instantie de laagverdeling zoals gebruikt in het Grevelingenmodel geadopteerd (Groenenboom, Markus and Laan 2020). Dit betekent een dikte van de rekenlagen in het model gelijk aan 1,25 m.

Het model is getoetst door gemeten saliniteit- en temperatuurprofielen, de TSO-metingen, te vergelijken met berekeningsresultaten. Dit is gedaan voor de jaren 2011 – 2012. Uit deze vergelijking volgt dat:

- De horizontale saliniteitgradiënt in het Veerse Meer in het algemeen goed wordt weergegeven. Dit impliceert dat horizontale transportpatronen in het Veerse Meer correct worden gereproduceerd door het 3D model. Verder geeft dit aan dat een realistische saliniteitswaarde voor de lozingen op het meer is gekozen.
- De seizoensvariatie in temperatuur goed wordt weergegeven. Ruimtelijk geven zowel metingen als berekening aan dat er geen gradiënten zijn in het meer.
- Zowel voor saliniteit als temperatuur geldt dat er gedurende het jaar momenten zijn dat het meer gestratificeerd is. Deze stratificatie wordt onderschat in de modelberekening.

In het licht van de beoogde toepassing van het 3D-model als basis voor waterkwaliteitsberekeningen, is het niet goed weergeven van incidenteel optredende stratificatie ongewenst. Stratificatie onderdrukt de verticale uitwisseling van saliniteit, temperatuur maar ook andere in het water opgeloste stoffen. Aangezien het voor waterkwaliteitsberekeningen noodzakelijk is stratificatie goed weer te geven, is aanvullend een gevoeligheidsberekening met een kleinere laagdikte, 0,5 m in plaats van 1,25 m, uitgevoerd. Daarna zijn voor 2011-2012 de resultaten opnieuw met de metingen vergeleken. Hieruit wordt geconcludeerd dat de kleinere laagdikte meer stratificatie in het model tot gevolg heeft. Met een laagdikte van 0,5 m wordt de saliniteitstratificatie op bijna alle meetdagen overschat, d.w.z. de berekende stratificatie is groter dan de gemeten stratificatie, maar de temperatuurstratificatie wordt iets onderschat.

7.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de ontwikkeling van het nieuwe 3D D-HYDRO model van het Veerse Meer en de toetsing met metingen, volgen hieronder een aantal aanbevelingen:

- Aanbevolen wordt het waterkwaliteitsmodel van het Veerse Meer te baseren op rekenlagen met een dikte van 0,5 m. Daarmee wordt de consistentie met het 3D model van het Grevelingenmeer losgelaten.
- Aanbevolen wordt ook om op termijn de verticale schematisatie te wijzigen van overal vaste lagen naar een combinatie van vaste lagen met zogenaamde sigma lagen nabij het oppervlak. De ervaring in andere gebieden, bijvoorbeeld de RijnMaasMonding (Kaaij and Chavarrias 2020), is dat dit stabiliteit van berekeningen ten goede komt.
- Zoals in elk bijna gesloten watersysteem wordt de waterbeweging bijna volledig bepaald door de lozingen op en de onttrekkingen uit het watersysteem. Modelleren van dergelijke watersystemen vraagt dus veel gegevens die verwerkt moeten worden tot modelinvoer. Voor

het 3D D-HYDRO model van het Veerse Meer en ook voor het nog te ontwikkelen waterkwaliteitsmodel geldt dat informatie van veel verschillende instanties nodig is. Het controleren en het bewerken van deze gegevens is arbeidsintensief. Het verdient de aanbeveling de datatoelevering te stroomlijnen zodat alle noodzakelijke gegevens in dezelfde vorm worden toegeleverd. Dit maakt het simuleren van een andere periode dan 2011/2012 aanmerkelijk eenvoudiger.

- Naar aanleiding van de toetsing met het waterkwaliteitsmodel, welke in de loop van 2021 wordt uitgevoerd, dient nog nader bepaald te worden of er eventueel nadere aanpassingen aan het hier beschreven hydrodynamica model nodig zijn.

8 Referenties/Literatuur

- Doornik, W. 2019. *Actualisatie Baseline Zuid Westelijke Delta 2019*. Lieveense.
- Groenenboom, J., A. Markus, en S.C. Laan. 2020. *Ontwikkeling zesde-generatie modelschematisatie D-HYDRO Grevelingen; Modelbouw, kalibratie en validatie*. Delft: Deltares.
- Heijden, L. van der. 2021. *Water- en stoffenbalans Veerse Meer 2011-2020*. (in preparation), Delft: Deltares.
- Kaaij, Th. van der, en V. Chavarrias. 2020. *D-HYDRO RijnMaasMonding 3D; Zoutindringing in de Nieuwe Waterweg; Werkzaamheden 2020*. Delft: Deltares rapport 11205258-016-ZWS-0003. Versie 2.0. 21 December 2020.
- Kernkamp, H.W.J., G. Boot, en A.J. Nolte. 2002. *Onderzoek naar de toekomstige waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer; Studie naar het effect van het Doorlaatmiddel en aanvullende maatregelen; Deel 1: Opzet en kalibratie hydrodynamisch en waterkwaliteitsmodel*. delft: w|delft hydraulics.
- Li, X., W. Geyer, J. Zhu, en H. Wu. 2018. *The Transformation of Salinity Variance: A New Approach to Quantifying the Influence of Straining and Mixing on Estuarine Stratification*. JOURNAL OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY, Volume 48.
- Nolte, A., L. Arentz, en M. Haasnoot. 2006. *Studie naar het effect van verschillende peilalternatieven op de waterkwaliteit en ecologie van het Veerse Meer*. Delft: w|delf hydraulics.
- Prins, T.C., en S.A. Vergouwen. 2015. *Bekkenrapport Veerse Meer 2000-2014, ten behoeve van evaluatie peilbesluit*. Delft: Deltares.
- Projectgroep MER Peilbesluit Veerse Meer. 2007. *Rondom het Veerse Meer; Een gebied met toekomst; Effecten van een hoger Winterpeil; MER peilbesluit Veerse Meer*. Rijkswaterstaat.
- Spruyt, A., A.W. Minns, M. Yossef, D. Kerkhoven, F. Zijl, en M. Genseberger. 2016. *Advies voor algemeen functioneel ontwerp voor de 6e-generatie modellen van RWS*. Delft: Deltares.
- Tiessen, M., R. Plieger, J. Groenenboom, G. Winter, en J. Sumihar. 2019. *Modelontwikkeling D-HYDRO Oosterschelde en Veerse Meer; Twee zesde generatie Rijkswaterstaat modellen*. Delft: Deltares.

A Input voor generieke specificaties D-HYDRO meren-modelschematisaties

De inhoud van Bijlage A is een-op-een afkomstig uit de Deltares-rapportage van het D-HYDRO-model van de Grevelingen met referentie 11205259-006-ZKS-0007, 23 december 2020, bijlage B.1 van Julien Groenenboom. In deze bijlage wordt uitlegd hoe de sluitfout bepaald wordt voor D-HYDRO-modelschematisaties voor Meren.

A.1 Inleiding

Binnen KPP2020 Hydraulica Schematisaties wordt aan verschillende D-HYDRO-modelschematisaties gewerkt van gebieden die gekarakteriseerd kunnen worden als een meer. Het gaat hierbij specifiek om de volgende gebieden:

- IJsselmeer, IJssel-Vechtdelta en Overijsselse Vecht
- Markermeer en Veluwerandmeren.
- Grevelingenmeer
- Veerse Meer
- Volkerak-Zoommeer

Bij het ontwikkelen van D-HYDRO-modelschematisaties voor en in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) dient zoveel mogelijk aangesloten te worden op de generieke en technische specificaties voor het opzetten van de zesde-generatie modellen voor Rijkswaterstaat (Minns et al., 2019). Aangezien er op dit moment nog geen richtlijnen zijn voor het opzetten van een “meren”-modelschematisatie¹¹, wordt hieronder een voorstel gedaan voor de toevoeging van twee onderwerpen aan de generieke specificaties die van belang zijn bij het opzetten van een dergelijke modelschematisatie. Het betreft de wijze van modelleren van neerslag en verdamping, het toepassen van een waterbalans en het opleggen van de sluitfout.

Onderstaande paragrafen kunnen na goedkeuring door deelprojectleiders van “meren”-modelschematisaties en Rijkswaterstaat worden opgenomen in de nieuwe versie van de “generieke en technische specificaties”-rapportage. Net als bij andere keuzes in de modelopzet geldt dat onderstaande informatie als richtlijn gezien kan worden waarmee de vereiste consistentie tussen verschillende D-HYDRO-modelschematisaties voor RWS vergroot wordt. Indien nodig, kan er met onderbouwing van deze richtlijnen afgeweken worden. Eveneens kunnen aanvullende inzichten op een later moment aan deze richtlijnen worden toegevoegd.

A.2 Wijze van modelleren van neerslag en verdamping

Gegevens van neerslag en verdamping zijn vaak beschikbaar in een eenheid als mm/dag. Bij de modelopzet van een meren-modelschematisatie wordt gebruik gemaakt van een waterbalans waarin dit is omgerekend naar een debiet (m^3/s). Indien geen vooraf opgestelde waterbalans beschikbaar is, kan de regenval en verdamping worden omgerekend naar een debiet door gebruik te maken van het totale wateroppervlak van het meer bij een representatief meerpeil.

Regenval en verdamping worden gemodelleerd in de D-HYDRO Suite door middel van het toepassen van een *lateral discharge*. Een *lateral discharge* zorgt voor het toevoegen (of onttrekken) van debiet aan het model. De *lateral discharge* kan worden opgegeven op een specifieke puntlocatie of binnen een polygoon. In de laatste optie wordt het debiet naar rato van celgrootte verdeeld over de cellen binnen het polygoon. Naast een debietreeks is dan dus een polygoon nodig om het gebied

¹¹ In dit geval een gesloten watersysteem. Deze aanpak kan daarom wellicht ook van toepassing zijn op kanalen.

aan te geven waarover de volumeverandering plaats zal vinden. Er worden geen (zout)concentraties en temperatuur van de regenval voorgeschreven, dat is op dit moment ook technisch (nog) niet mogelijk.

Om volledige controle te hebben over de inkomende en uitgaande fluxen wordt geadviseerd om de polygoon op een dieptelijn van het model te specificeren waarvan bekend is dat deze grens niet onderschreden zal worden¹² tijdens de beoogde berekening of het beoogde bereik waarbinnen het model gebruikt gaat worden. Wanneer de polygoon ook droogvallende gebieden beslaat, wordt het onttrekkingsdebiet gelimiteerd (met als gevolg een niet-sluitende waterbalans).

Bij een negatief debiet zal onttrekking van volume plaatsvinden, hierdoor wordt het celvolume kleiner en neemt de concentratie van constituenten in het resterende celvolume toe. Er worden dus, in tegenstelling tot het gebruik van put-termen, geen stoffen (zoals zout) uit het model onttrokken.

A.3 Waterbalans en sluitfout

Bij het opzetten van een D-HYDRO-model van een gesloten watersysteem kan er mogelijk gebruik worden gemaakt van een reeds beschikbare waterbalans. In het KPP BOO Waterkwaliteitsmodelschematisaties wordt gewerkt aan een generieke methode voor het opstellen van water- en stoffenbalansen¹³. Deze bouwsteen beoogt de informatie voor hindcast beschikbaar te hebben voor alle meren-modelschematisaties. Voor operationele toepassing van een D-HYDRO-model is deze methode wellicht niet geschikt of in ieder geval nog niet getest, daarom richt deze paragraaf zich enkel op de situatie waarin de waterbalans vooraf bekend is (bijv. in een hindcast of scenario-situatie).

Indien er voor een gebied nog geen waterbalans beschikbaar is, kan er op basis van metingen van bijvoorbeeld (indirect bepaalde) debieten door kunstwerken en gegevens over regenval/verdamping een waterbalans worden opgesteld. In combinatie met hypsometrische gegevens kan een theoretisch meerpeil berekend worden. Dit theoretische meerpeil wijkt hoogstwaarschijnlijk af van het geobserveerde (gemiddelde) meerpeil van het watersysteem.

Omgekeerd kan het geobserveerde (ruimtelijk gemiddelde) over tijd variërende meerpeil worden omgerekend in volumeveranderingen over tijd. Het verschil tussen het netto debiet uit de waterbalans en het verwachte netto debiet o.b.v. het geobserveerde (gemiddelde) meerpeil, wordt de sluitfout genoemd. Deze bepaling van de sluitfout kan voorafgaand van een modelsimulatie berekend worden en is dus niet gebaseerd op modeluitvoer.

Ondanks dat de waterstand- en debietgegevens vaak op een relatief hoogfrequent tijdsinterval beschikbaar zijn (bijv. 10 min.), wordt niet op deze tijdstap gecorrigeerd maar wordt de sluitfout/correctie over een langere periode verwerkt. Door middel van het toepassen van een lopend gemiddelde (bijv. van 7 dagen) ontstaat een gladdere debietreeks die als sluitfout kan worden toegepast.

De sluitterm wordt los van de overige forceringen gespecificeerd en wordt dus niet verdisconteerd in andere debieten. Wanneer de bepaling en verwerking van de sluitfout niet kan worden overgenomen uit het resultaat van de generieke methode voor het opstellen van water- en stoffenbalansen (KPP BOO Waterkwaliteitsmodelschematisaties), wordt geadviseerd om de sluitfout op te leggen op de plek waar de onzekerheid in het netto debiet (in absolute zin) het grootst is. Afhankelijk van deze locatie kan dit worden opgelegd als puntbron of als *lateral discharge*.

¹² Dit gebied zou, na codewijzigingen, mogelijk ook door het rekenhart bepaald kunnen worden. Voorlopig wordt vastgehouden aan het handmatig opstellen van een polygoon om duidelijk te hebben welk gebied precies gebruikt wordt.

¹³ Deze methode is al toegepast en opgeleverd voor het IJsselmeer, voor het Volkerak-Zoommeer is dit in een vergevorderd stadium."

B Memo: Debietmetingen Katse Heule 2005 en 2020; Bijdrage Piet Lieveense Rijkswaterstaat Zee en Delta

B.1 Inleiding

In de Zandkreekdam is ter verbetering van het ecologisch systeem van het Veerse Meer het doorlaatmiddel Katse Heule aangelegd, welke in 2004 in gebruik is genomen.

In 2005 is aan de Veerse Meerzijde een debietmeting uitgevoerd tijdens spuien.

Hieruit is een afvoercoëfficiënt afgeleid waarmee de debieten binnen het Scada van de sluis worden berekend. De debieten worden vervolgens opgeslagen in de WTZ-database van het hydro-meteo-centrum (HMC).

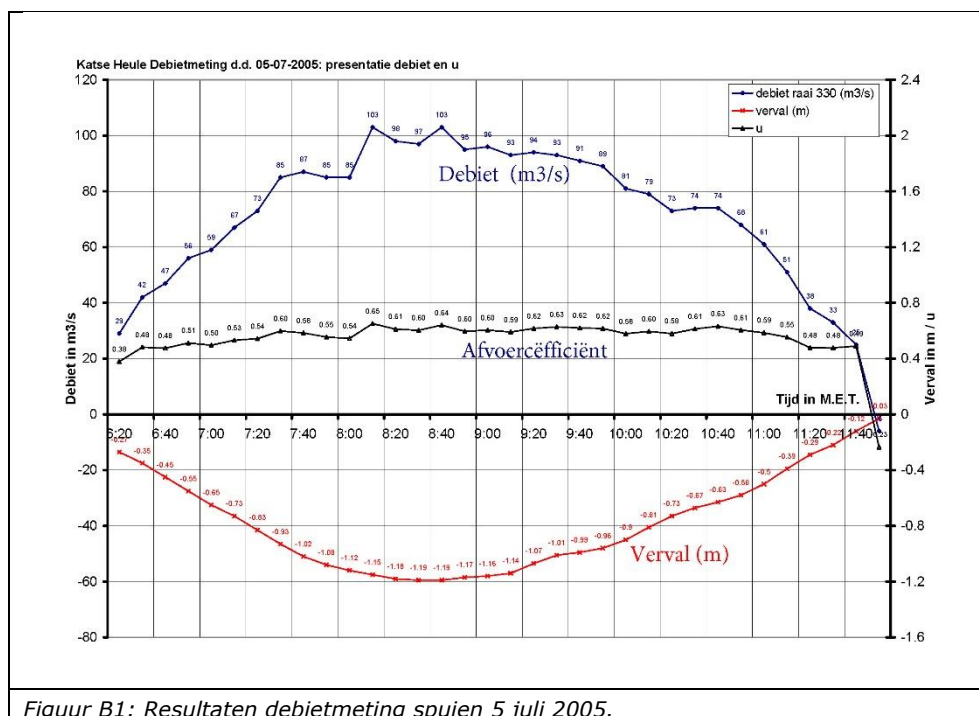
Bij het opstellen van waterbalansen voor het Veerse Meer is een relatief grote sluitfout geconstateerd. Aangezien de Katse Heule verreweg de grootste post op de waterbalans is, gaf dit aanleiding om opnieuw debietmetingen uit te voeren, zowel bij spuien als bij inlaten. De metingen zijn recent uitgevoerd en de resultaten worden in dit memo gepresenteerd.

Verder zijn de debieten ook van belang voor (lopende) onderzoeken/studies zoals bijvoorbeeld de knikpuntenanalyse van het Veerse Meer.

B.2 Debietmeting 2005 tijdens spuien

Op 5 juli 2005 is een varende stroommeting uitgevoerd met behulp van een acoustic doppler current profiler (ADCP) [lit 1]. Er zijn 2 raaien gemeten zo dicht mogelijk langs de opening van de Katse Heule. Tijdens de meting waren beide kokers volledig geopend. Er is gedurende een volledige laagwater periode van het getij gemeten voor het bepalen van het ebdebiet. Met behulp van het gemeten debiet is vervolgens de afvoercoëfficiënt van de Katse Heule berekend. Deze is vastgesteld op 0,6 en aangehouden voor zowel spuien als inlaten.

Het resultaat van deze meting is opgenomen in figuur 1.



Figuur B1: Resultaten debietmeting spuien 5 juli 2005.

B.3 Debietmeting 20 oktober 2020 tijdens spuien.

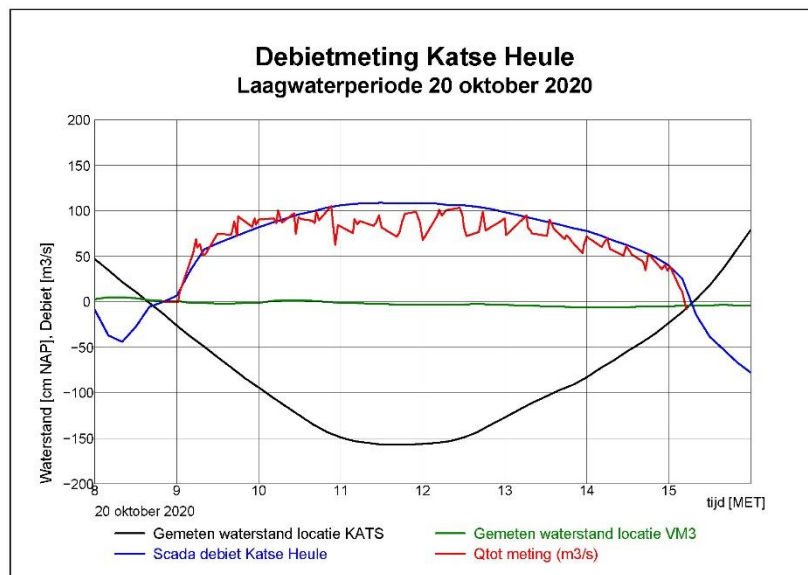
Op 20 oktober 2020 is een debietmeting uitgevoerd met behulp de “River Ray”. Dit is een klein meetvaartuig uitgerust met een (ADCP), die via een lijn heen en weer getrokken wordt (figuur 2). Er is gemeten tussen de vleugelwanden van de Katse Heule aan de Veerse Meer zijde. Tijdens de meting waren beide kokers volledig geopend. Er is gedurende een volledige laagwater periode van het getij gemeten voor het bepalen van het ebdebiet.



Figuur B2: Meetvaartuig River Ray.

Tussen de vleugelwanden is er sprake van turbulentie. Deze turbulentie was dermate groot dat dit verstoring heeft gewerkt op de meting, met als gevolg dat de meetwaarden niet goed bruikbaar zijn. De resultaten zijn gepresenteerd in figuur 3. Het gepresenteerde Scada-debiet is gebaseerd op een afvoercoëfficiënt van 0,6. Opmerkelijk is dat aan het begin van de meting het gemeten debiet en het Scada-debiet ongeveer even groot zijn. Daarna vertoont het gemeten debiet een grilliger karakter en is ook lager dan het Scada-debiet.

Een voorzichtige conclusie kan zijn dat het Scada-debiet een goede weergave is van het spuidebiet en dat daarmee de eerder afgeleide afvoercoëfficiënt voor spuien reëel is.

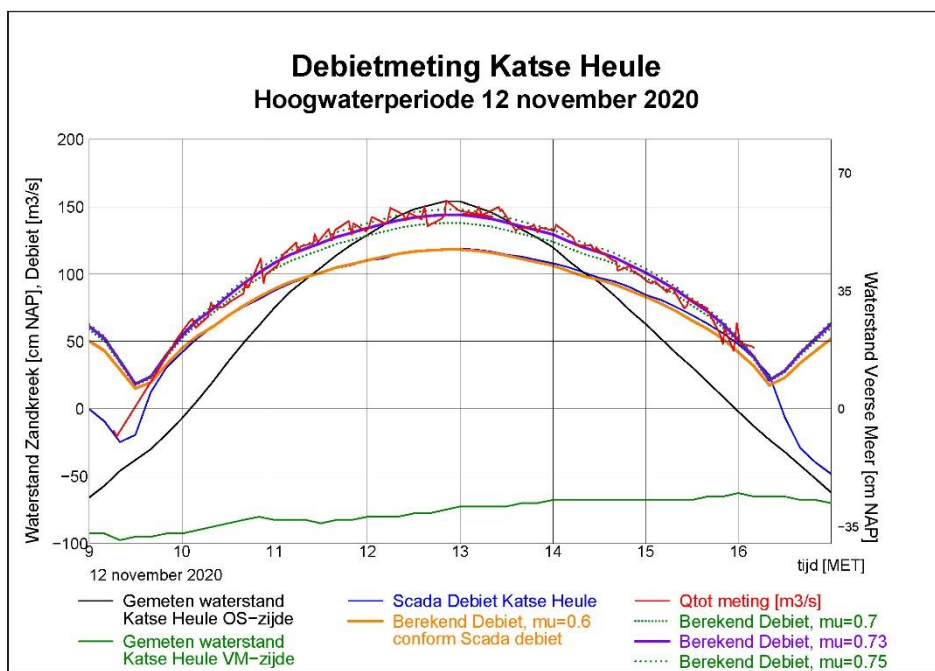


Figuur B3: Resultaten debietmeting spuien 20 oktober 2020.

B.4 Debietmeting 11 november 2020 tijdens inlaten.

Op 11 november 2020 is een debietmeting uitgevoerd eveneens met behulp de "River Ray". Er is gemeten tussen de vleugelwanden van de Katse Heule aan de Zandkreek zijde. Tijdens de meting waren beide kokers volledig geopend. Er is gedurende een volledige hoogwater periode van het getij gemeten voor het bepalen van het vloeddebiet.

Tussen de vleugelwanden is er tijdens het spuien sprake van enige turbulentie. Deze turbulentie was beduidend minder dan tijdens de ebmeting. De meet-resultaten, gepresenteerd in figuur 4, blijken goed bruikbaar te zijn.



Figuur B4: Resultaten debietmeting inlaten 12 november 2020.

Het gepresenteerde Scada-debiet is gebaseerd op een afvoercoëfficiënt van 0,6.

Op basis van de gemeten waterstanden van de Katse Heule is het debiet berekend voor verschillende afvoercoëfficiënten:

- 0,6, dit is conform de Scada debieten van het object.
- 0,7 en 0,75, dit levert grofweg de bandbreedte waarbinnen het debiet zich bevindt. Alleen aan het begin van de meting liggen de gemeten debieten hier iets onder.

Op basis van bovenstaand resultaat (grafiek) blijkt dat voor inlaten de afvoercoëfficiënt circa 0,73 bedraagt.

In lit [2] wordt aangegeven dat de afvoercoëfficiënt voor inlaten mogelijk iets hoger kan zijn dan voor uitlaten. Dit komt omdat inlaten bij grotere waterdiepten plaatsvindt en de bovenstroomse weerstand van het palenscherm kleiner is dan voor de zigzag-overlaat.

De afvoercoëfficiënt voor inlaten, die uit de meting volgt, komt overeen met het gestelde in dit rapport. De afvoercoëfficiënt voor spuien, is volgens de metingen beduidend lager.

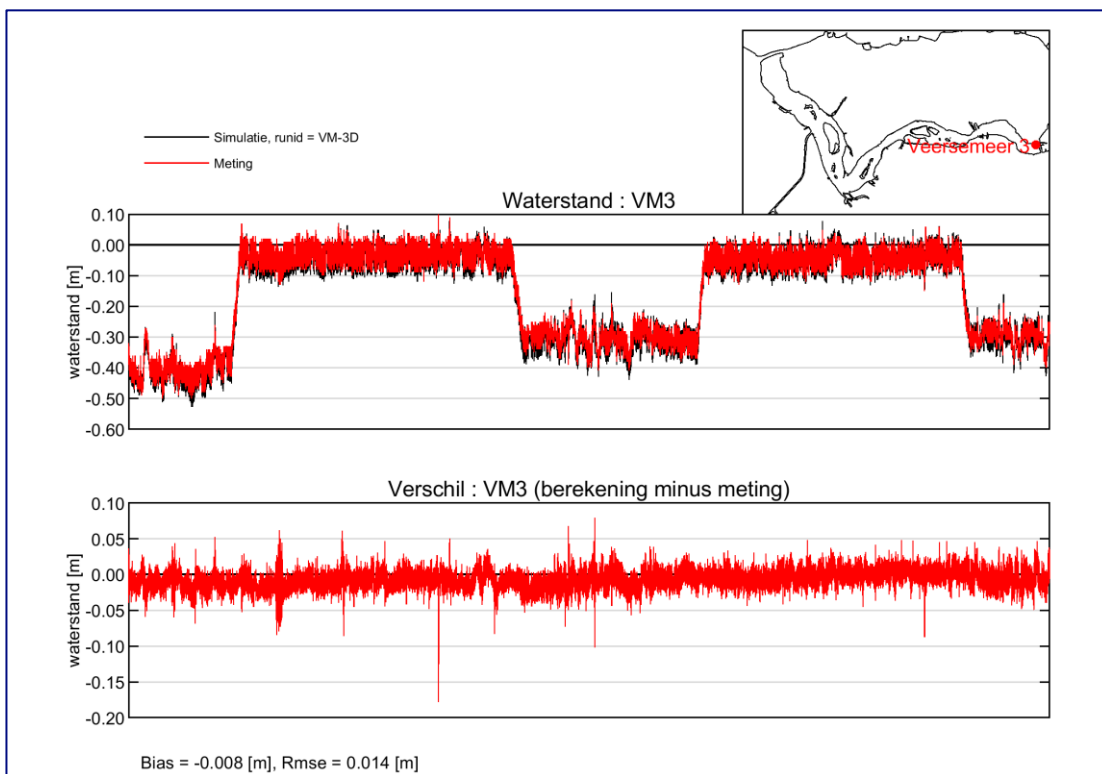
B.5 Conclusies en aanbevelingen

1. Afvoercoëfficiënt voor inlaten is circa 0,73 en is duidelijk hoger dan voor spuien.
2. De eerder vastgestelde afvoercoëfficiënt van 0,6 voor spuien lijkt een reële waarde. De recente meting werd echter sterk gehinderd door de optredende turbulentie en is daarmee niet meer dan een indicatie.
3. Gezien het relatief grote verschil in afvoercoëfficiënt voor inlaten en spuien en in verband met aangroei in de kokers en aan het palenscherm, verdient het aanbeveling om de meting voor spuien op niet al te lange termijn opnieuw uit te voeren. Er is dan voor zowel spuien als inlaten een meting beschikbaar bij gelijkwaardige omstandigheden.
4. Voor het inlaten geldt een hogere afvoercoëfficiënt dan eerder was aangenomen. De historische debietreeksen voor inlaten dienen te worden aangepast in de WTZ-database van het HMC. De actuele debieten dienen bij voorkeur direct bij het plaatsen in de WTZ te worden gecorrigeerd. Een andere mogelijkheid zou zijn om de actuele debietgegevens te corrigeren middels een aanpassing binnen het Scada van de Katse Heule.

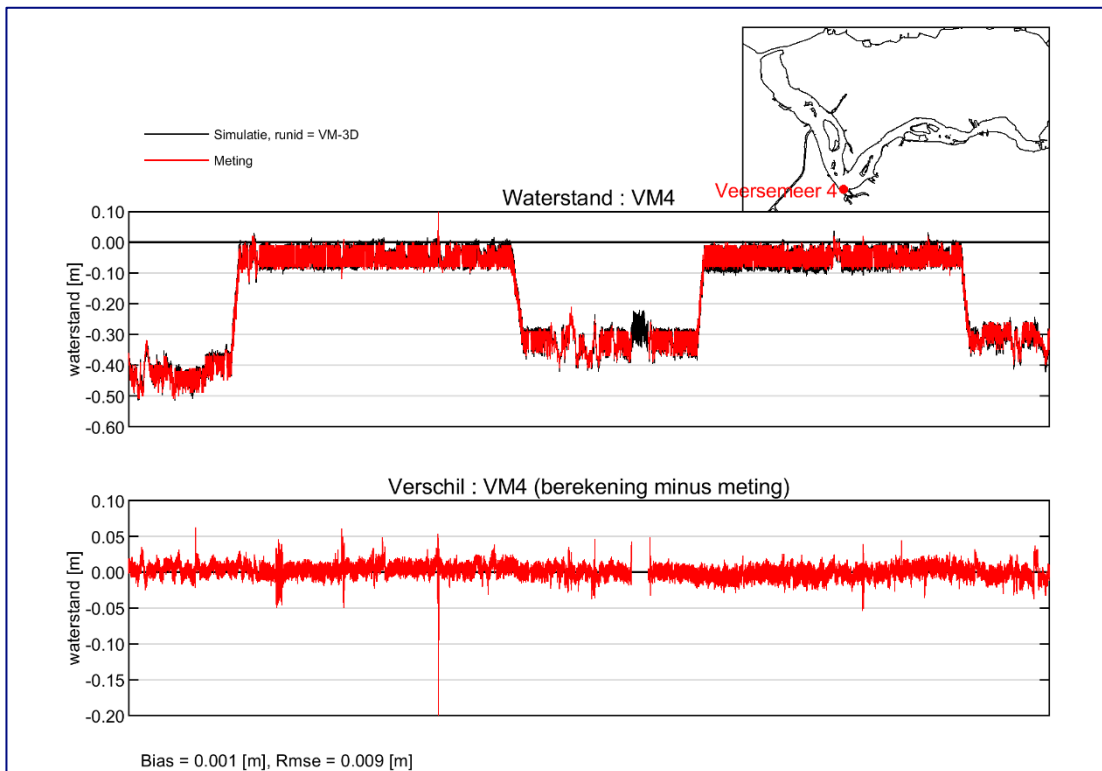
Literatuur

1. 3012m0501 ZLMD-05.N.006 Debietmeting Katse Heule, 2 september 2005.
2. Hydraulische Aspecten van het Doorlaatmiddel Zandkreekdam, Bouwdienst Rijkswaterstaat, concept augustus 2000.

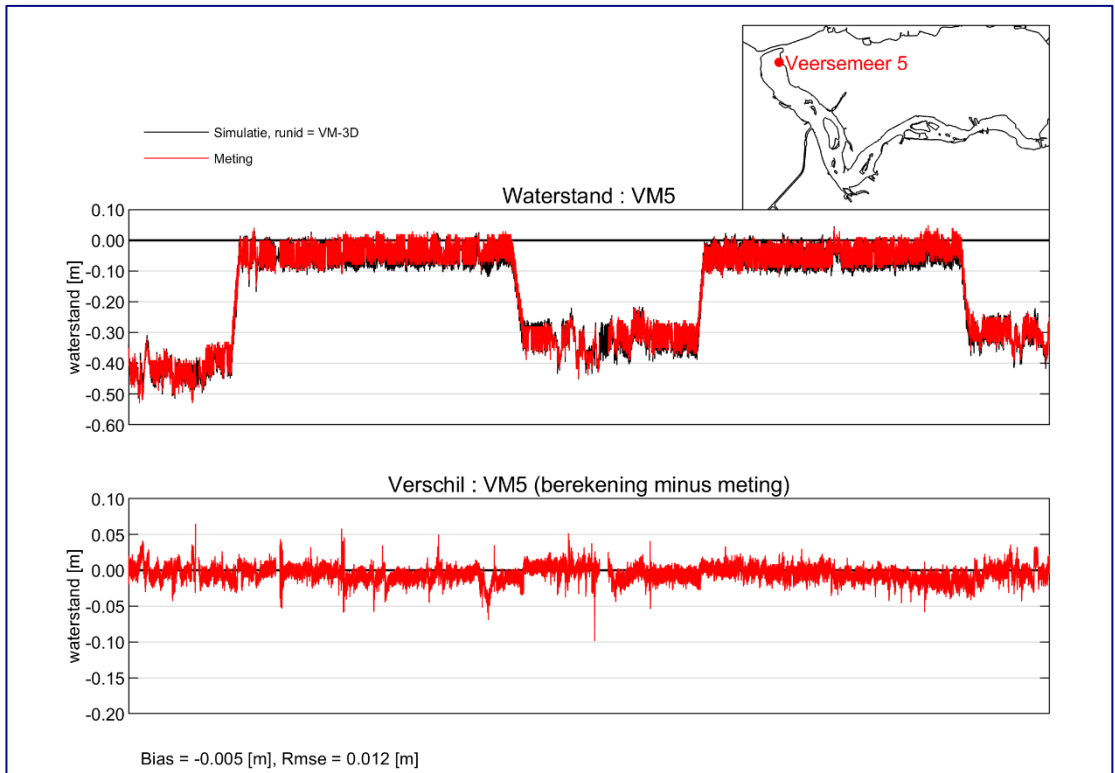
C Resultaten Toetsberekening: Waterstanden



Figuur C-1: Gemeten en berekende waterstanden Veerse Meer; Periode 2011 – 2012; Locatie VM3

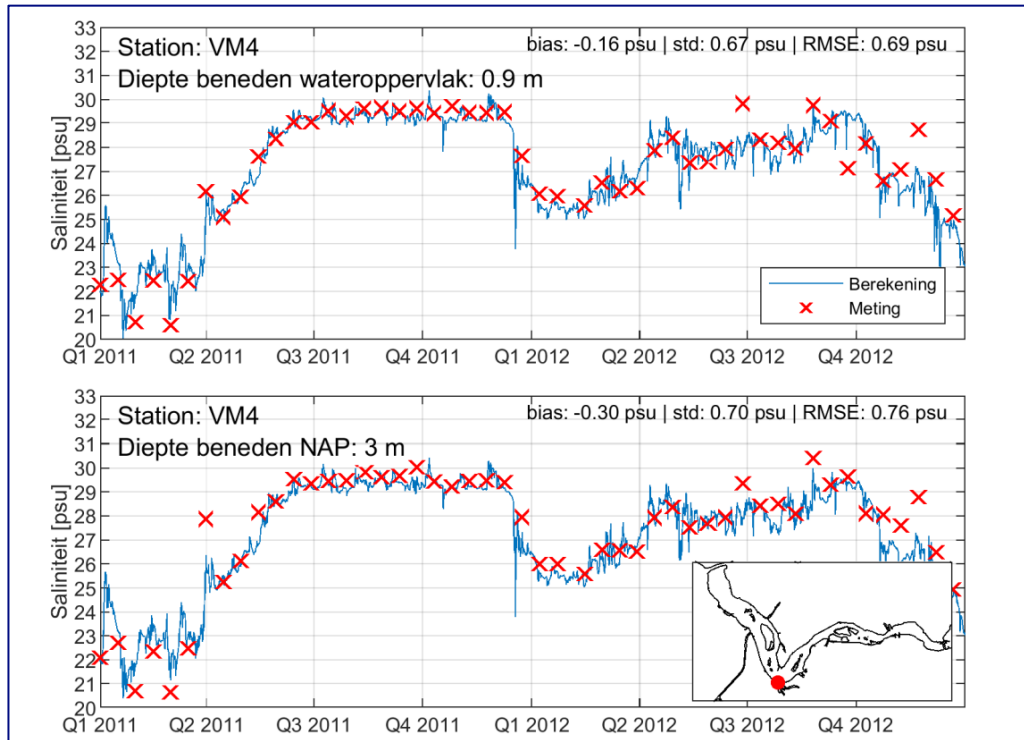


Figuur C-2: Gemeten en berekende waterstanden Veerse Meer; Periode 2011 – 2012; Locatie VM4

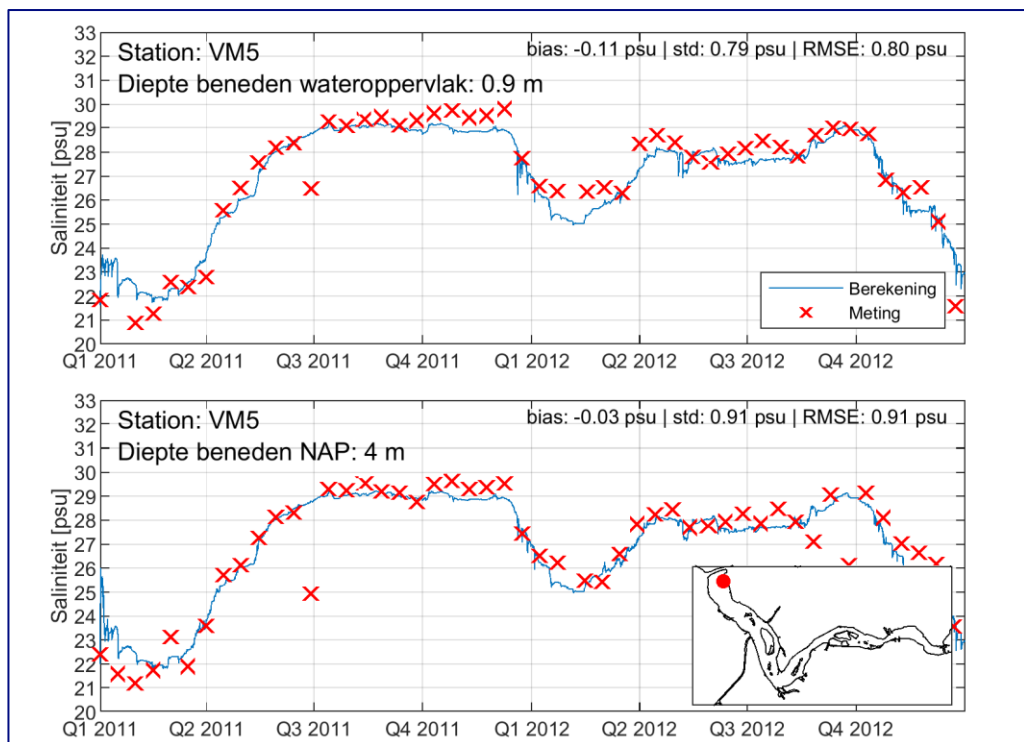


Figuur C-3: Gemeten en berekende waterstanden Veers Meer; Periode 2011 – 2012; Locatie VM5

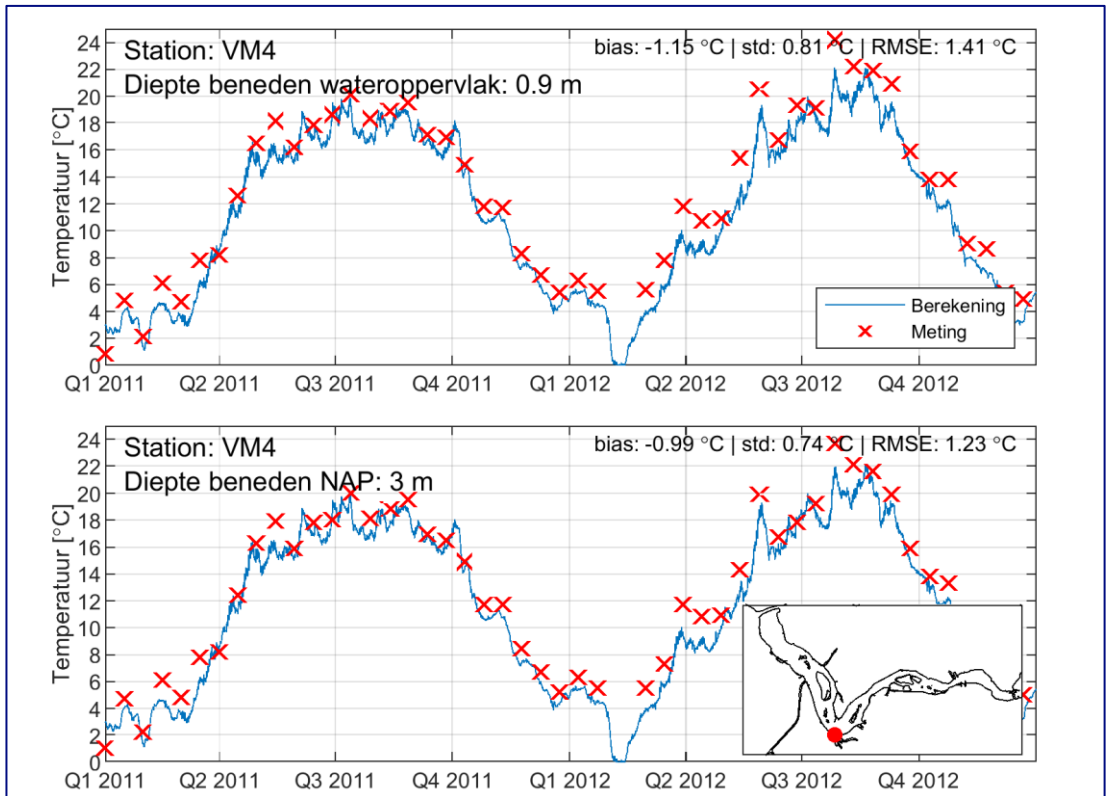
D Resultaten Toetsingsberekening: Tijdreeksen Saliniteit en Temperatuur



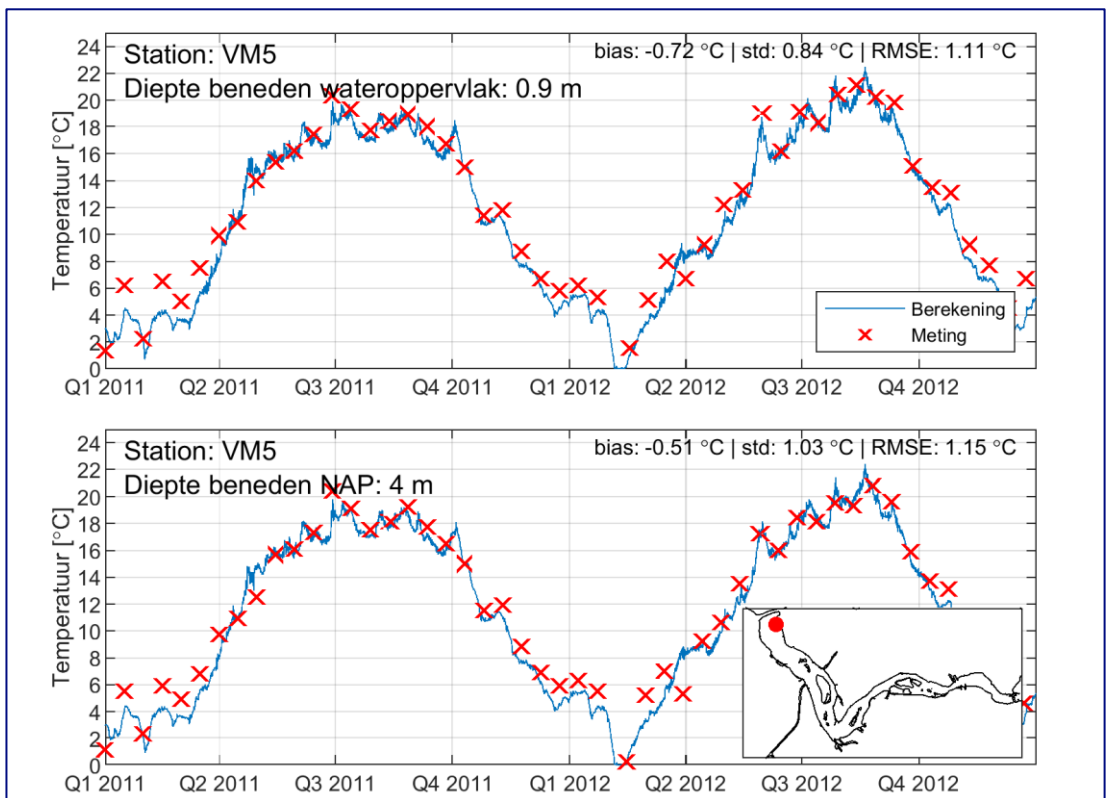
Figuur D-1: Saliniteit: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012



Figuur D-2: Saliniteit: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 5; Periode 2011 - 2012

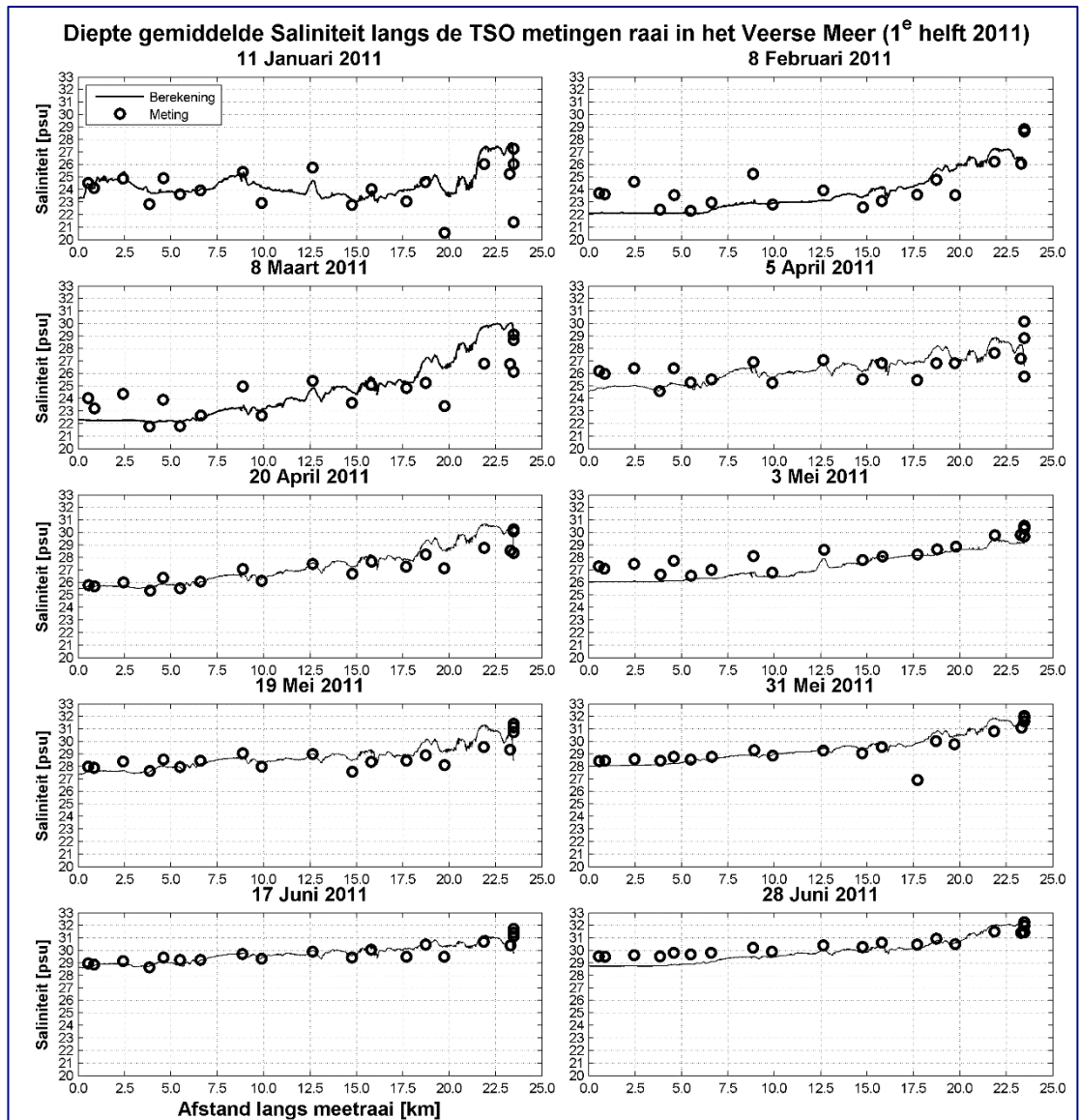


Figuur D-3: Temperatuur: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012

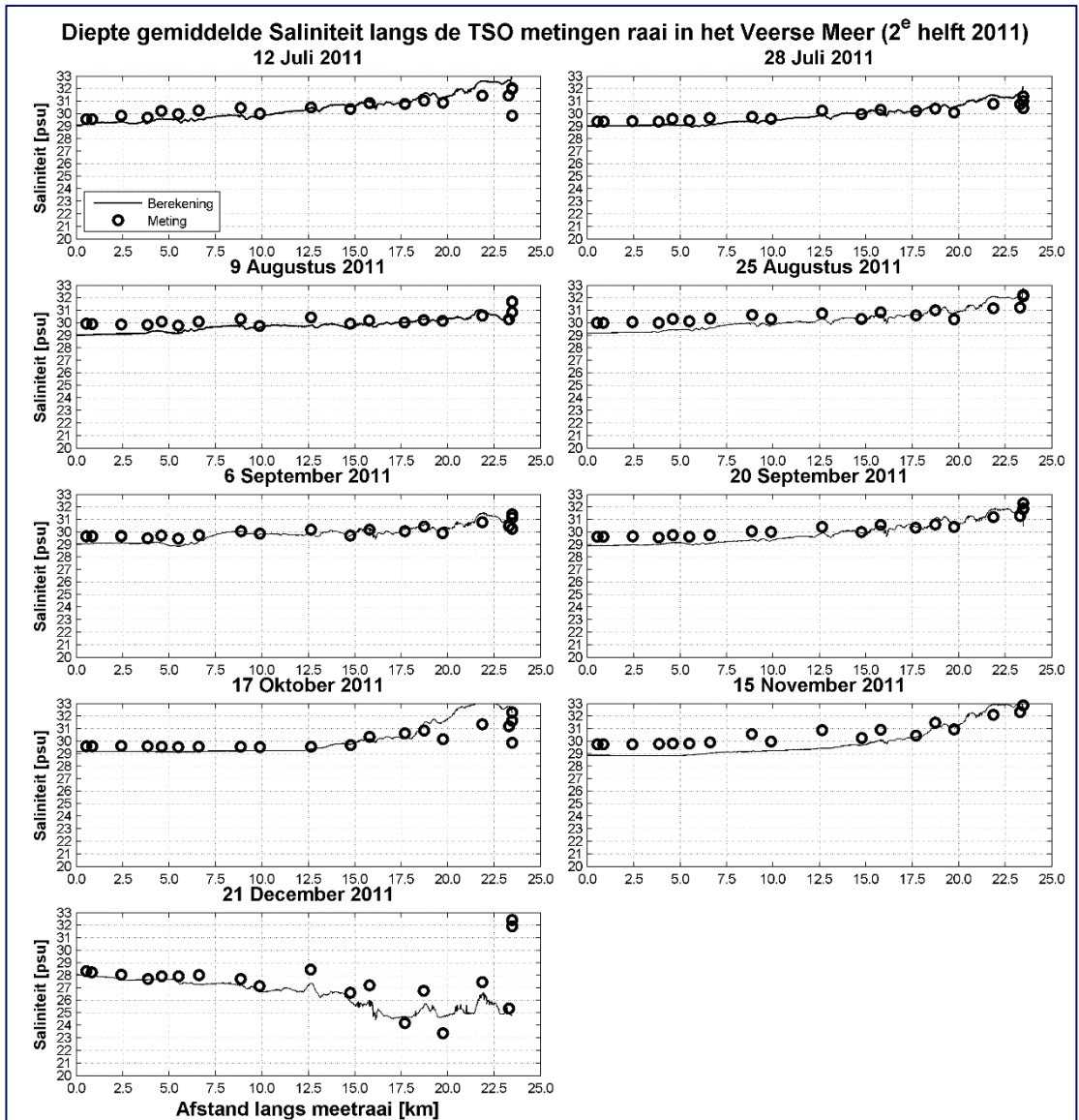


Figuur D-4: Temperatuur: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 5; Periode 2011 - 2012

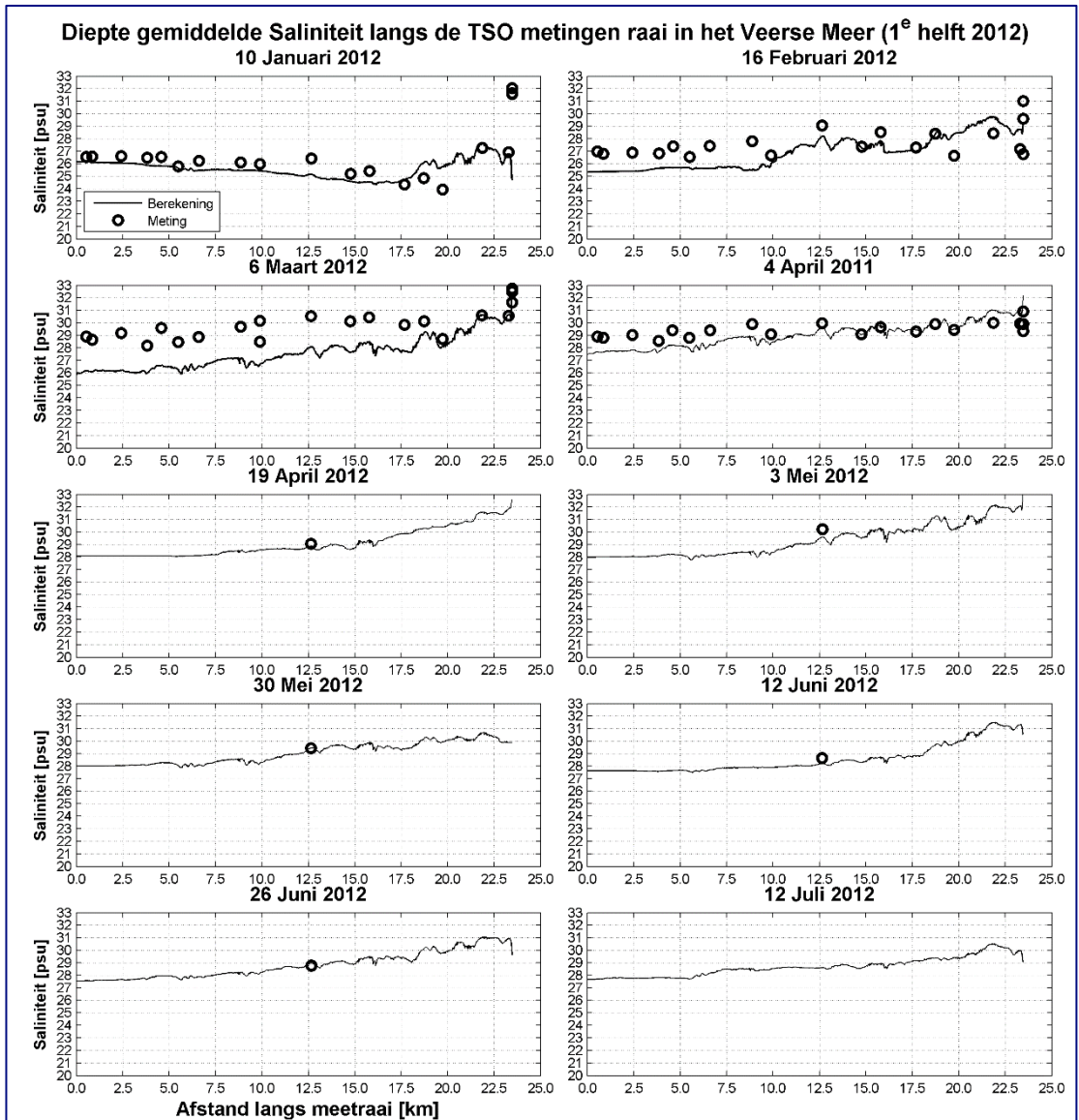
E Resultaten Toetsingsberekening: Diepte gemiddelde Saliniteit en Temperatuur TSO metingen



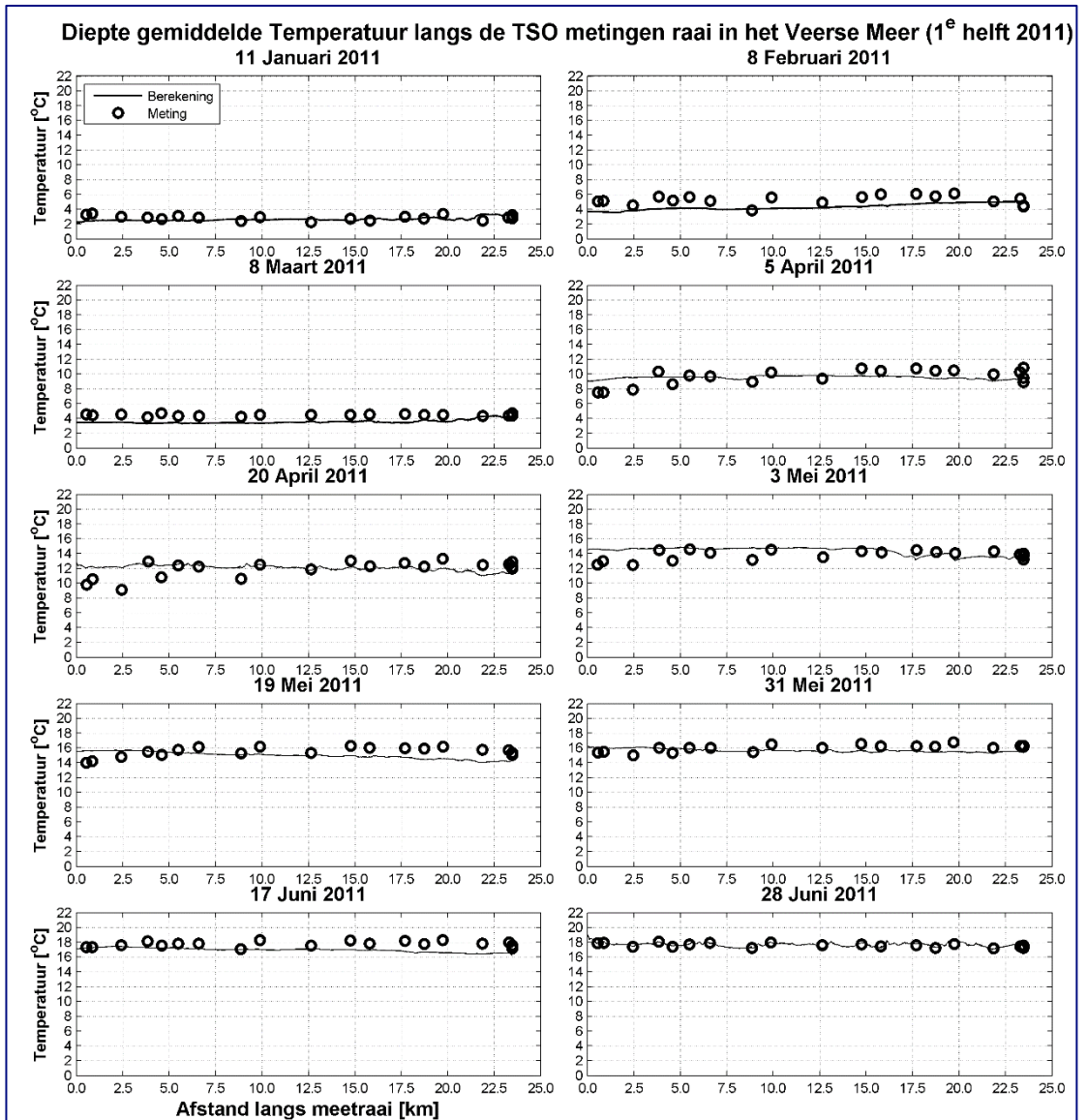
Figuur E-1: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011



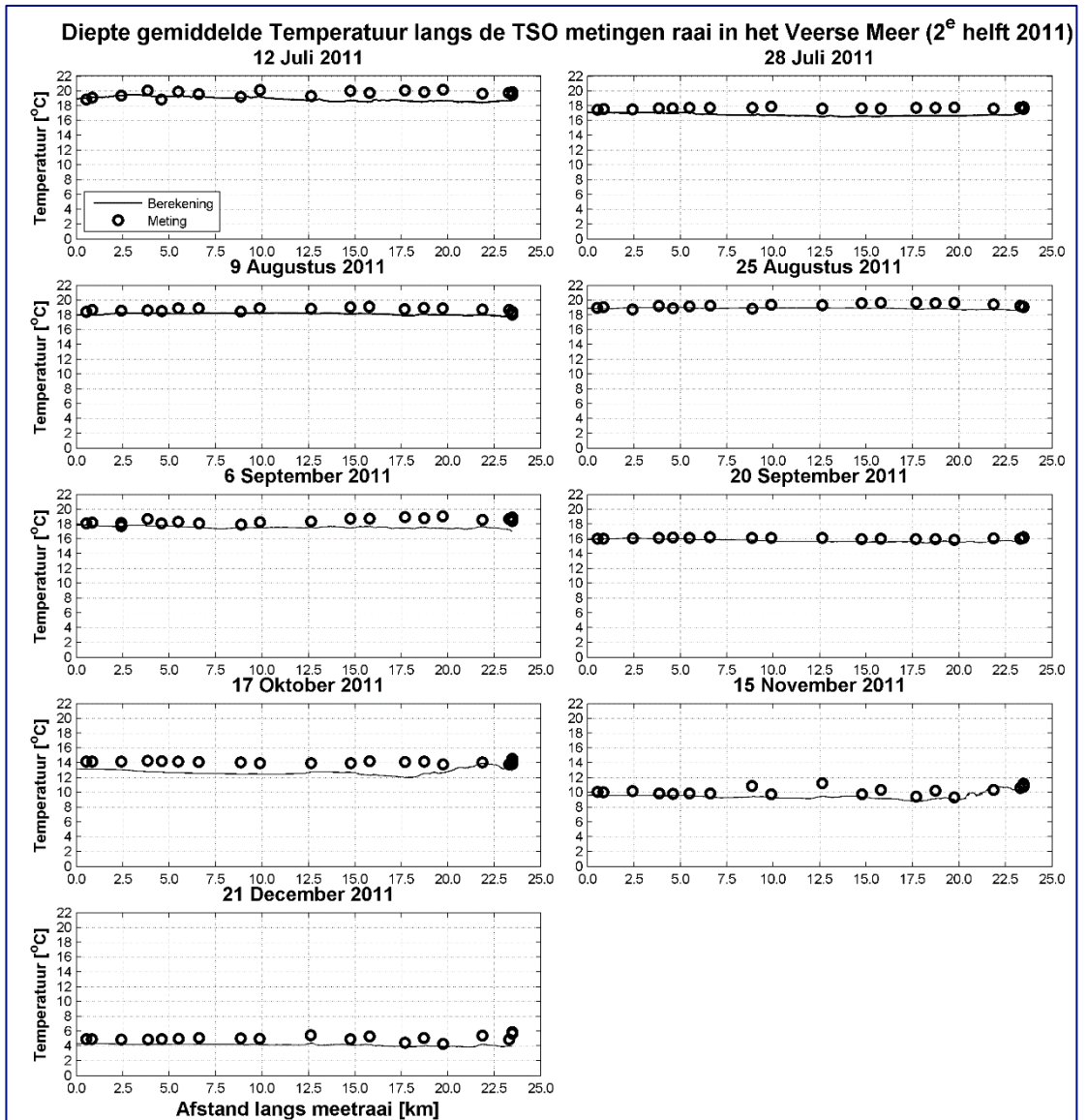
Figuur E-2: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011



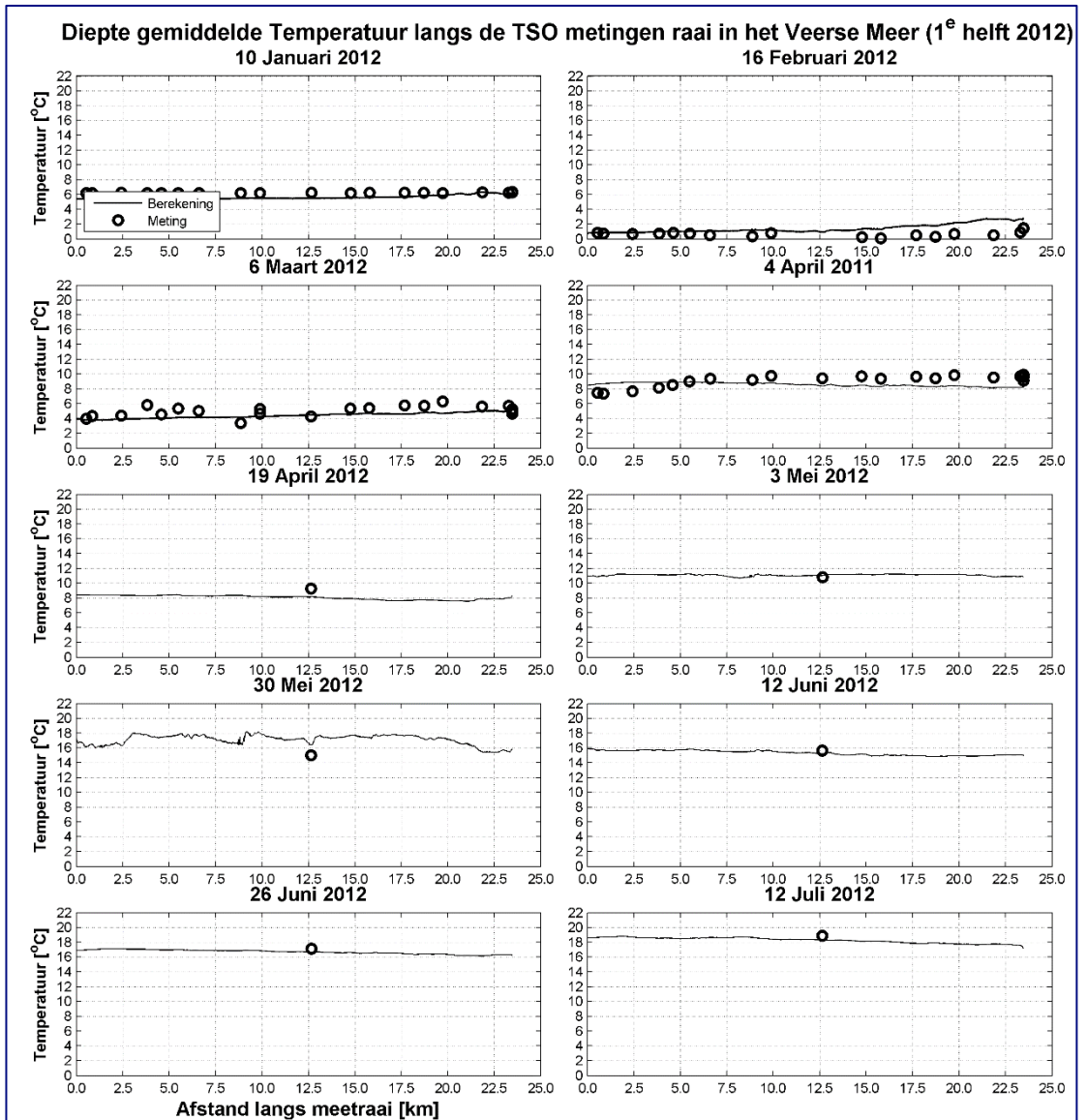
Figuur E-3: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012



Figuur E-4: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011

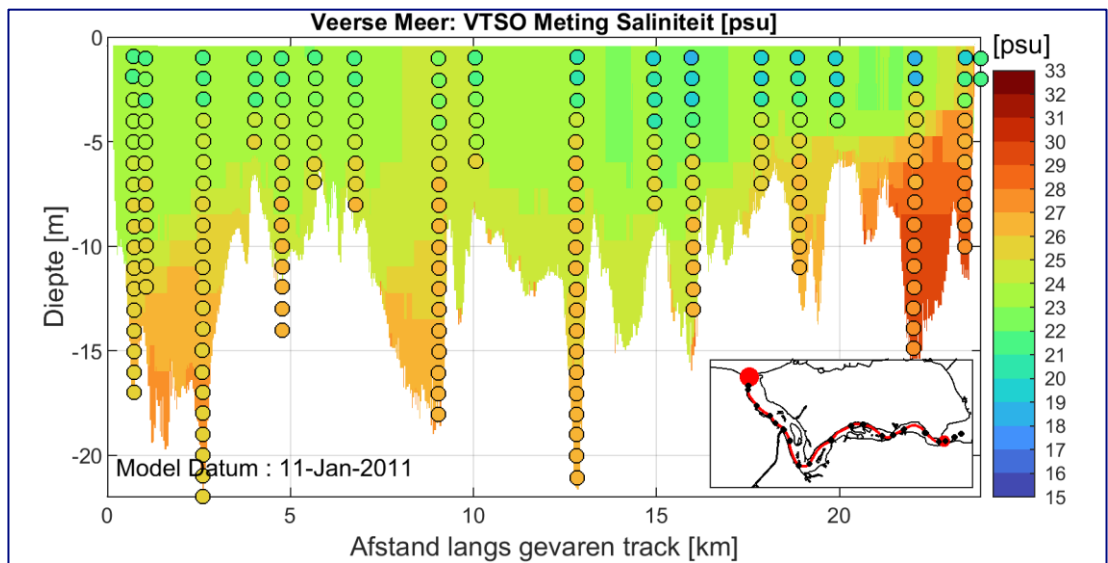


Figuur E-5: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011

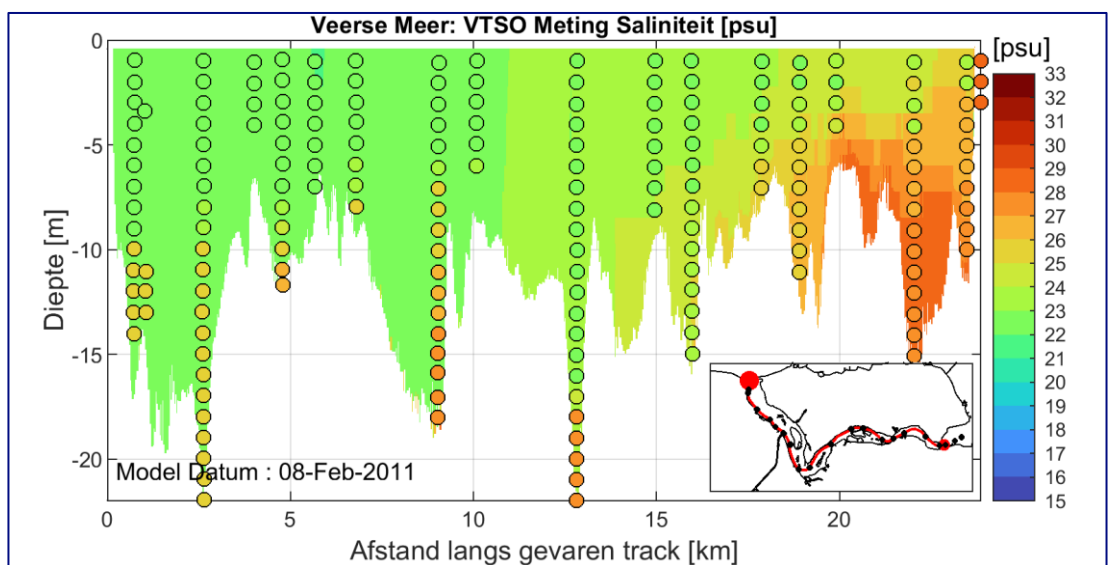


Figuur E-6: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012

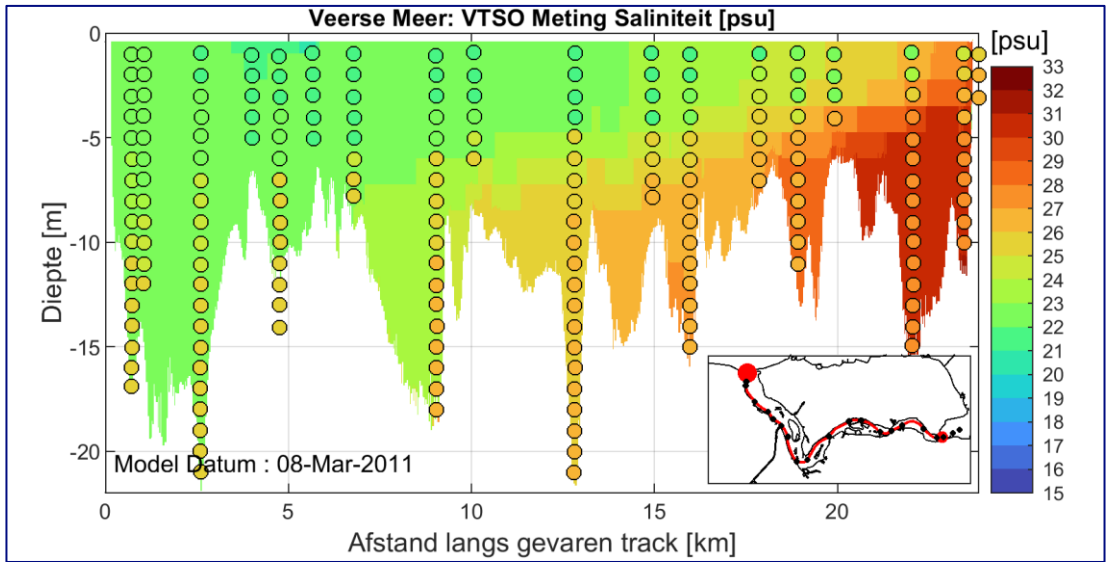
F Resultaten Toetsingsberekening: Saliniteit en Temperatuur profielen TSO metingen



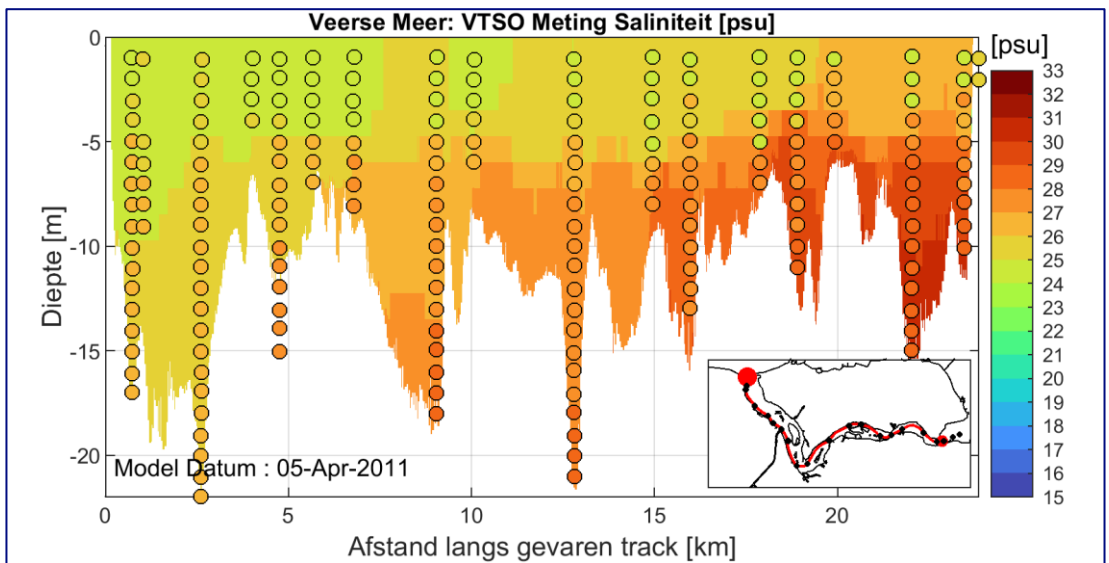
Figuur F-1: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 11 Januari 2011



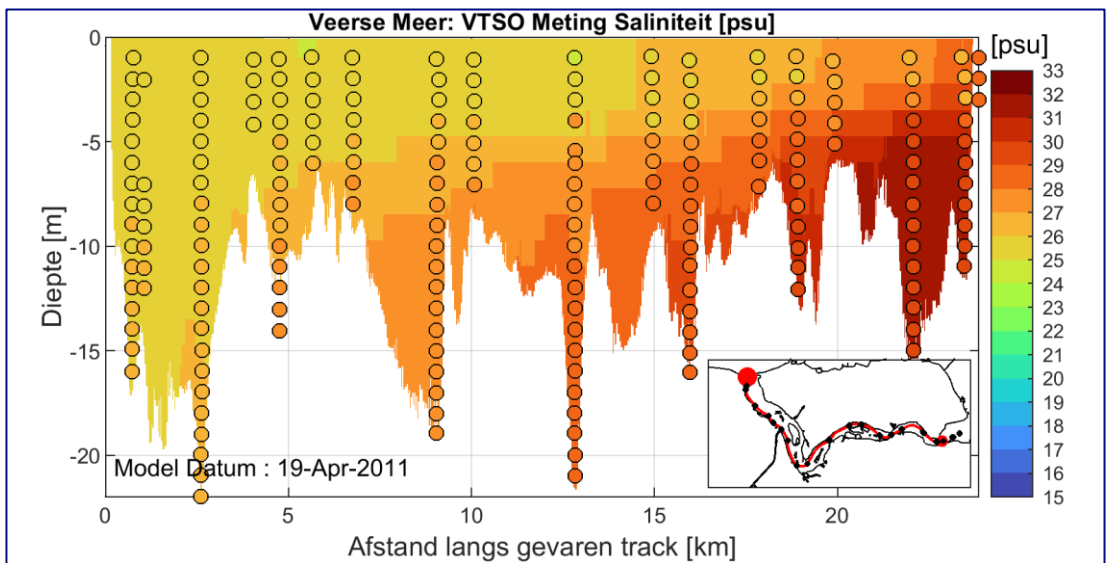
Figuur F-2: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 8 Februari 2011



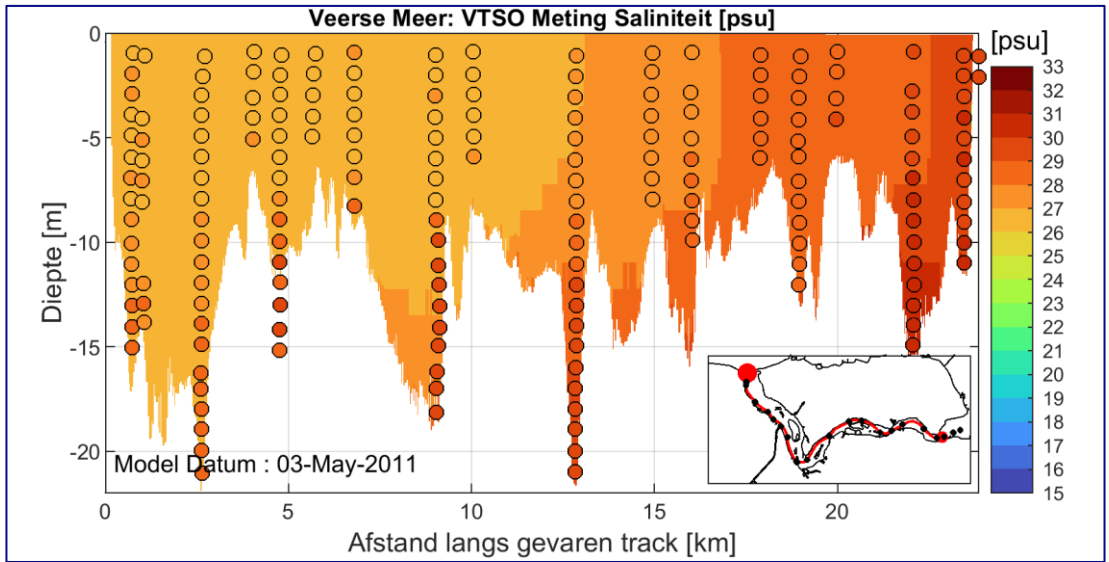
Figuur F-3: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 8 Maart 2011



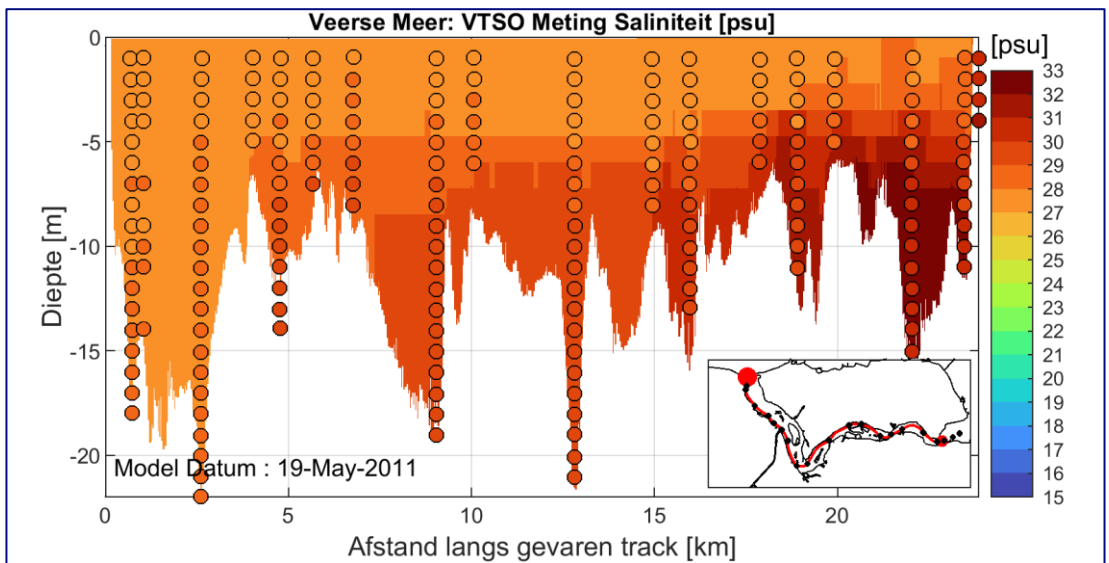
Figuur F-4: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 5 April 2011



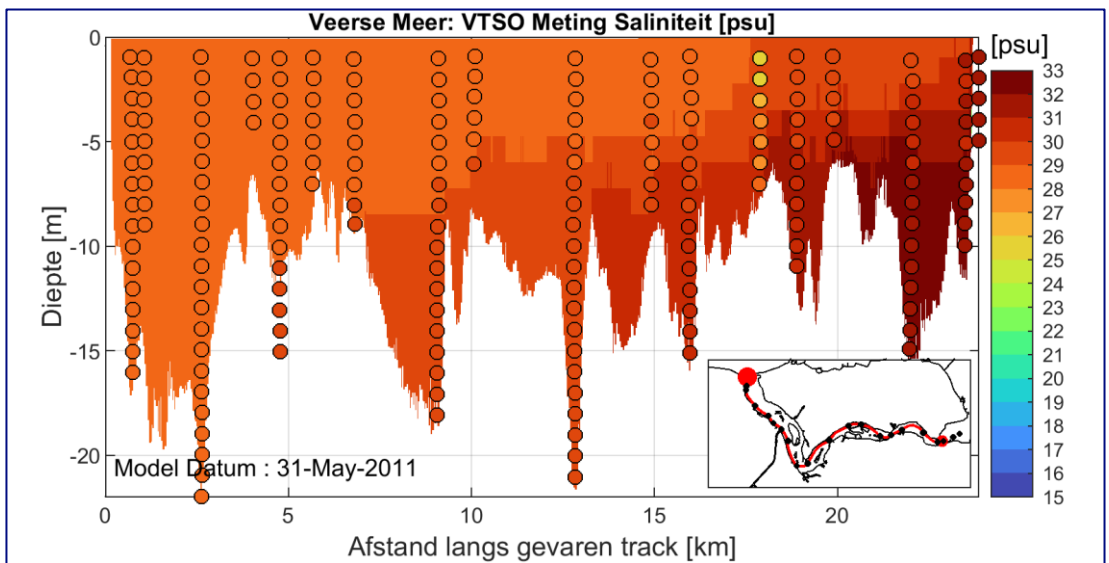
Figuur F-5: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 19 April 2011



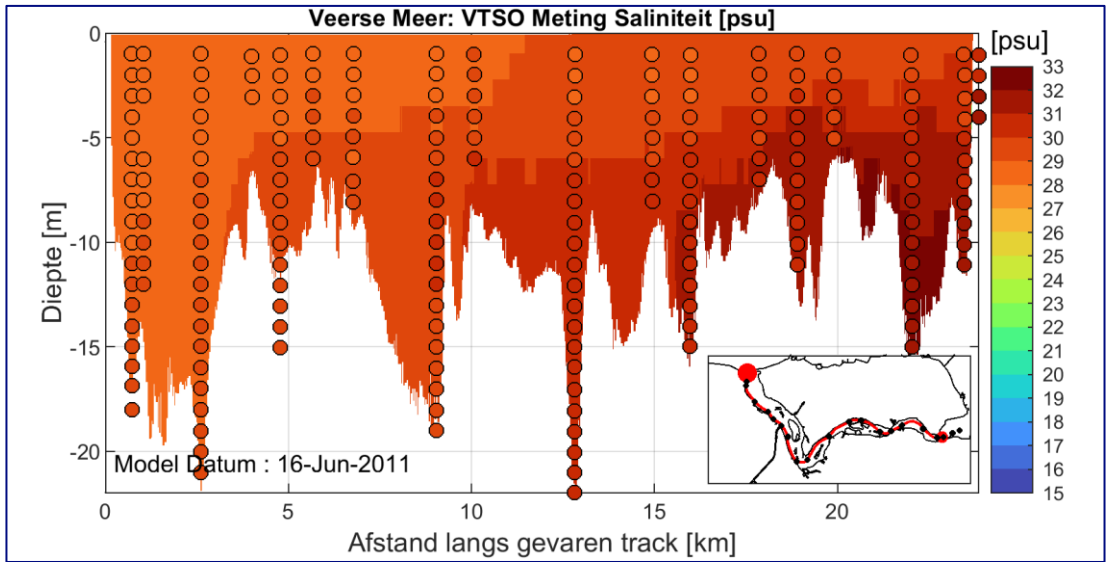
Figuur F-6: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2011



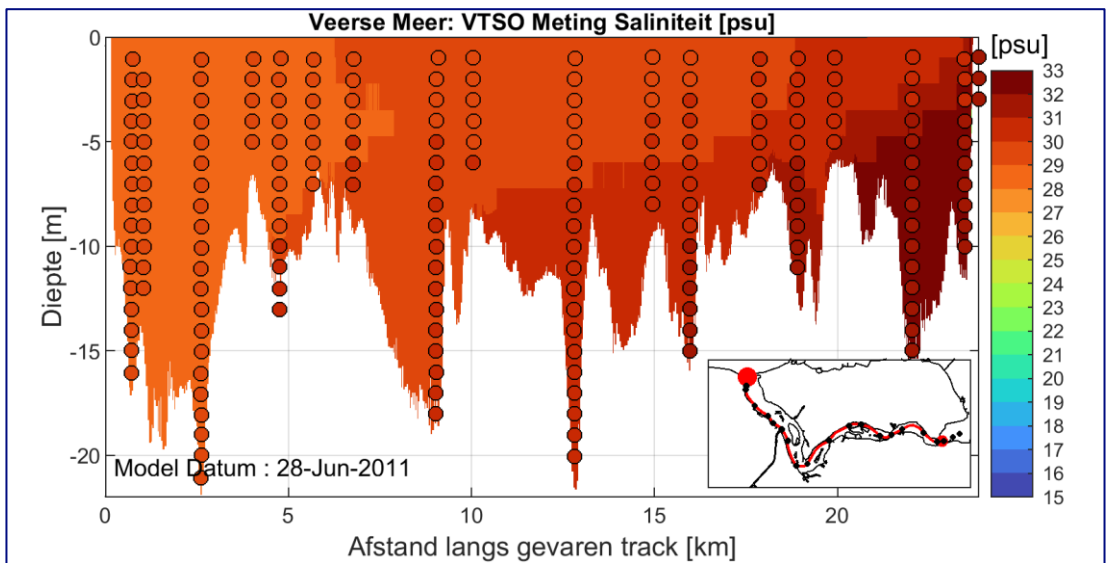
Figuur F-7: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 19 Mei 2011



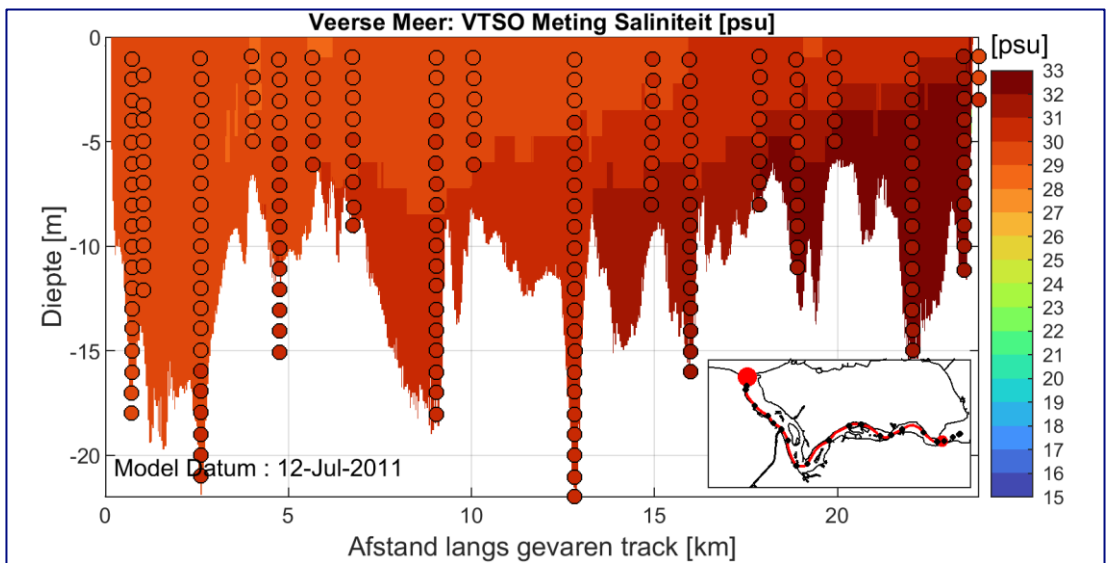
Figuur F-8: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 31 Mei 2011



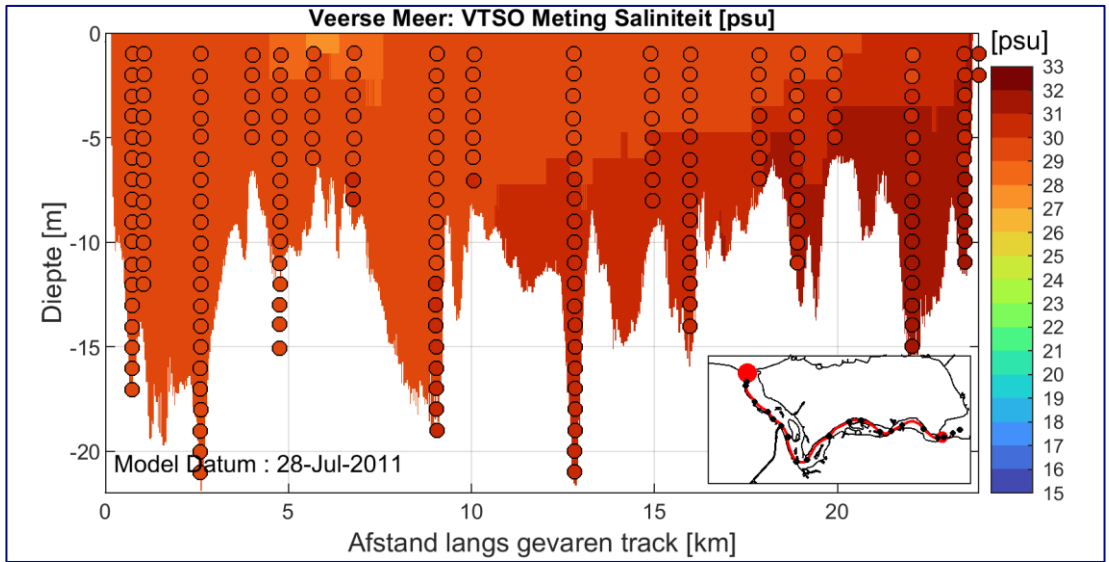
Figuur F-9: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 16 Juni 2011



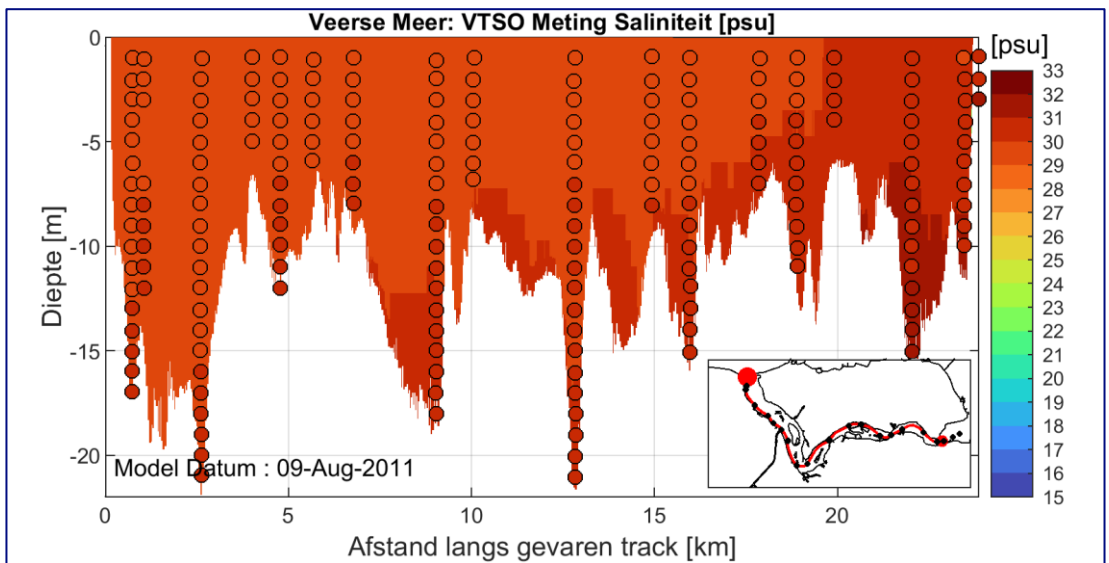
Figuur F-10: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 28 Juni 2011



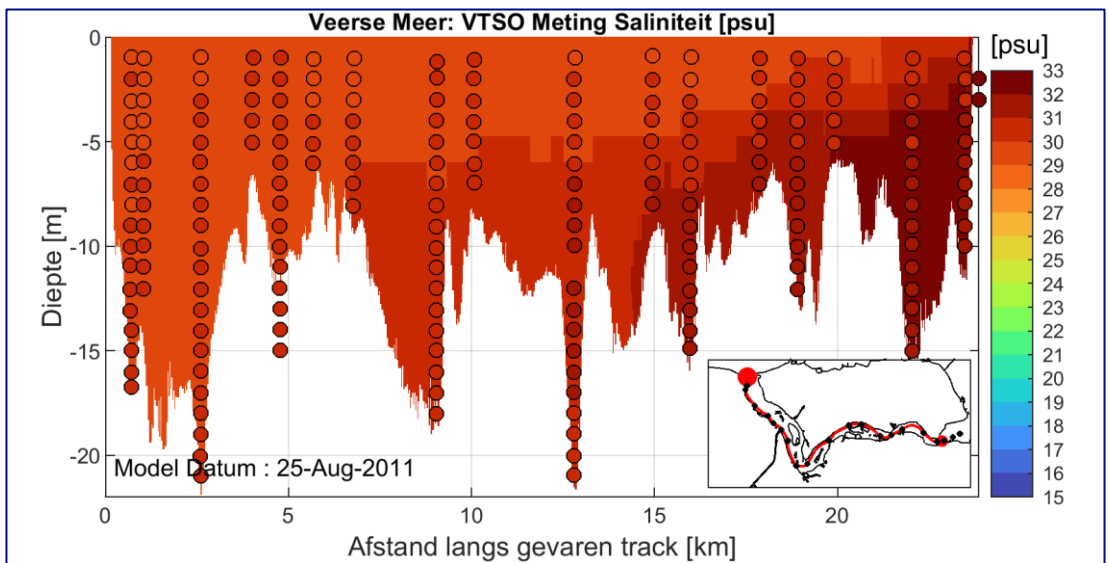
Figuur F-11: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2011



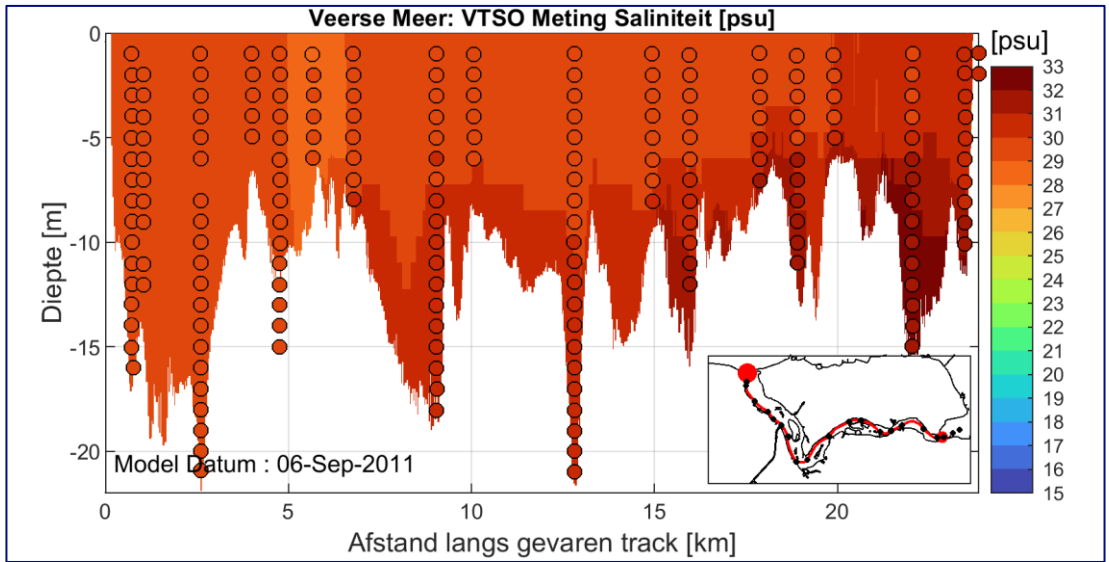
Figuur F-12: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juli 2011



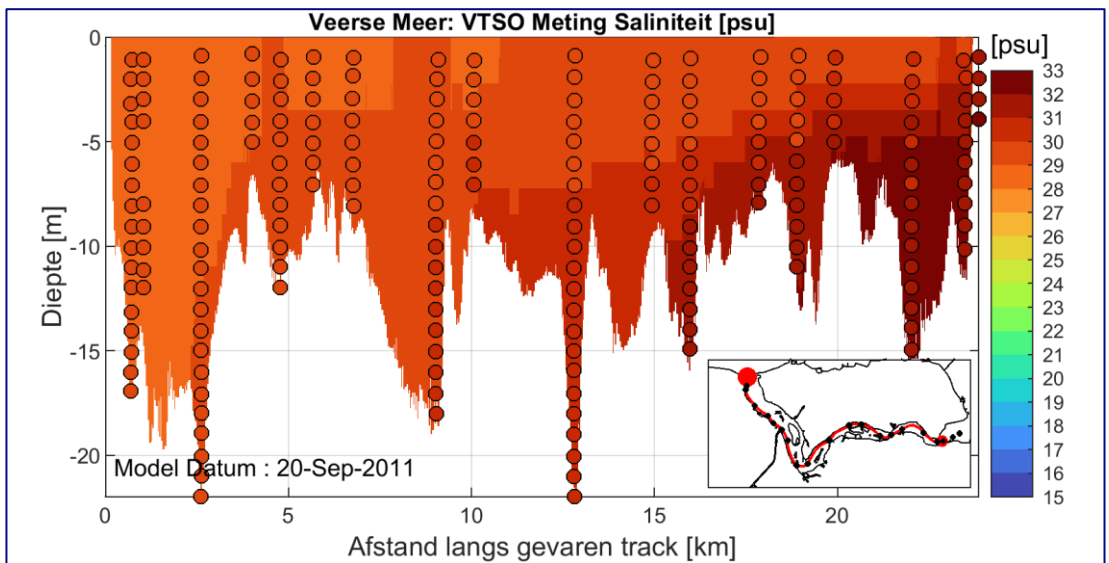
Figuur F-13: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2011



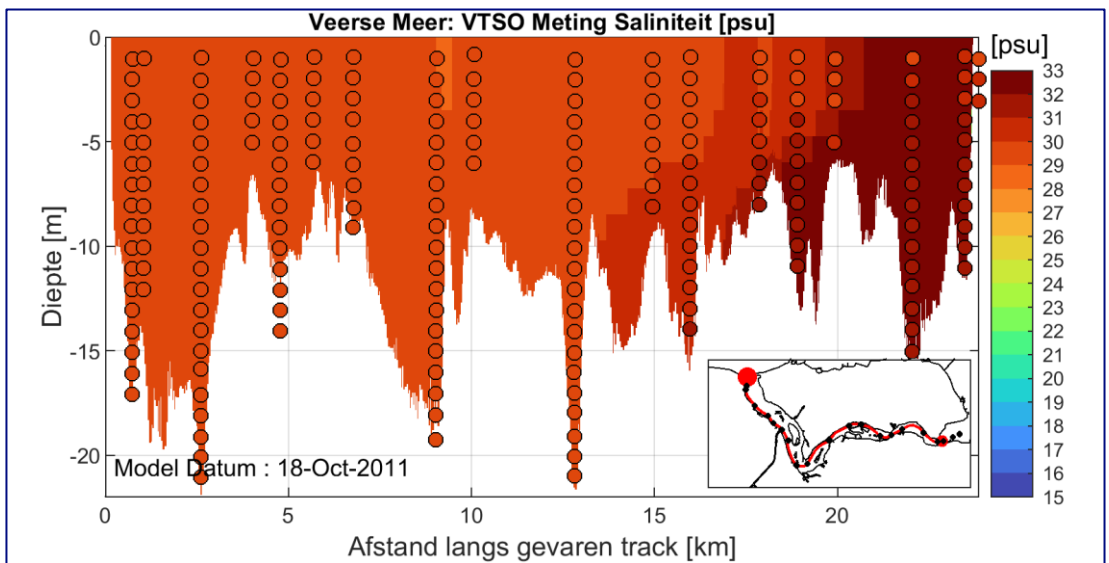
Figuur F-14: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 25 Augustus 2011



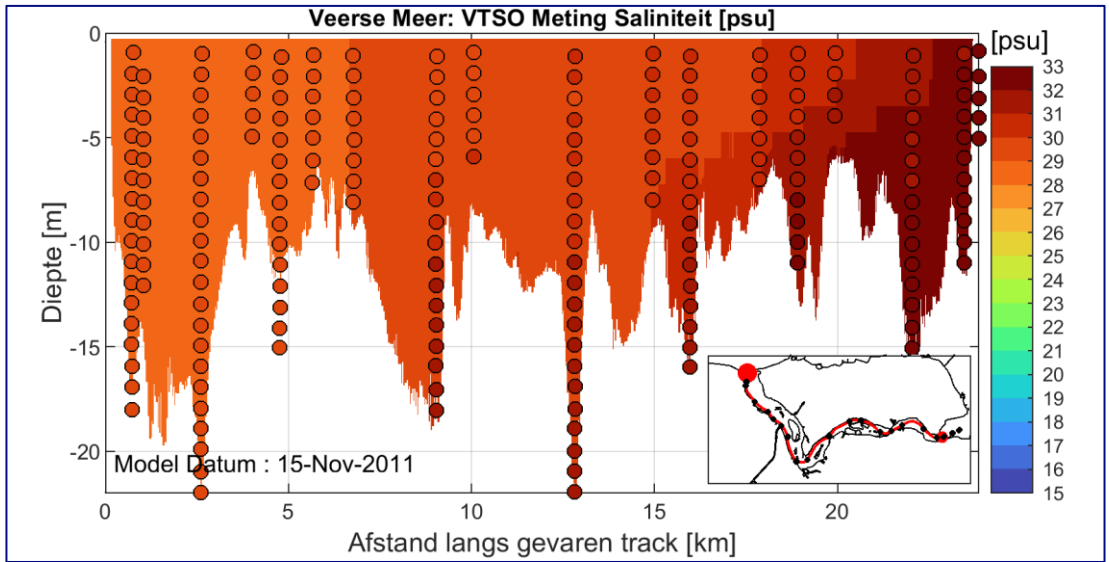
Figuur F-15: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2011



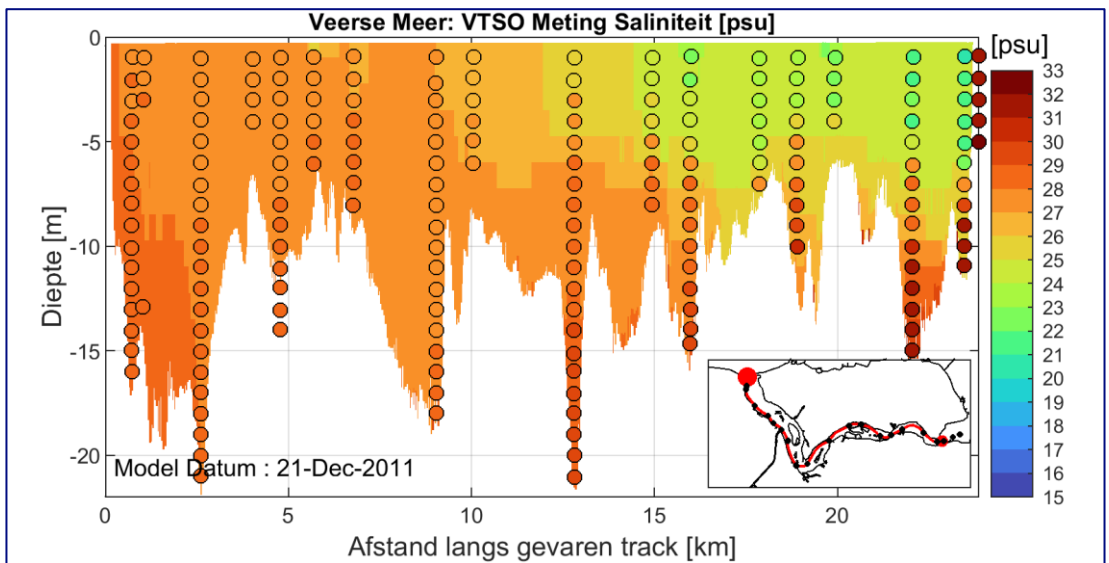
Figuur F-16: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2011



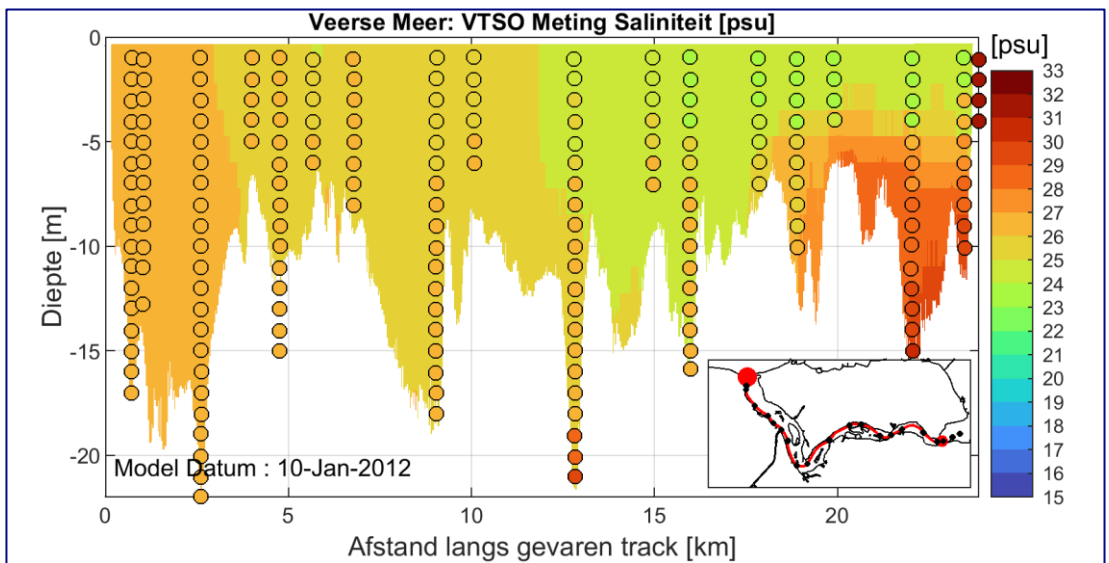
Figuur F-17: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 18 Oktober 2011



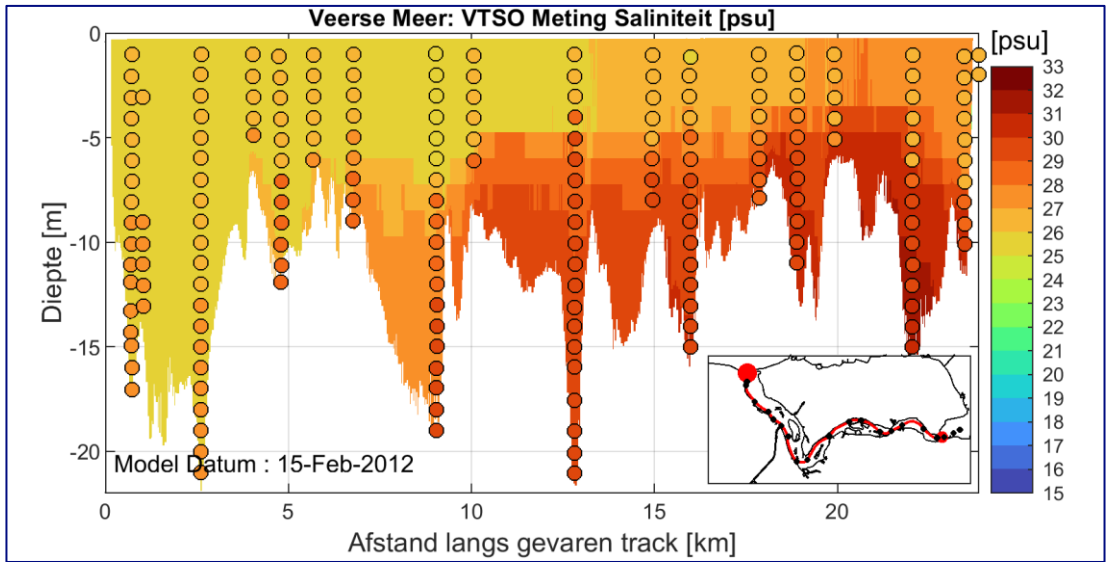
Figuur F-18: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2011



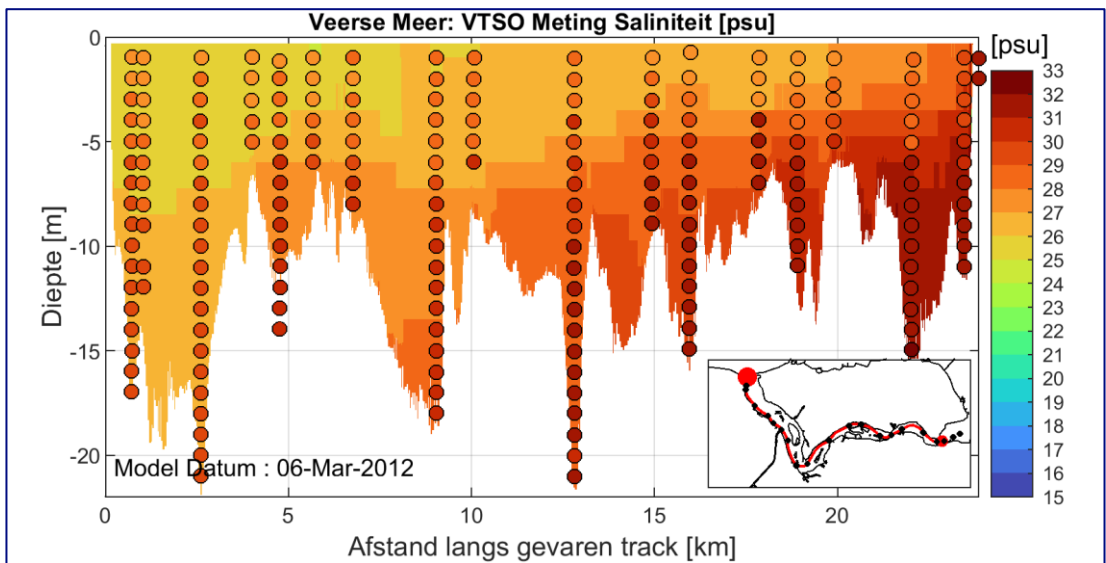
Figuur F-19: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 21 December 2011



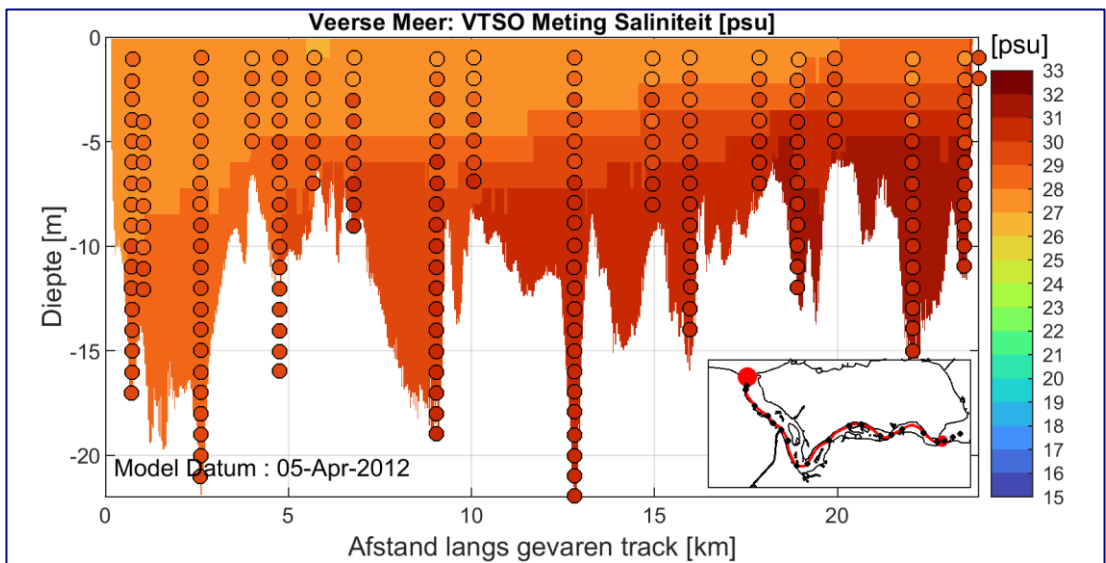
Figuur F-20: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 10 Januari 2012



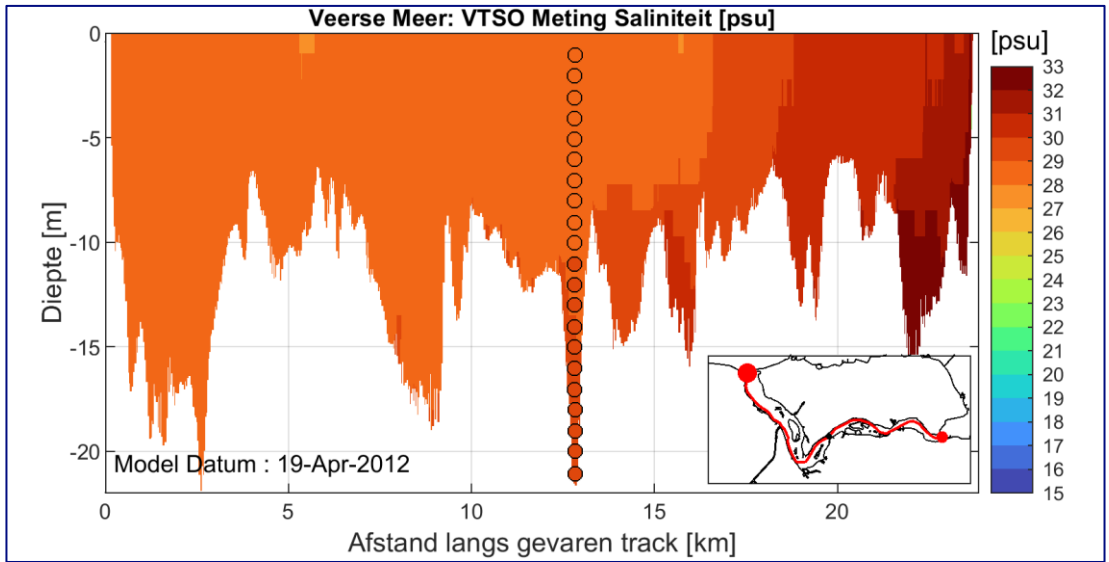
Figuur F-21: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 Februari 2012



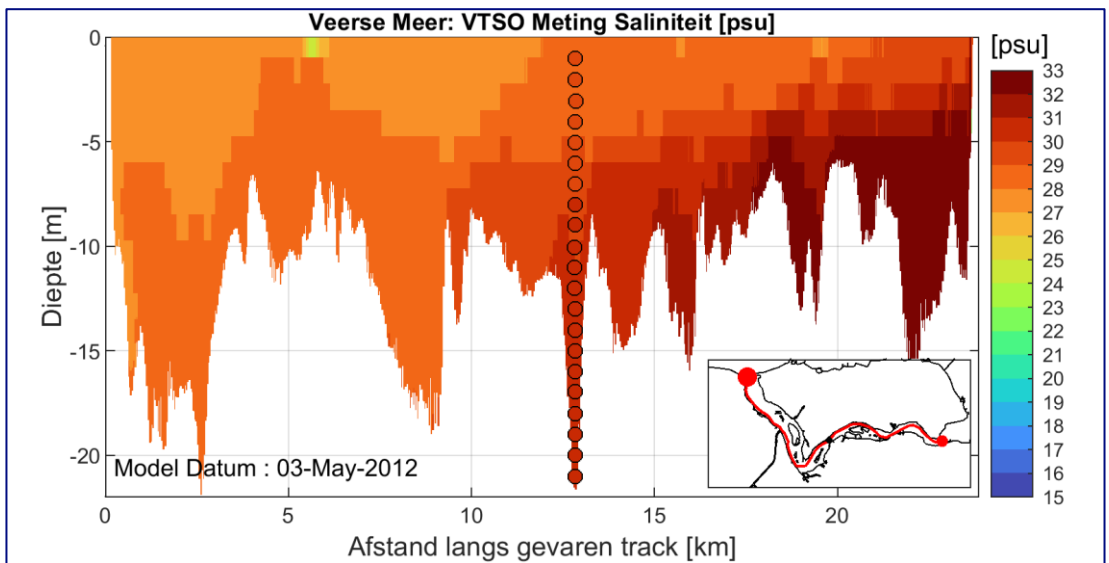
Figuur F-22: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 Maart 2012



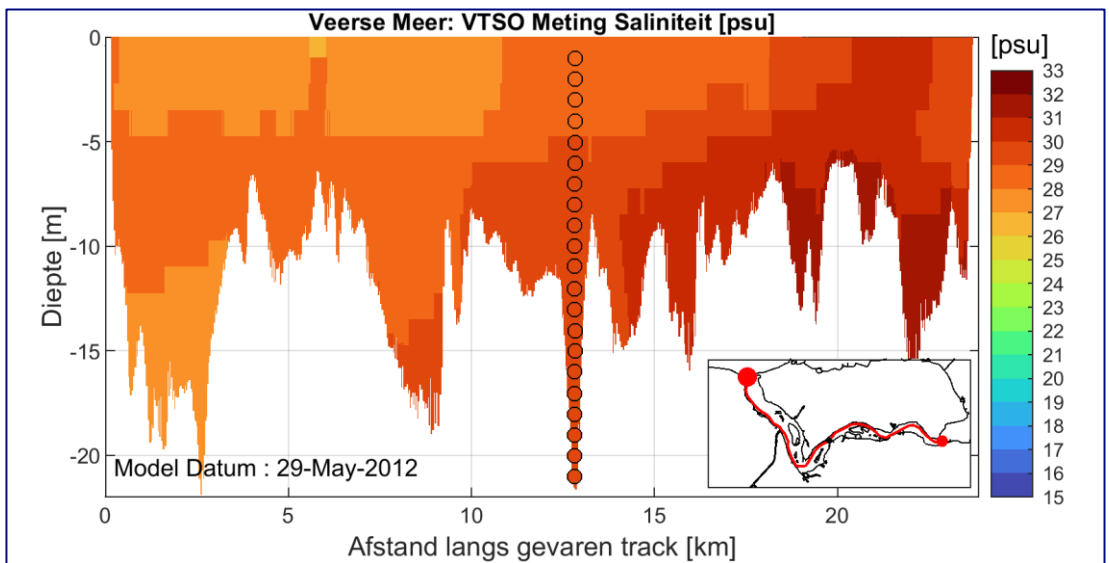
Figuur F-23: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2012



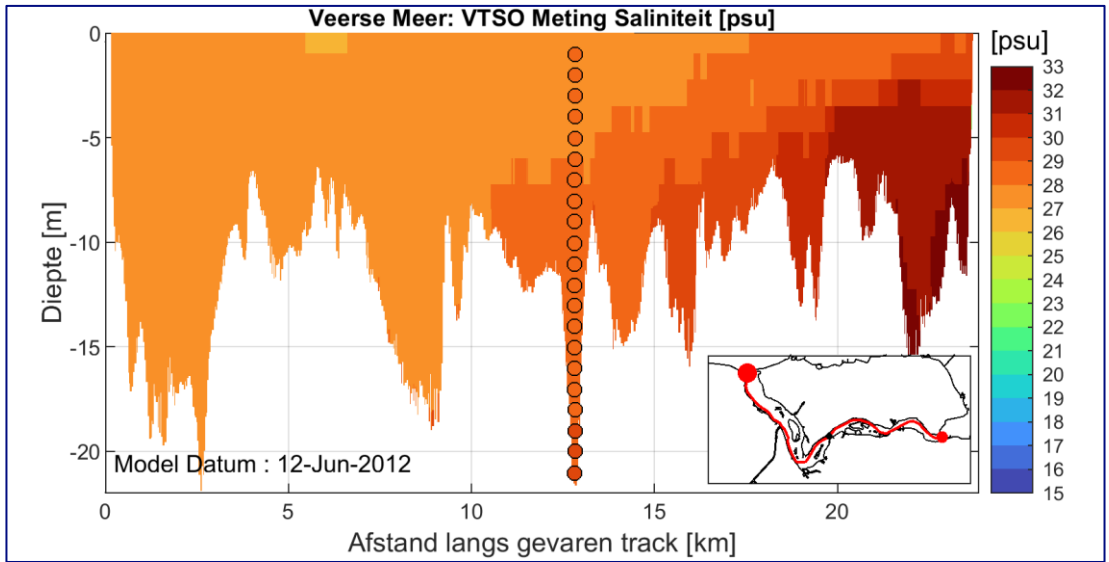
Figuur F-24: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2012



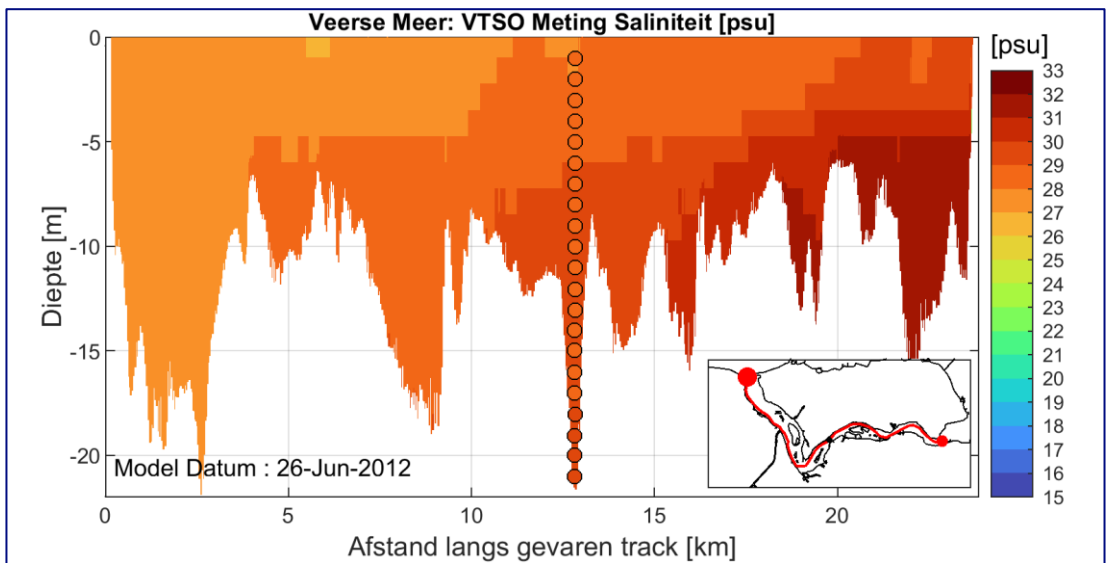
Figuur F-25: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2012



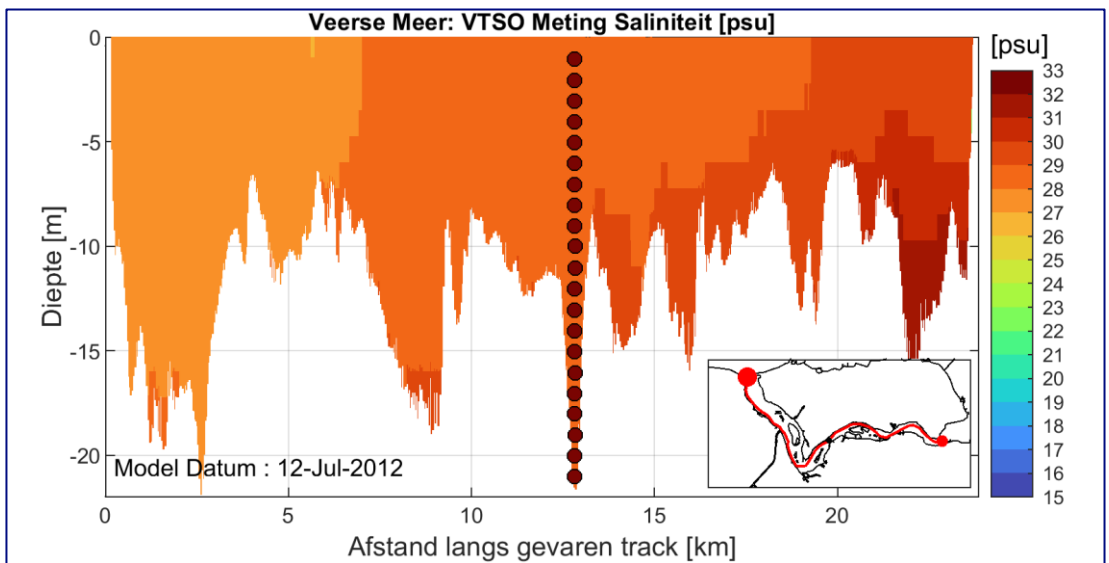
Figuur F-26: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 29 Mei 2012



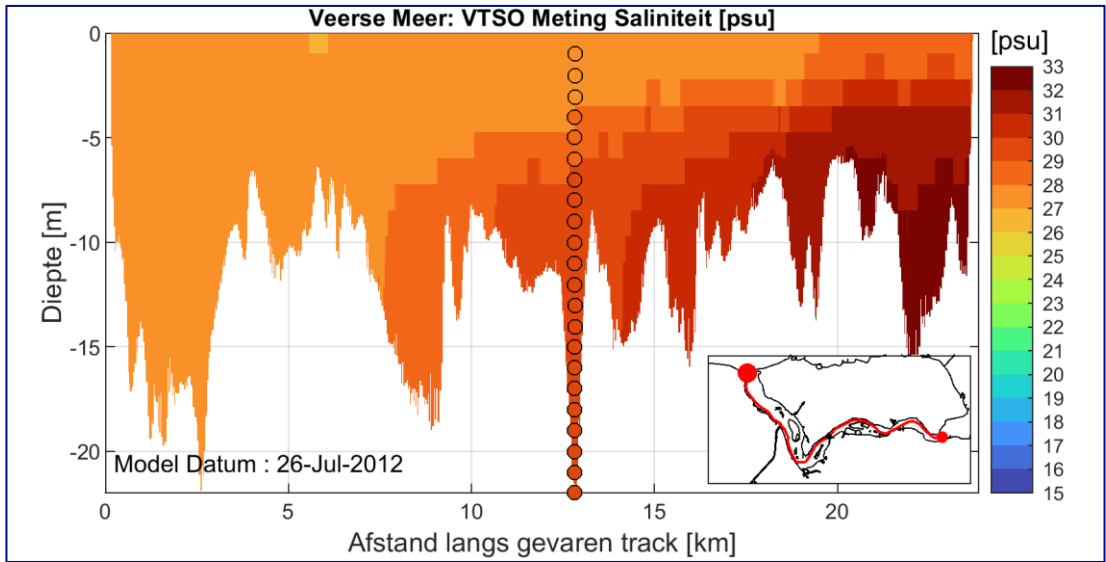
Figuur F-27: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juni 2011



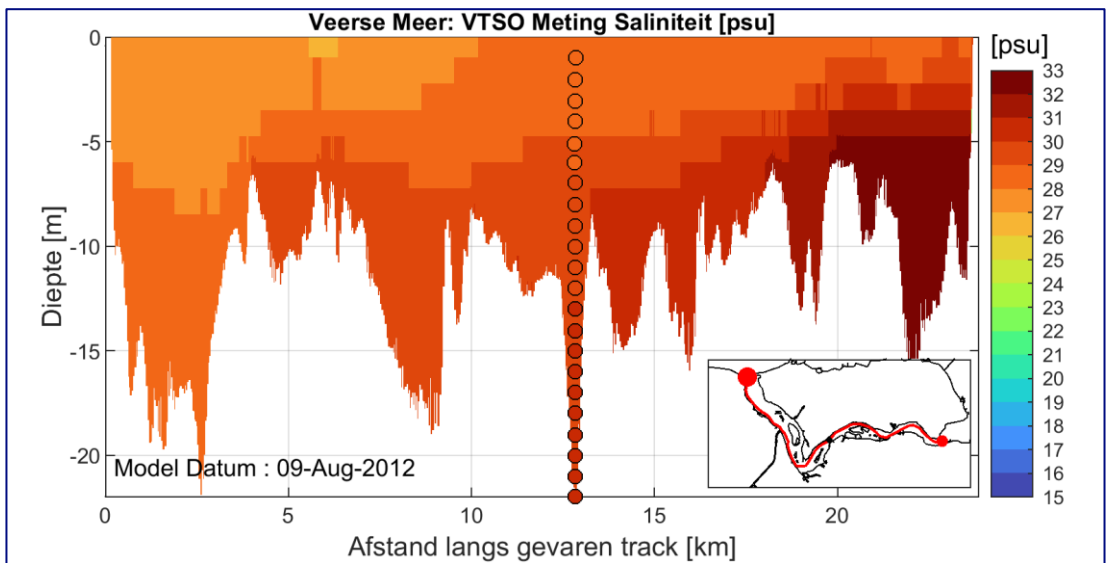
Figuur F-28: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juni 2012



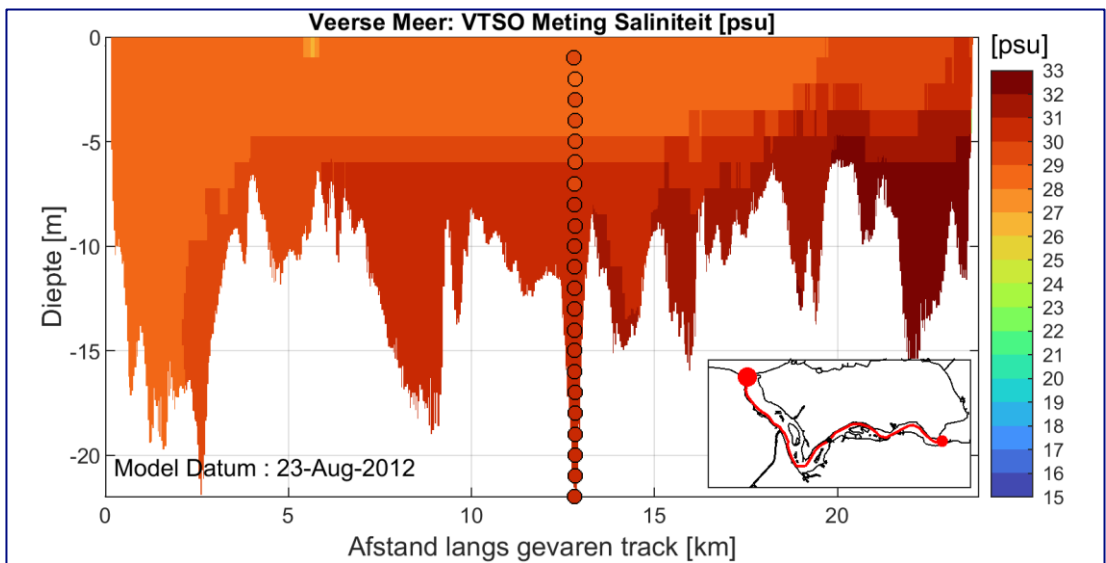
Figuur F-29: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2012



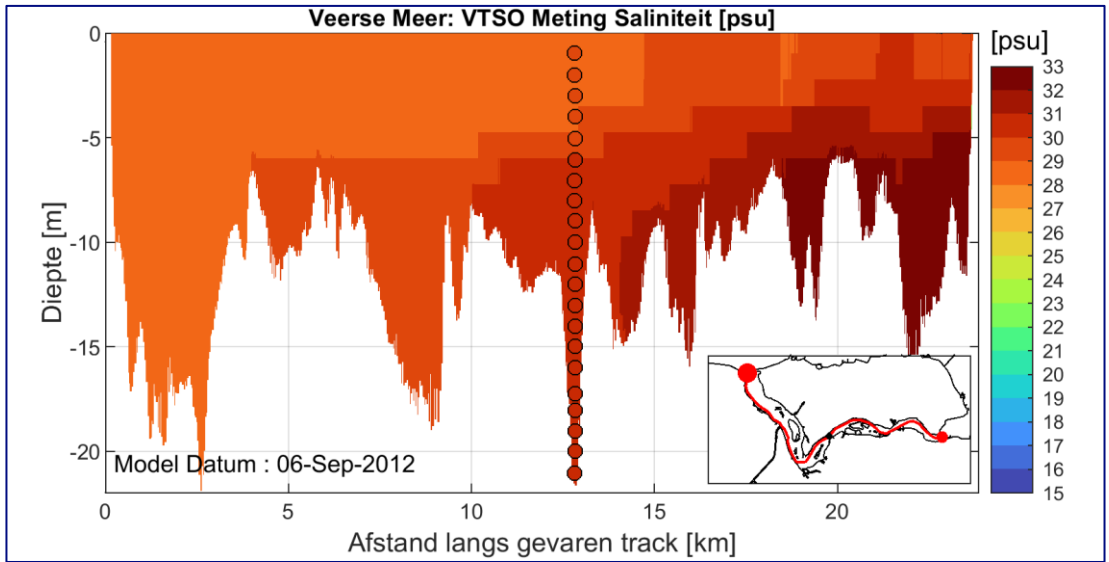
Figuur F-30: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juli 2012



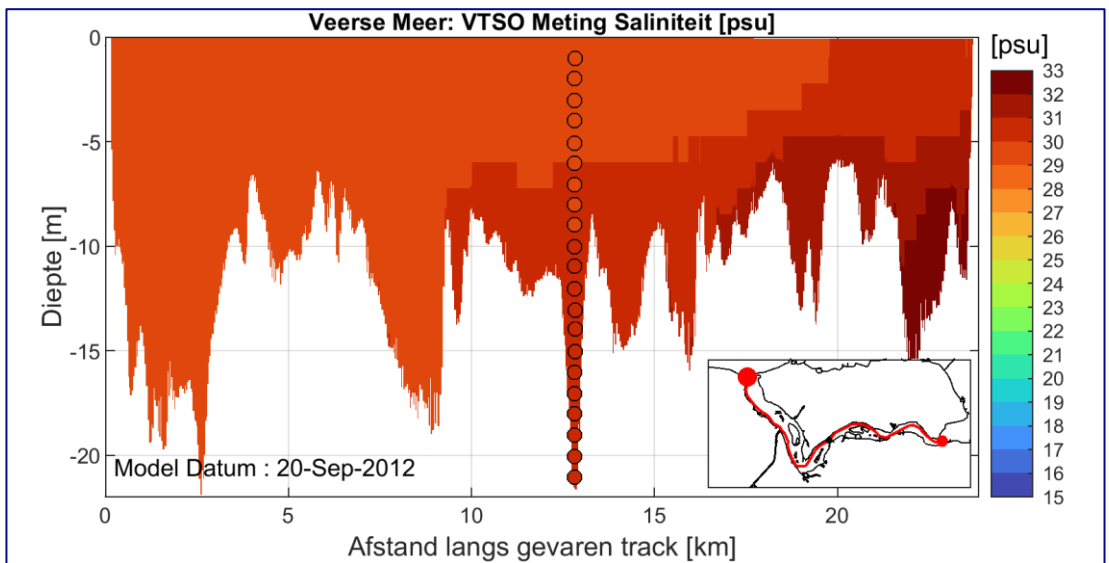
Figuur F-31: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2012



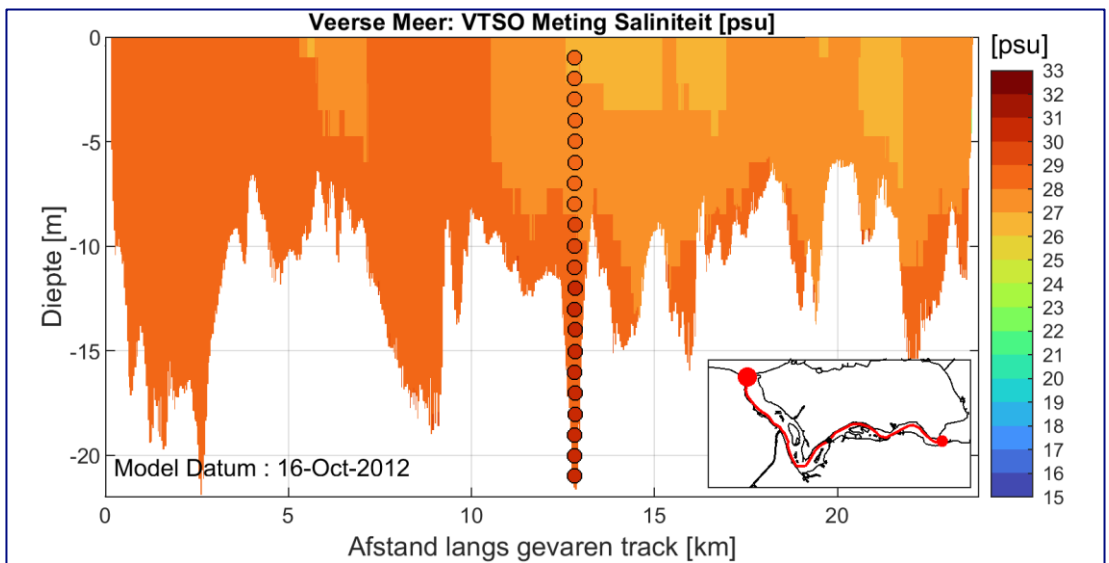
Figuur F-32: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 23 Augustus 2012



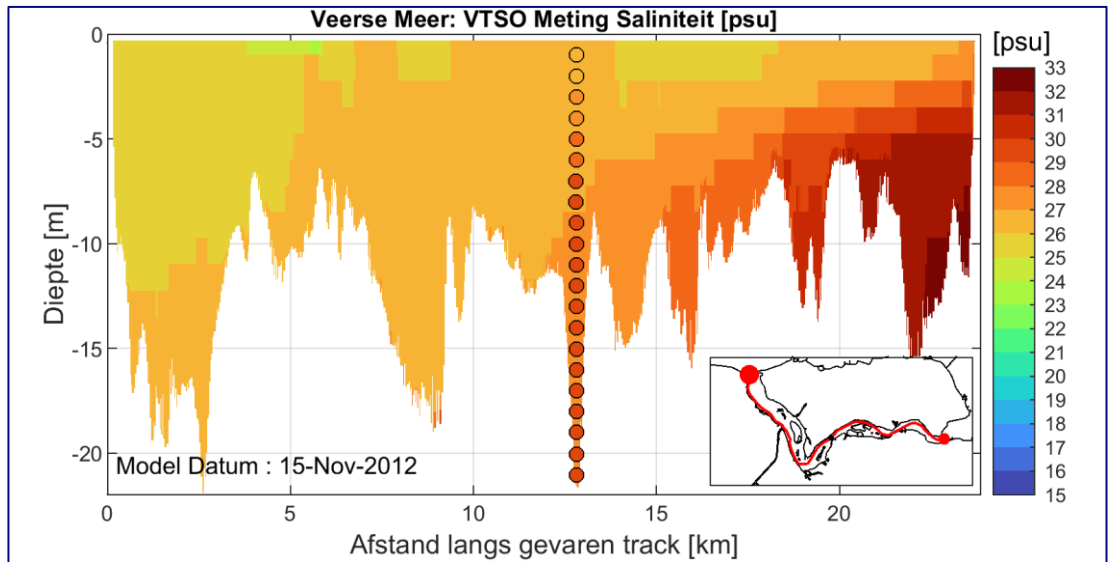
Figuur F-33: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2012



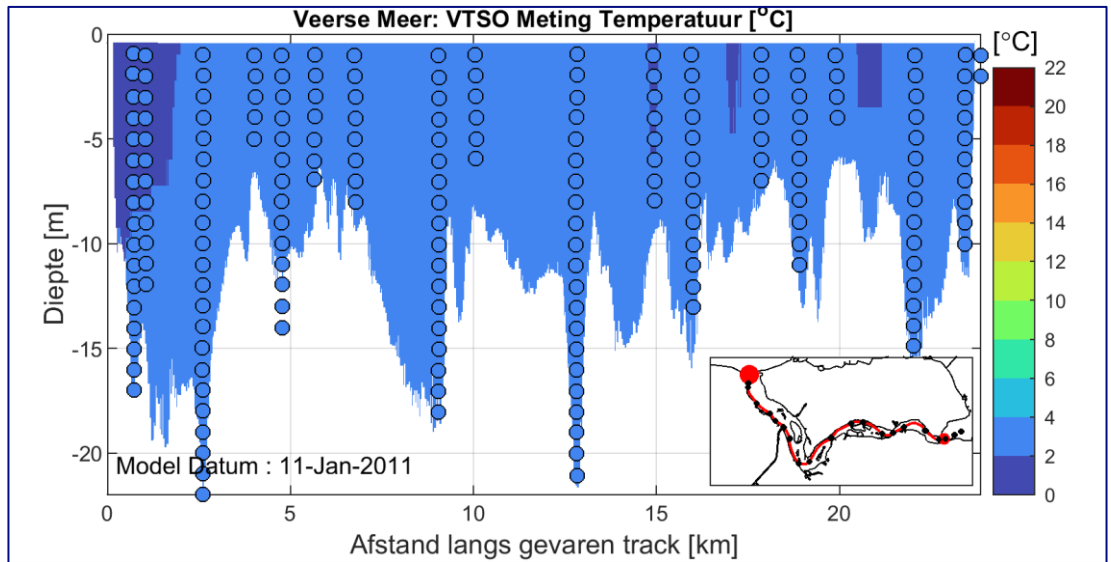
Figuur F-34: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2012



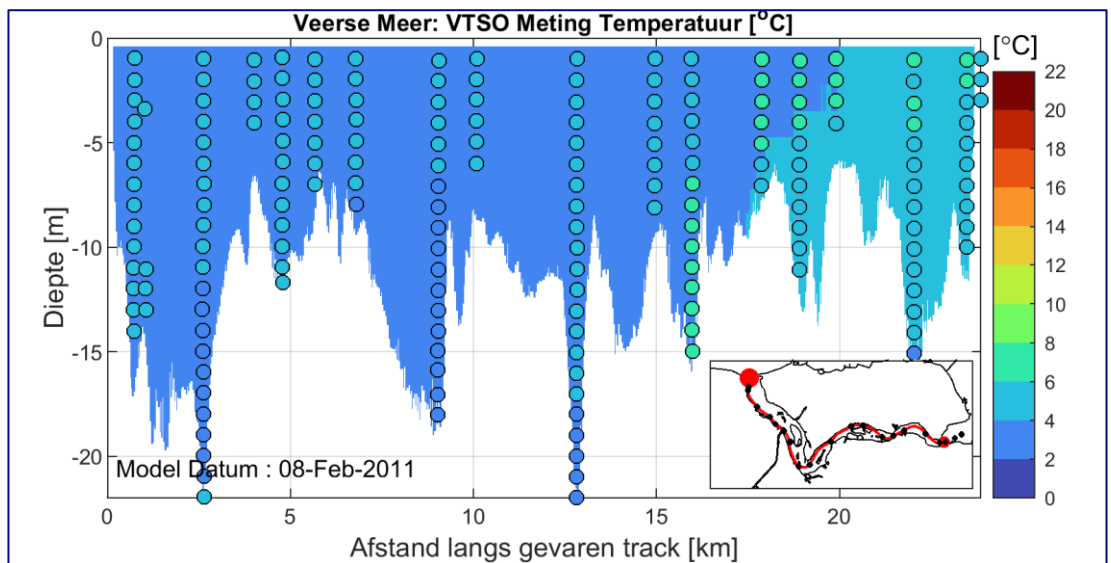
Figuur F-35: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Oktober 2012



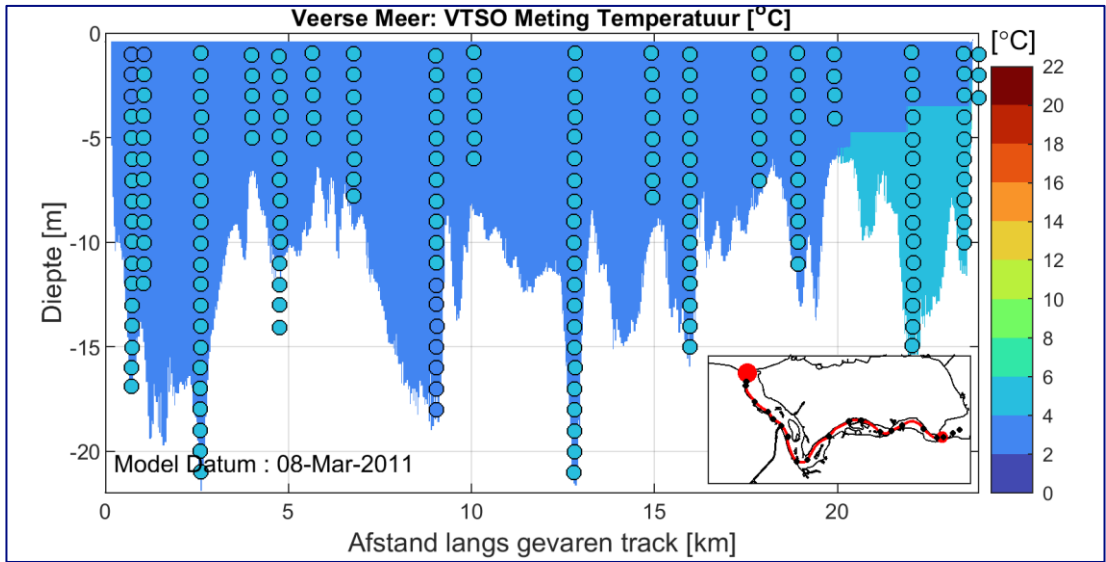
Figuur F-36: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2012



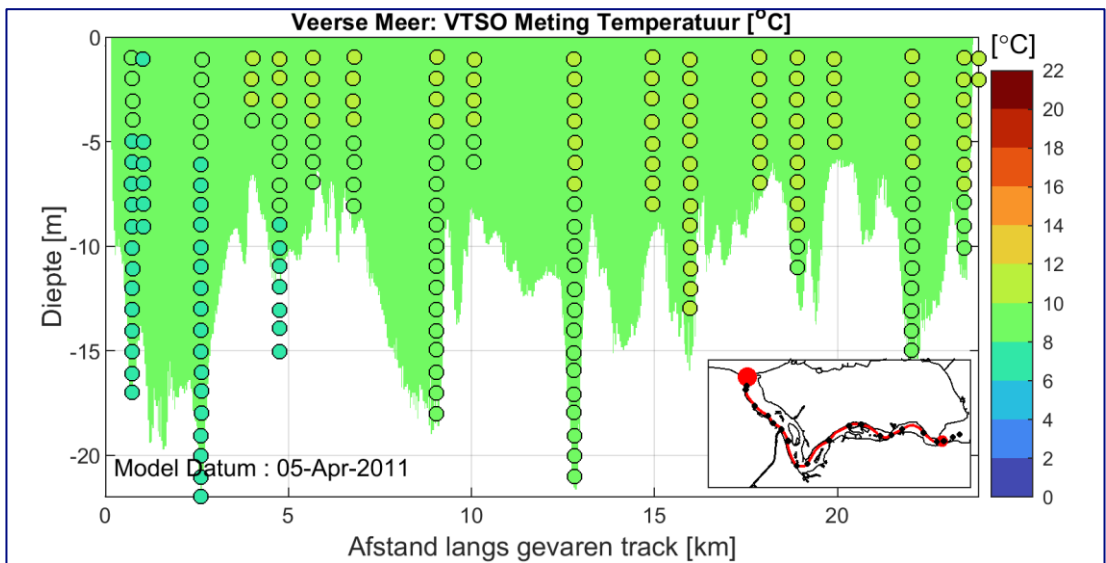
Figuur F-37: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 11 Januari 2011



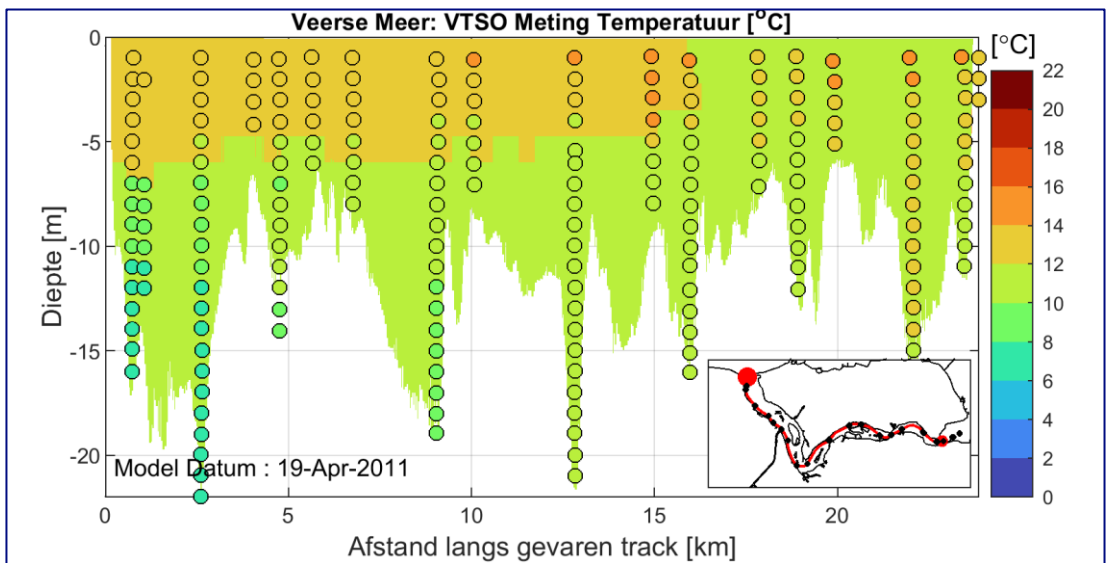
Figuur F-38: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 8 Februari 2011



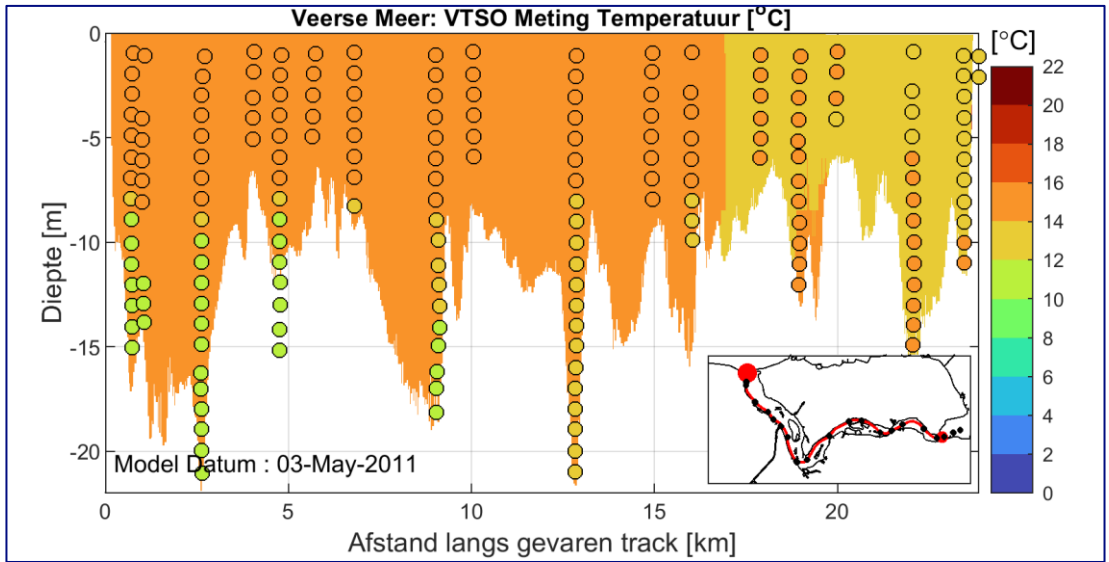
Figuur F-39: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 8 Maart 2011



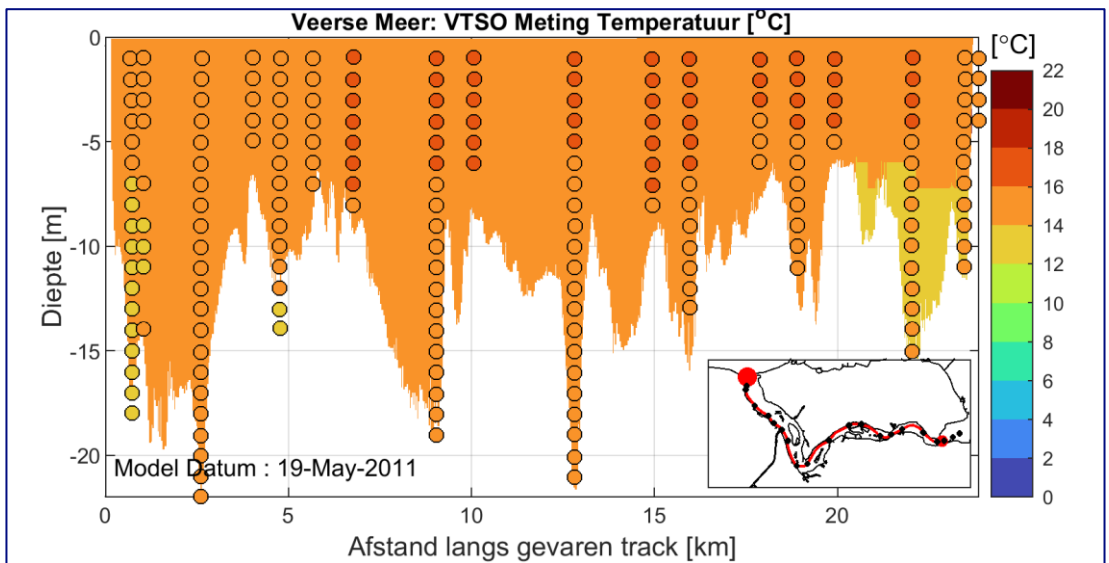
Figuur F-40: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2011



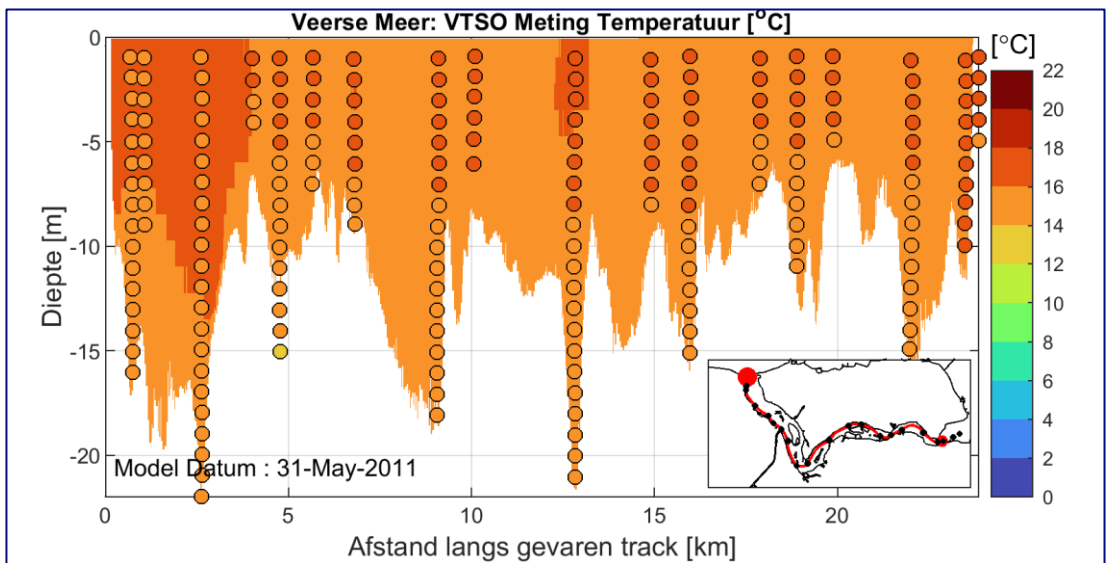
Figuur F-41: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2011



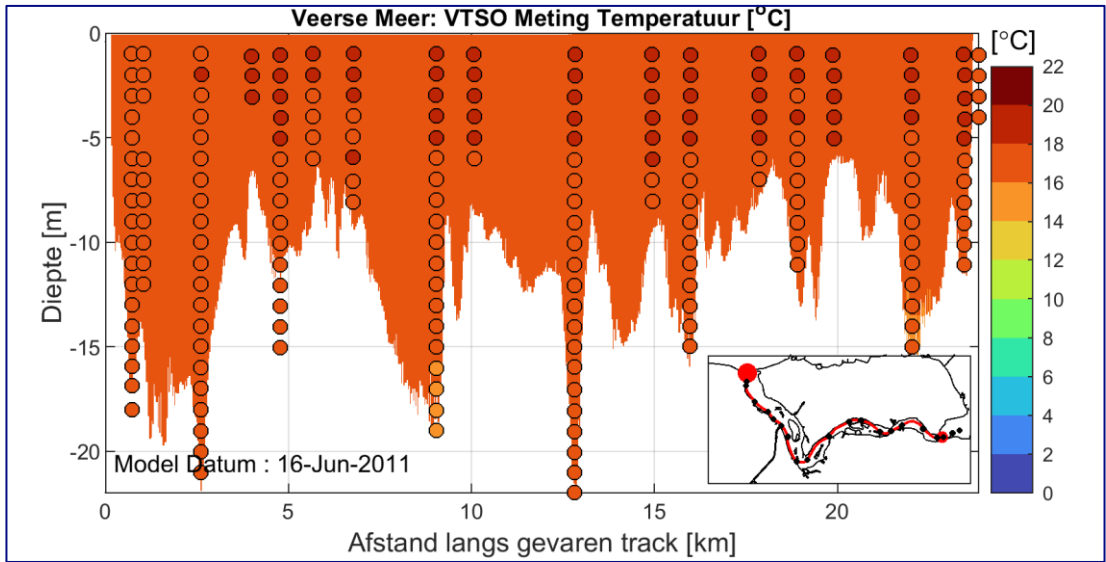
Figuur F-42: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2011



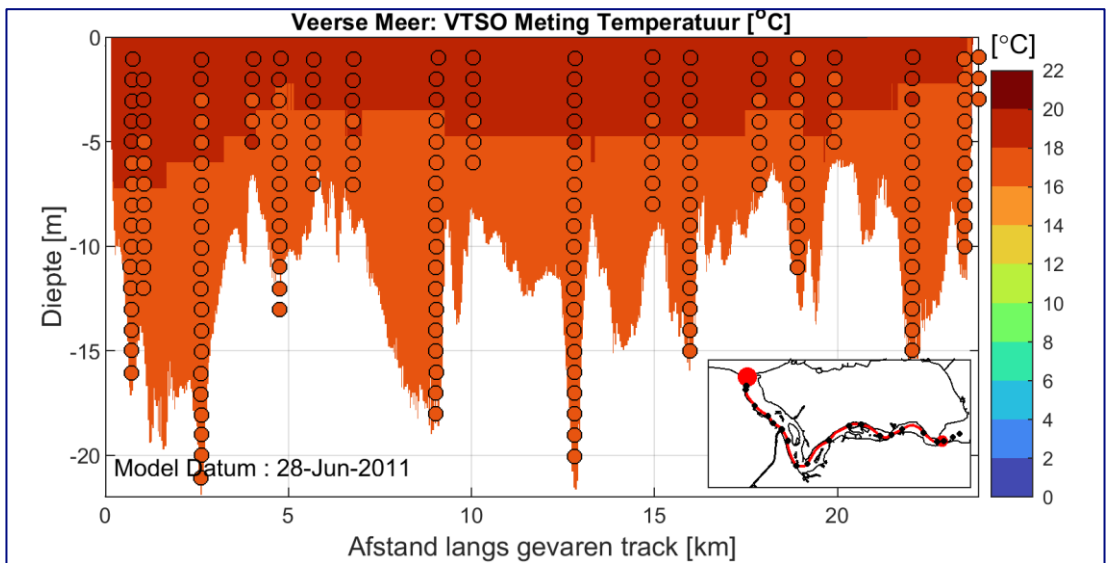
Figuur F-43: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 Mei 2011



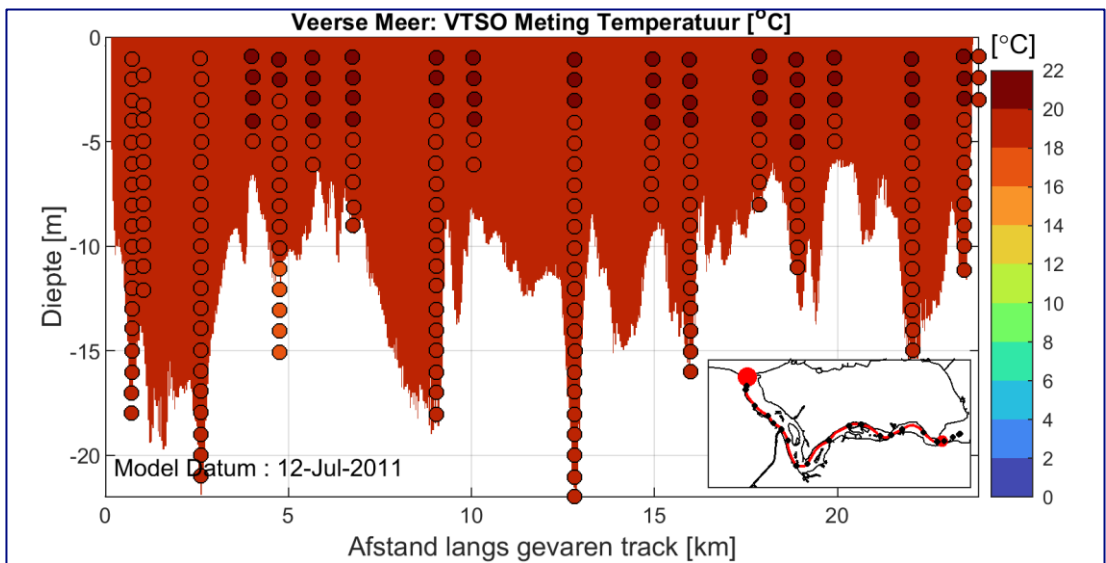
Figuur F-44: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 31 Mei 2011



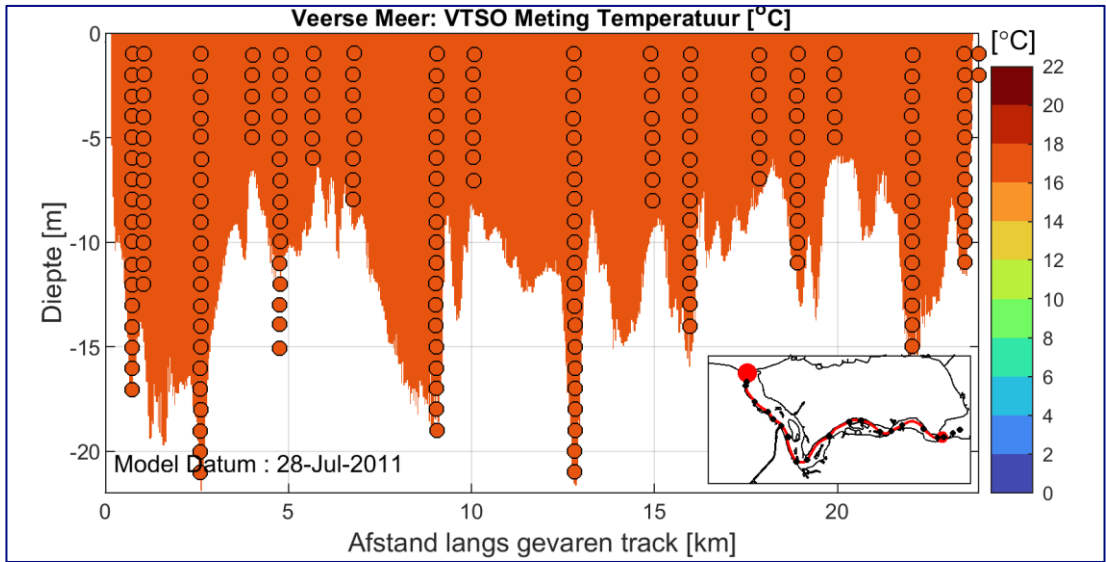
Figuur F-45: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Juni 2011



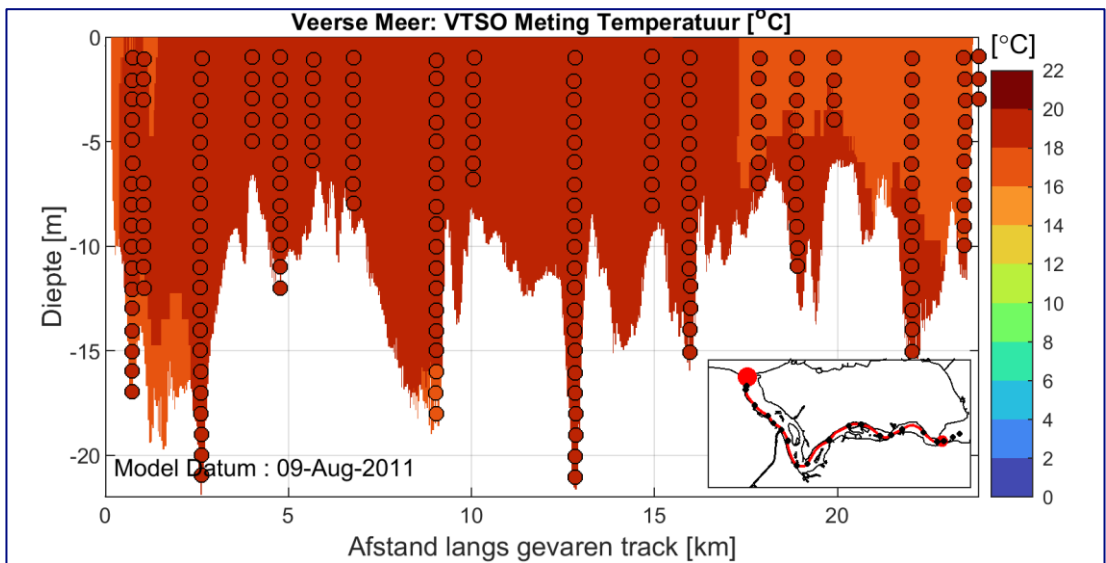
Figuur F-46: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juni 2011



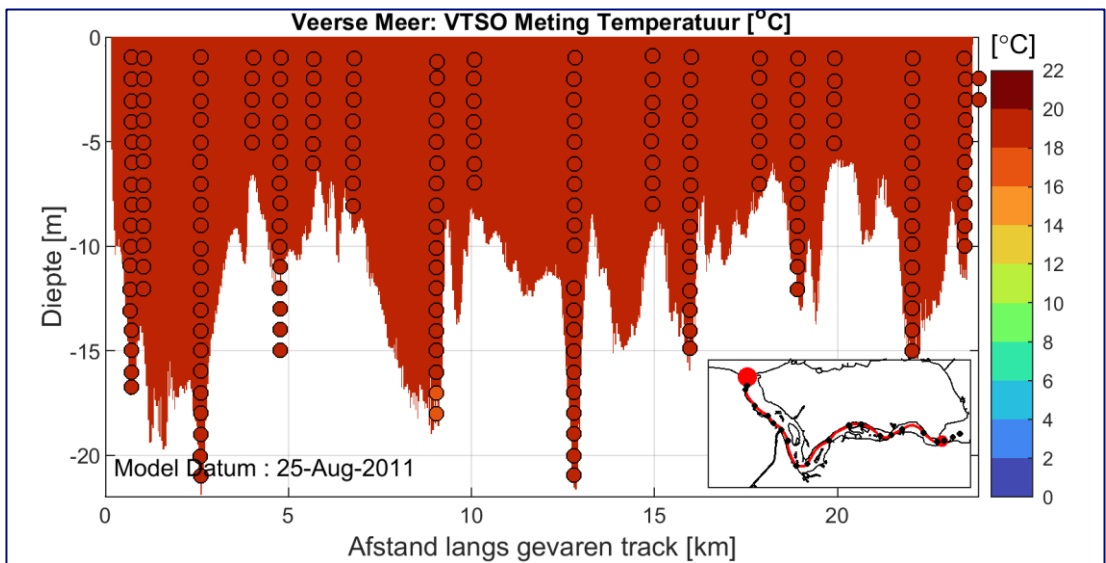
Figuur F-47: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2011



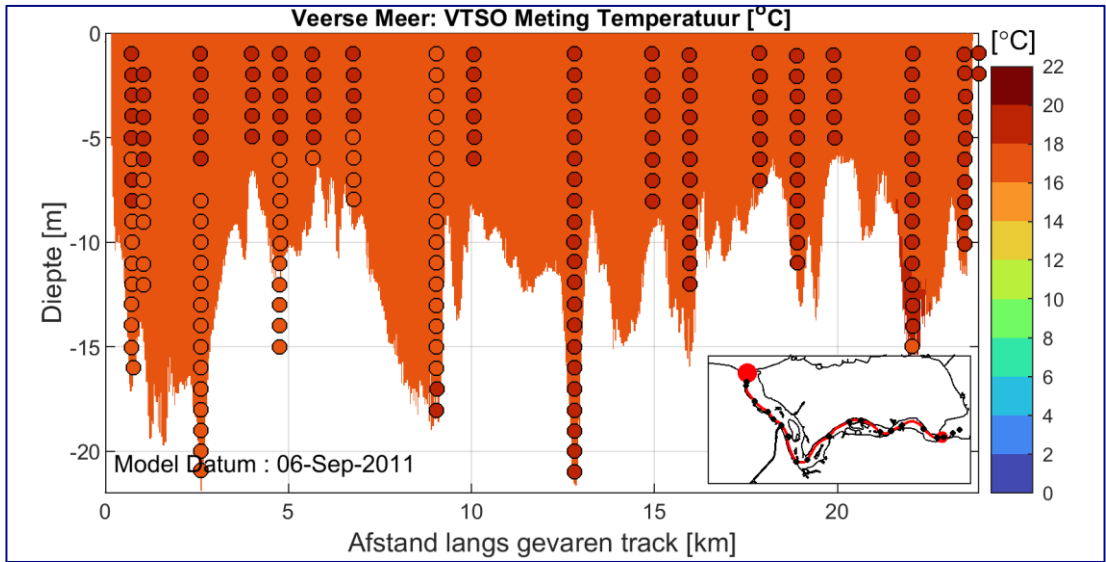
Figuur F-48: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juli 2011



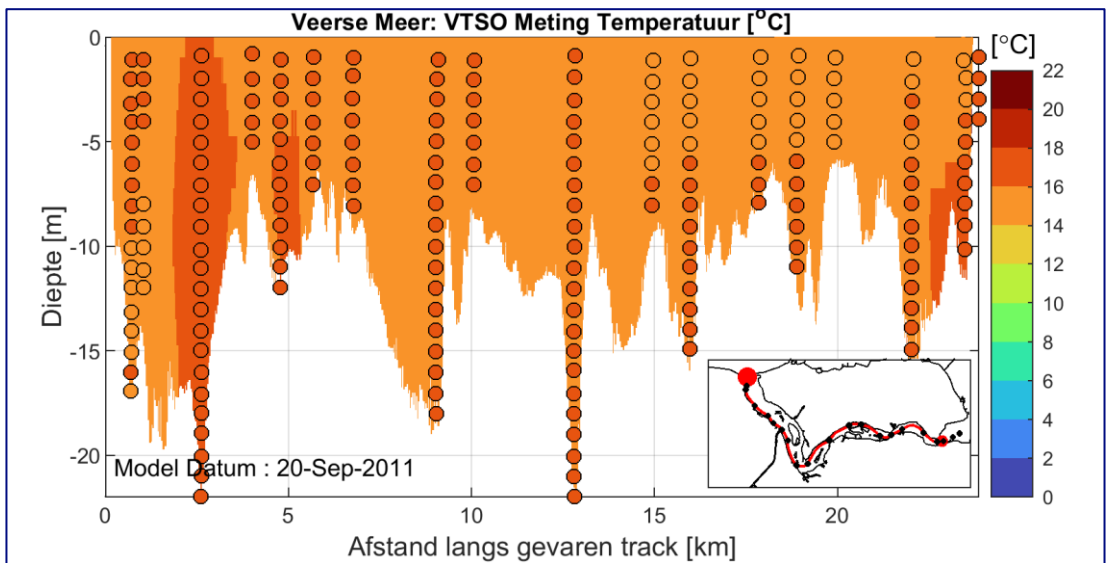
Figuur F-49: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2011



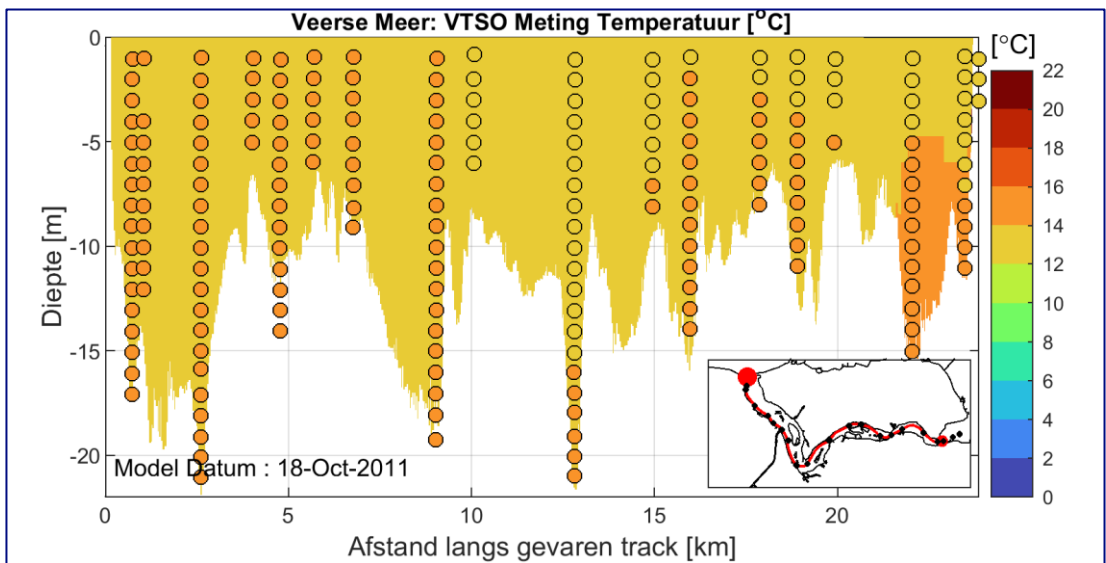
Figuur F-50: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 25 Augustus 2011



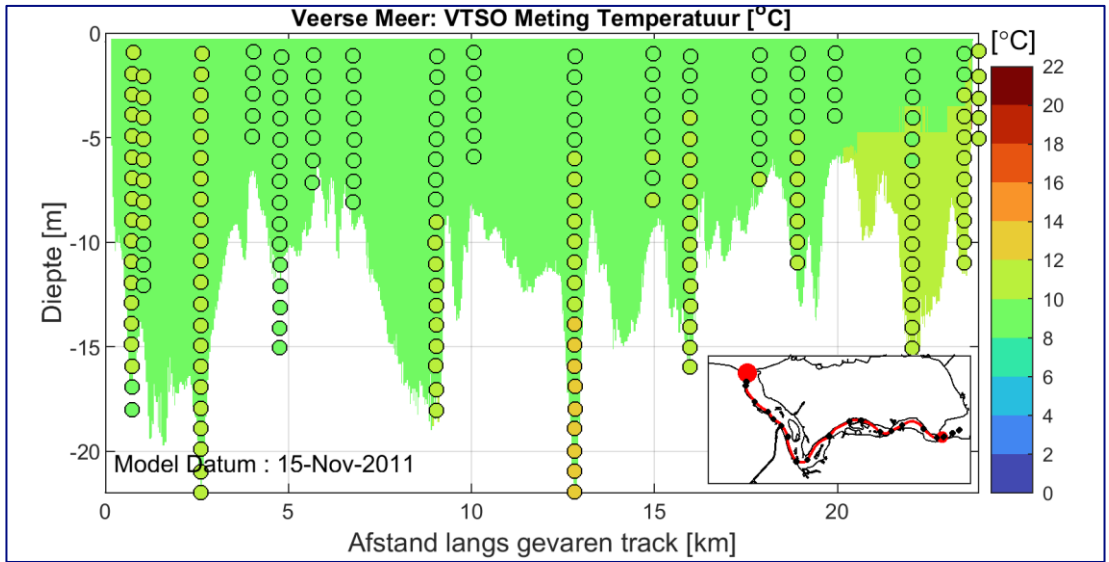
Figuur F-51: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2011



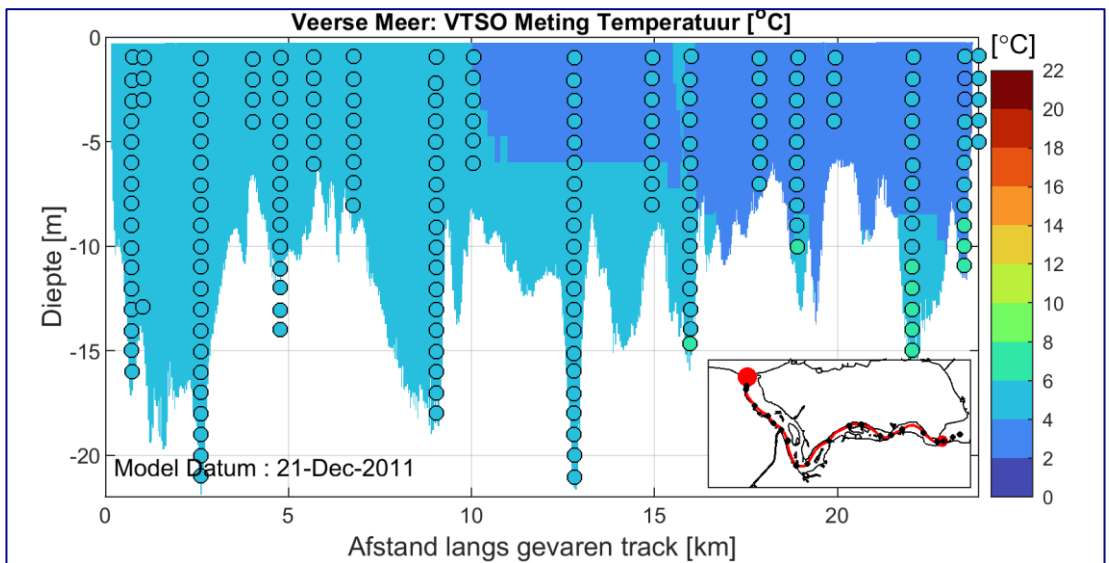
Figuur F-52: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2011



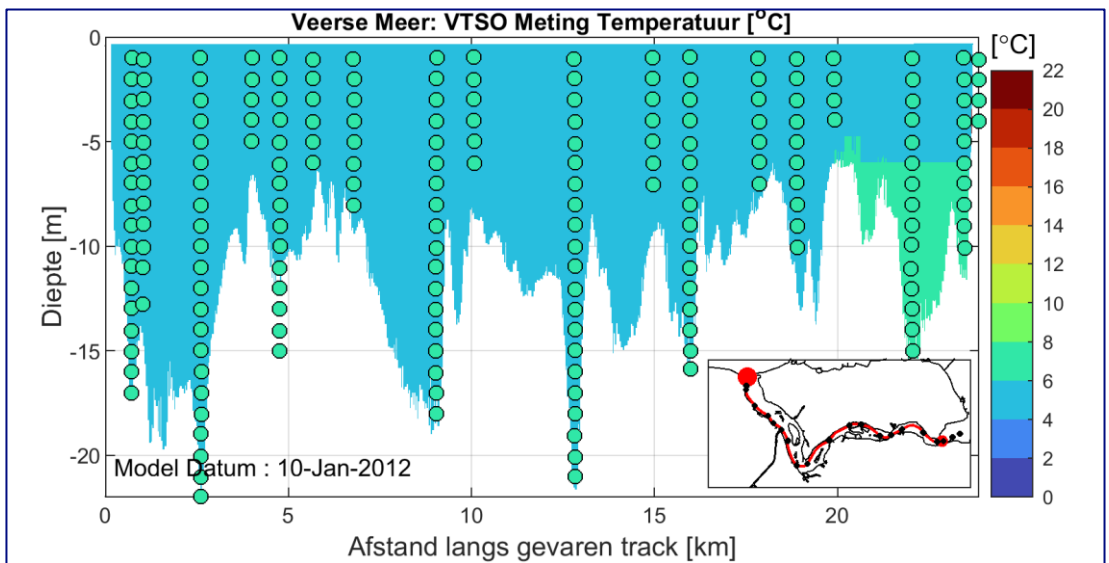
Figuur F-53: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 18 Oktober 2011



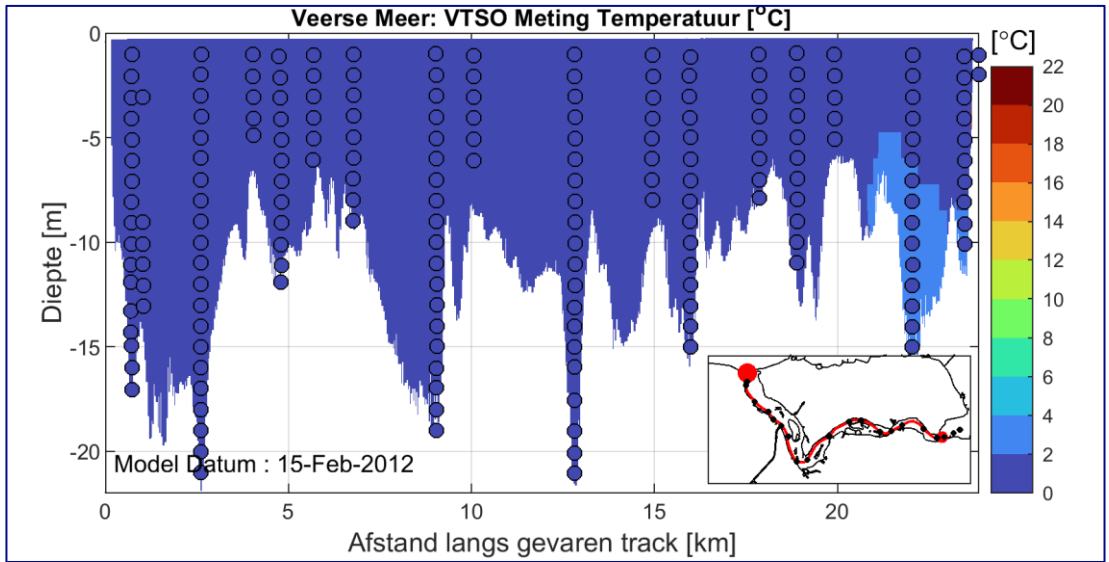
Figuur F-54: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2011



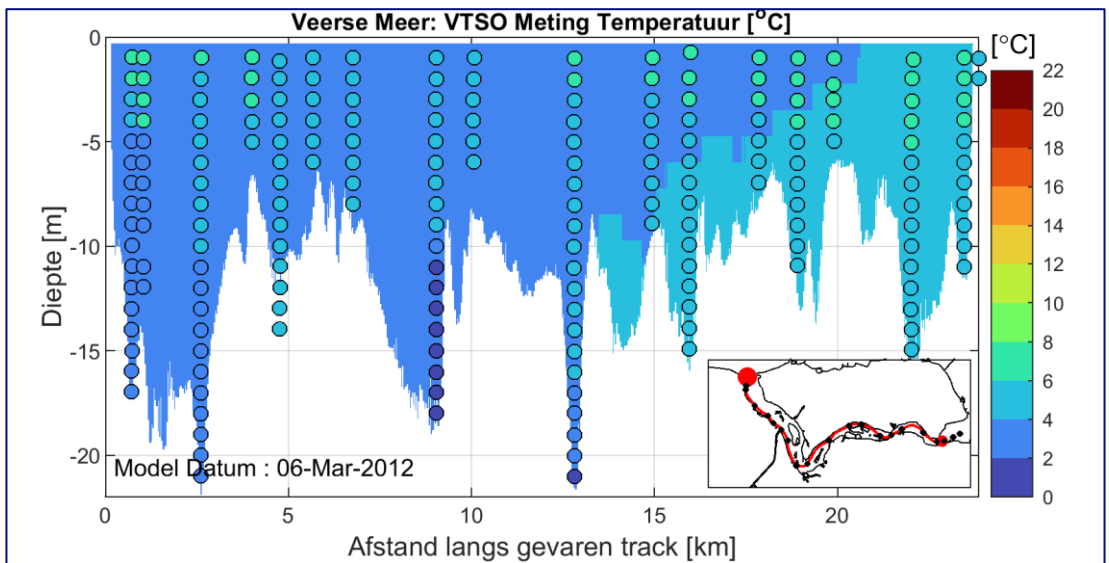
Figuur F-55: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 21 December 2011



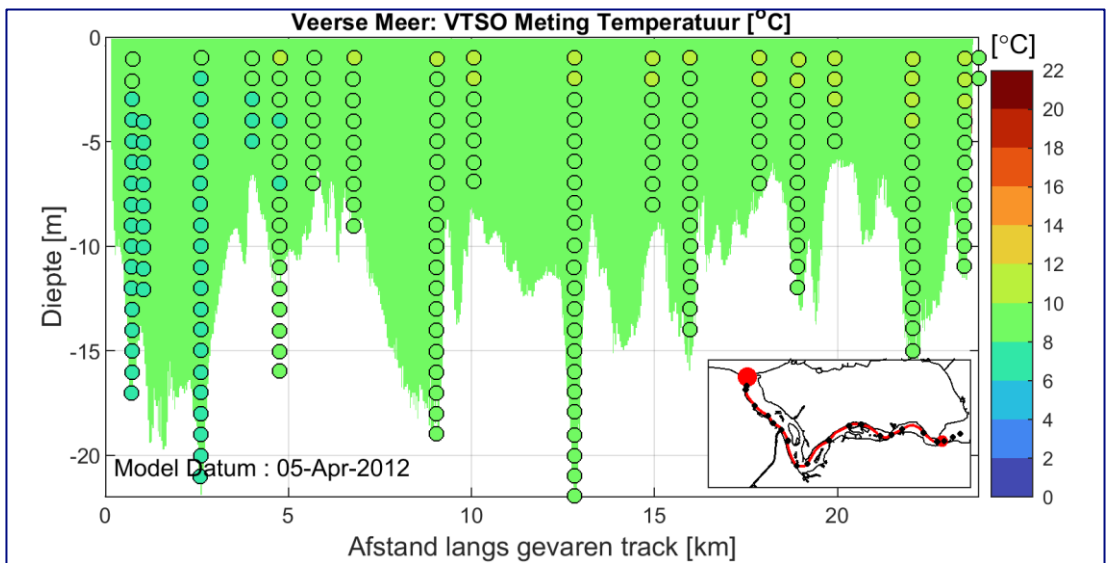
Figuur F-56: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 10 Januari 2012



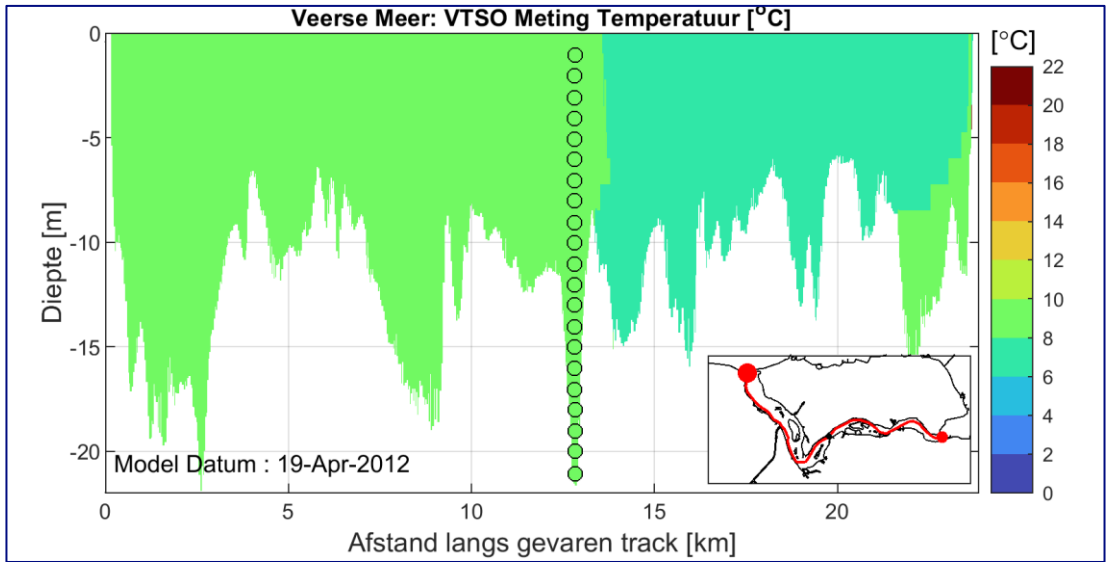
Figuur F-57: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 Februari 2012



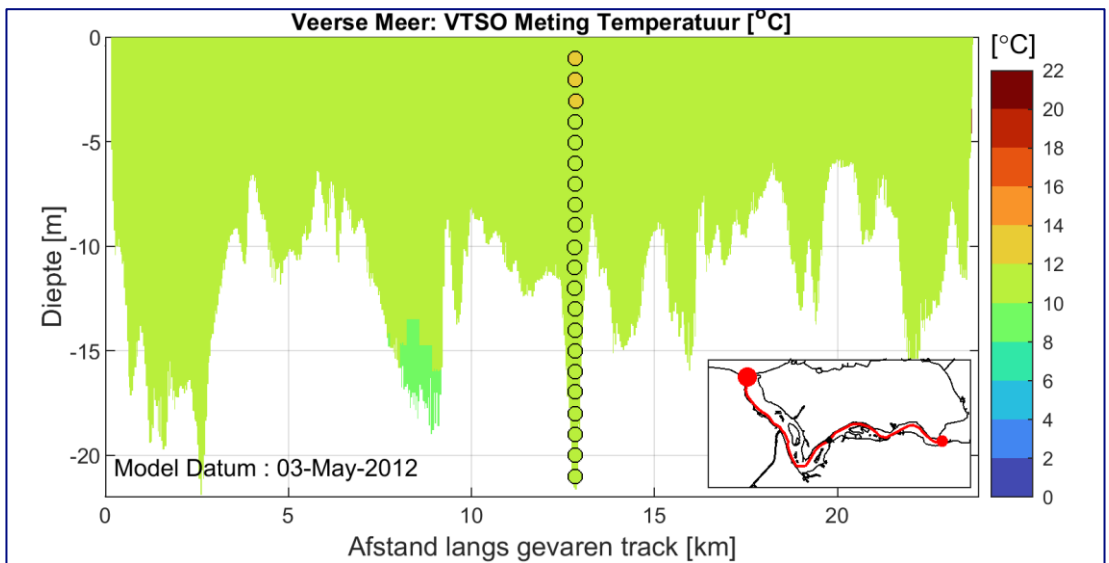
Figuur F-58: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 Maart 2012



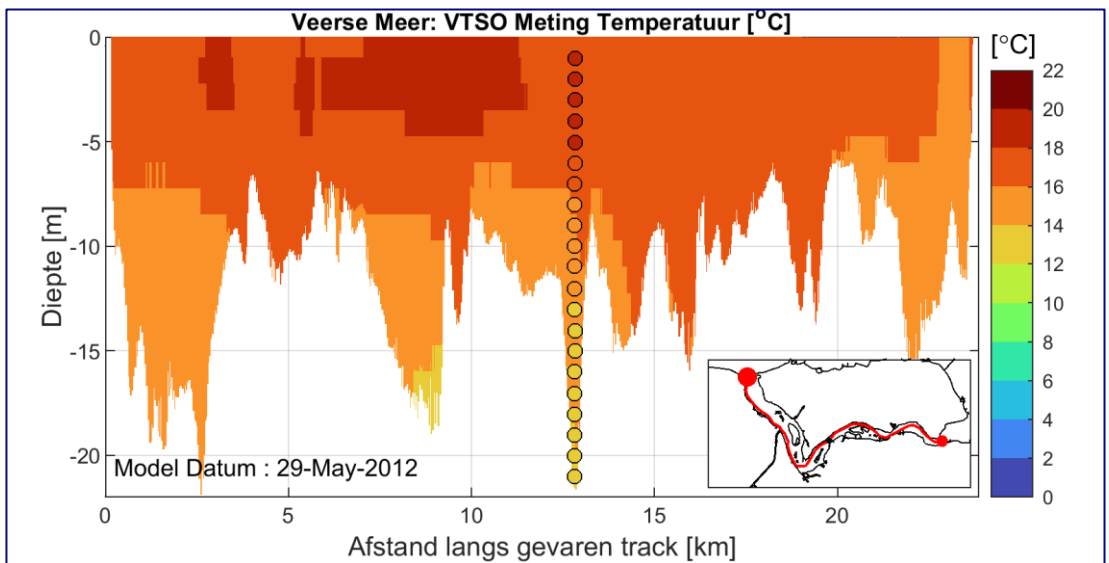
Figuur F-59: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2012



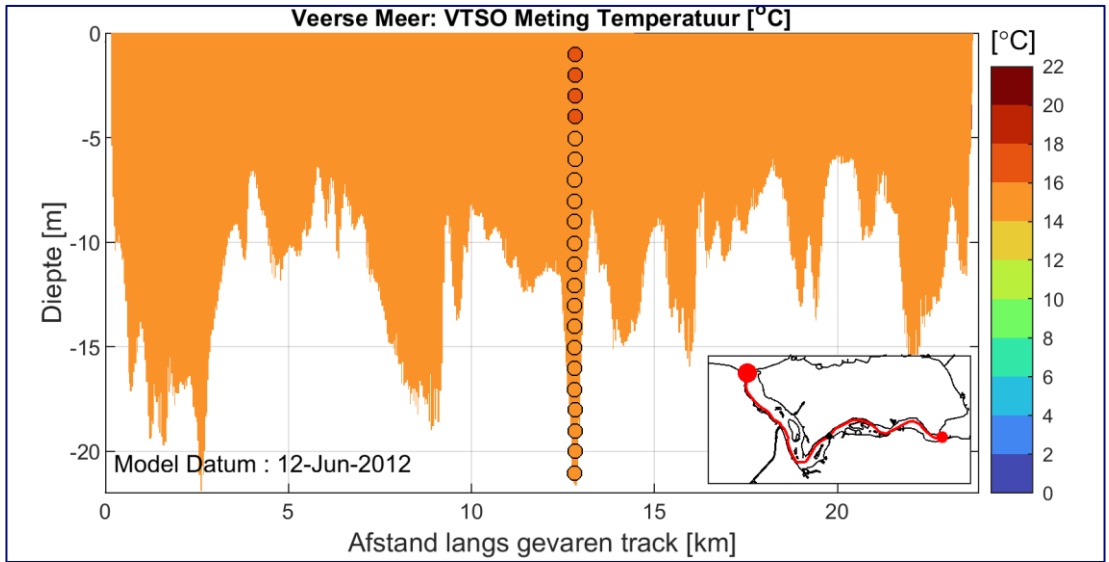
Figuur F-60: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2012



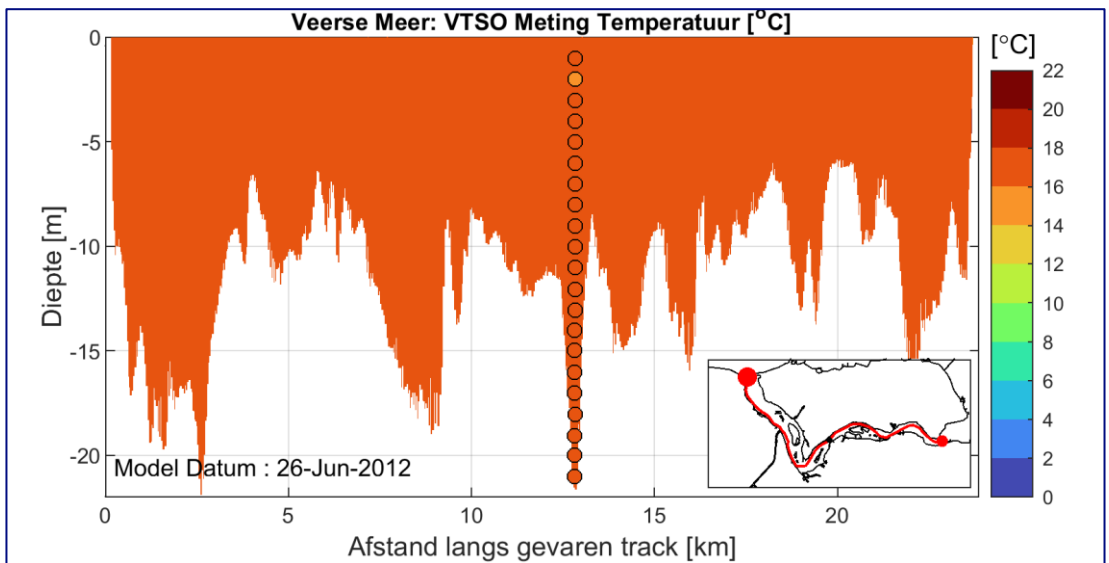
Figuur F-61: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2012



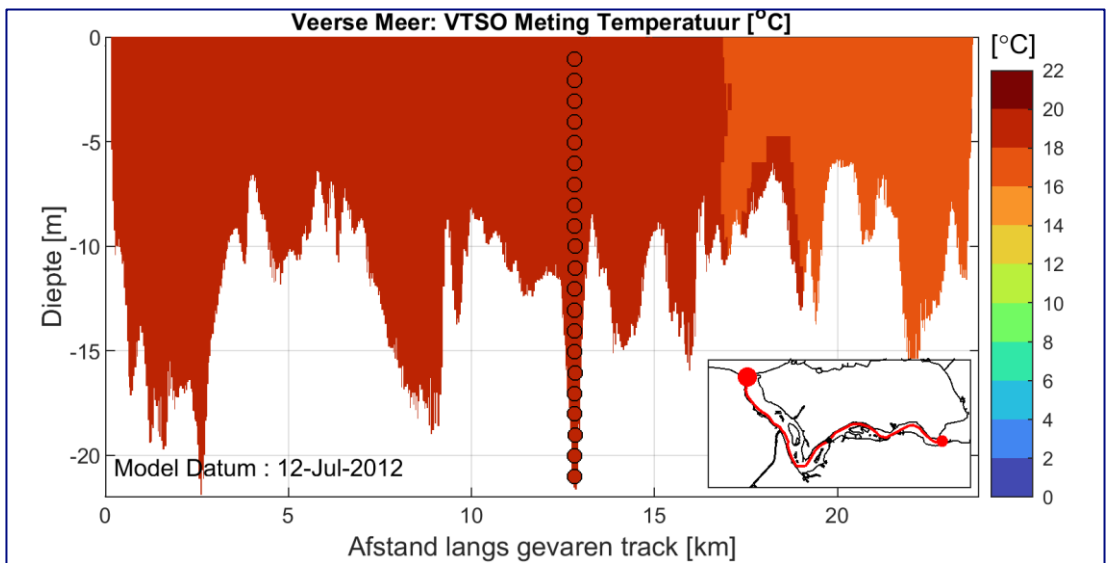
Figuur F-62: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 29 Mei 2012



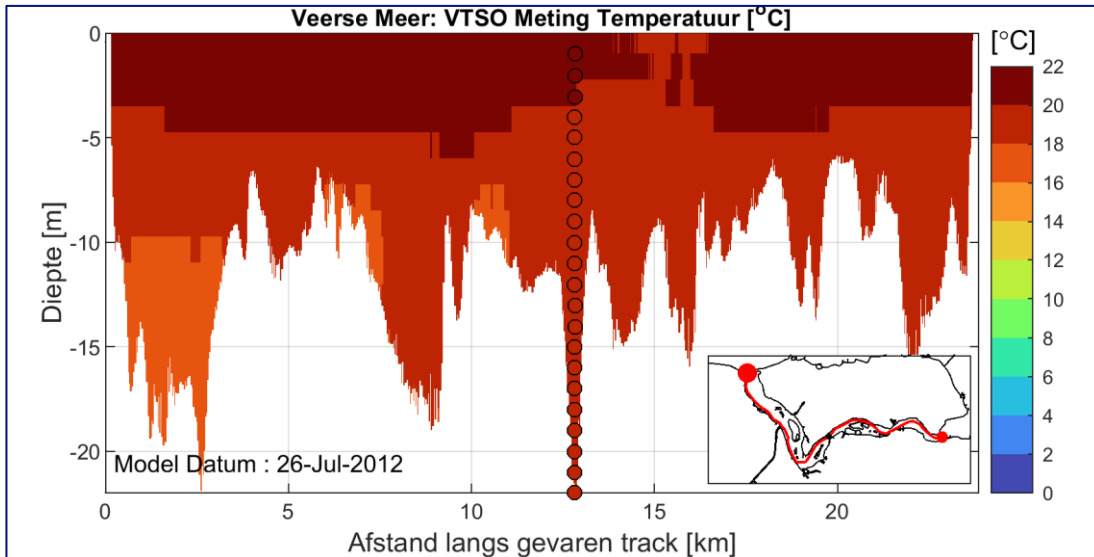
Figuur F-63: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juni 2011



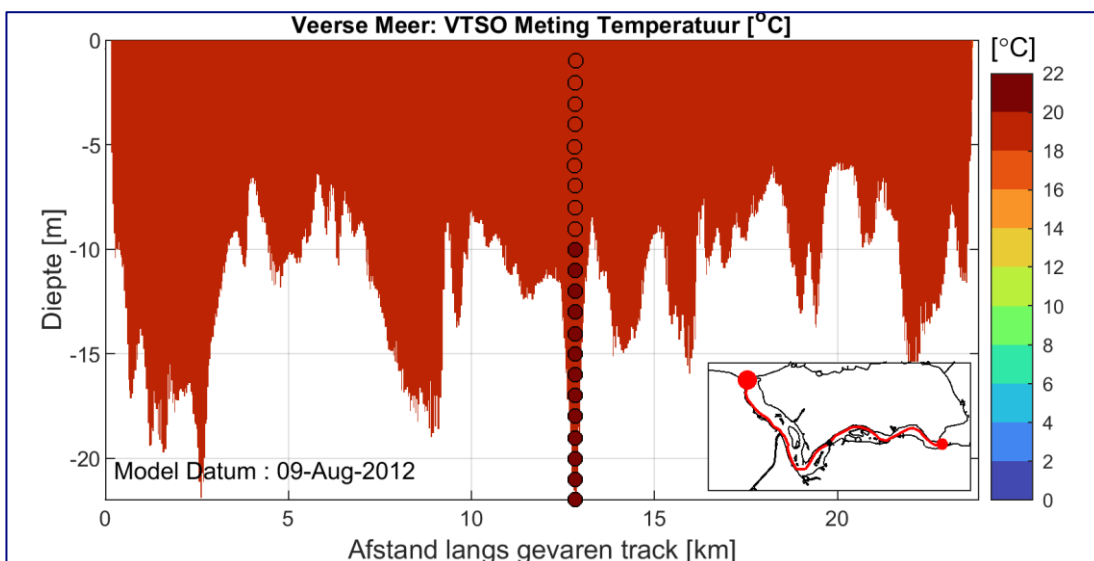
Figuur F-64: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juni 2012



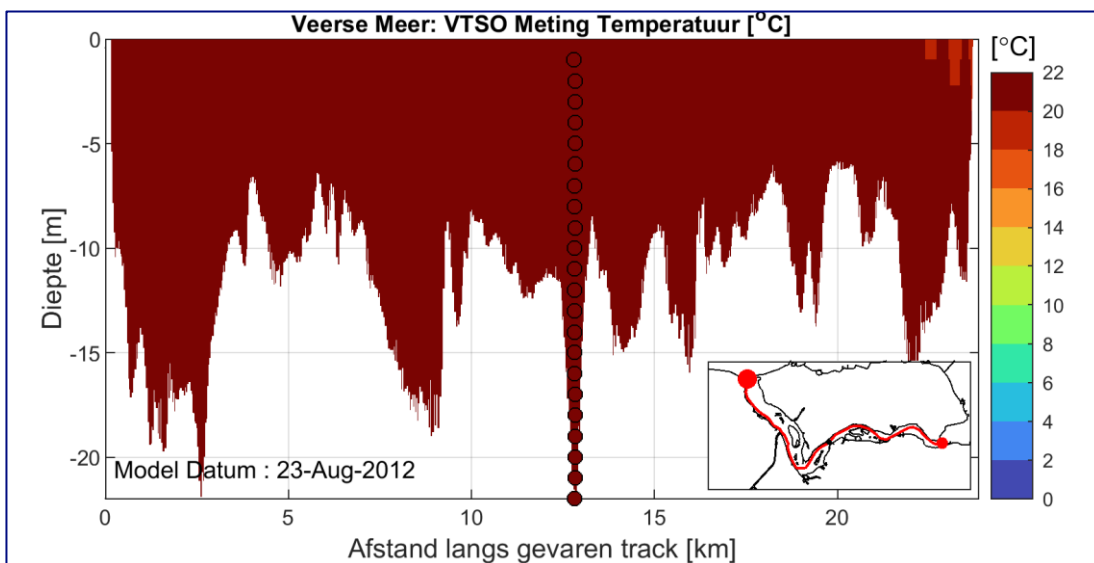
Figuur F-65: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2012



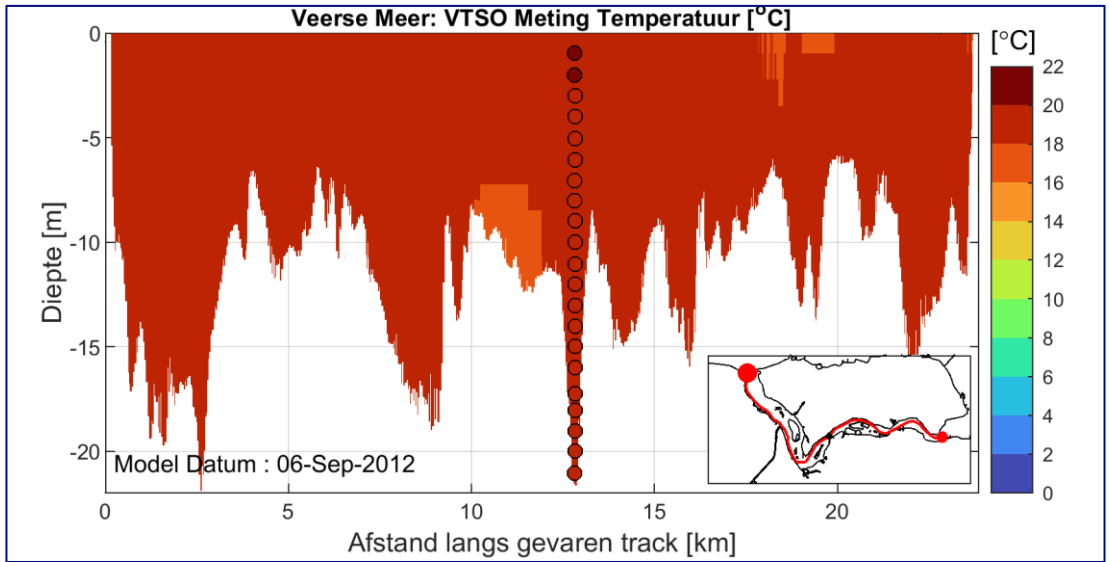
Figuur F-66: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juli 2012



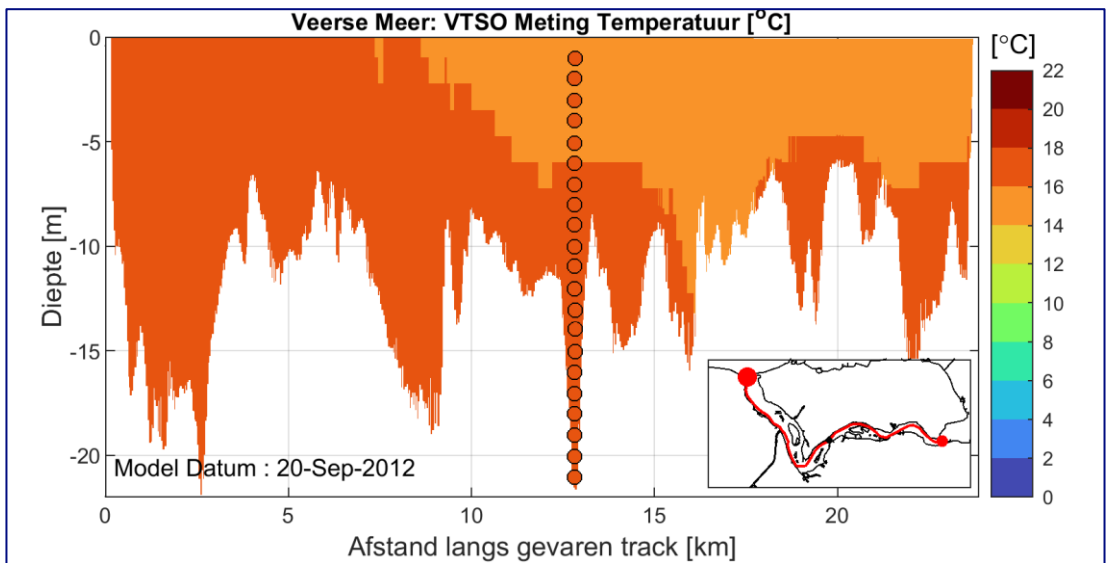
Figuur F-67: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2012



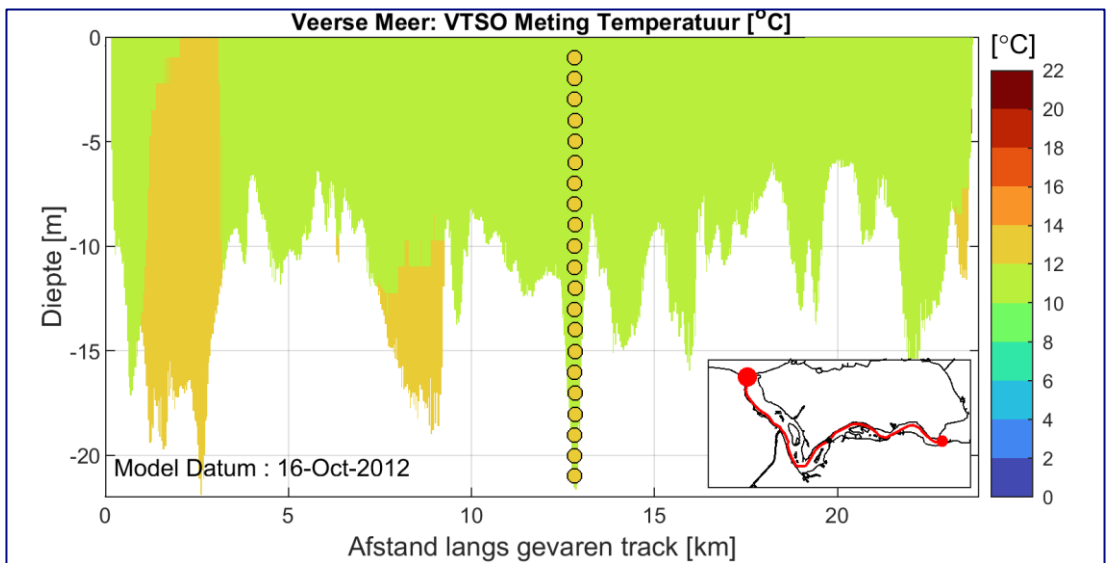
Figuur F-68: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 23 Augustus 2012



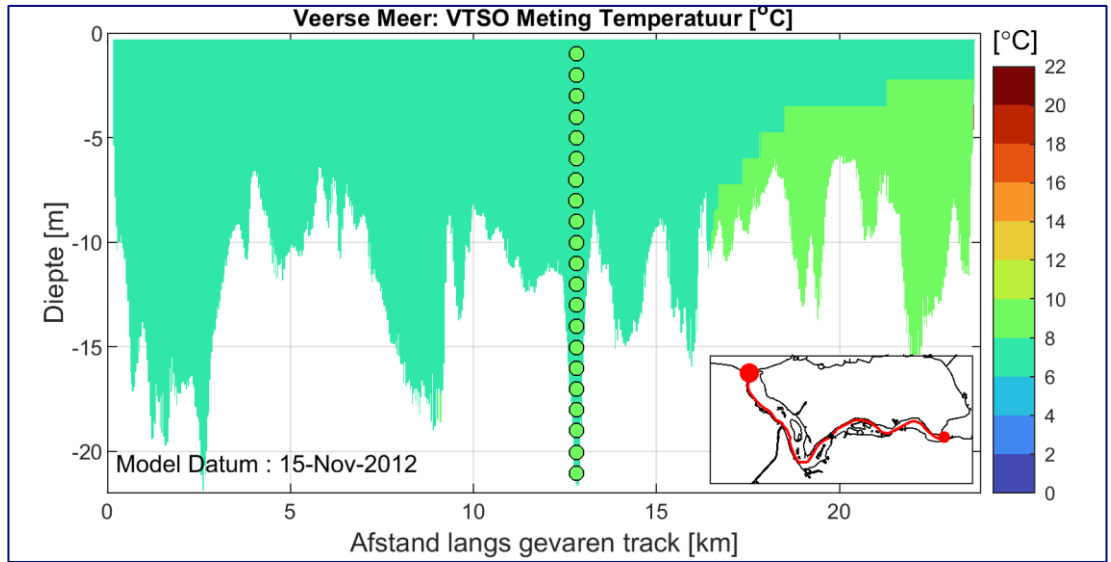
Figuur F-69: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2012



Figuur F-70: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2012

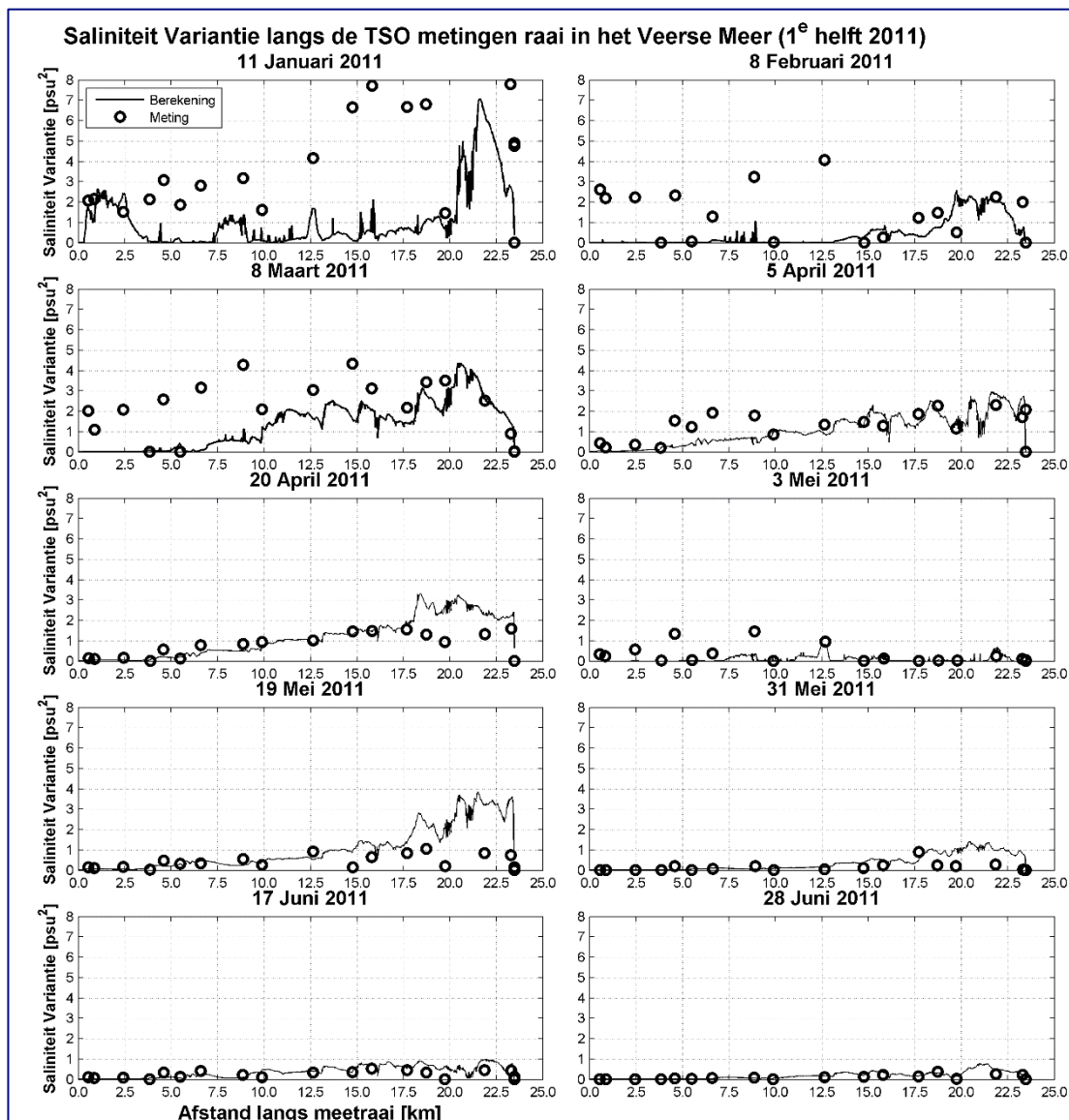


Figuur F-71: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Oktober 2011

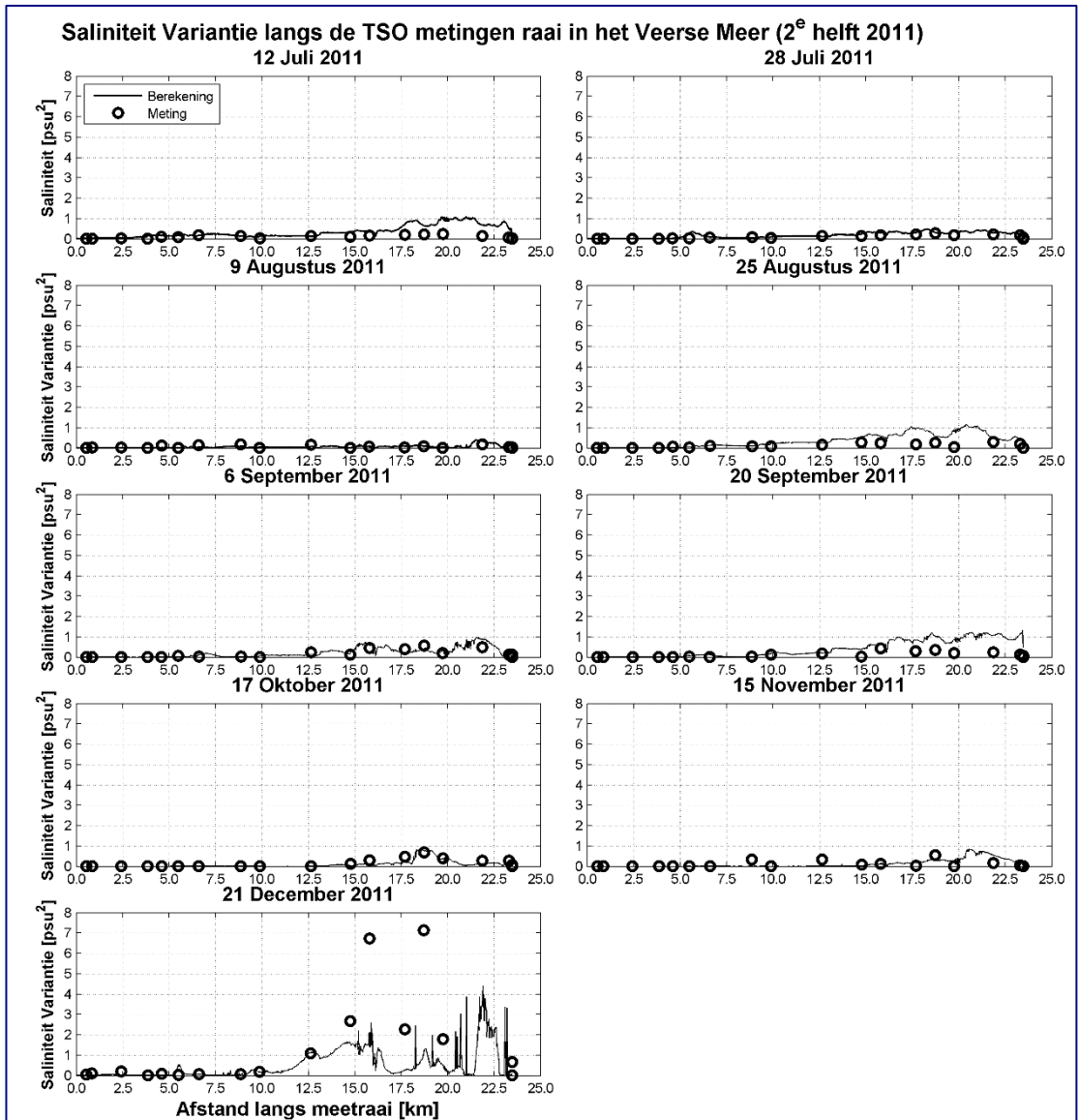


Figuur F-72: Temperatuur, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 15 November 2012

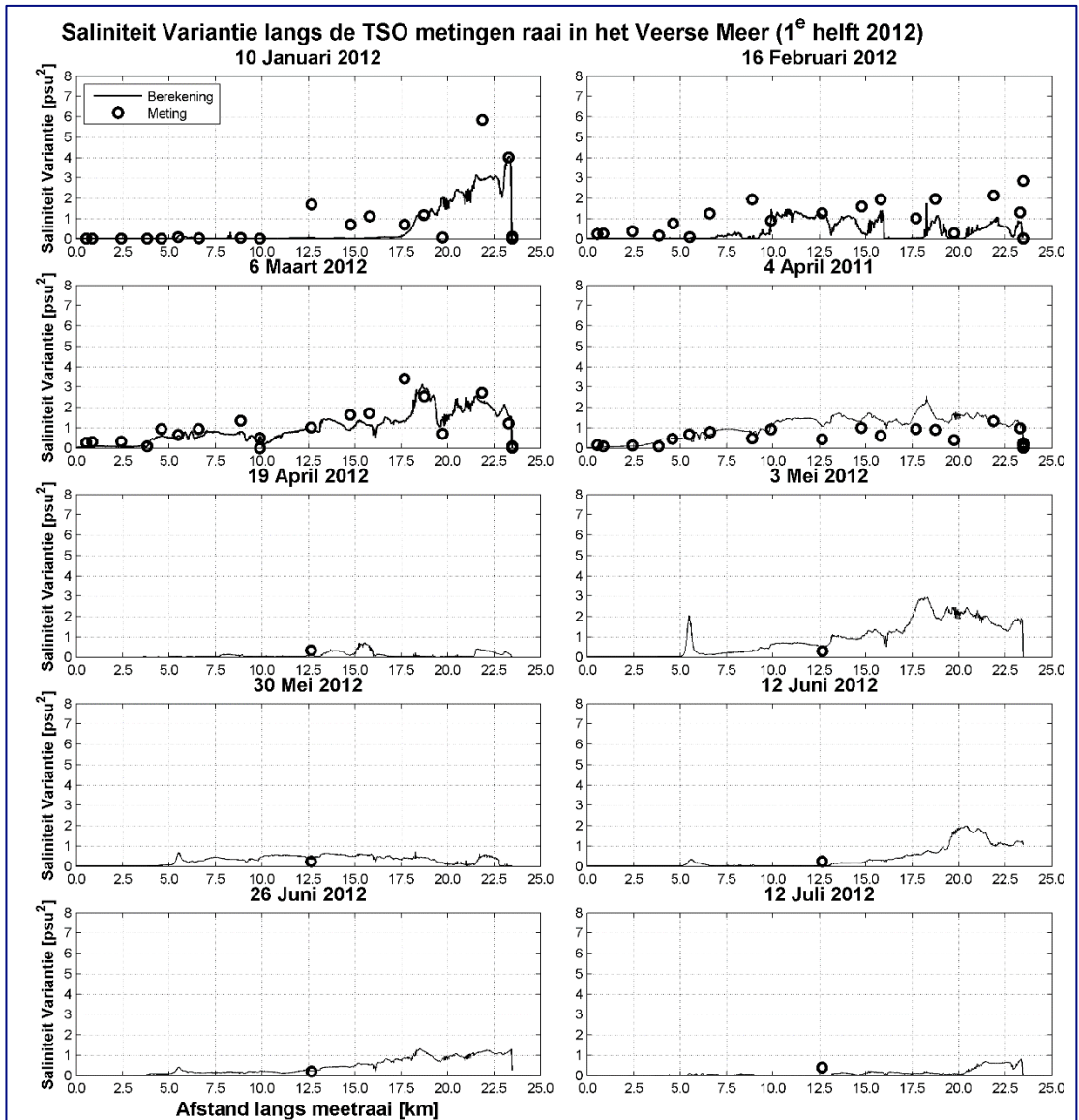
G Resultaten Toetsingsberekening: Saliniteit en Temperatuur Variantie TSO metingen



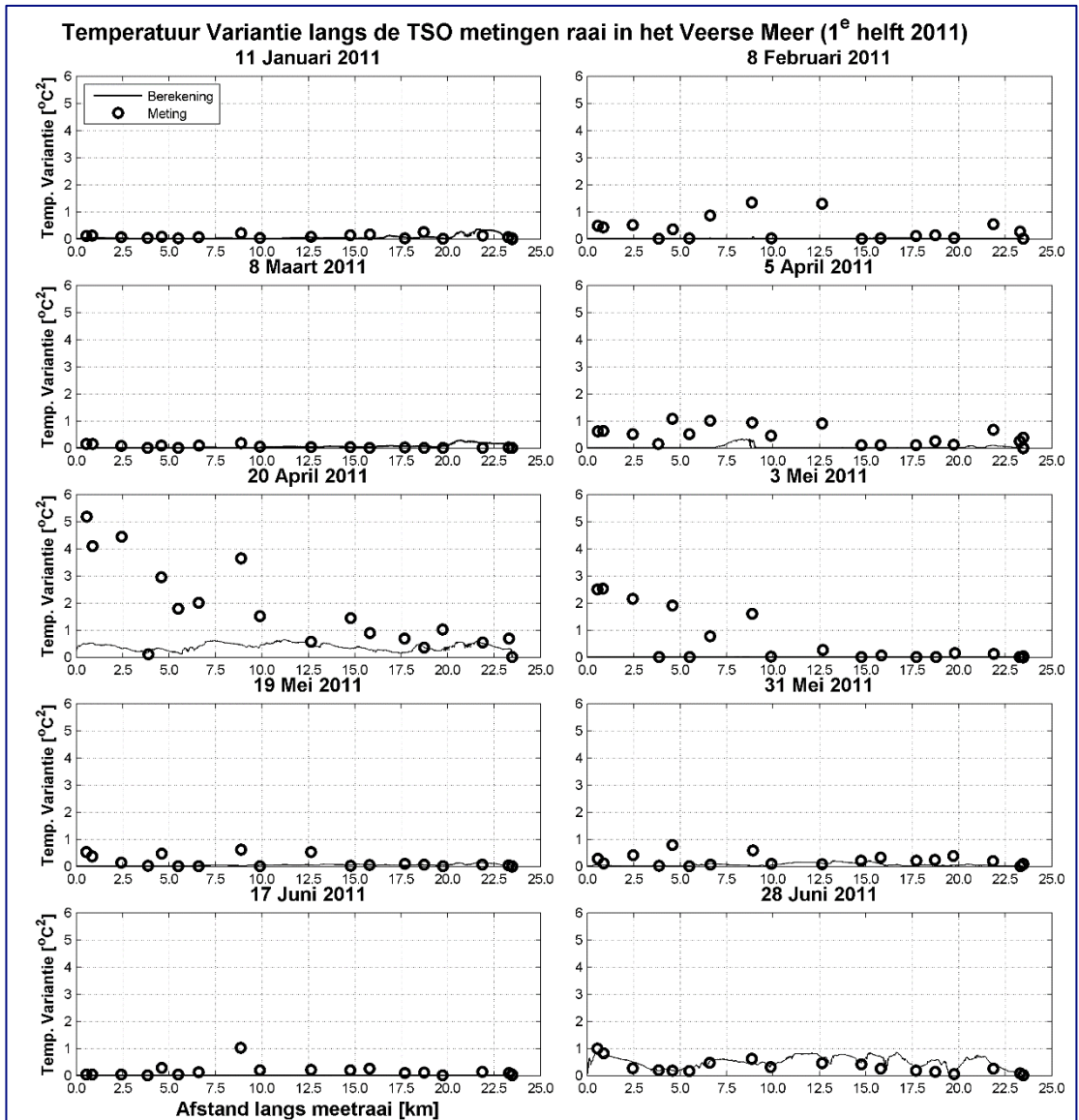
Figuur G-1: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011



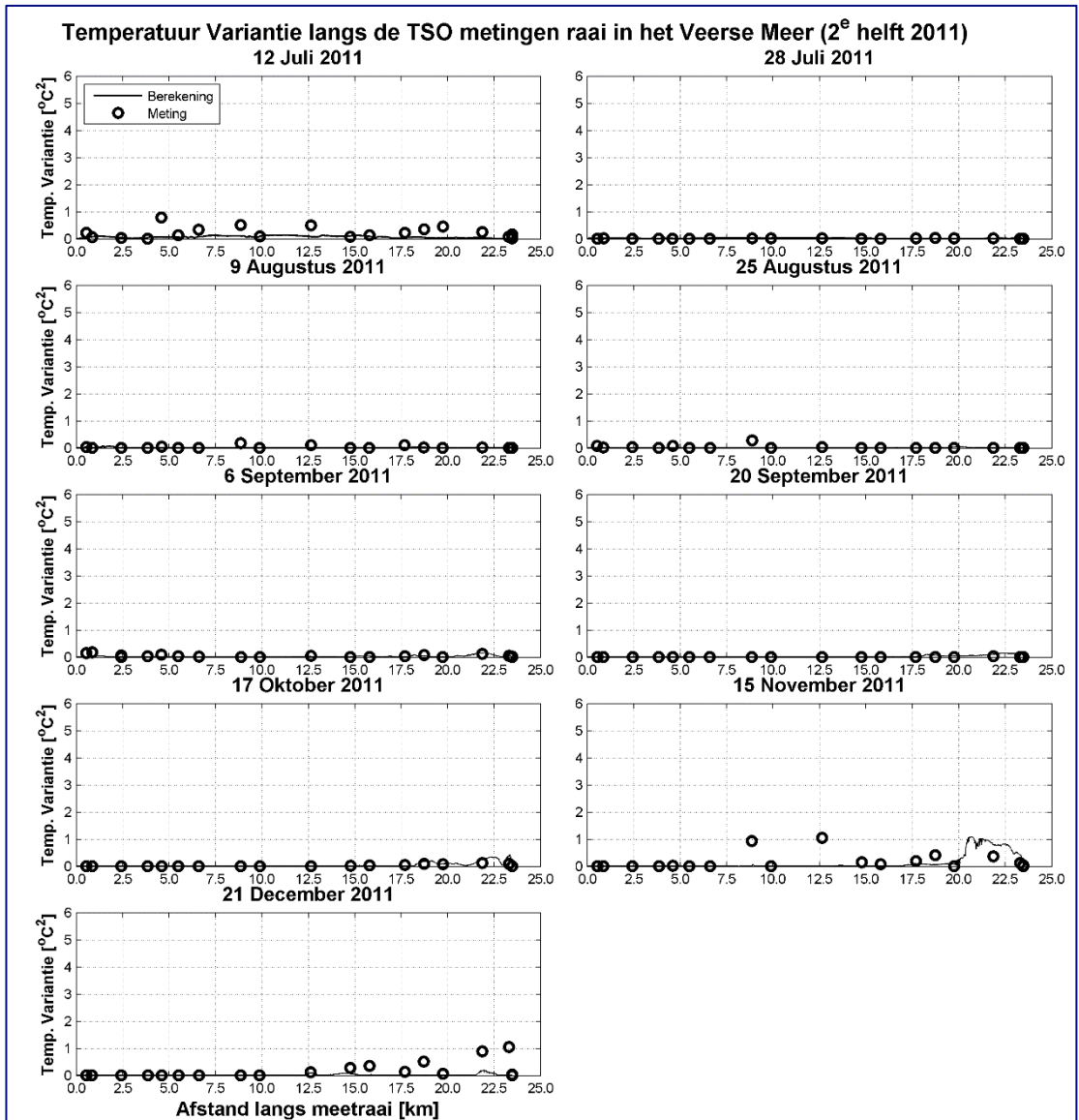
Figuur G-2: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011



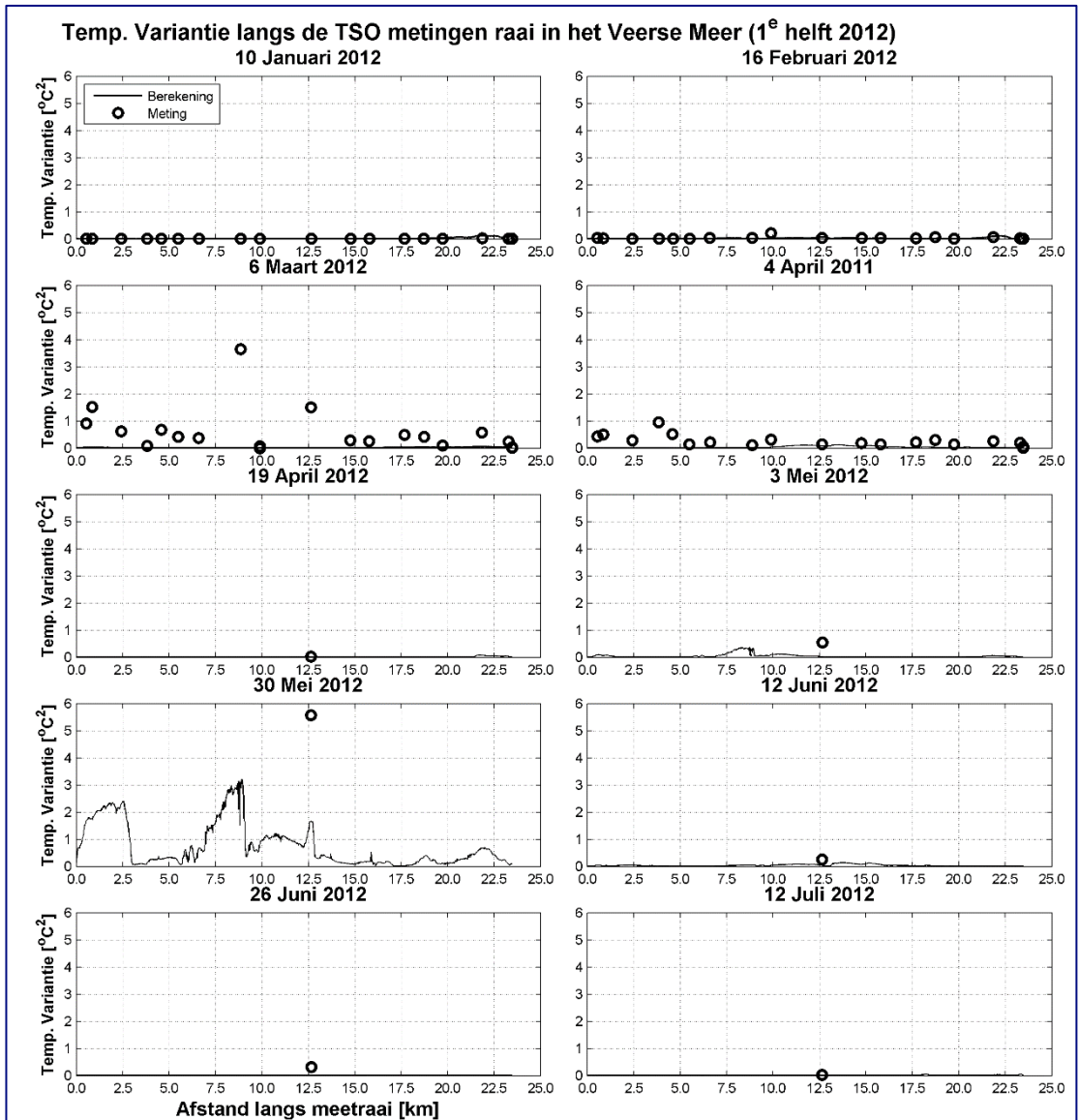
Figuur G-3: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012



Figuur G-4: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011

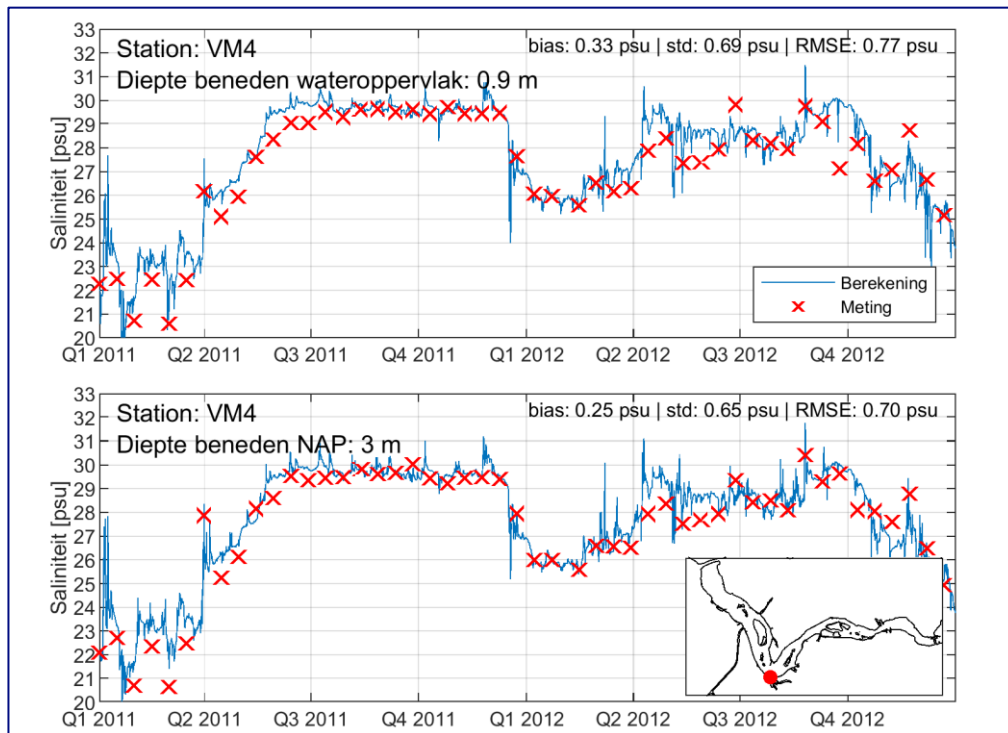


Figuur G-5: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011

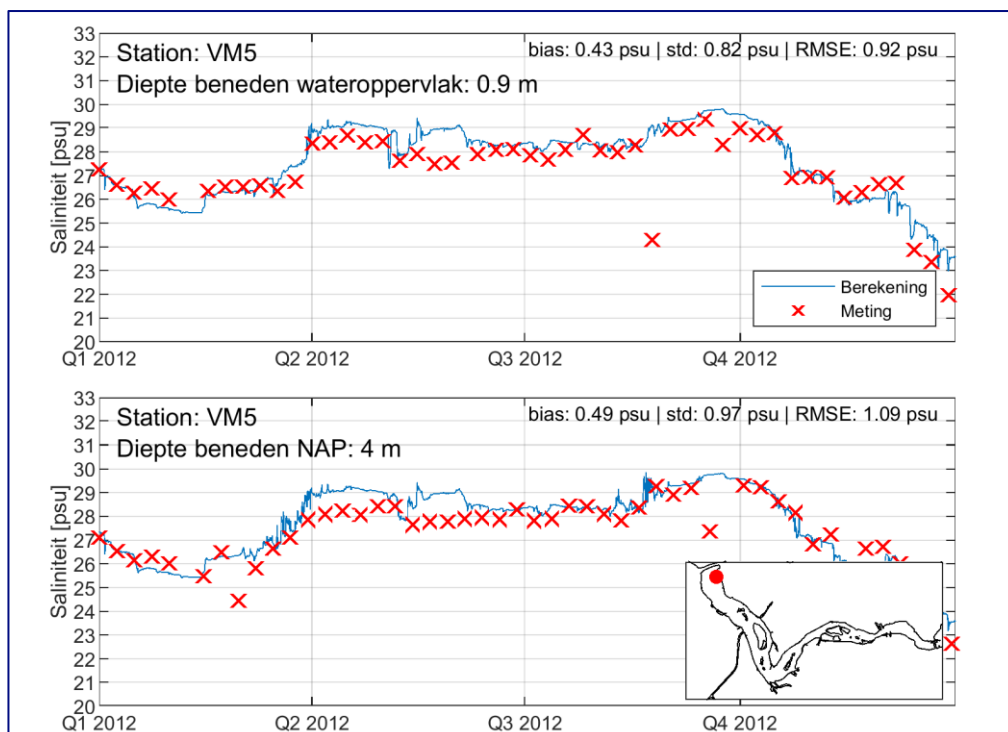


Figuur G-6: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012

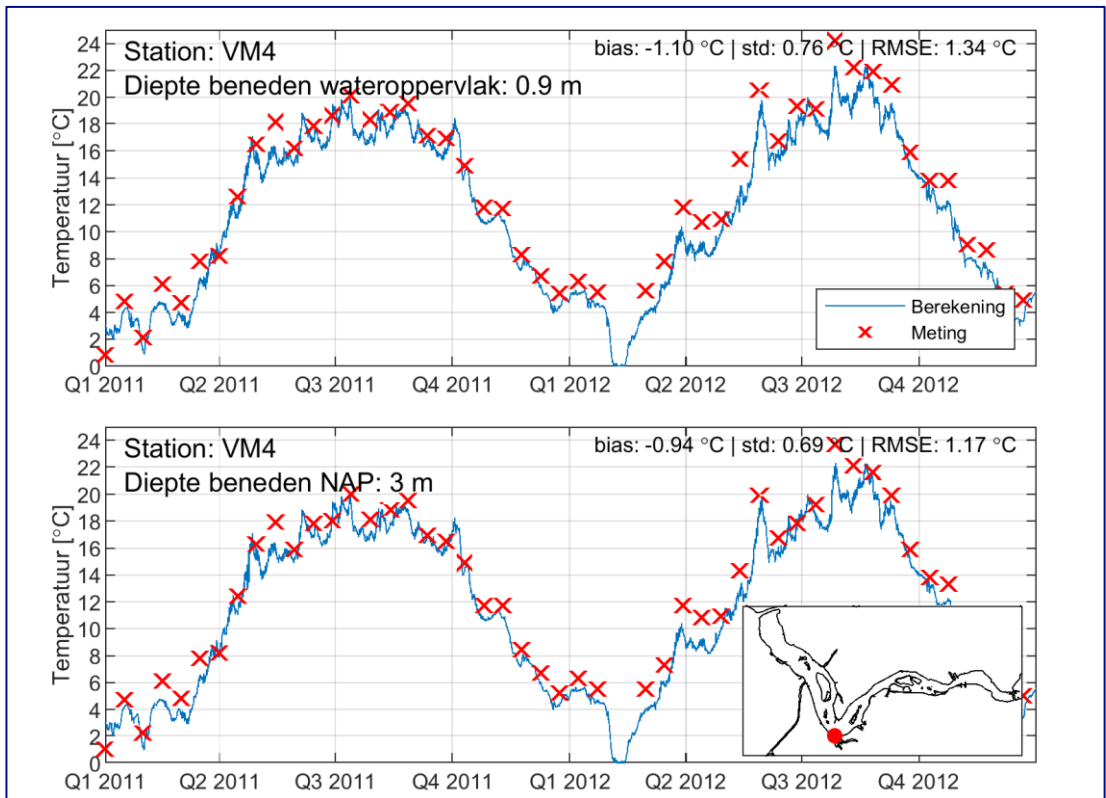
H Resultaten Gevoeligheidsberekening $dZ = 0,5$ m: Tijdreeksen Saliniteit en Temperatuur



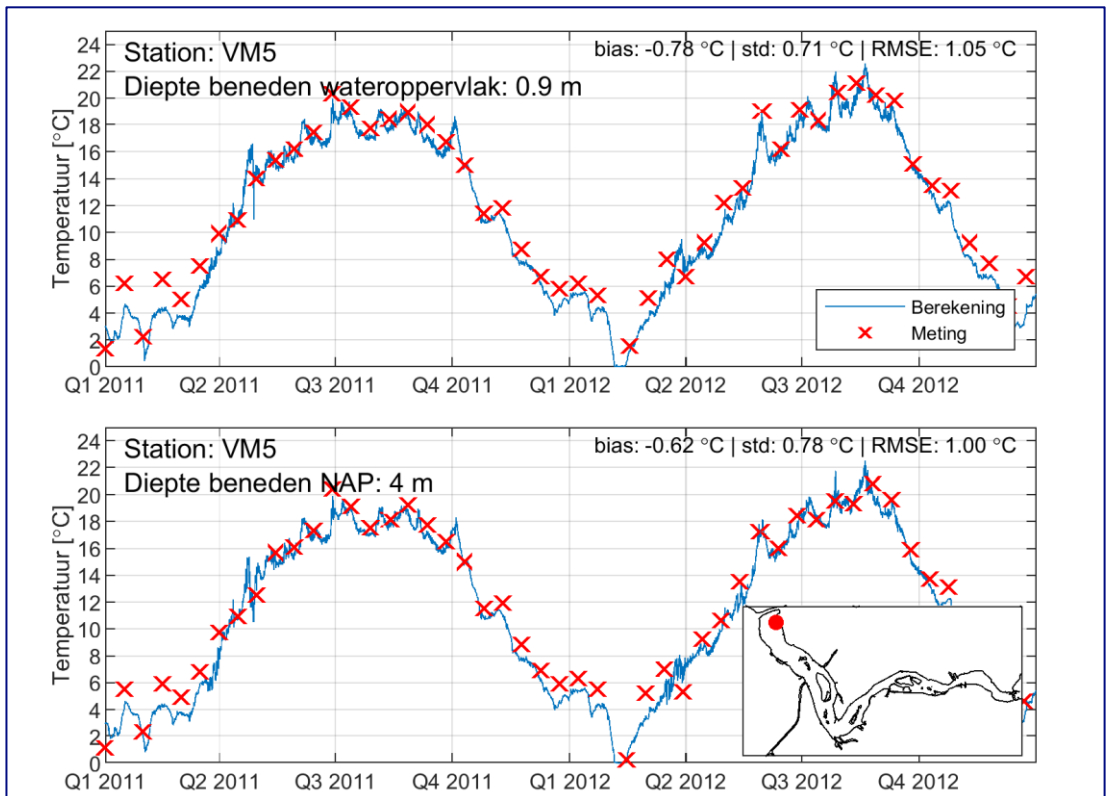
Figuur H-1: Saliniteit: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012



Figuur H-2: Saliniteit: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 5; Periode 2011 - 2012

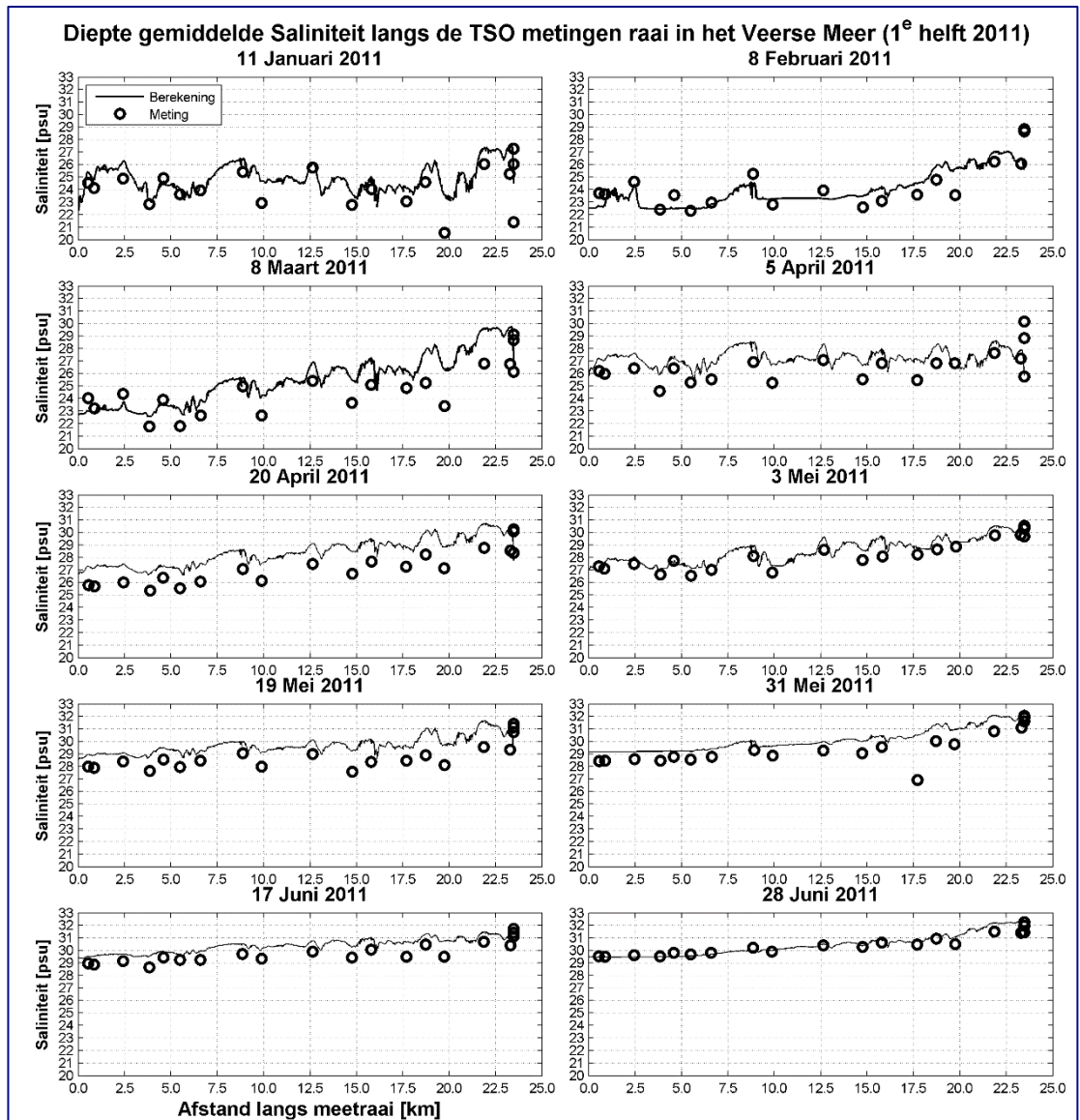


Figuur H-3: Temperatuur: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 4; Periode 2011 – 2012

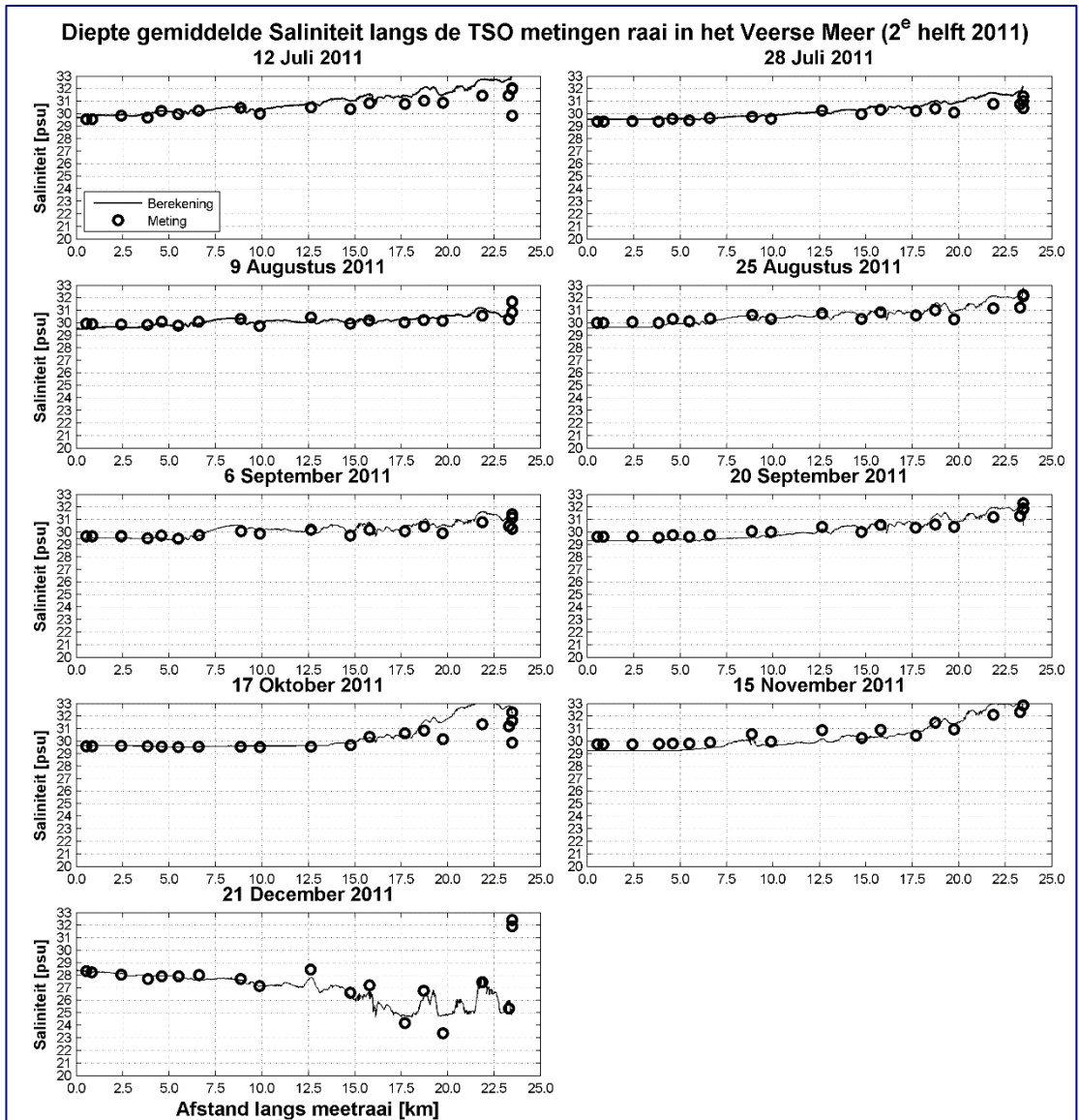


Figuur H-4: Temperatuur: Gemeten tegen Berekende Saliniteit; Locatie Veerse Meer 5; Periode 2011 - 2012

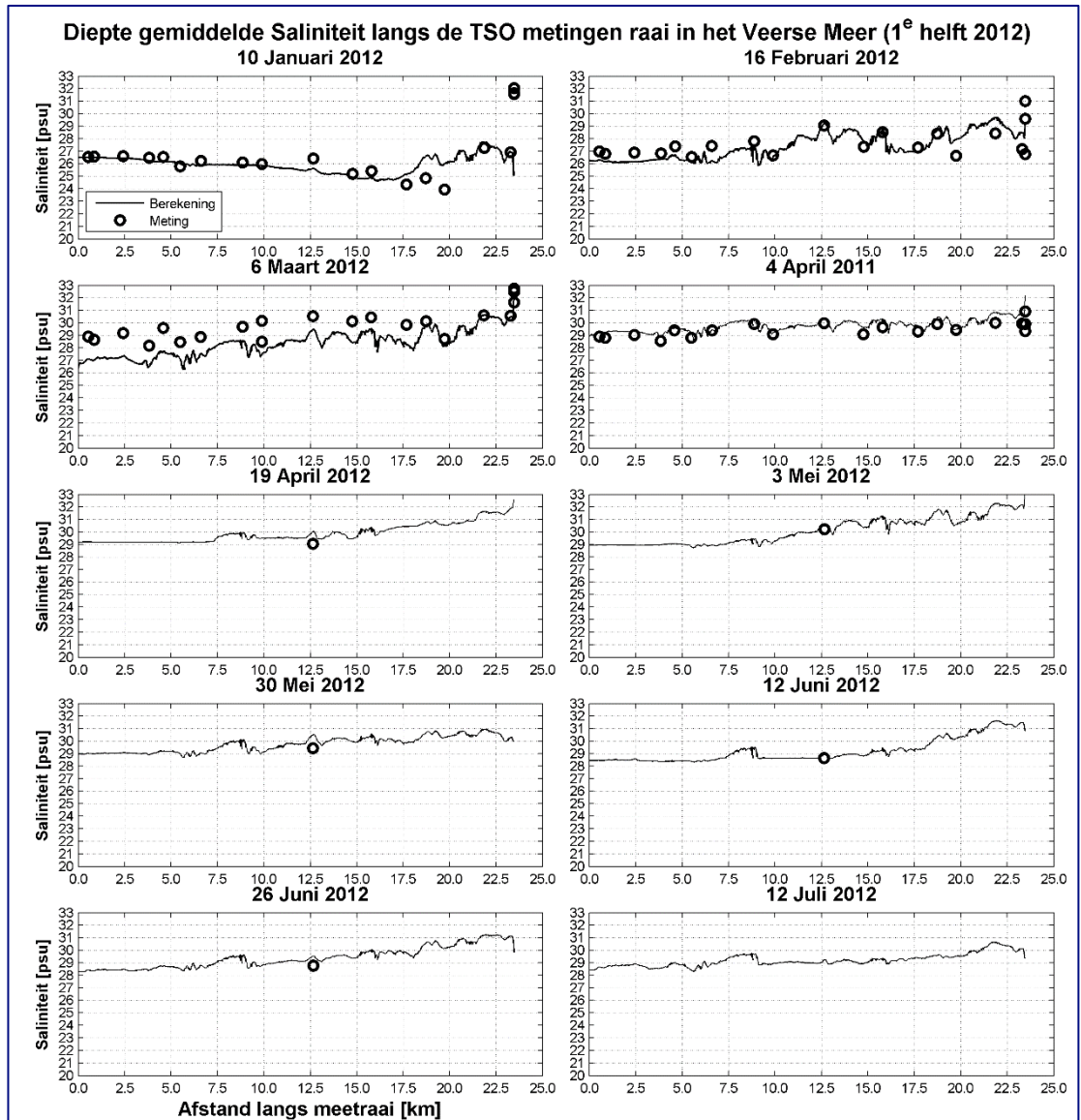
I Gevoeligheidsberekening $dZ = 0,5$ m: Diepte gemiddelde Saliniteit en Temperatuur TSO metingen



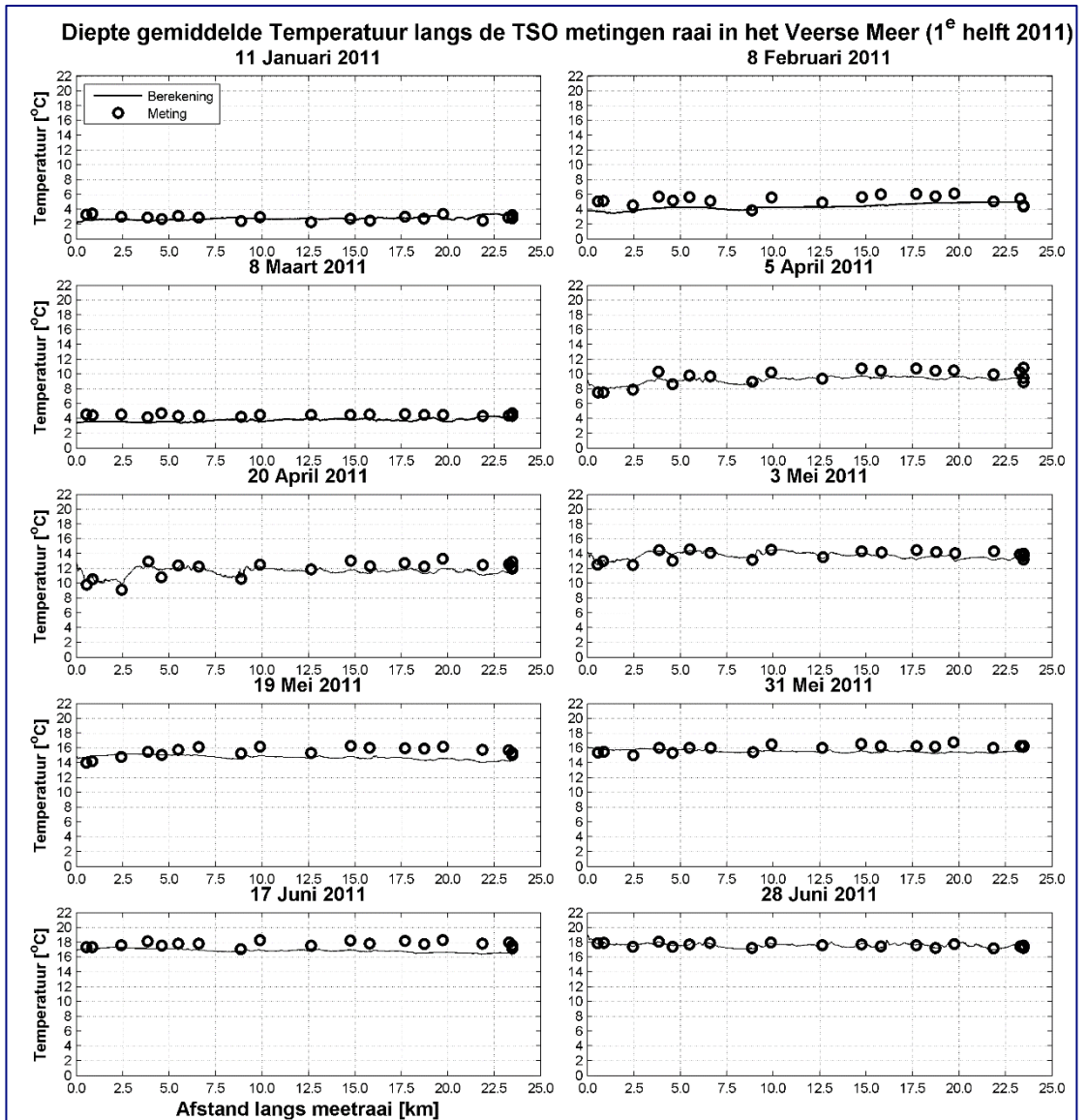
Figuur I-1: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011



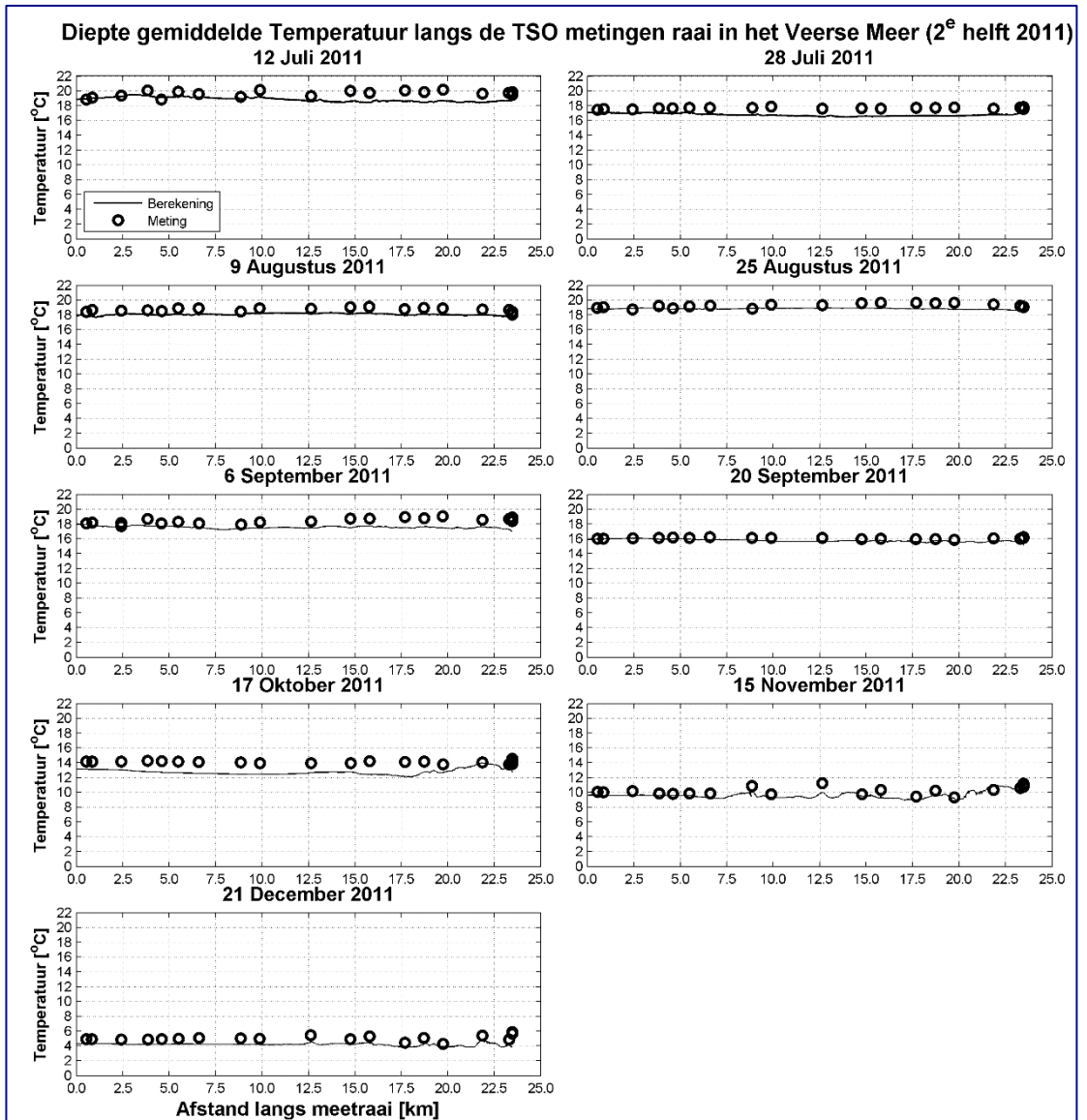
Figuur I-2: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011



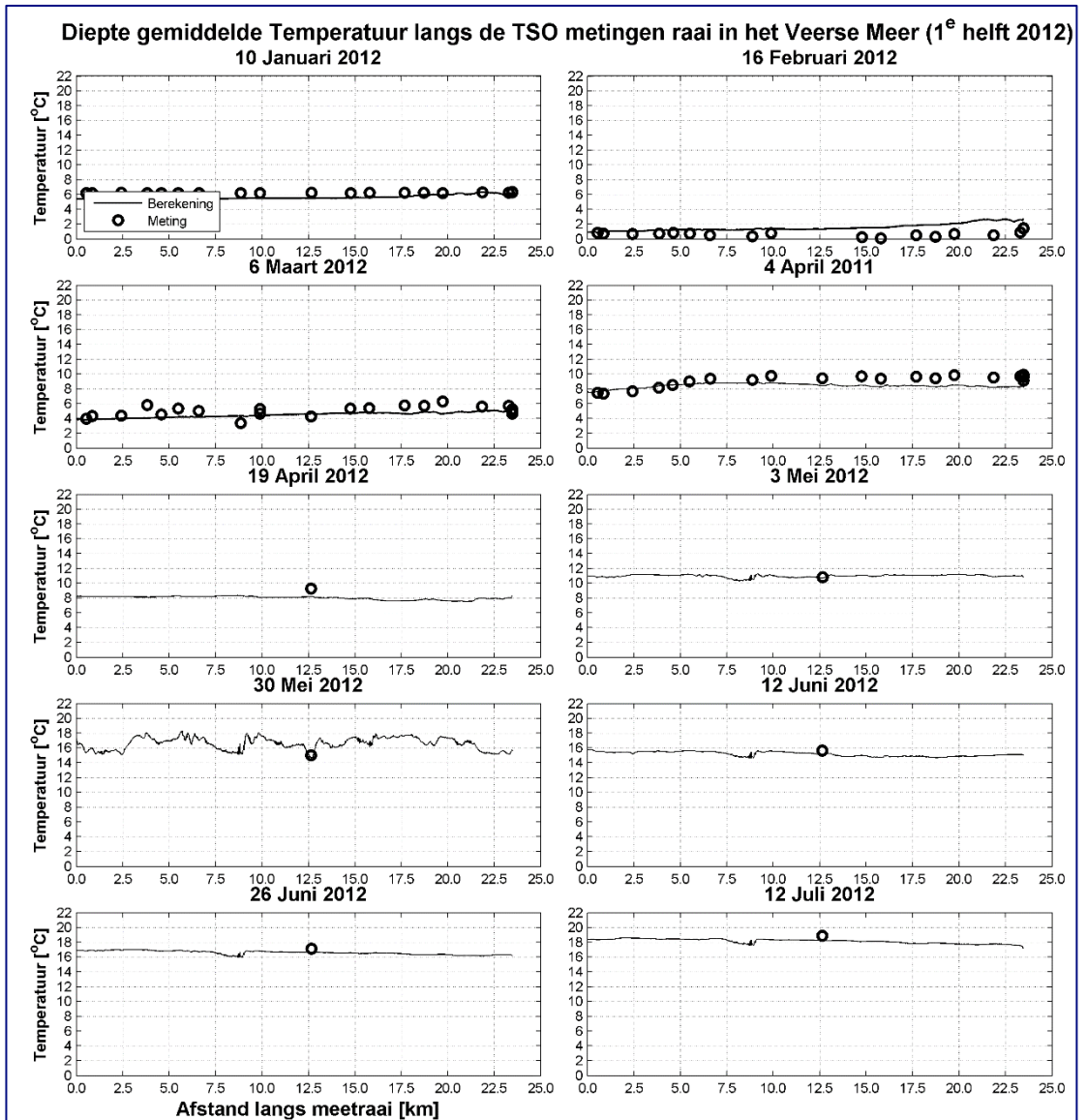
Figuur I-3: Saliniteit: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012



Figuur I-4: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011

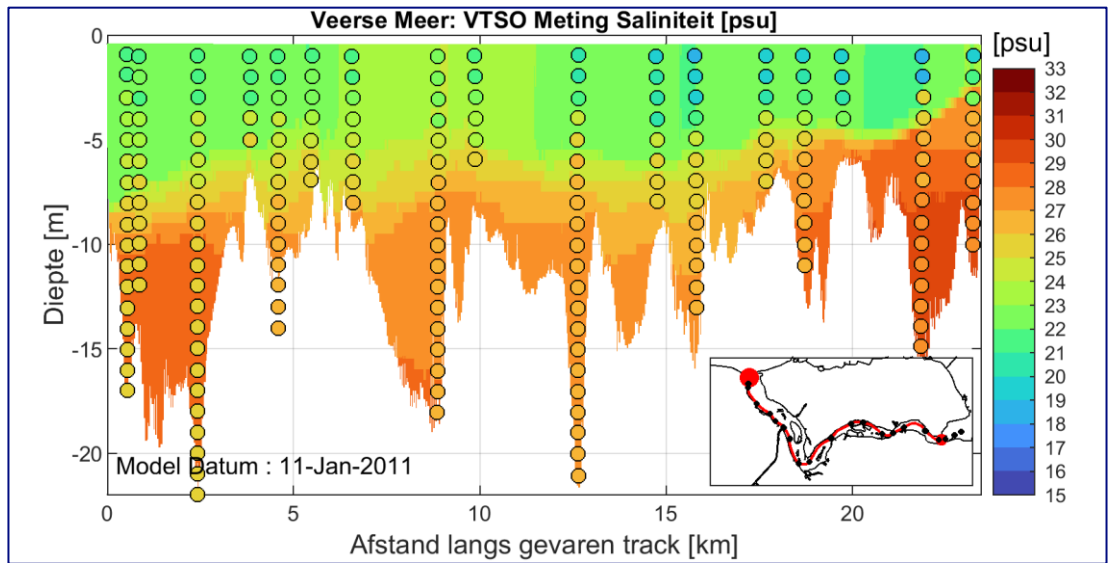


Figuur I-5: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011

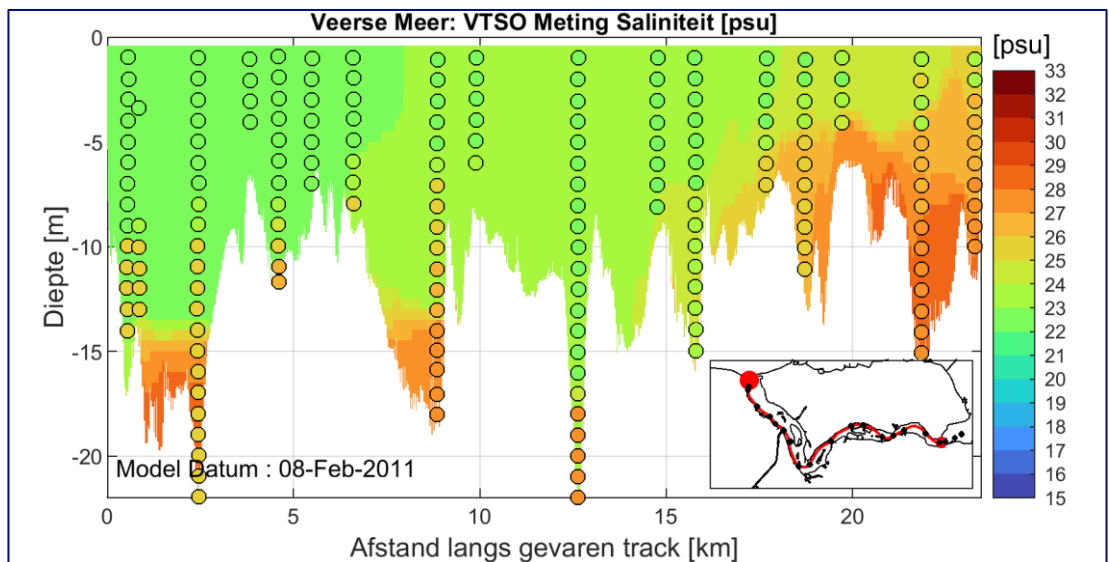


Figuur I-6: Temperatuur: Diepte-gemiddeld; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012

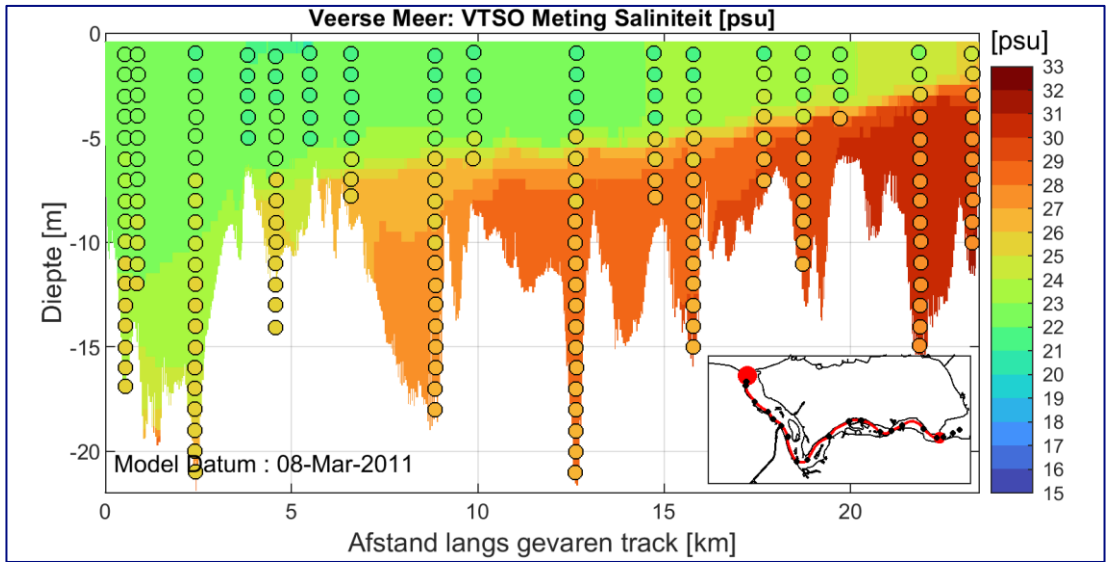
J Gevoeligheidsberekening $dZ = 0,5$ m: Saliniteit en Temperatuur profielen TSO metingen



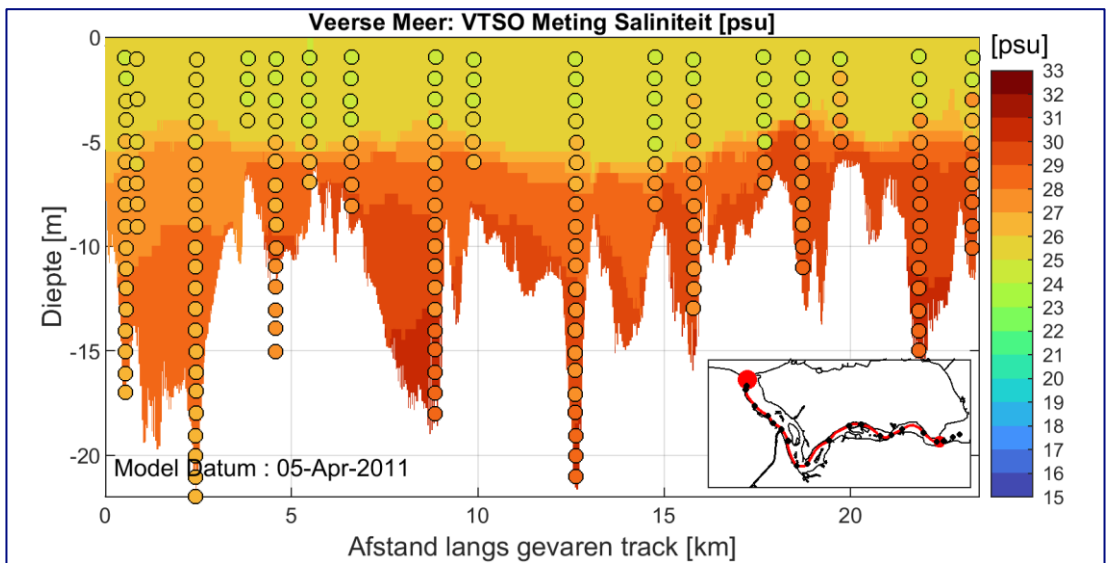
Figuur J-1: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 11 Januari 2011



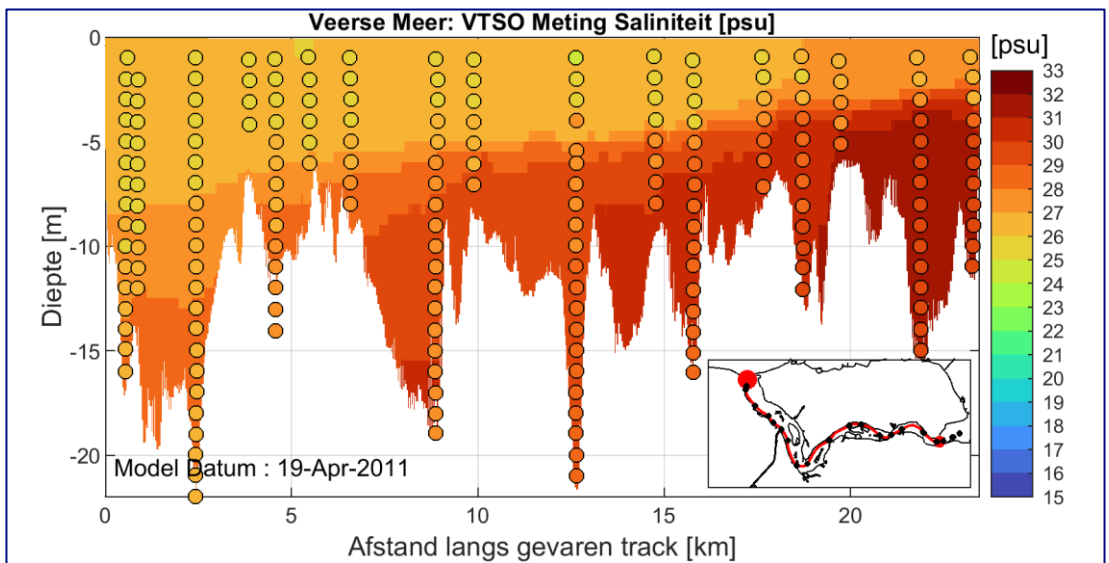
Figuur J-2: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 8 Februari 2011



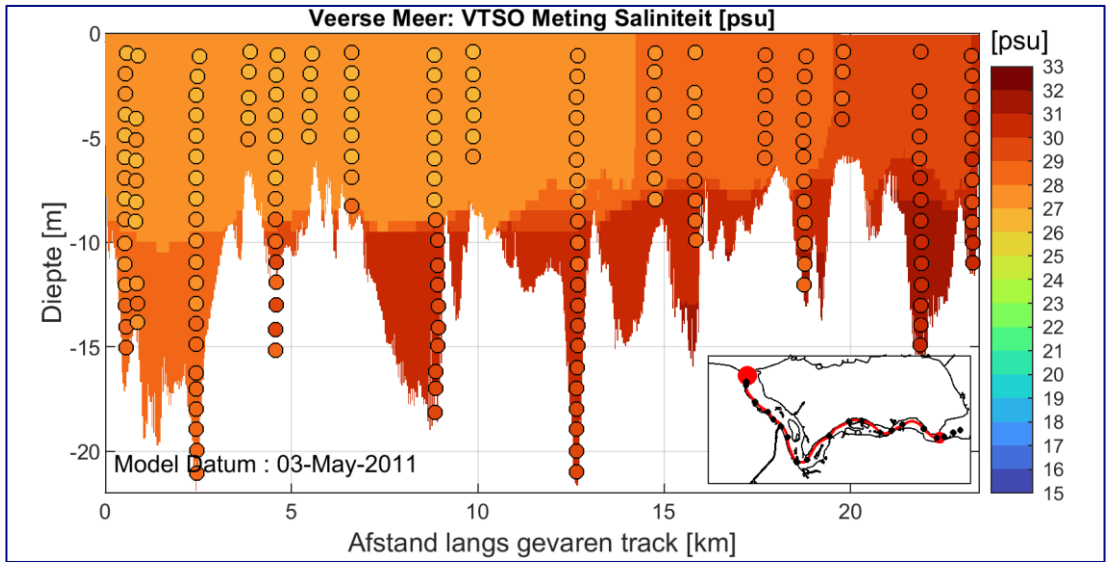
Figuur J-3: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 8 Maart 2011



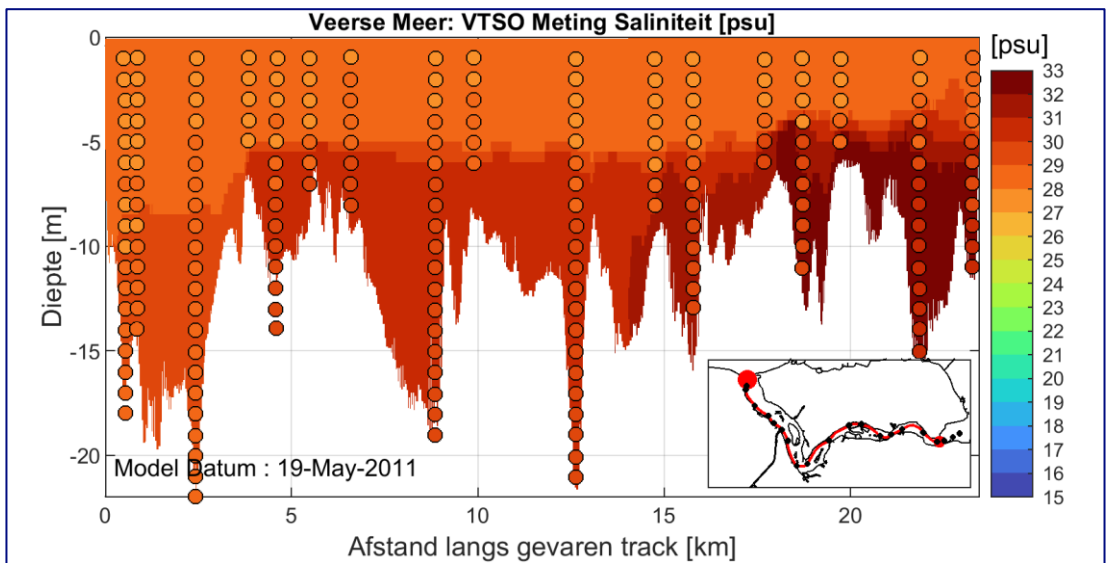
Figuur J-4: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 5 April 2011



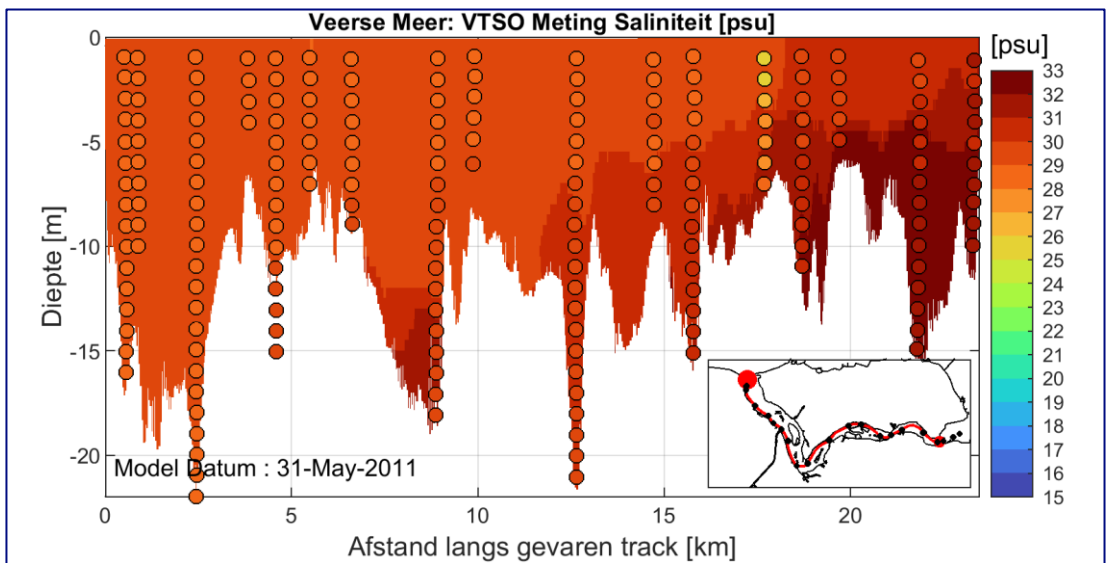
Figuur J-5: Saliniteit, TSO metingen Veerse Meer; Meting tegen berekening 19 April 2011



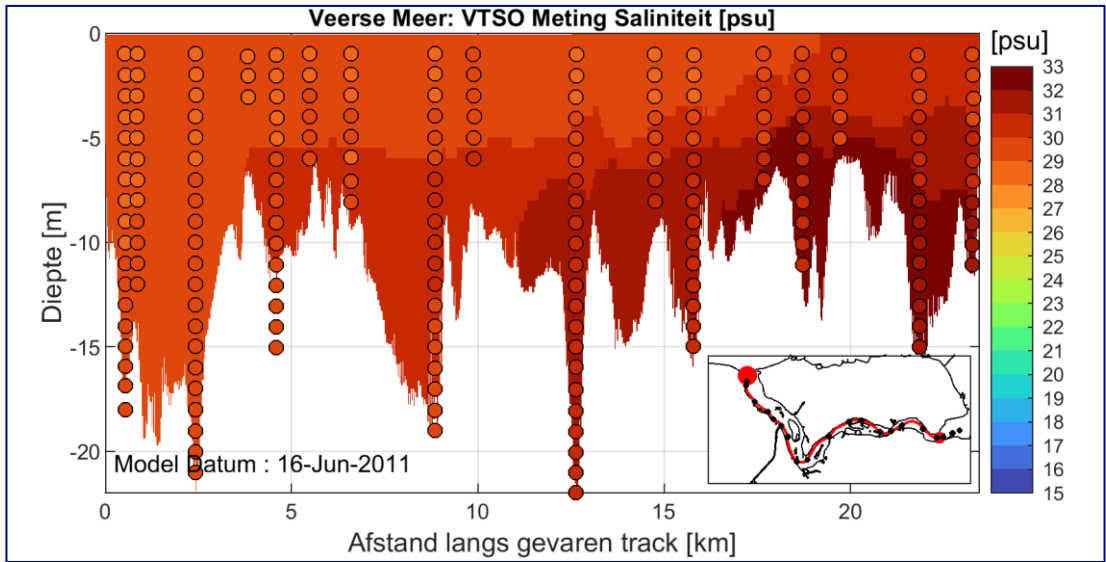
Figuur J-6: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2011



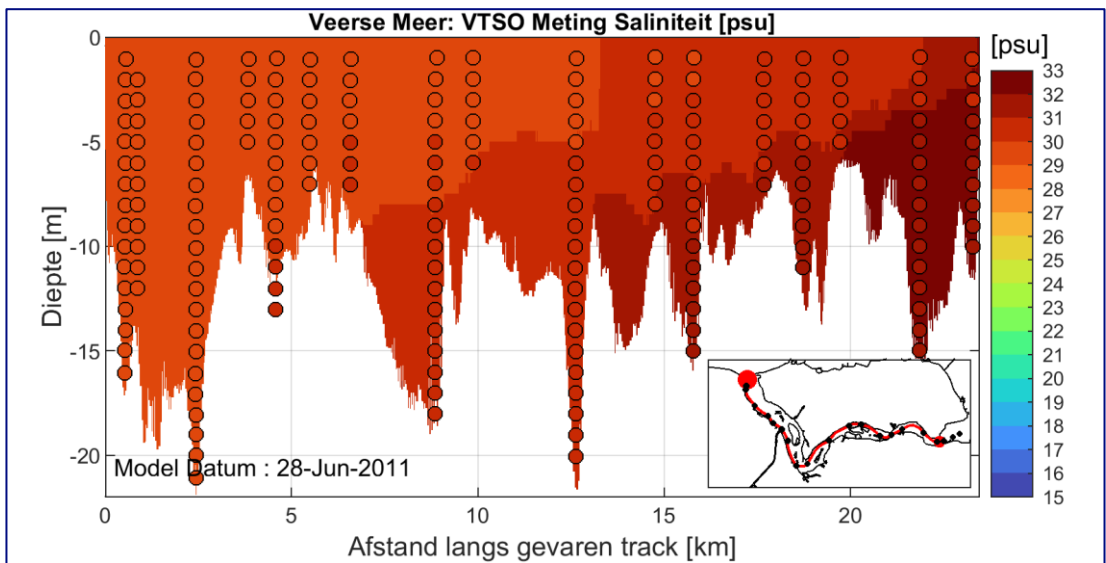
Figuur J-7: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 Mei 2011



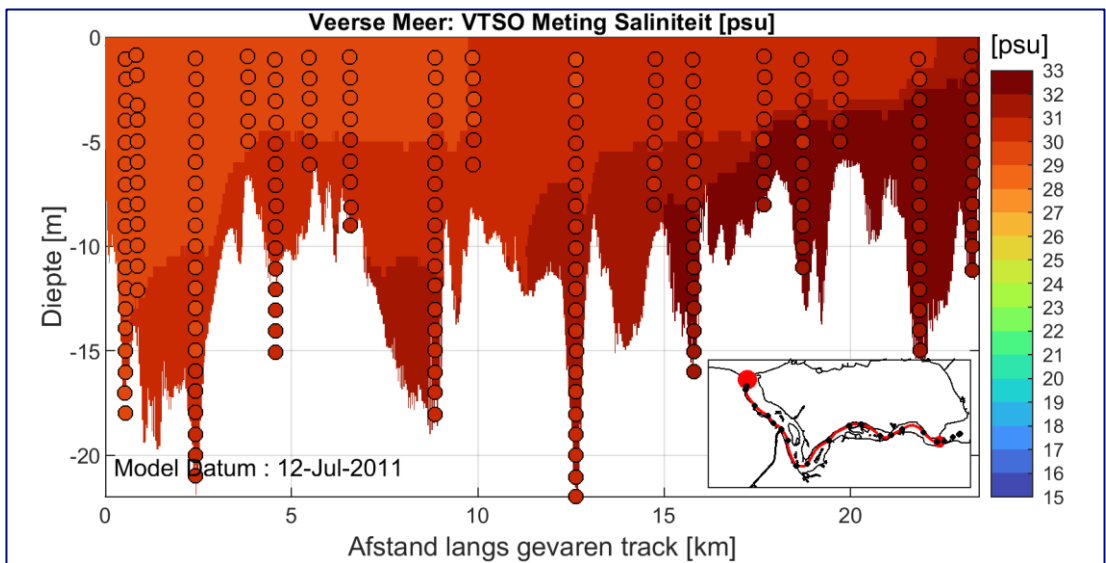
Figuur J-8: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 31 Mei 2011



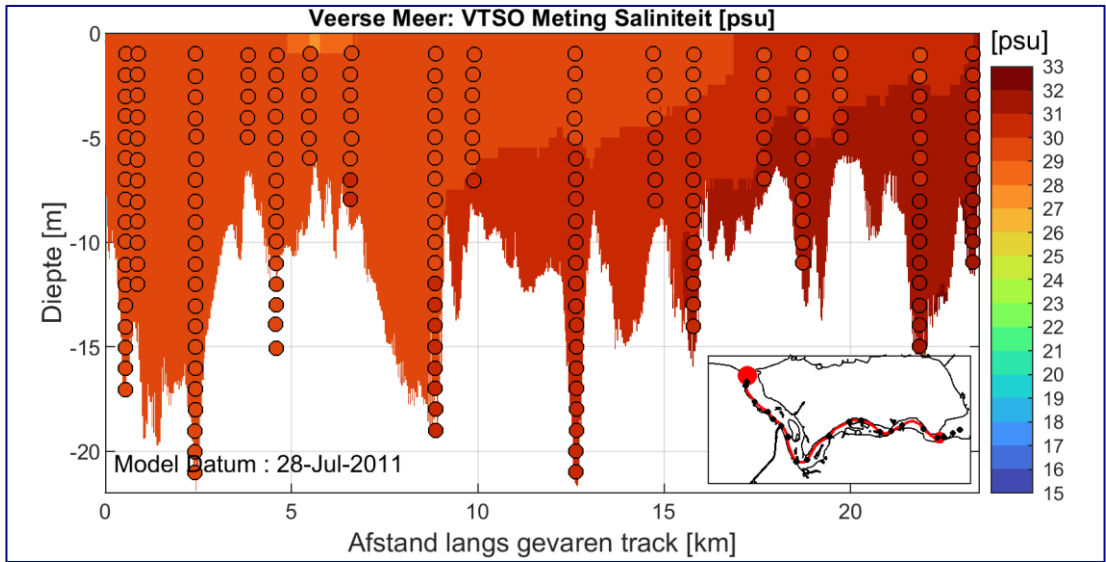
Figuur J-9: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Juni 2011



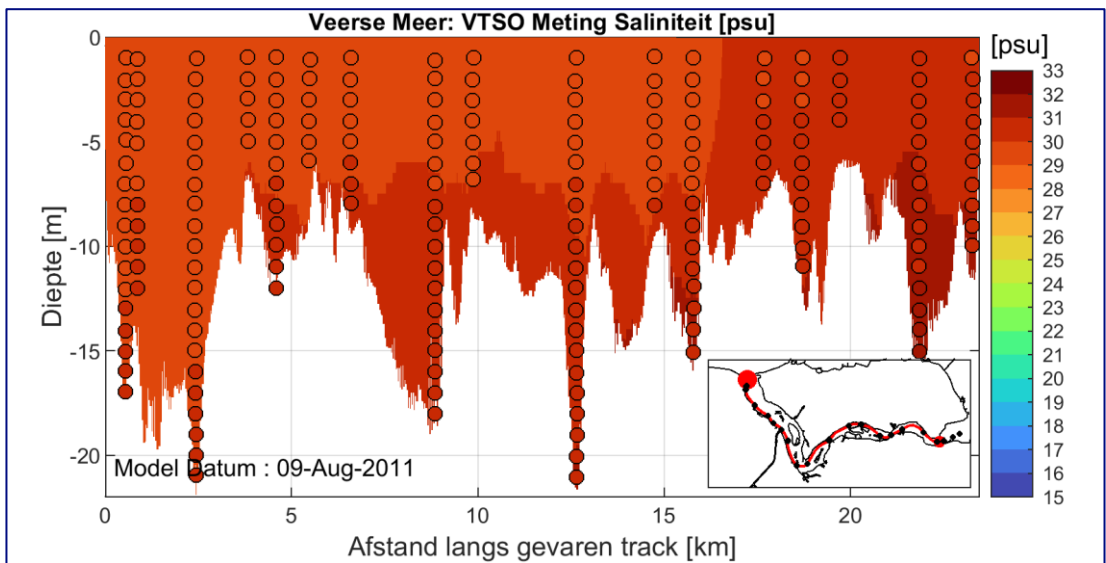
Figuur J-10: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juni 2011



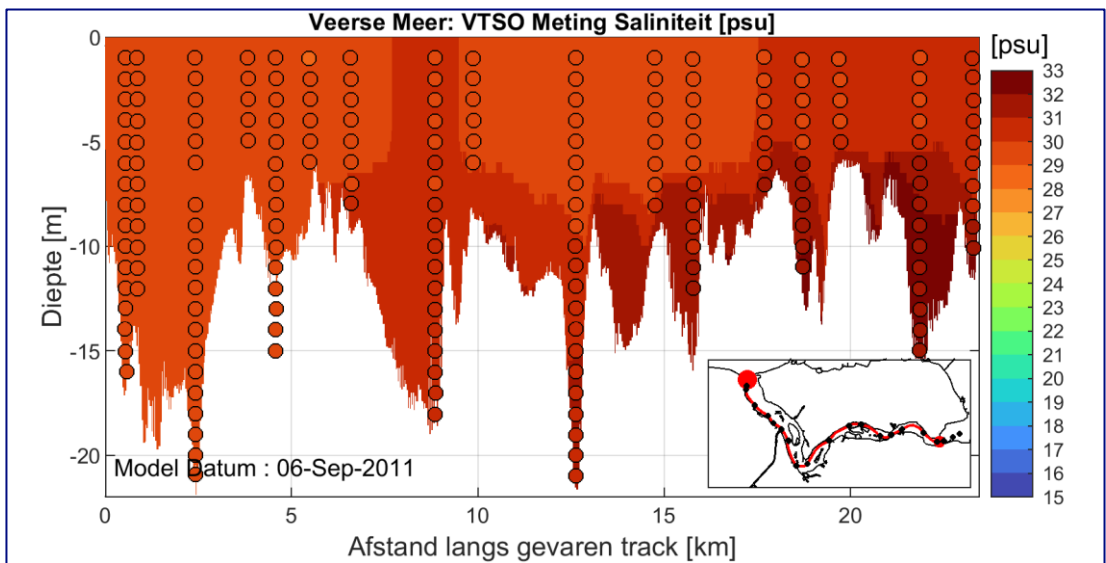
Figuur J-11: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2011



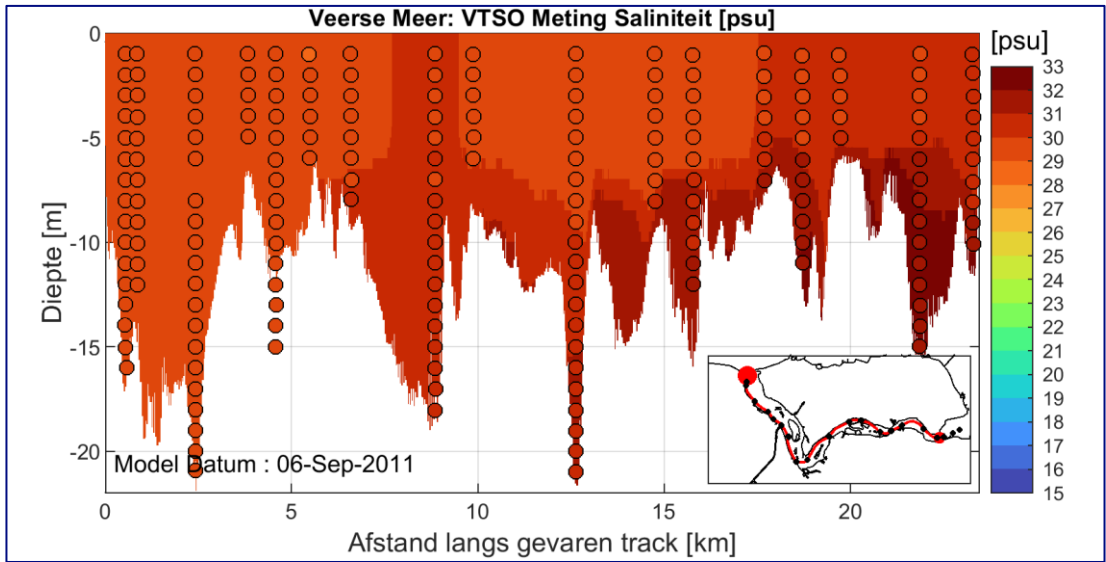
Figuur J-12: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juli 2011



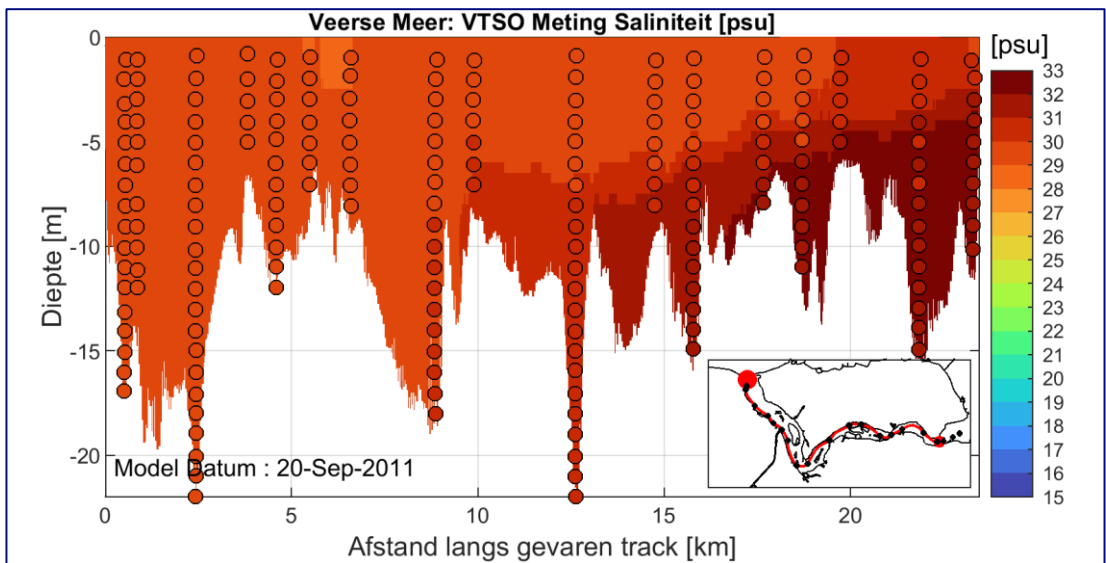
Figuur J-13: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2011



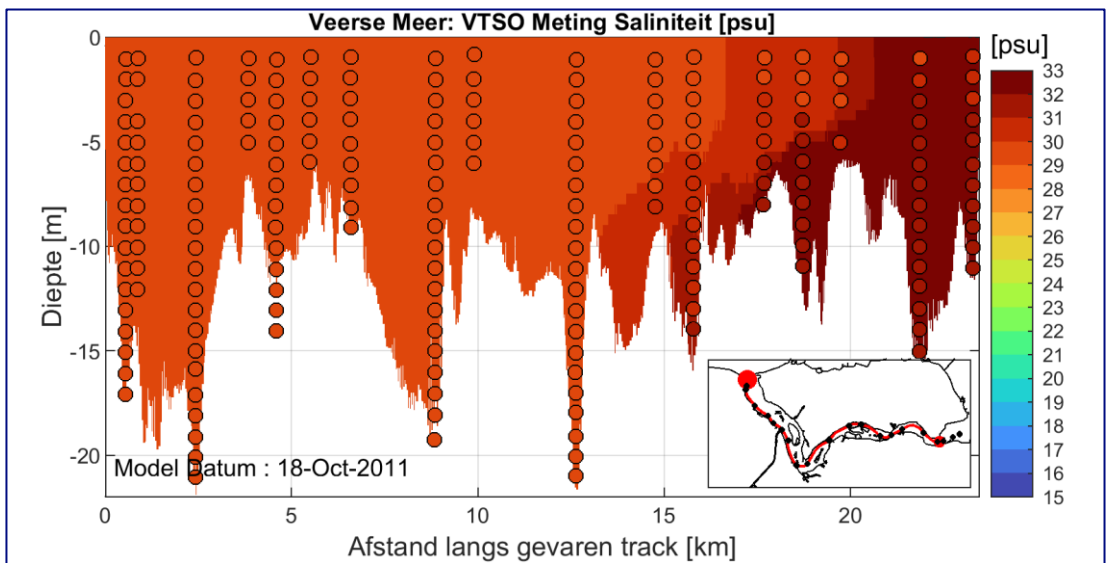
Figuur J-14: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 25 Augustus 2011



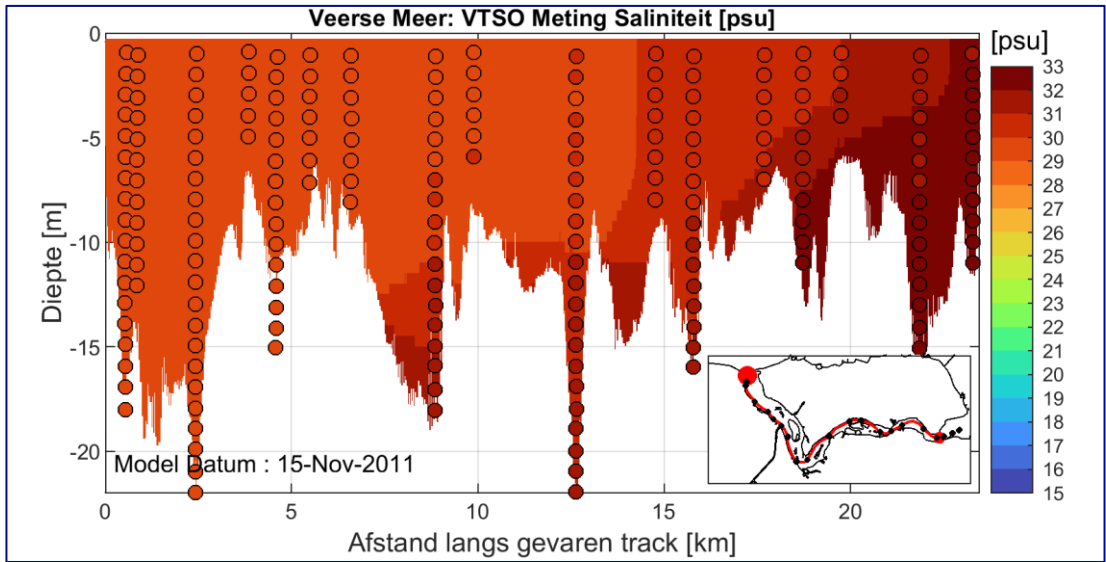
Figuur J-15: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2011



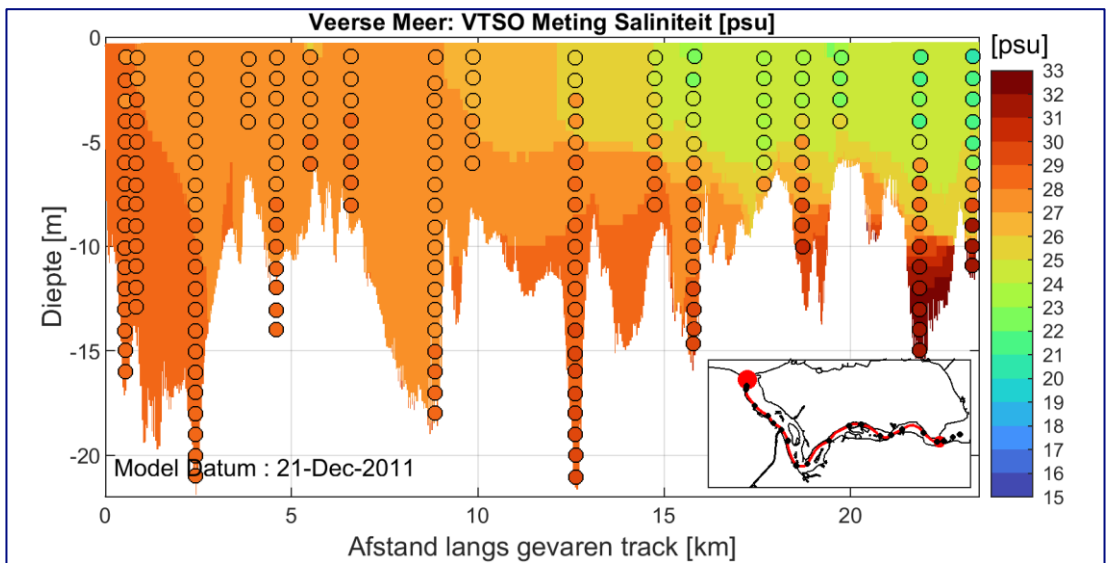
Figuur J-16: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2011



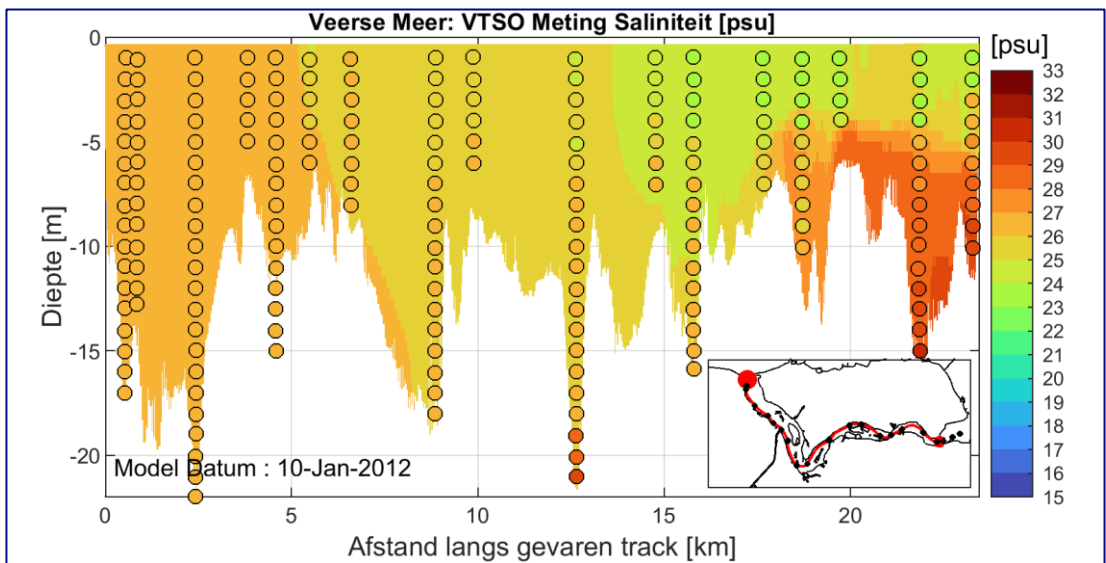
Figuur J-17: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 18 Oktober 2011



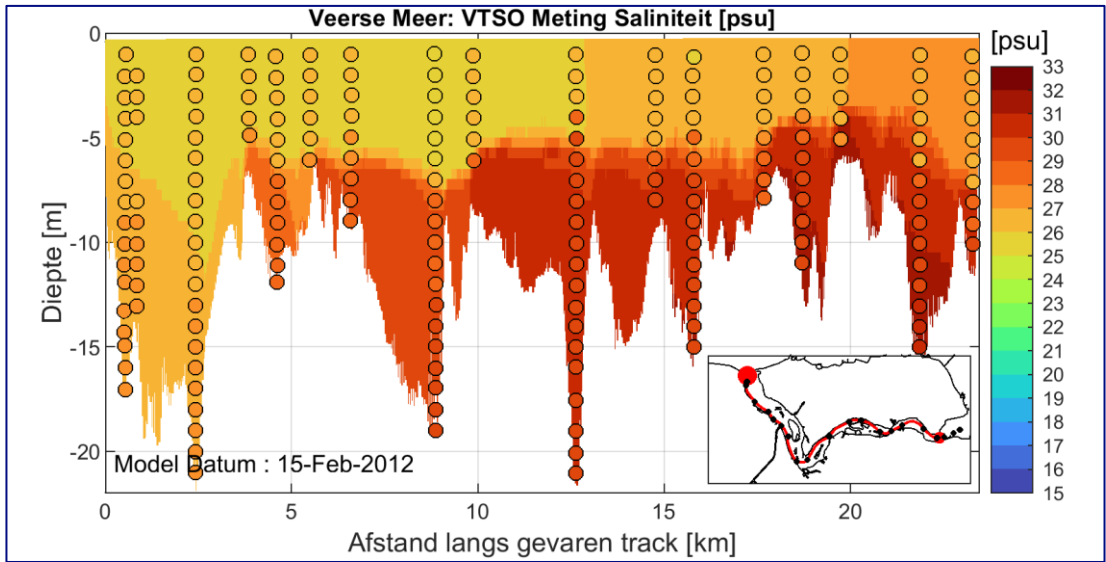
Figuur J-18: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2011



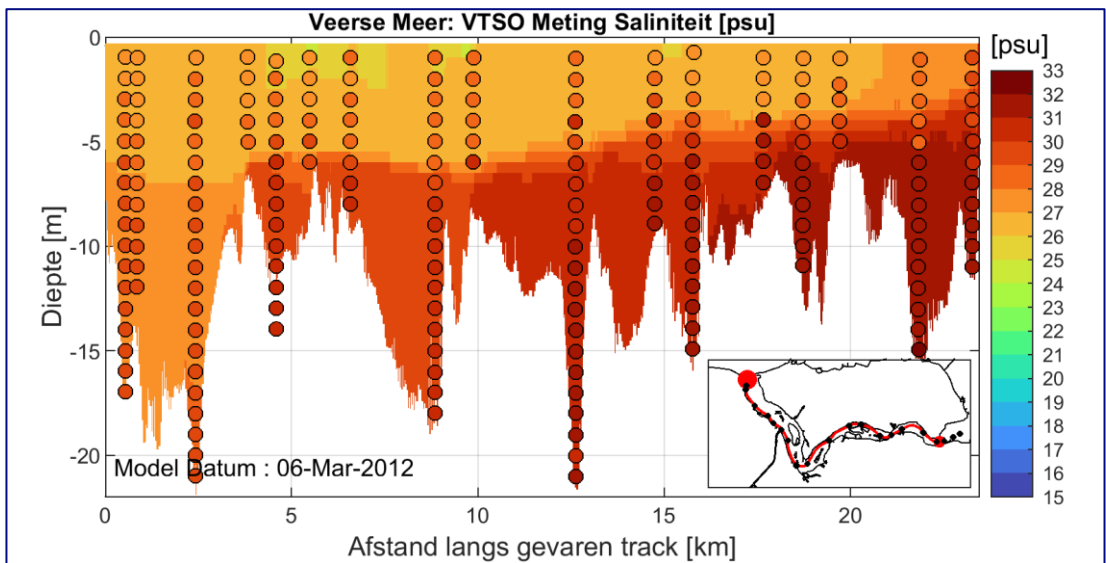
Figuur J-19: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 21 December 2011



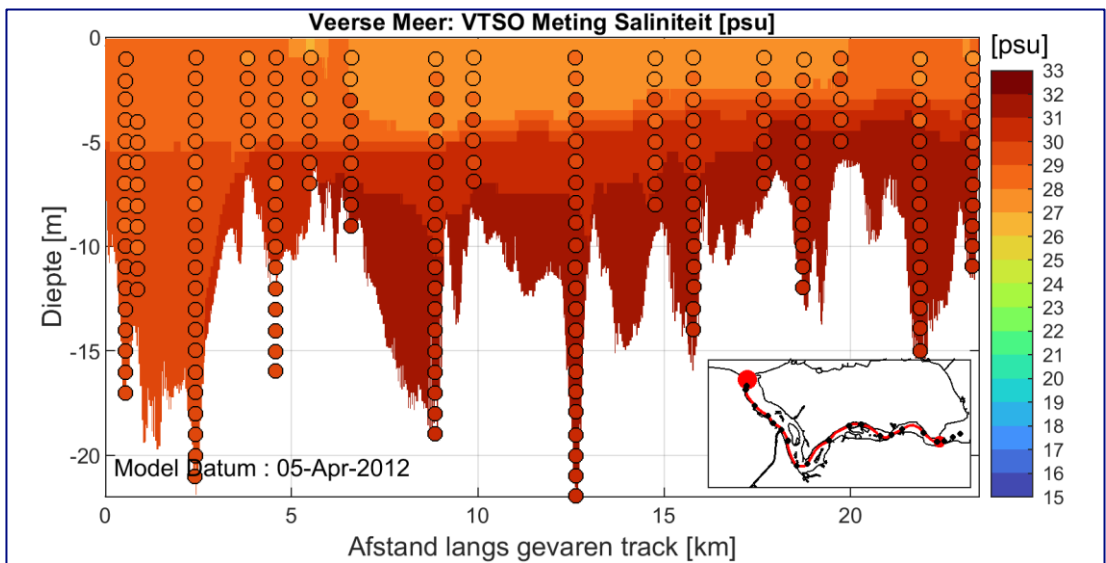
Figuur J-20: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 10 Januari 2012



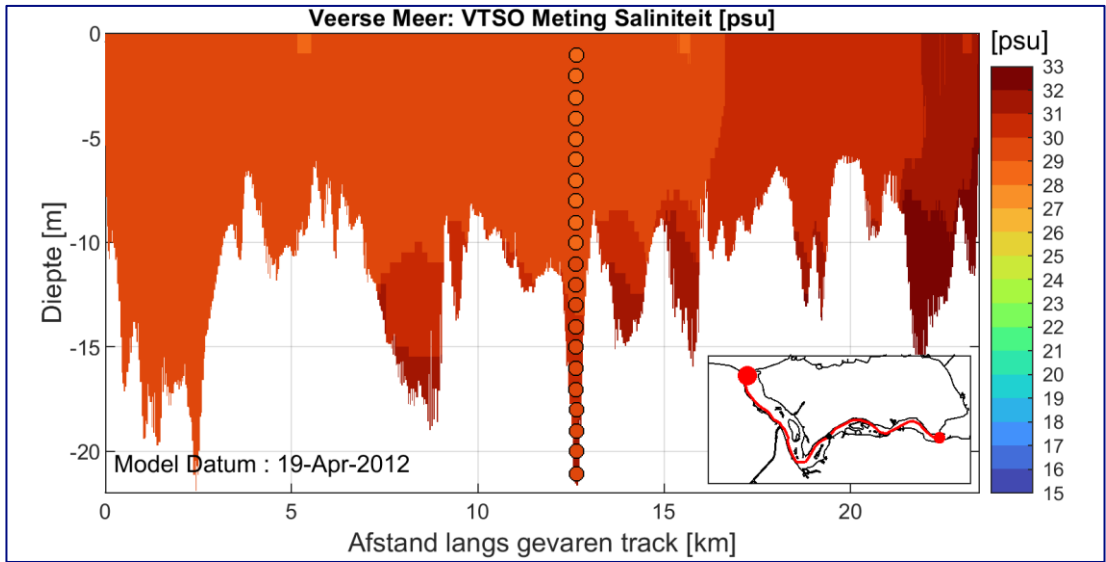
Figuur J-21: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 Februari 2012



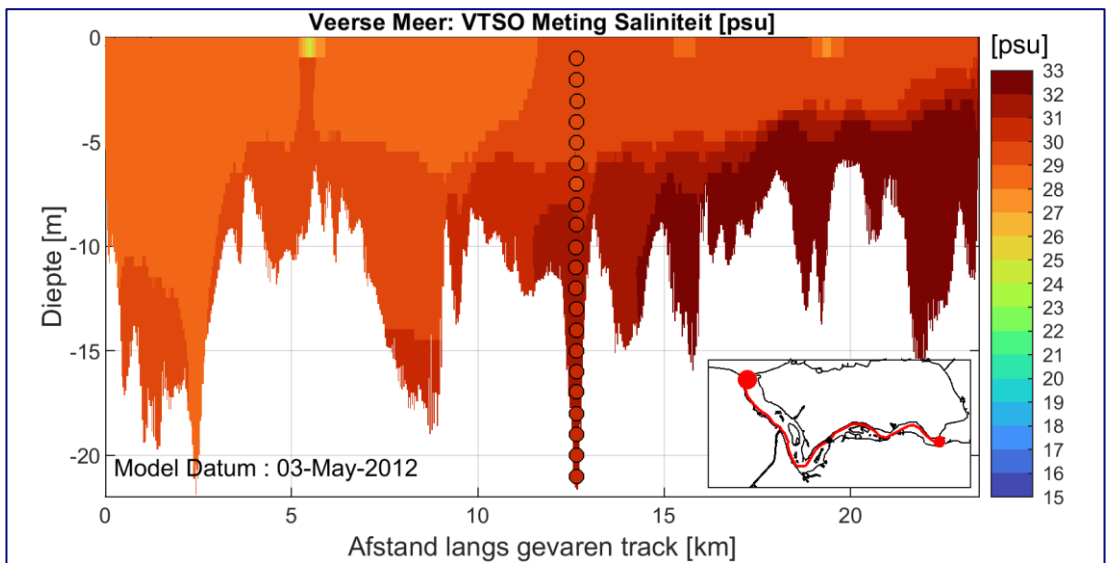
Figuur J-22: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 Maart 2012



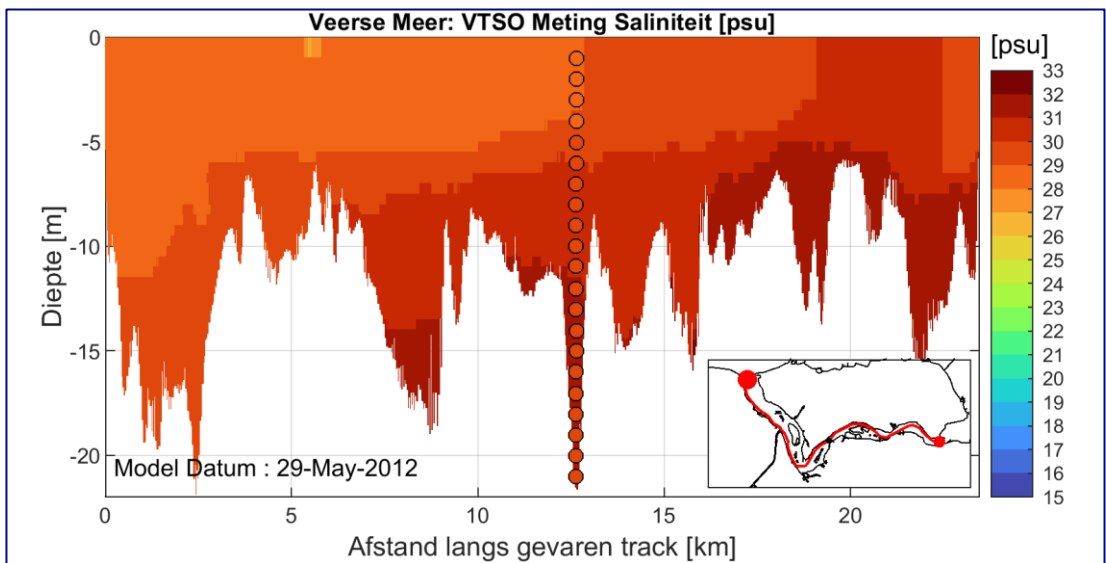
Figuur J-23: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2012



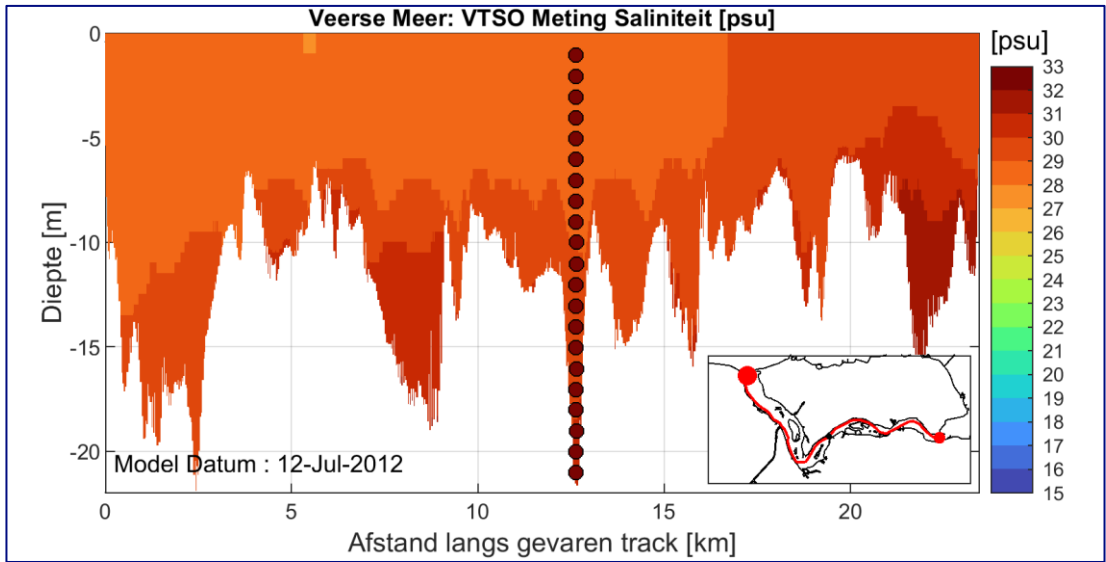
Figuur J-24: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2012



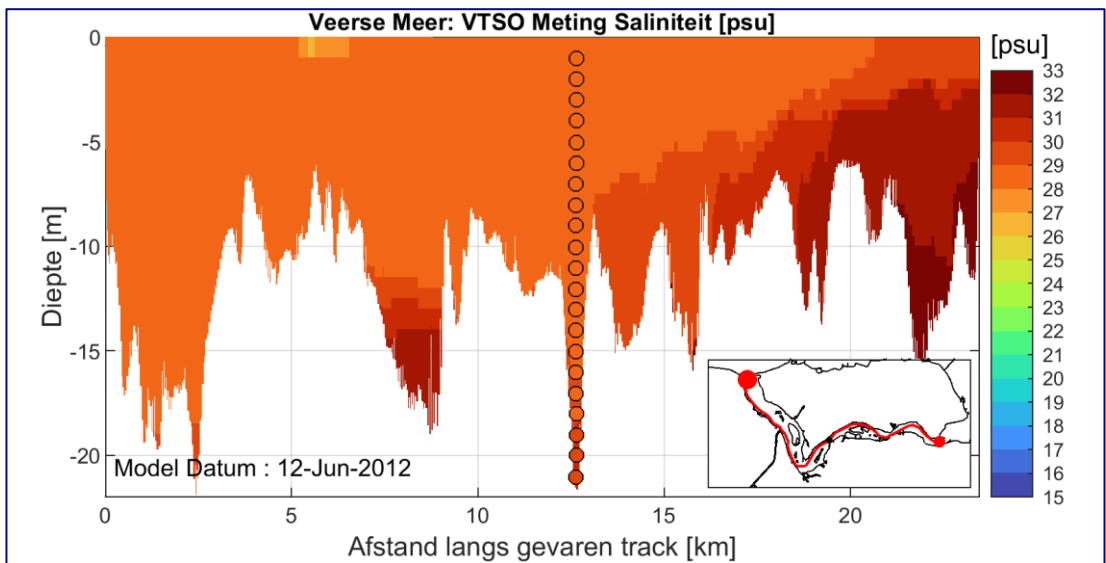
Figuur J-25: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2012



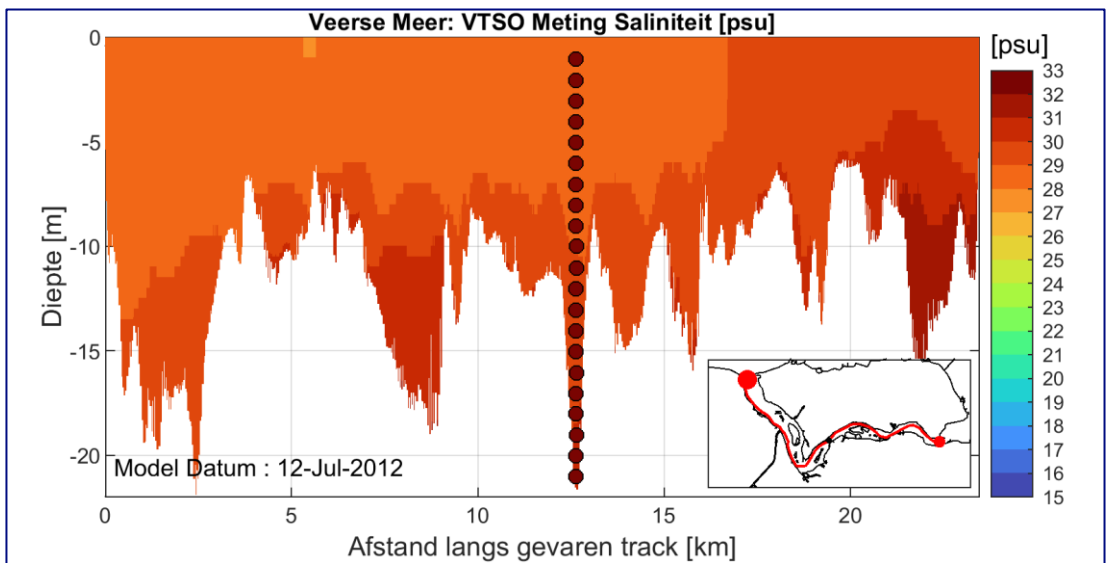
Figuur J-26: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 29 Mei 2012



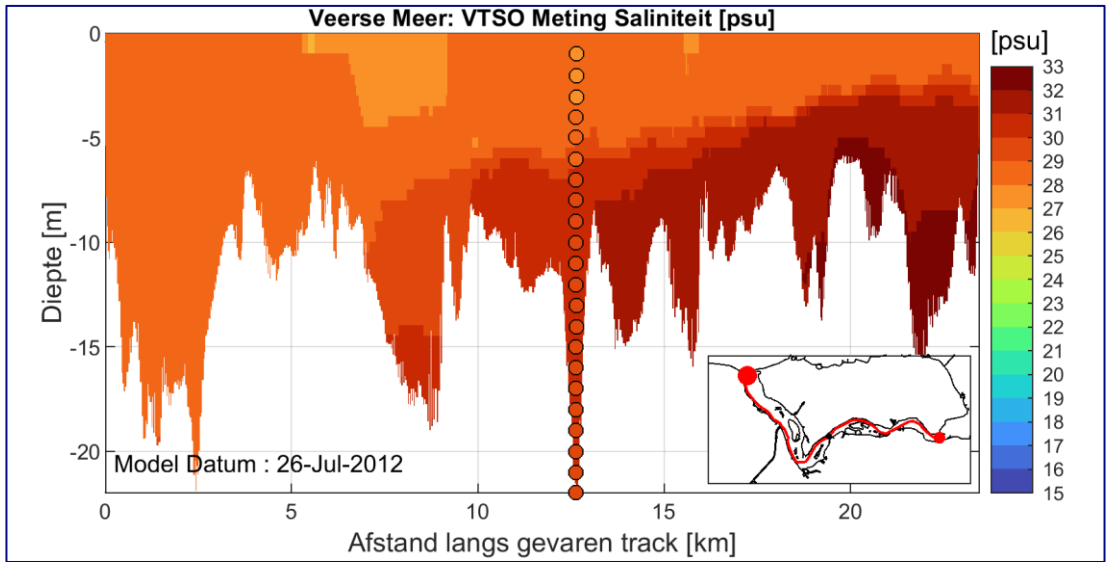
Figuur J-27: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juni 2011



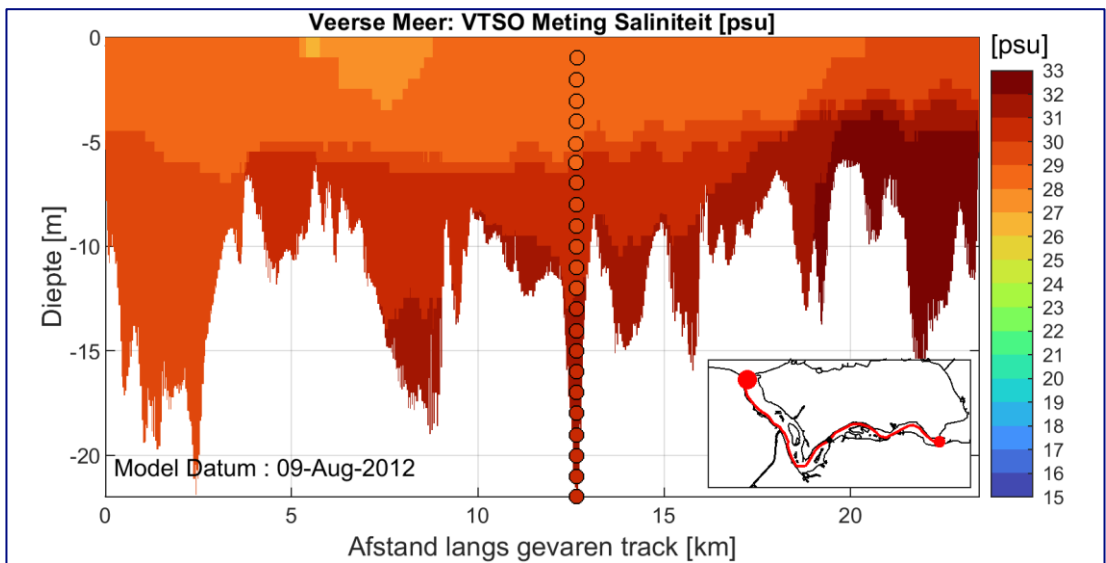
Figuur J-28: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juni 2012



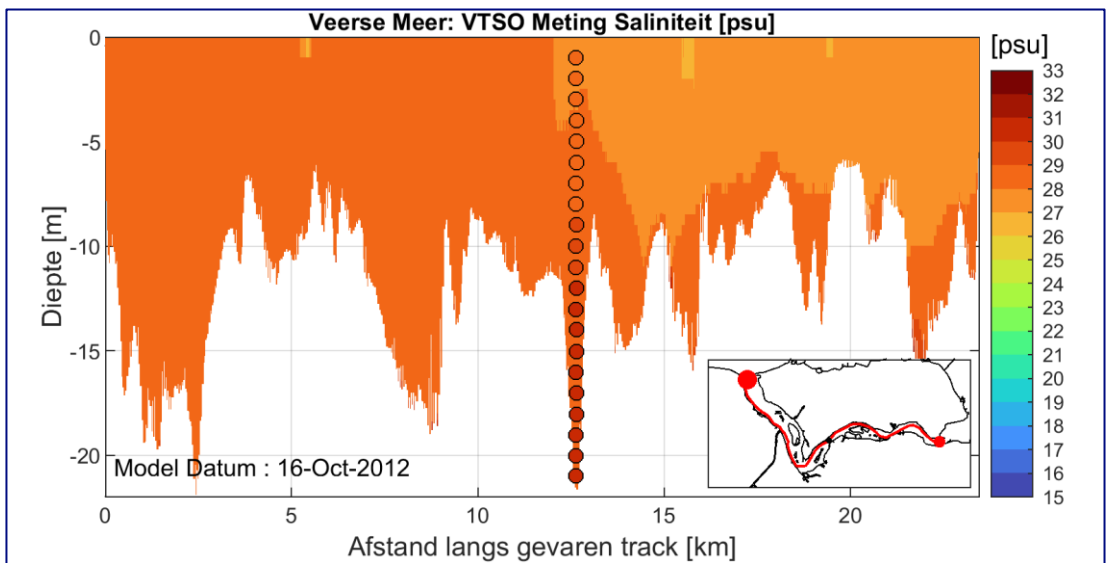
Figuur J-29: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2012



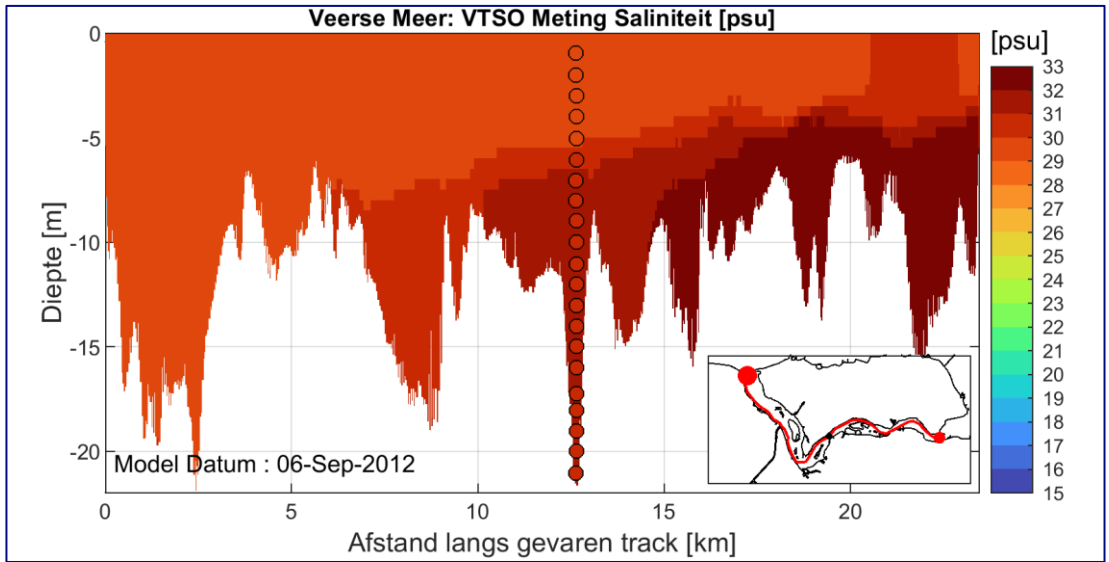
Figuur J-30: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juli 2012



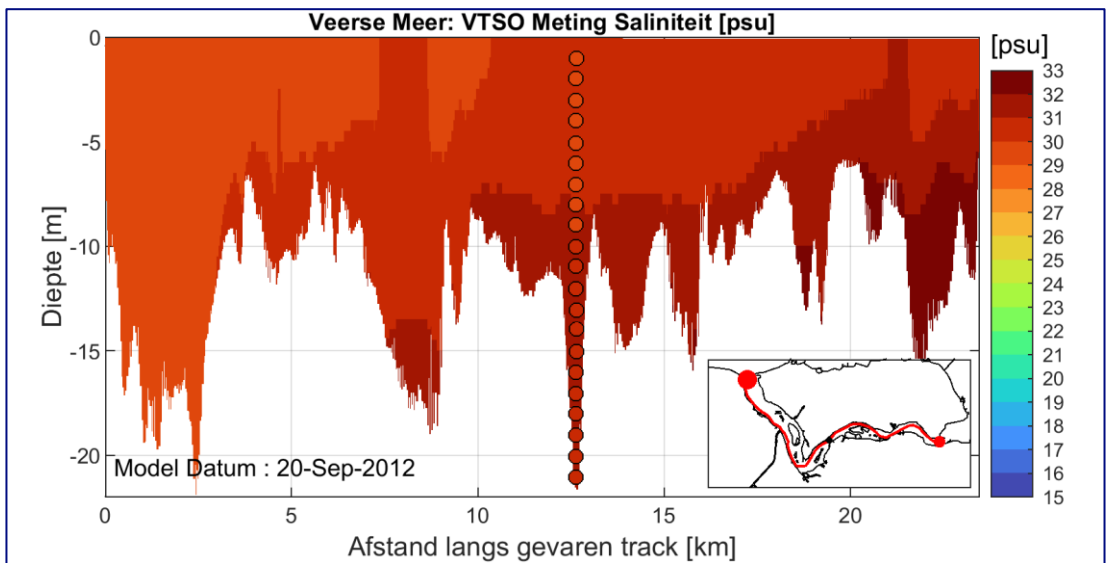
Figuur J-31: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2012



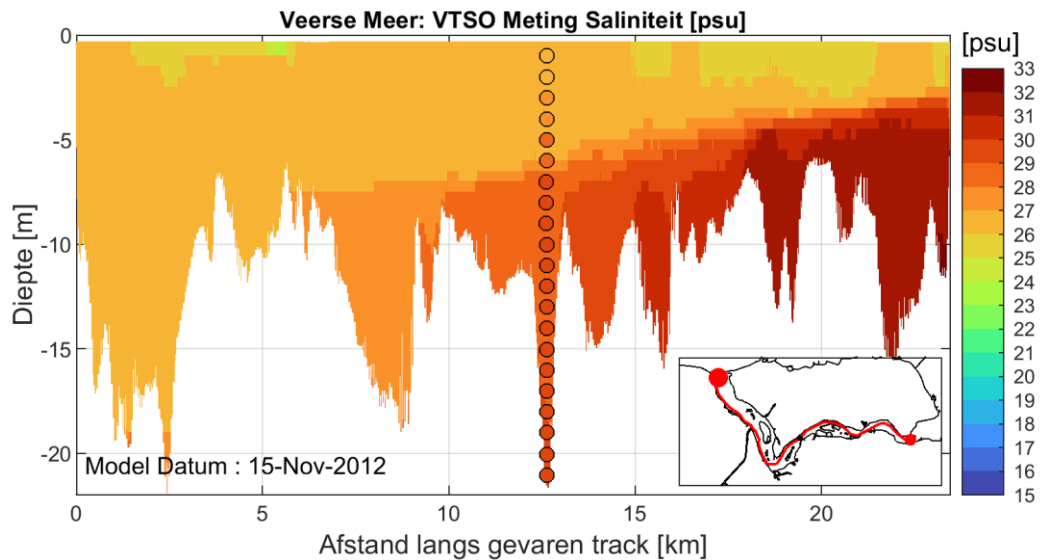
Figuur J-32: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 23 Augustus 2012



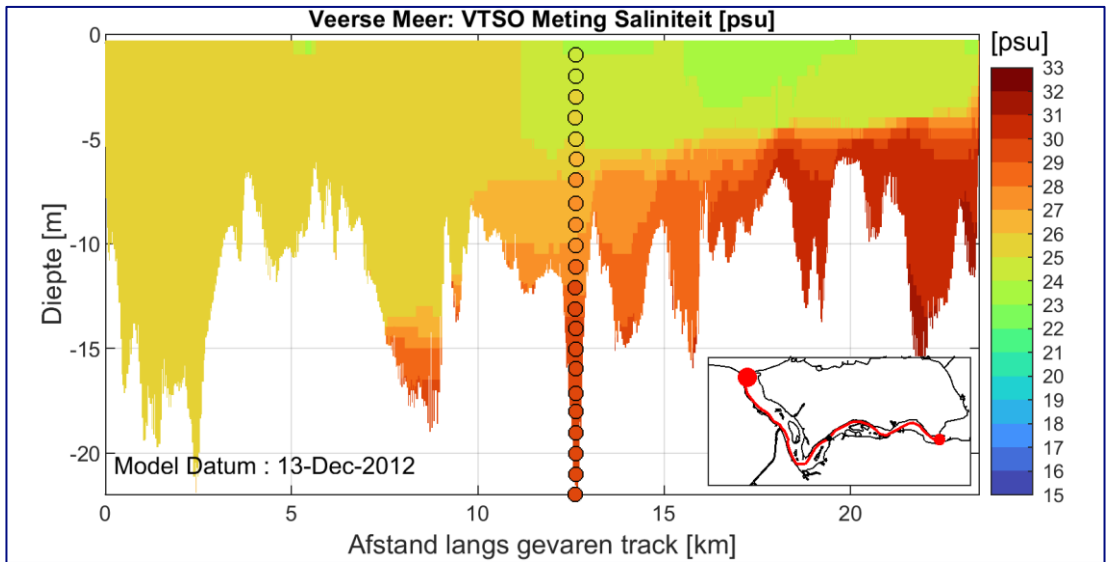
Figuur J-33: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2012



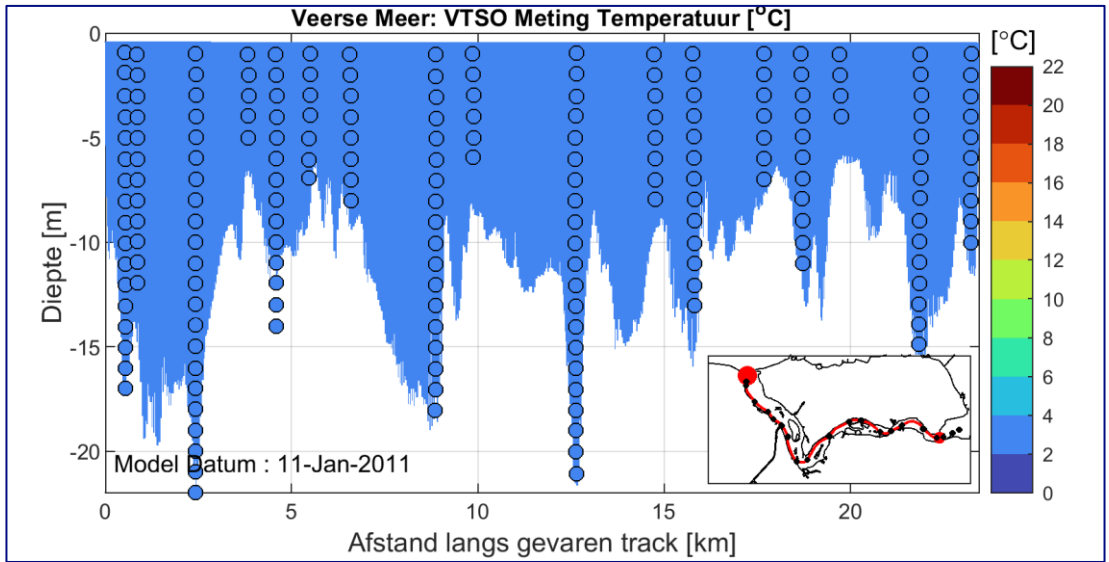
Figuur J-34: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2012



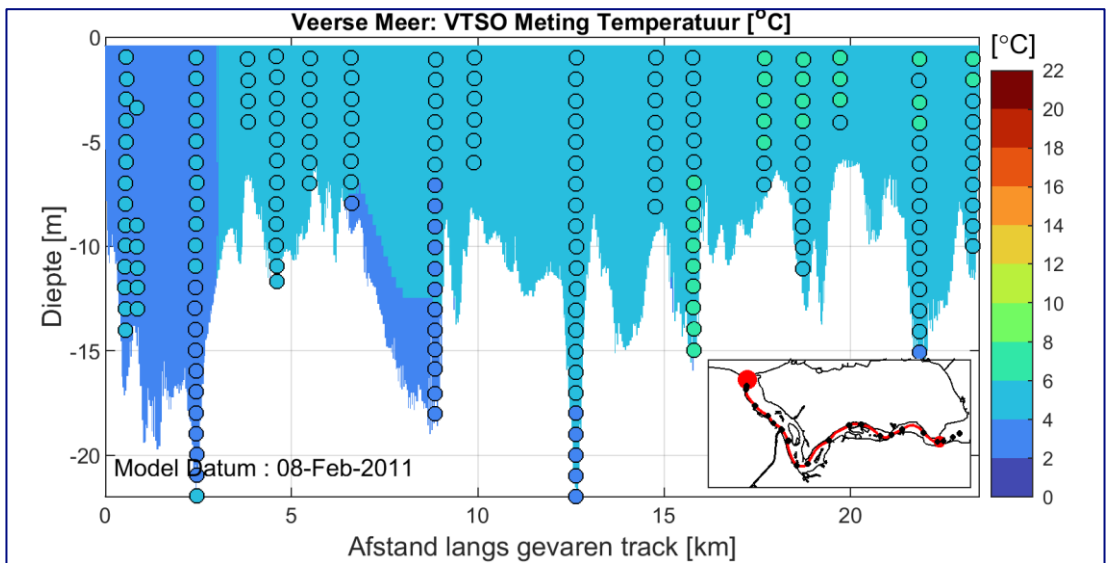
Figuur J-35: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Oktober 2012



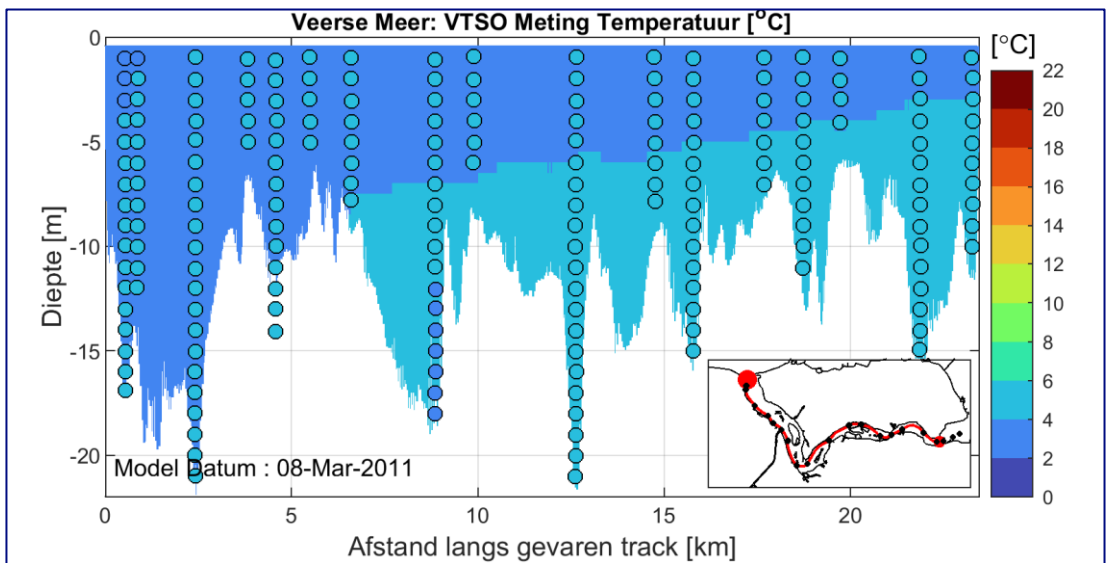
Figuur J-36: Saliniteit, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2012



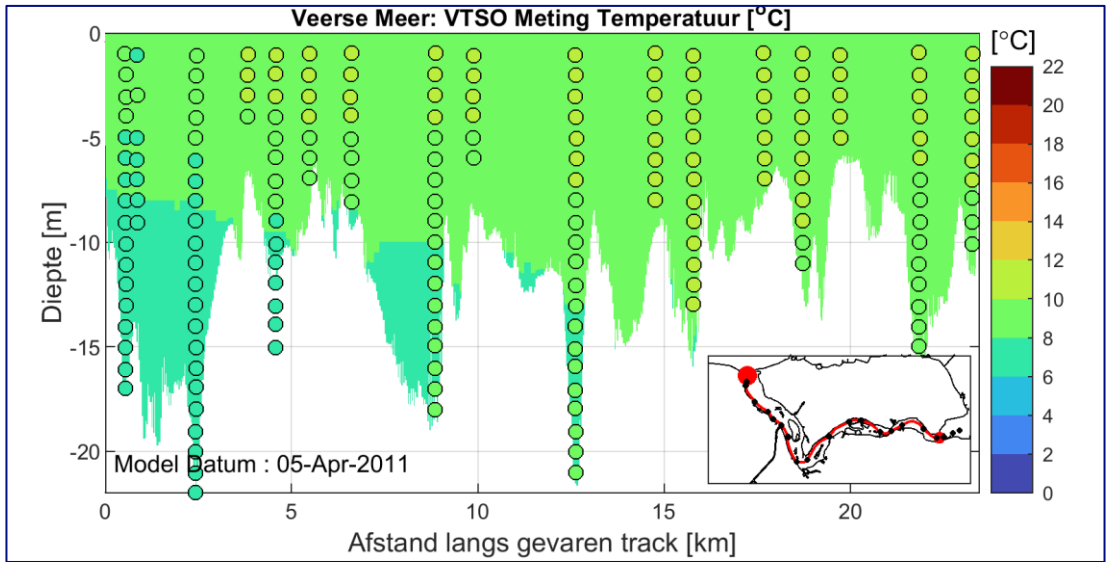
Figuur J-37: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 11 Januari 2011



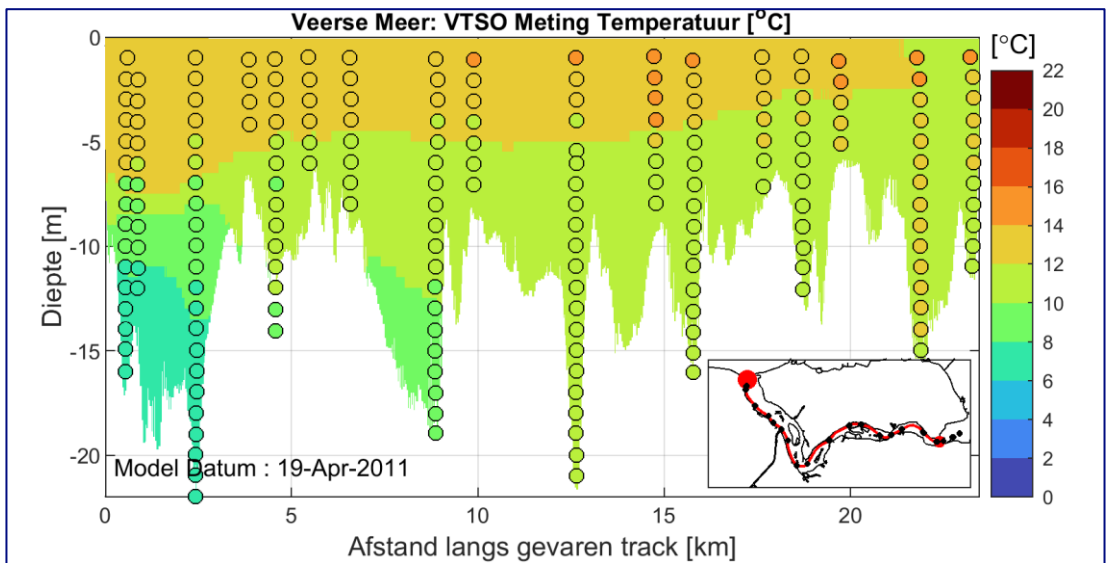
Figuur J-38: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 8 Februari 2011



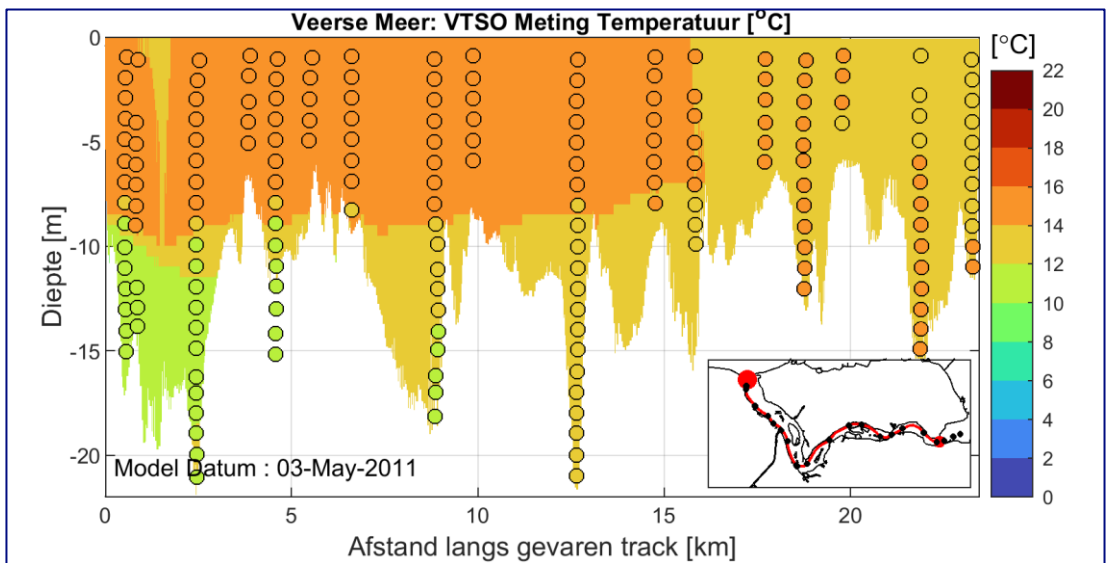
Figuur J-39: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 8 Maart 2011



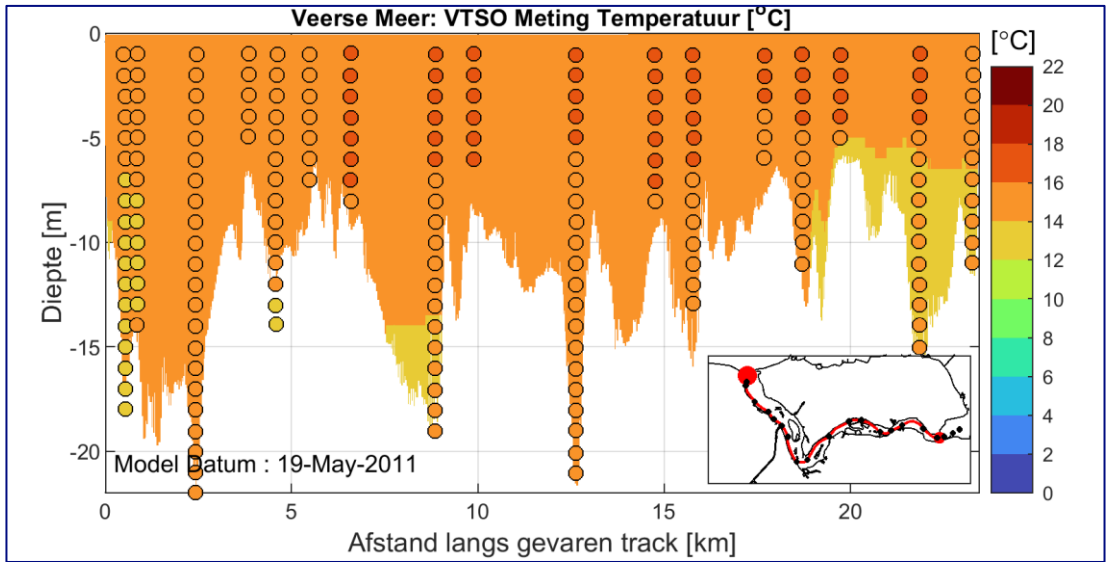
Figuur J-40: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2011



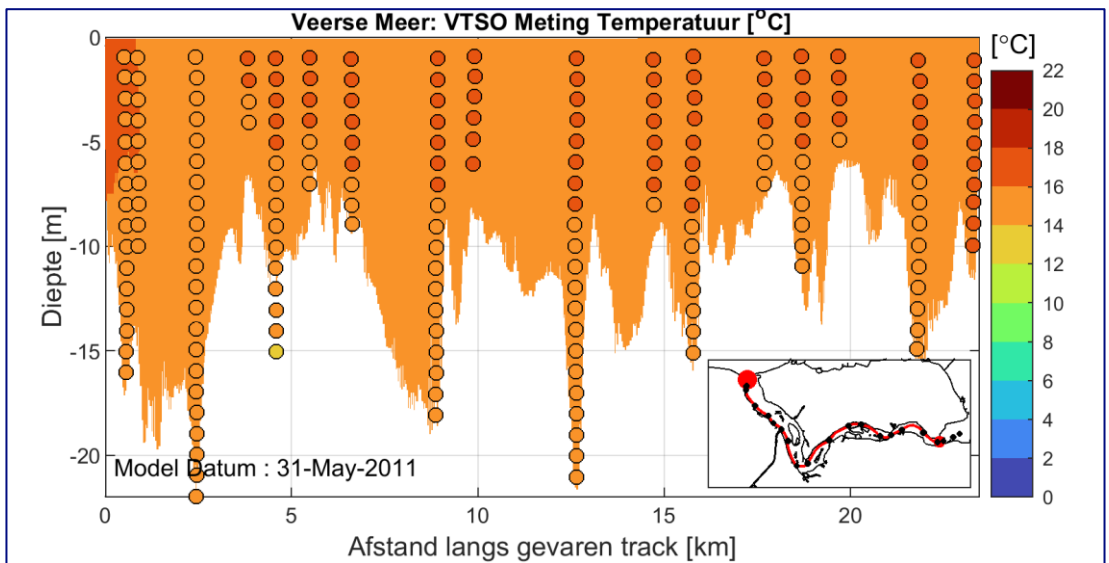
Figuur J-41: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2011



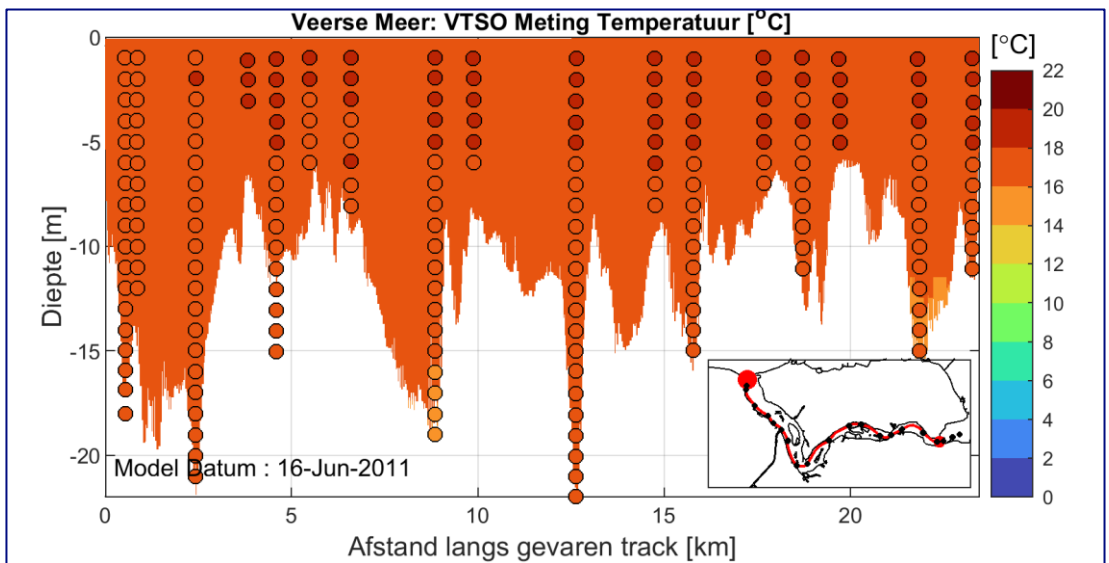
Figuur J-42: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2011



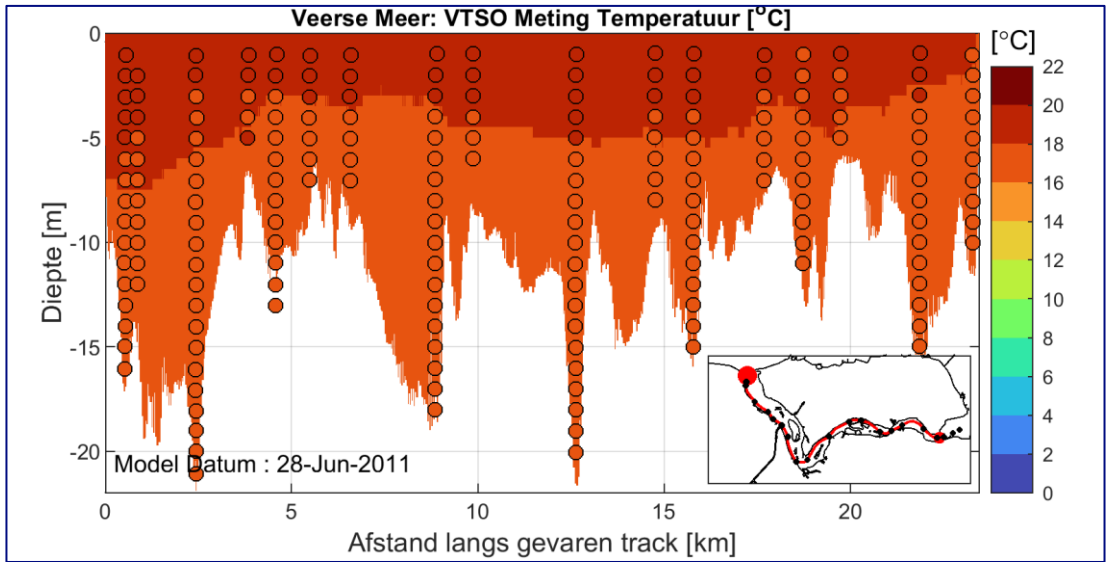
Figuur J-43: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 Mei 2011



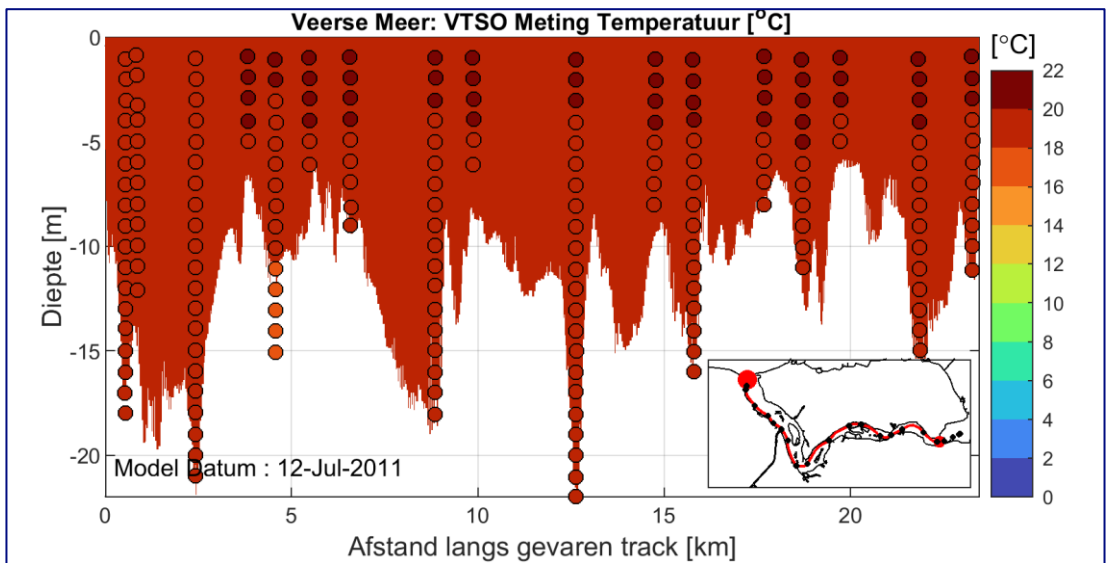
Figuur J-44: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 31 Mei 2011



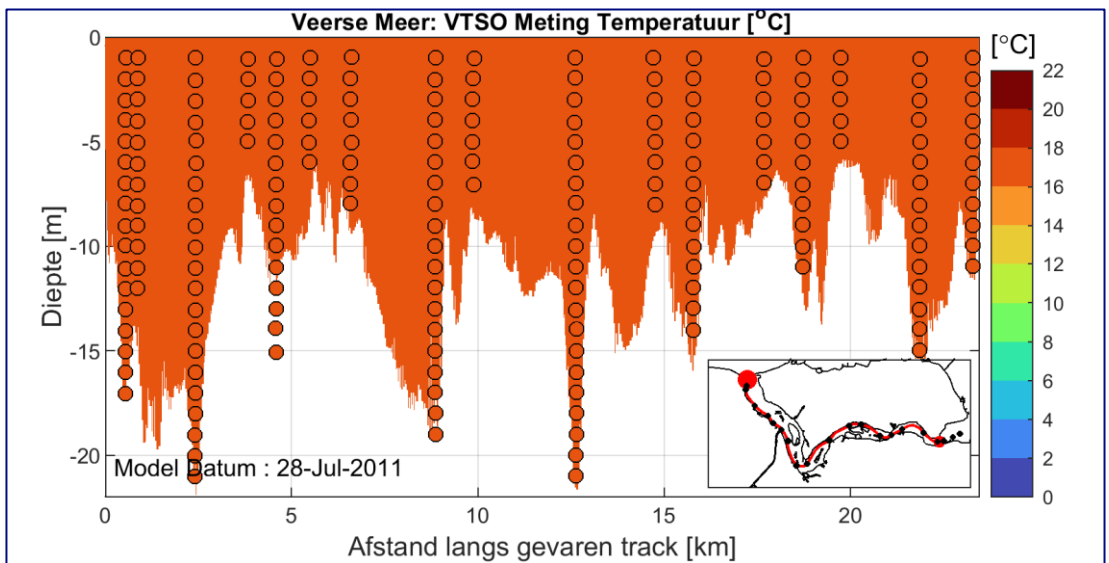
Figuur J-45: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Juni 2011



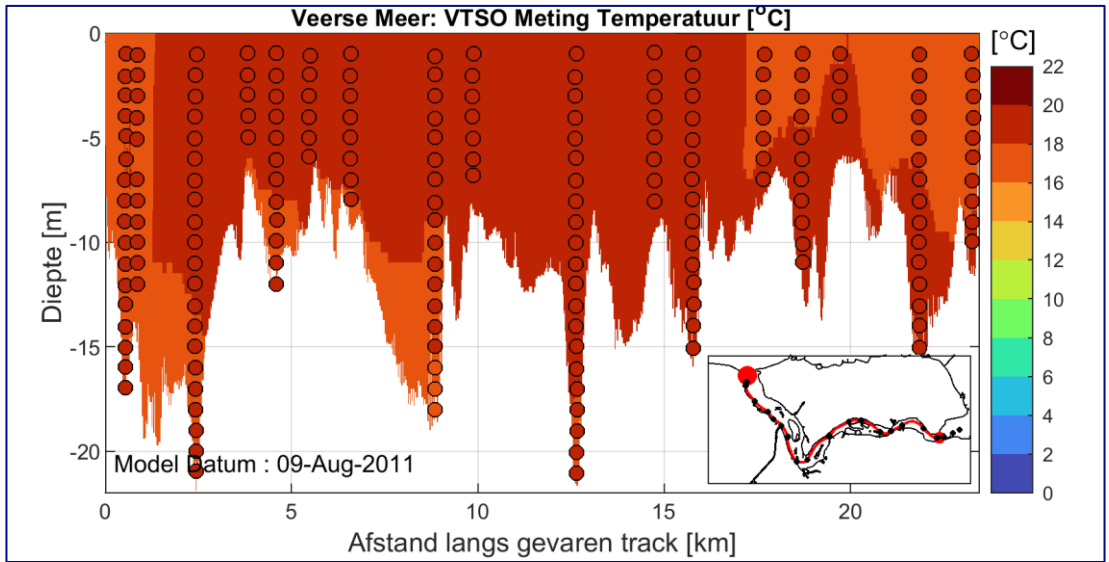
Figuur J-46: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juni 2011



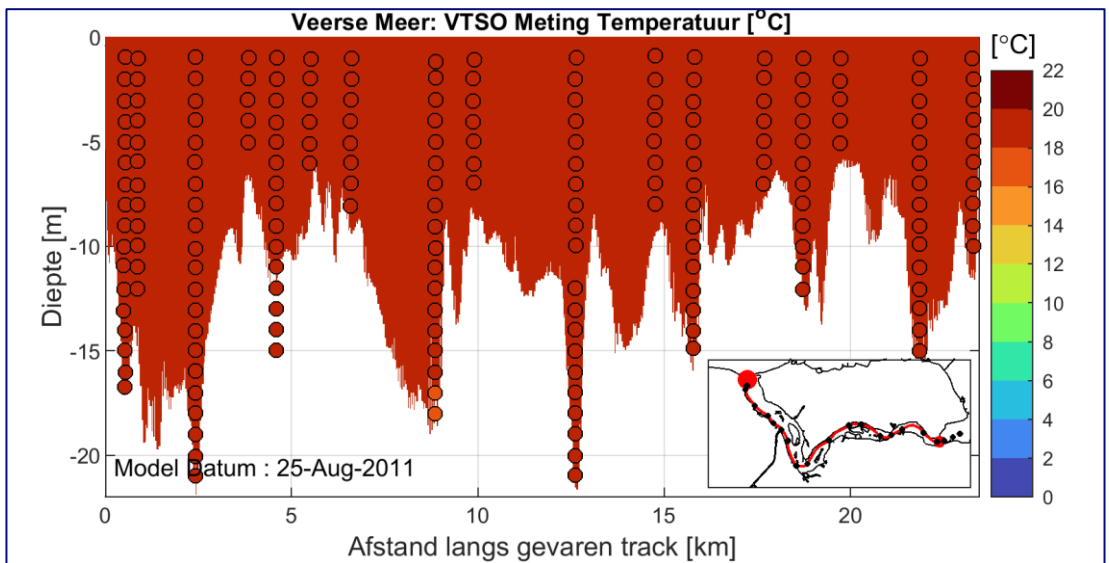
Figuur J-47: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2011



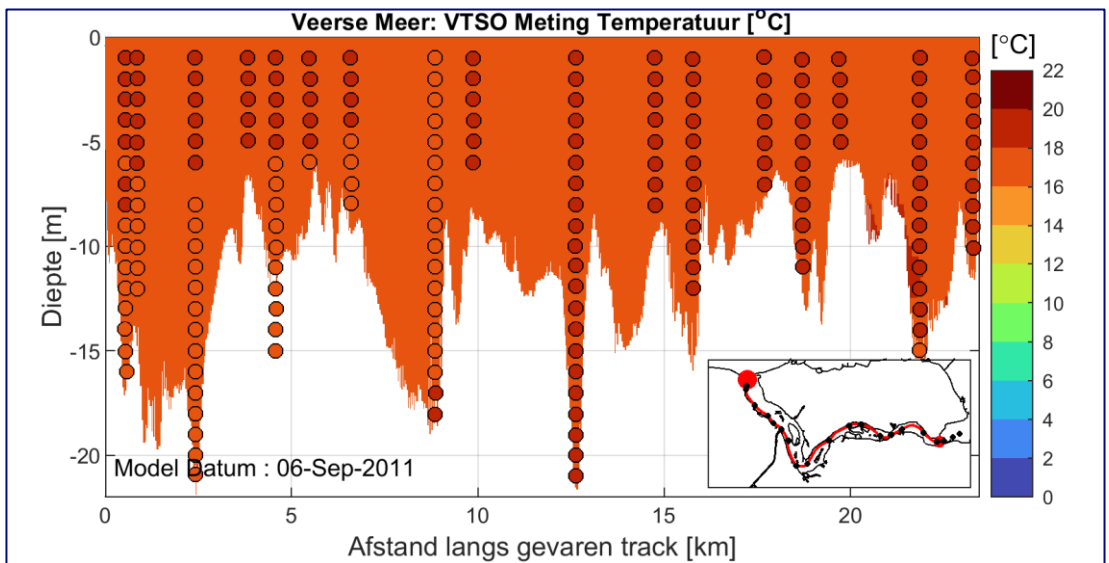
Figuur J-48: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 28 Juli 2011



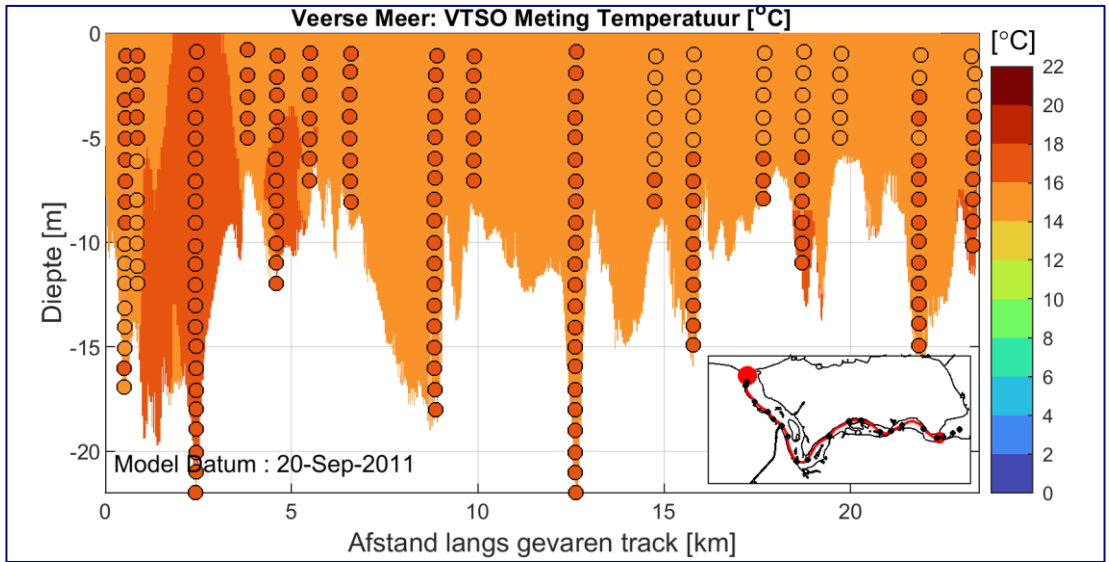
Figuur J-49: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2011



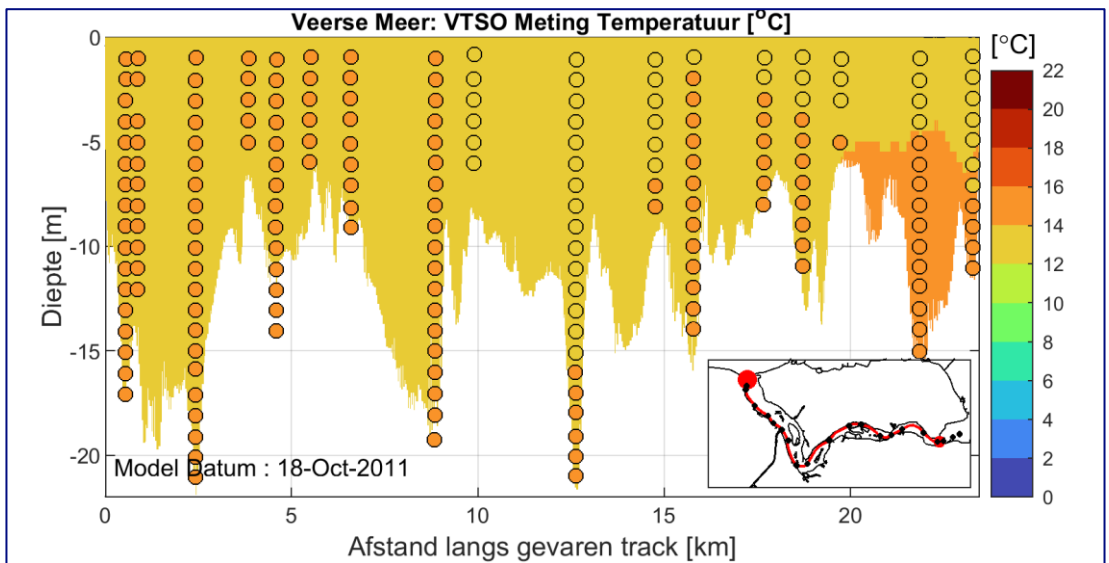
Figuur J-50: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 25 Augustus 2011



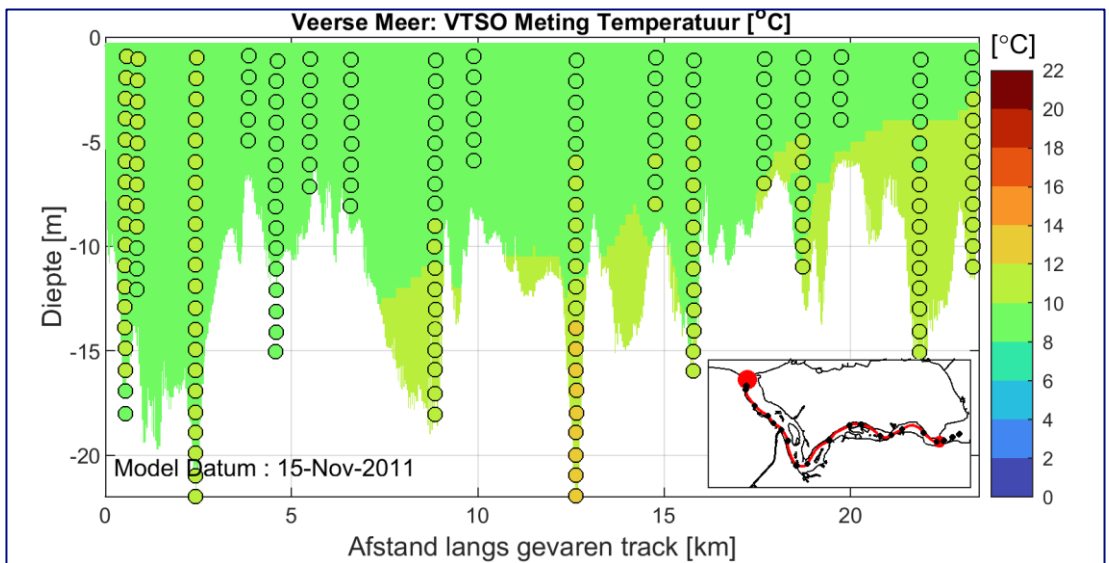
Figuur J-51: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2011



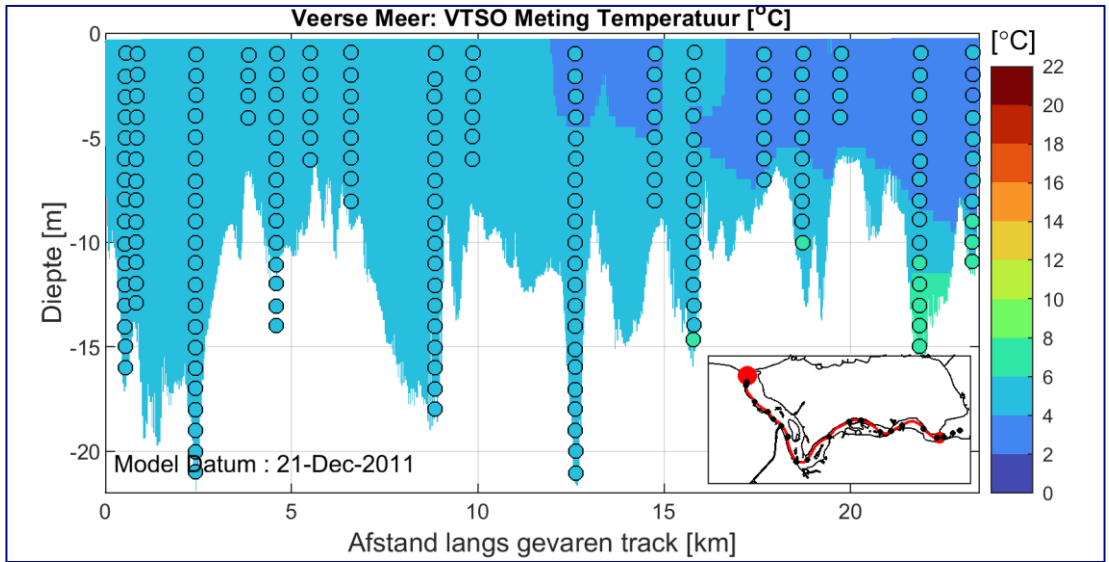
Figuur J-52: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2011



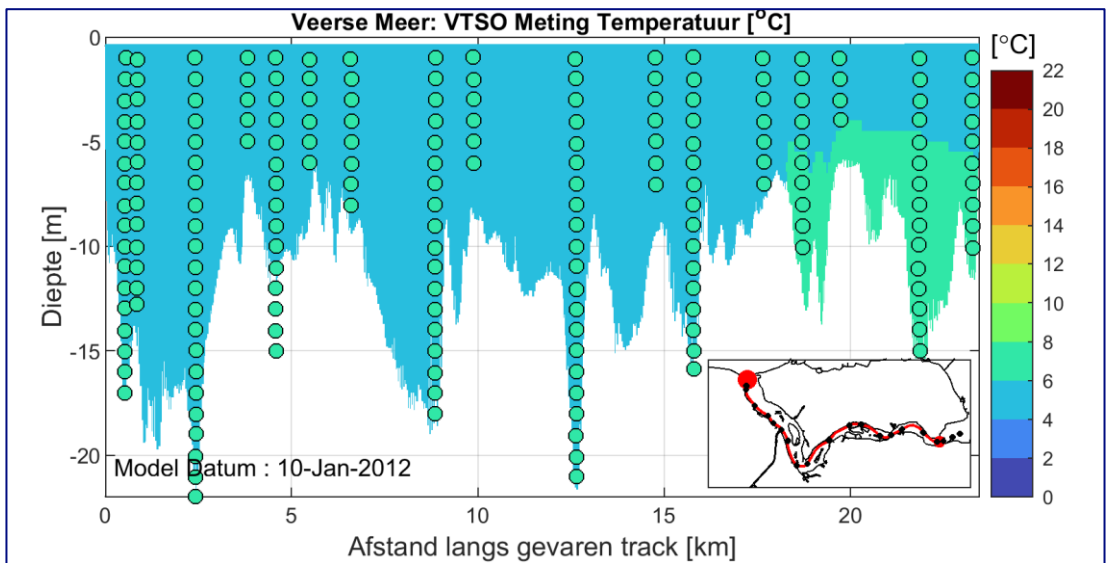
Figuur J-53: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 18 Oktober 2011



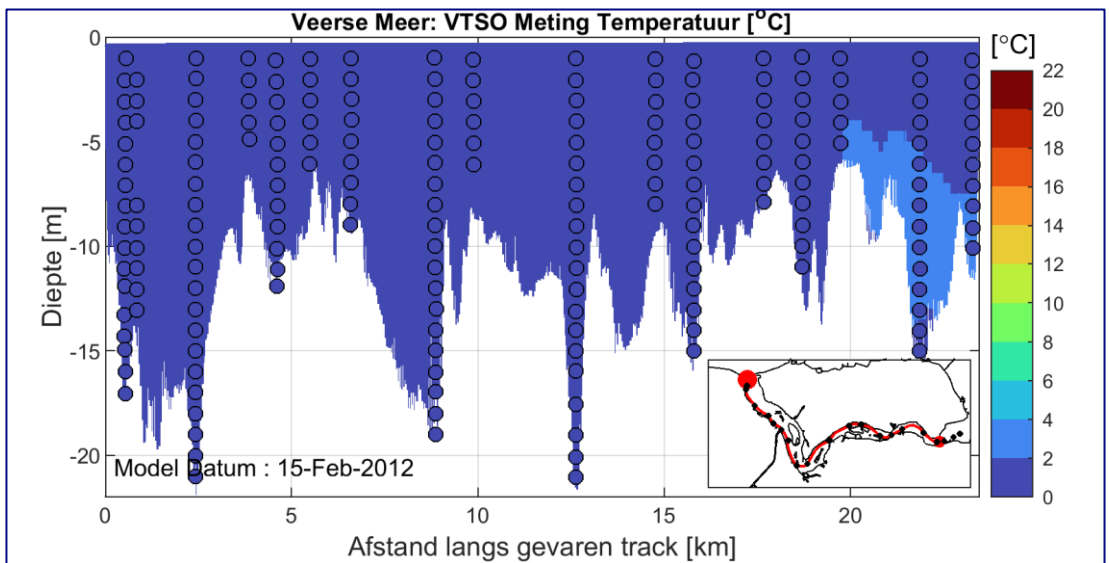
Figuur J-54: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2011



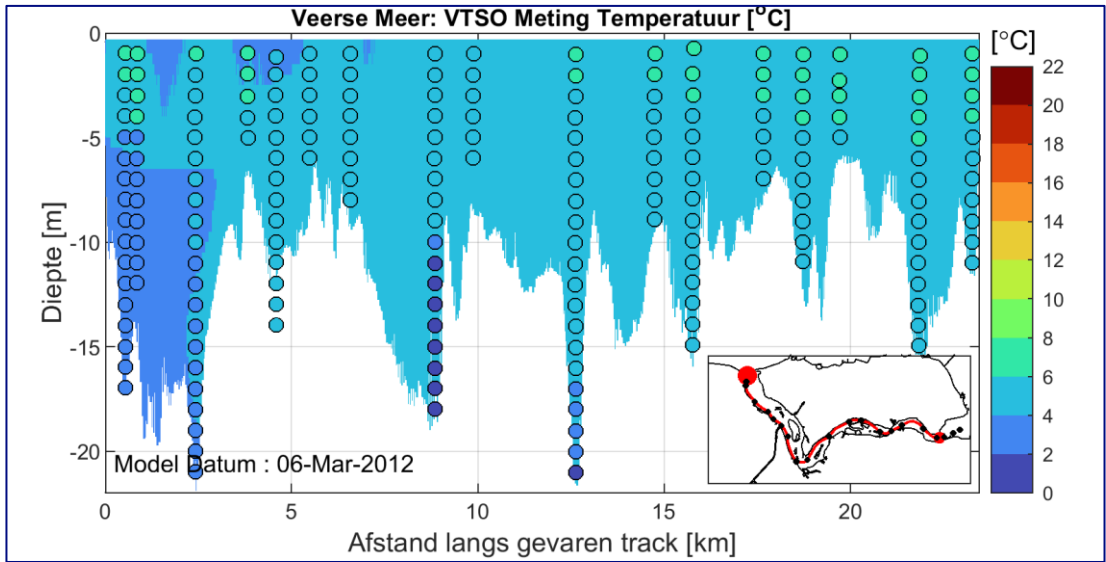
Figuur J-55: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 21 December 2011



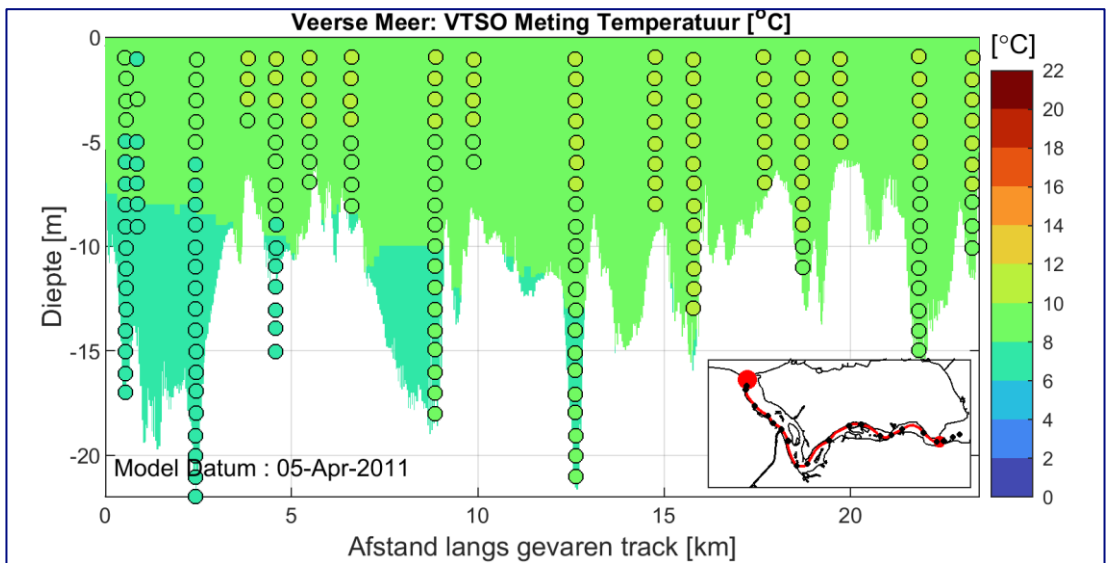
Figuur J-56: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 10 Januari 2012



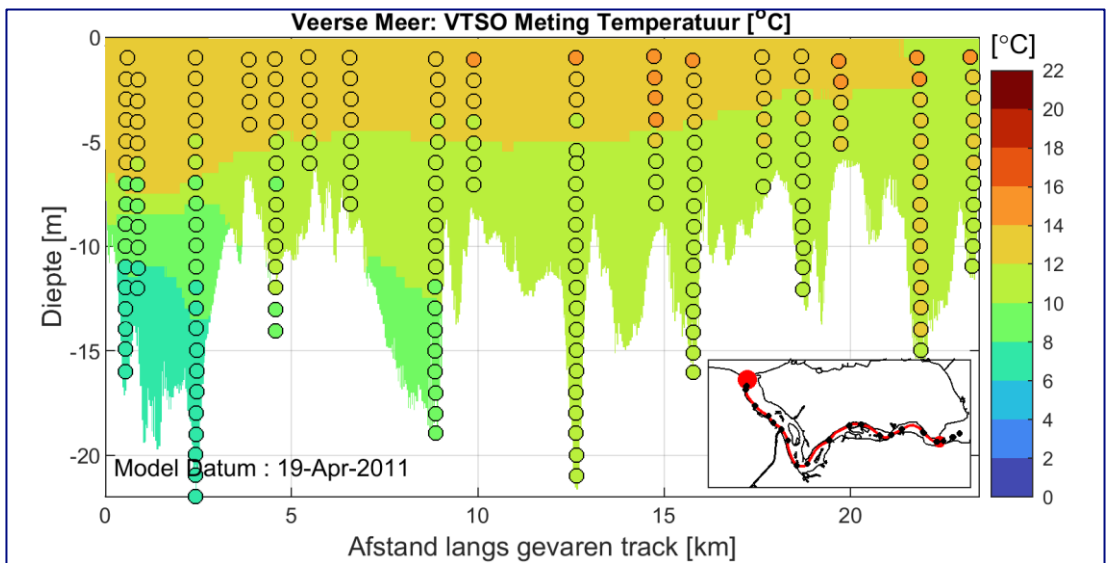
Figuur J-57: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 Februari 2012



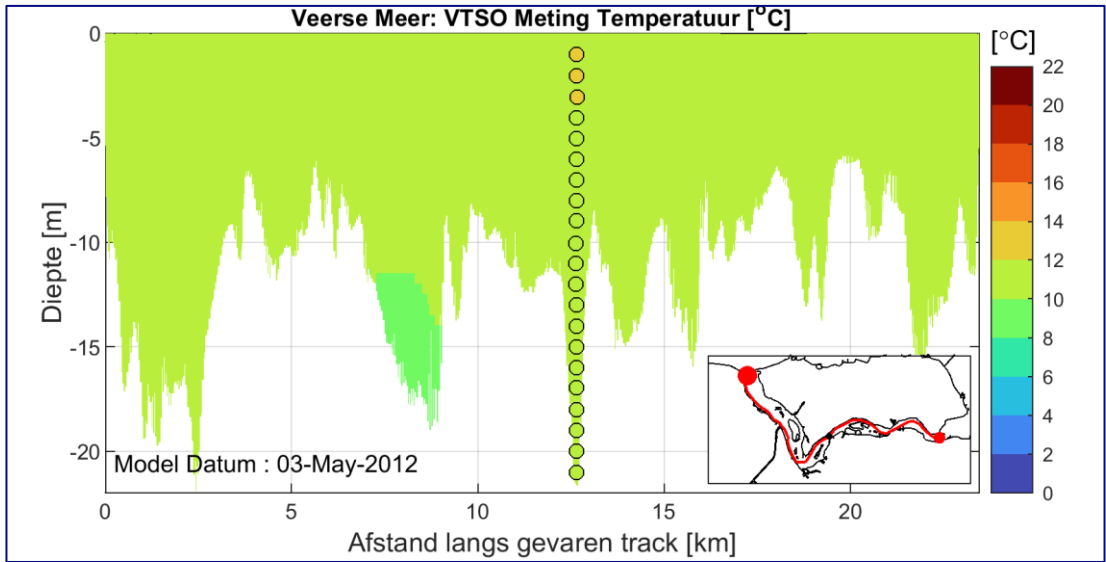
Figuur J-58: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 Maart 2012



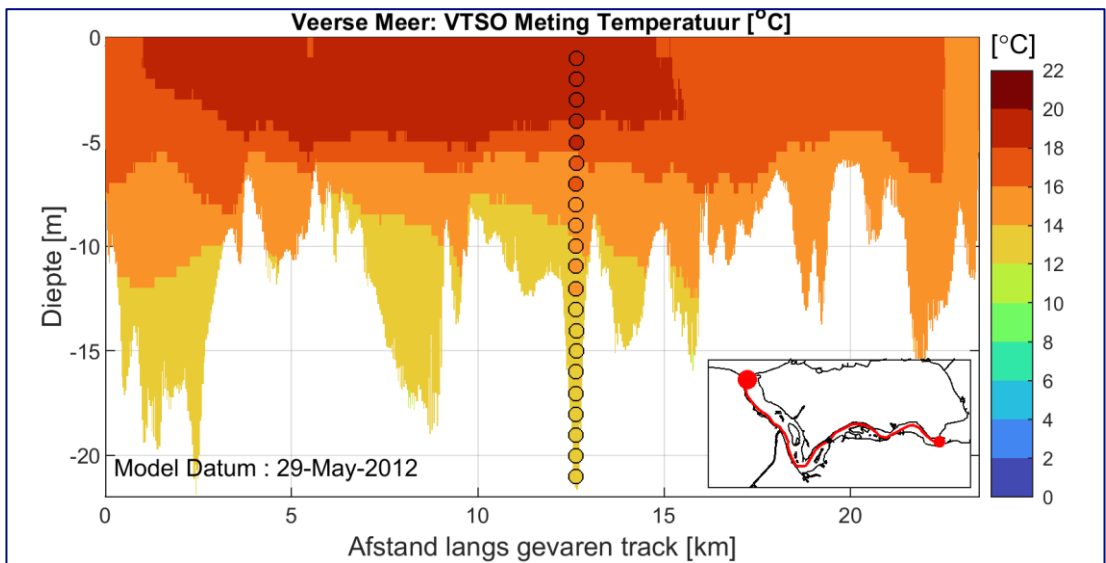
Figuur J-59: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 5 April 2012



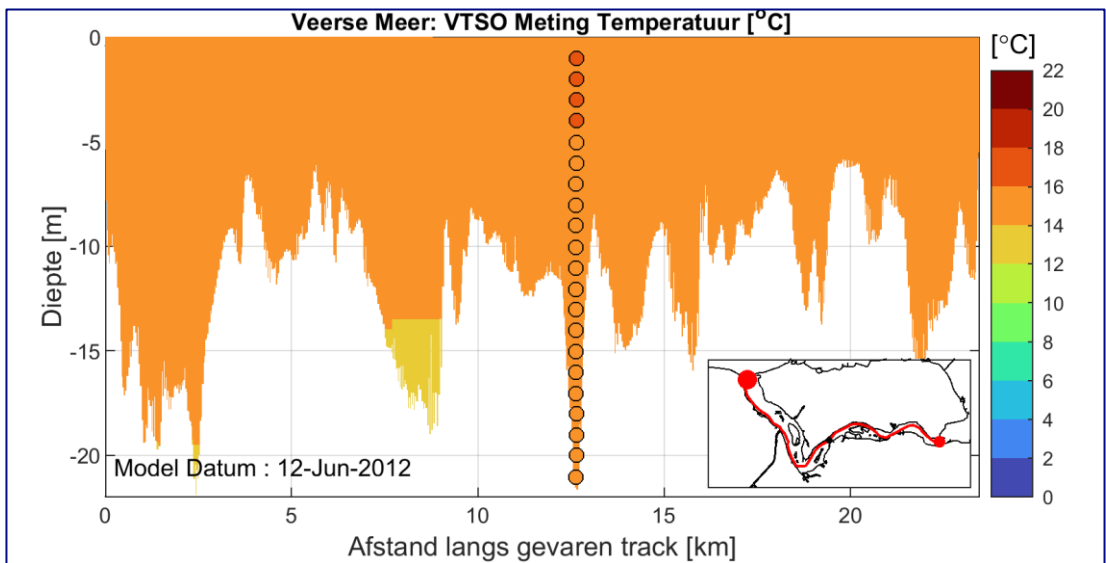
Figuur J-60: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 19 April 2012



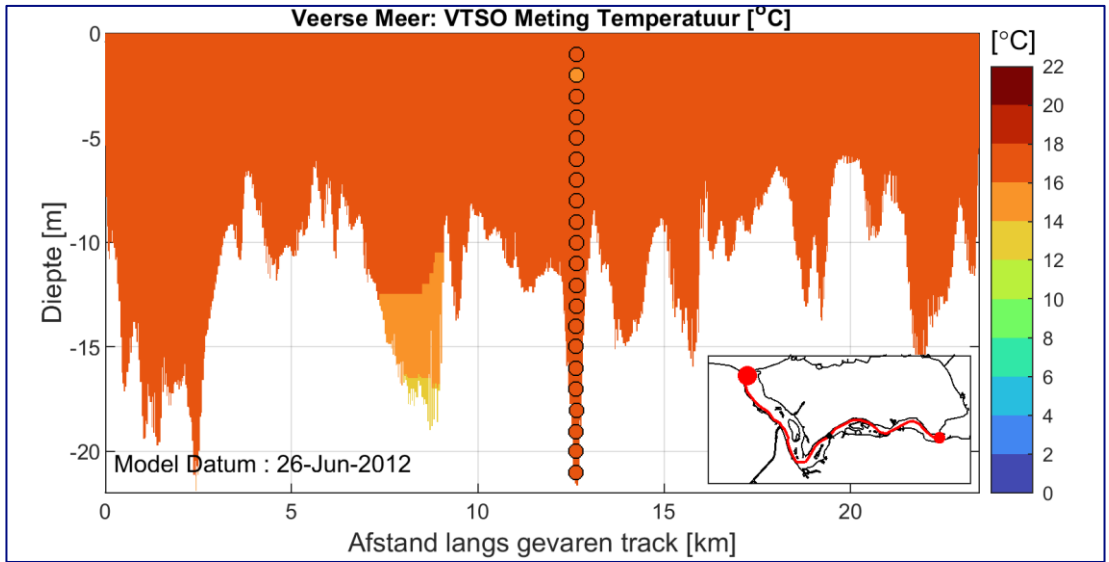
Figuur J-61: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 3 Mei 2012



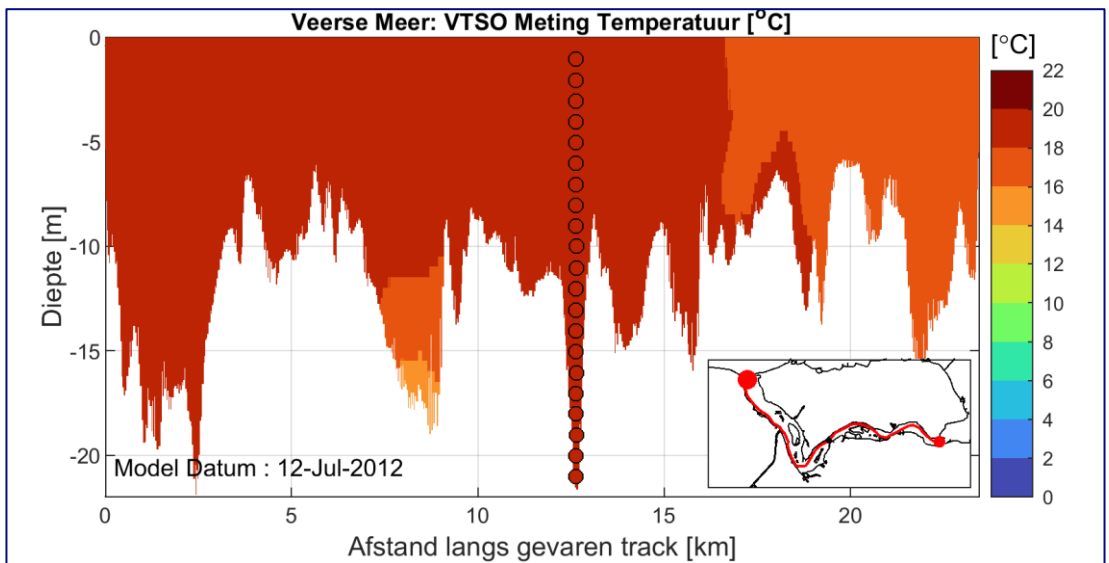
Figuur J-62: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 29 Mei 2012



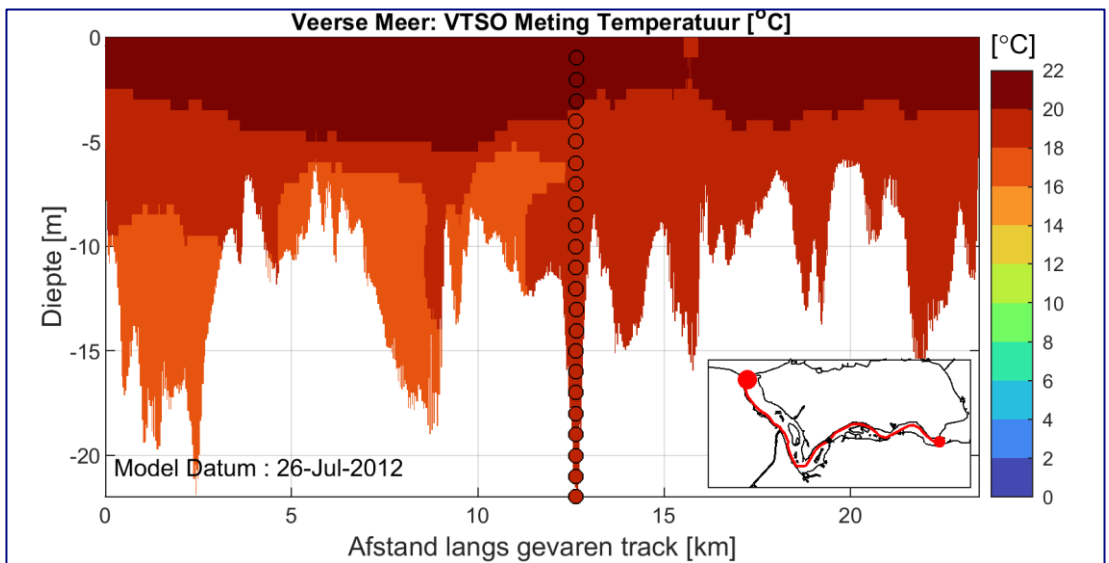
Figuur J-63: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juni 2012



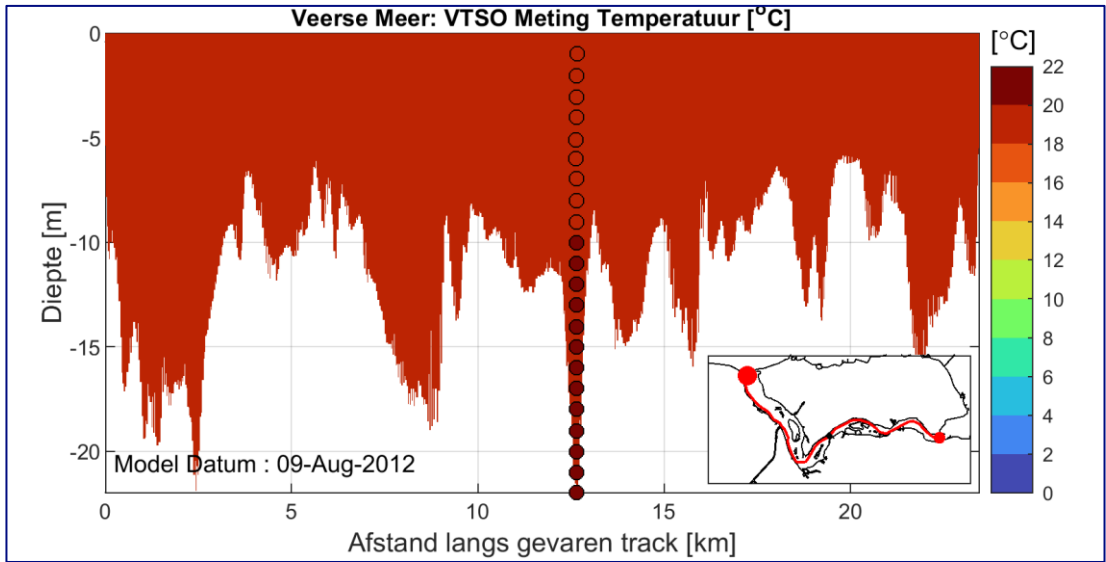
Figuur J-64: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juni 2012



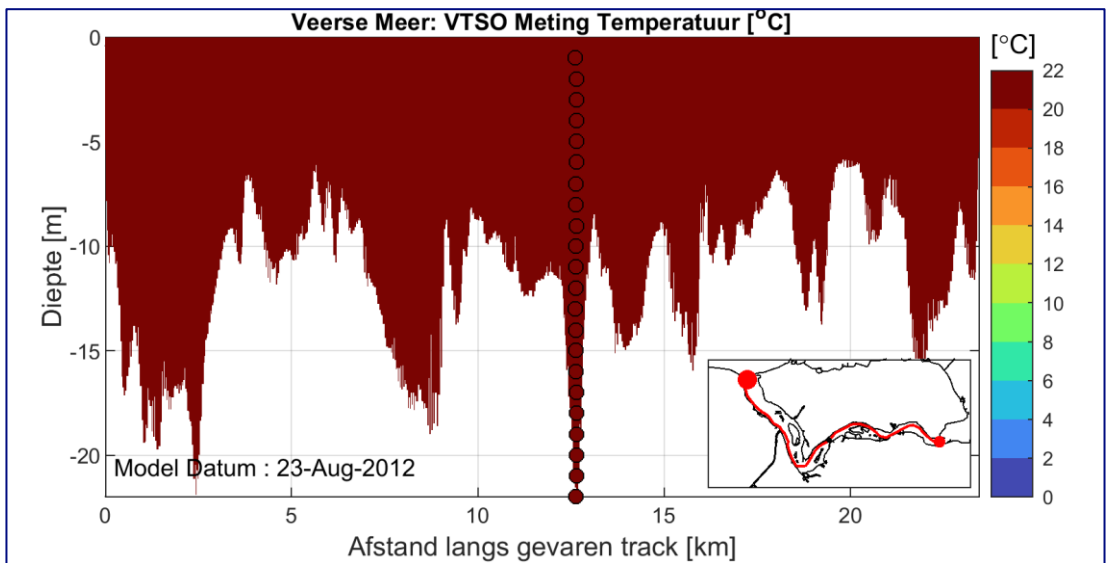
Figuur J-65: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 12 Juli 2012



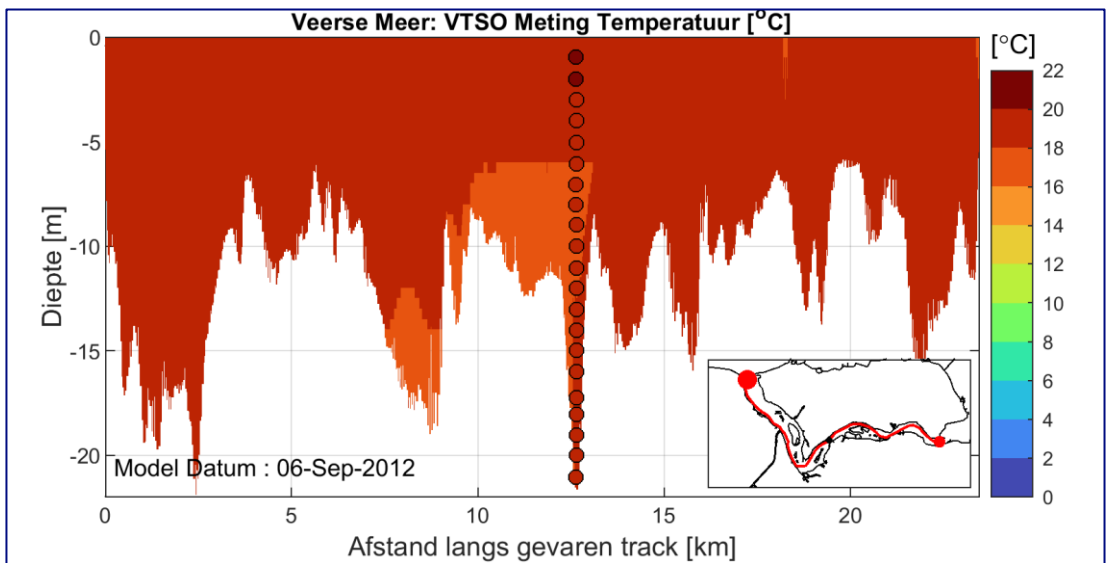
Figuur J-66: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 26 Juli 2012



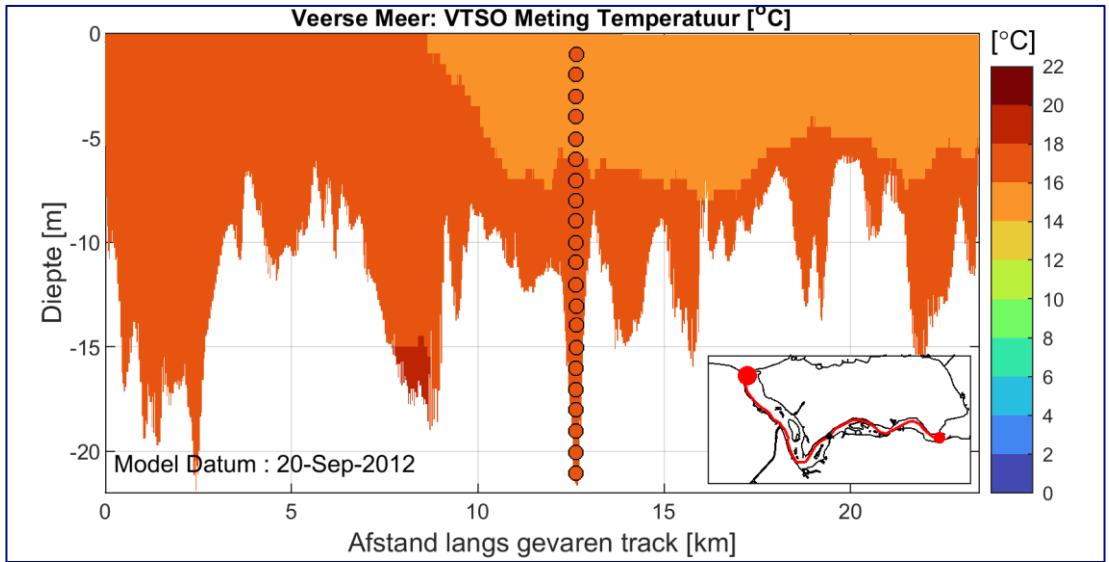
Figuur J-67: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 9 Augustus 2012



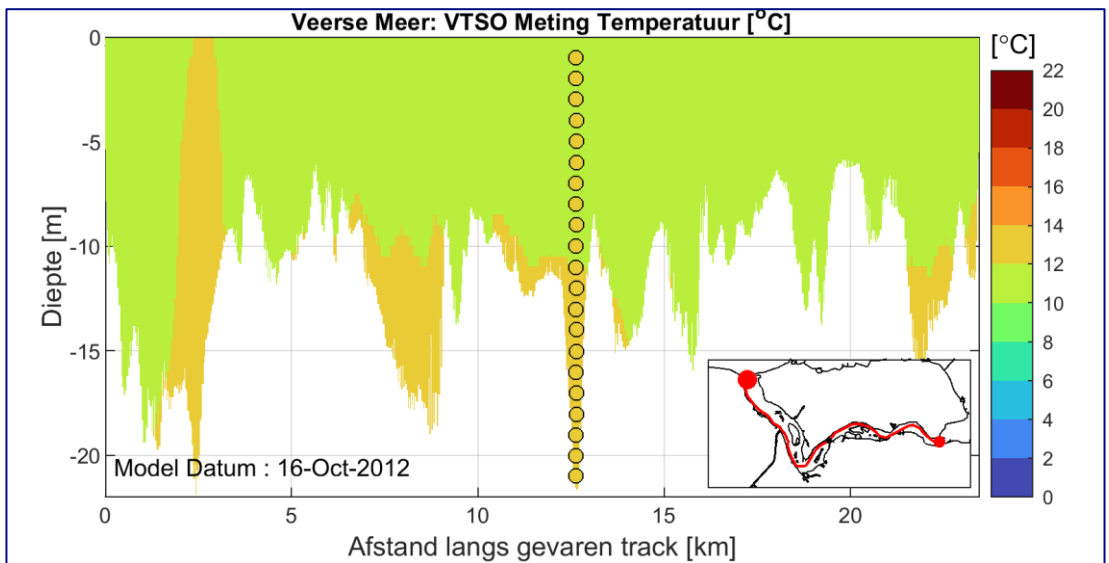
Figuur J-68: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 23 Augustus 2012



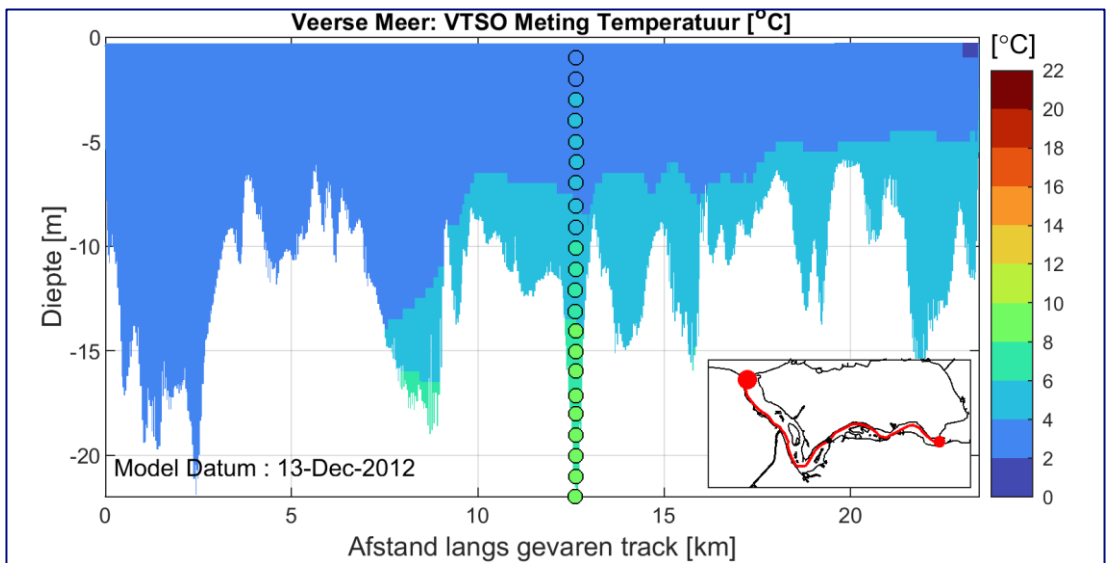
Figuur J-69: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 6 September 2012



Figuur J-70: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 20 September 2012

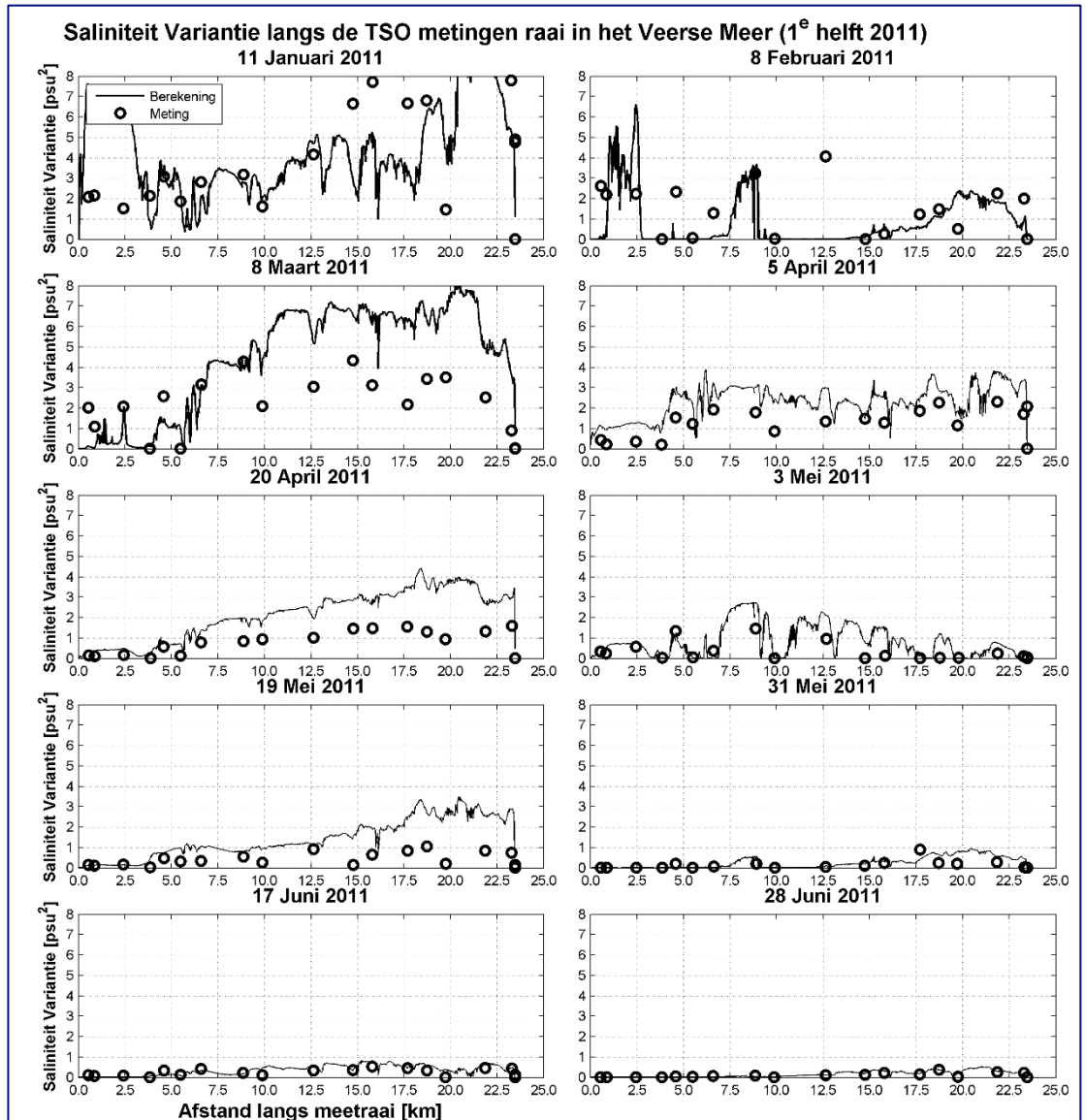


Figuur J-71: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 16 Oktober 2011

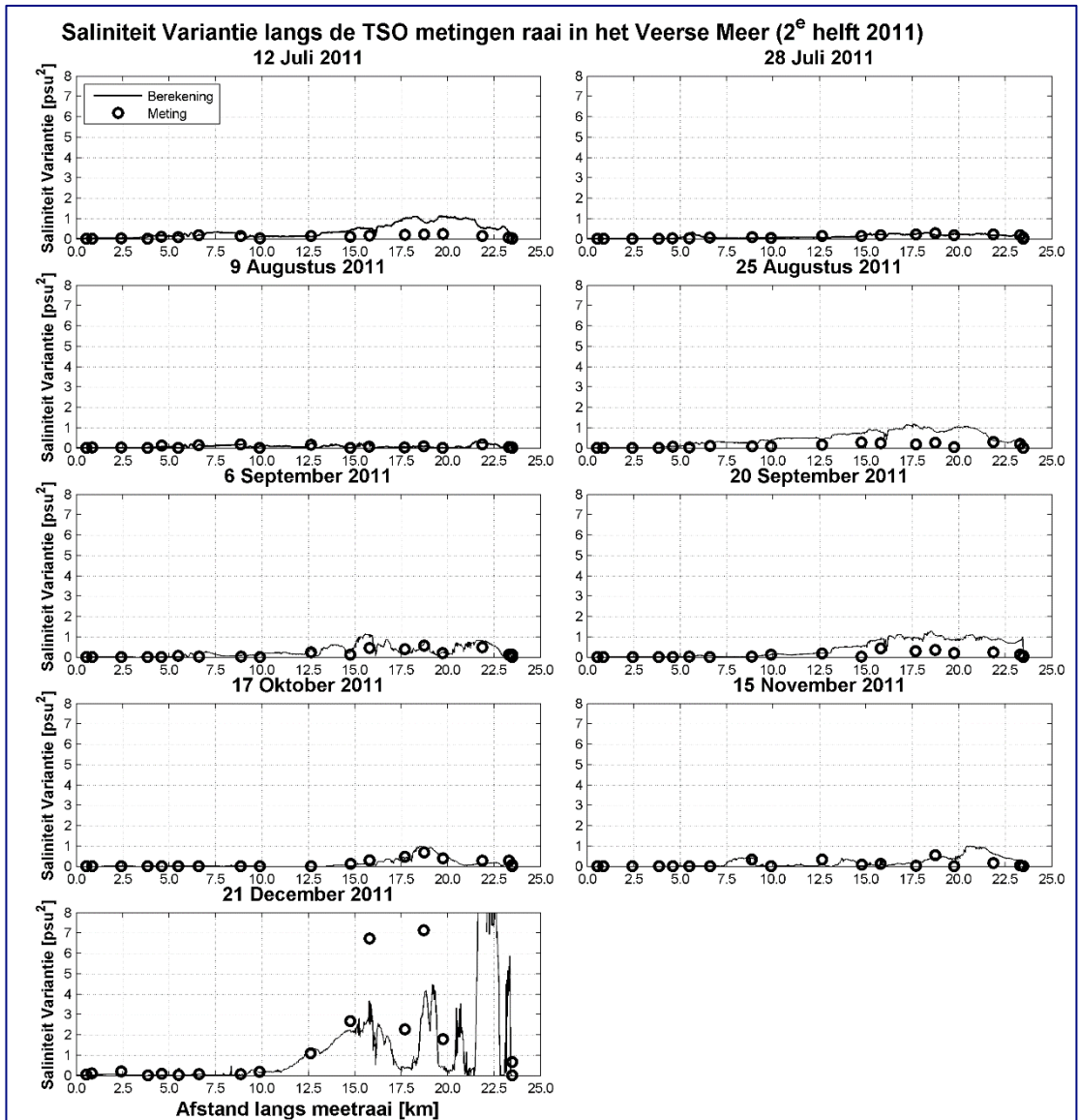


Figuur J-72: Temperatuur, TSO metingen Veers Meer; Meting tegen berekening 15 November 2012

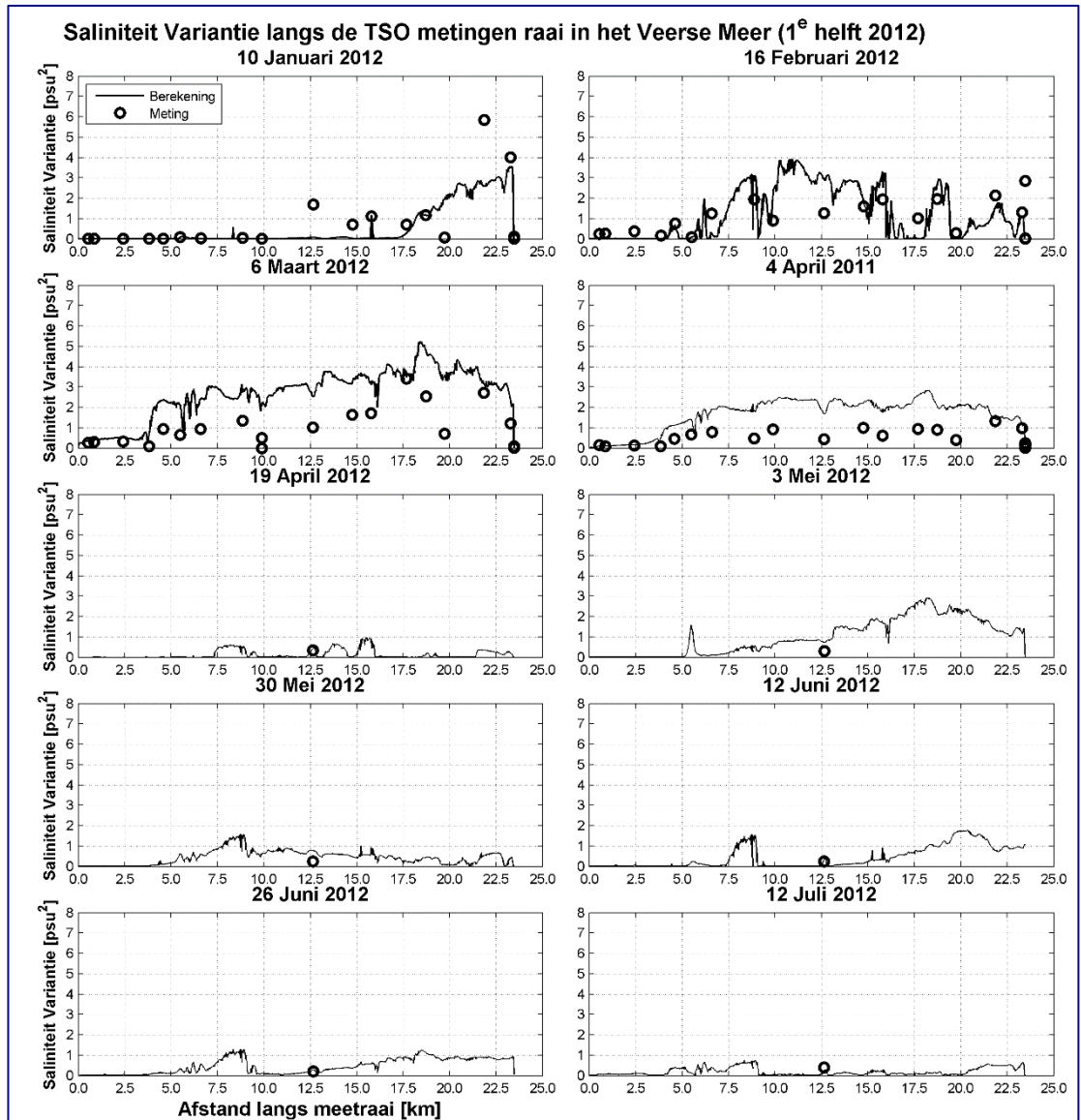
K Gevoeligheidsberekening $dZ = 0,5$ m: Saliniteit en Temperatuur Variantie TSO metingen



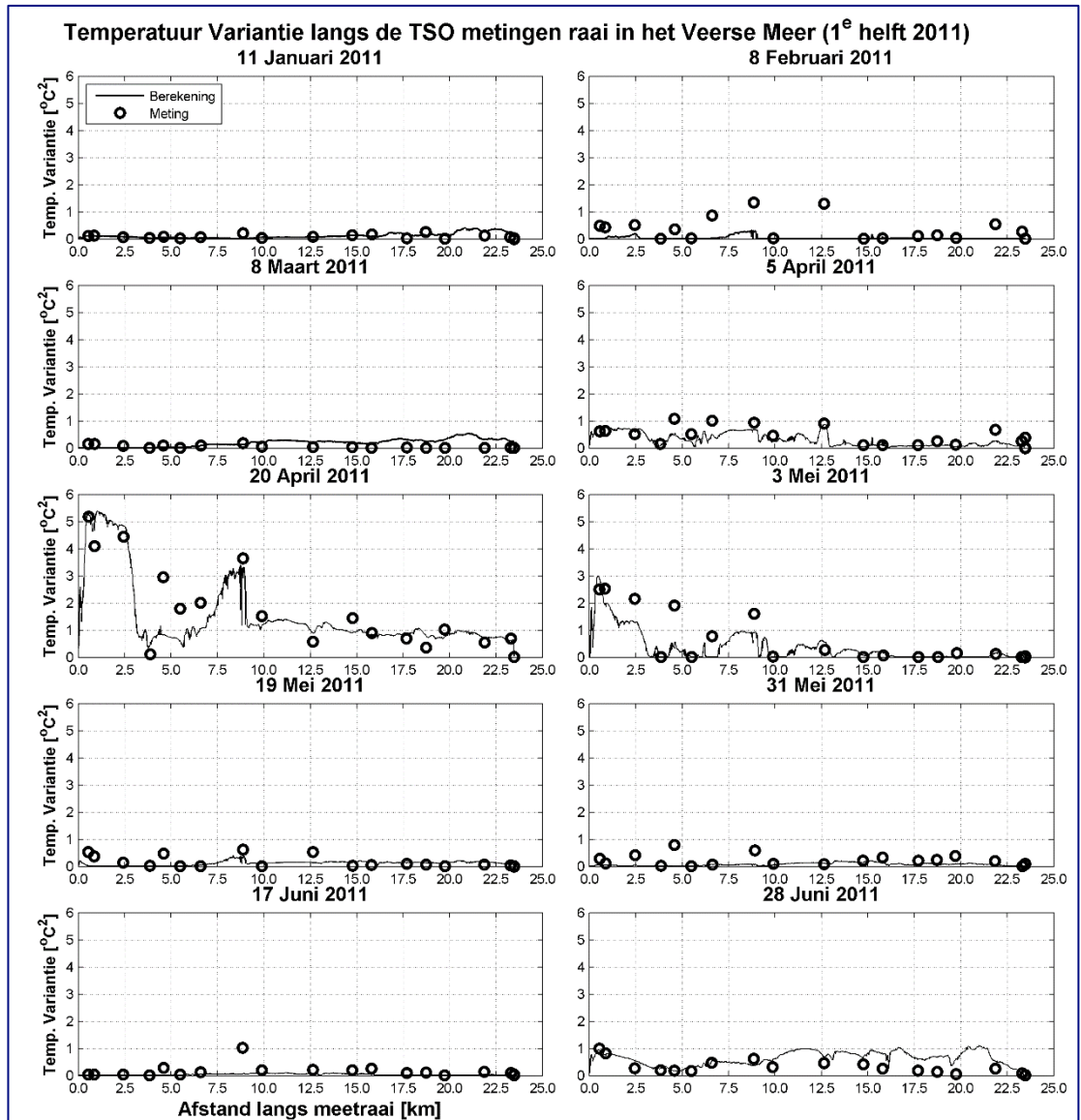
Figuur K-1: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011



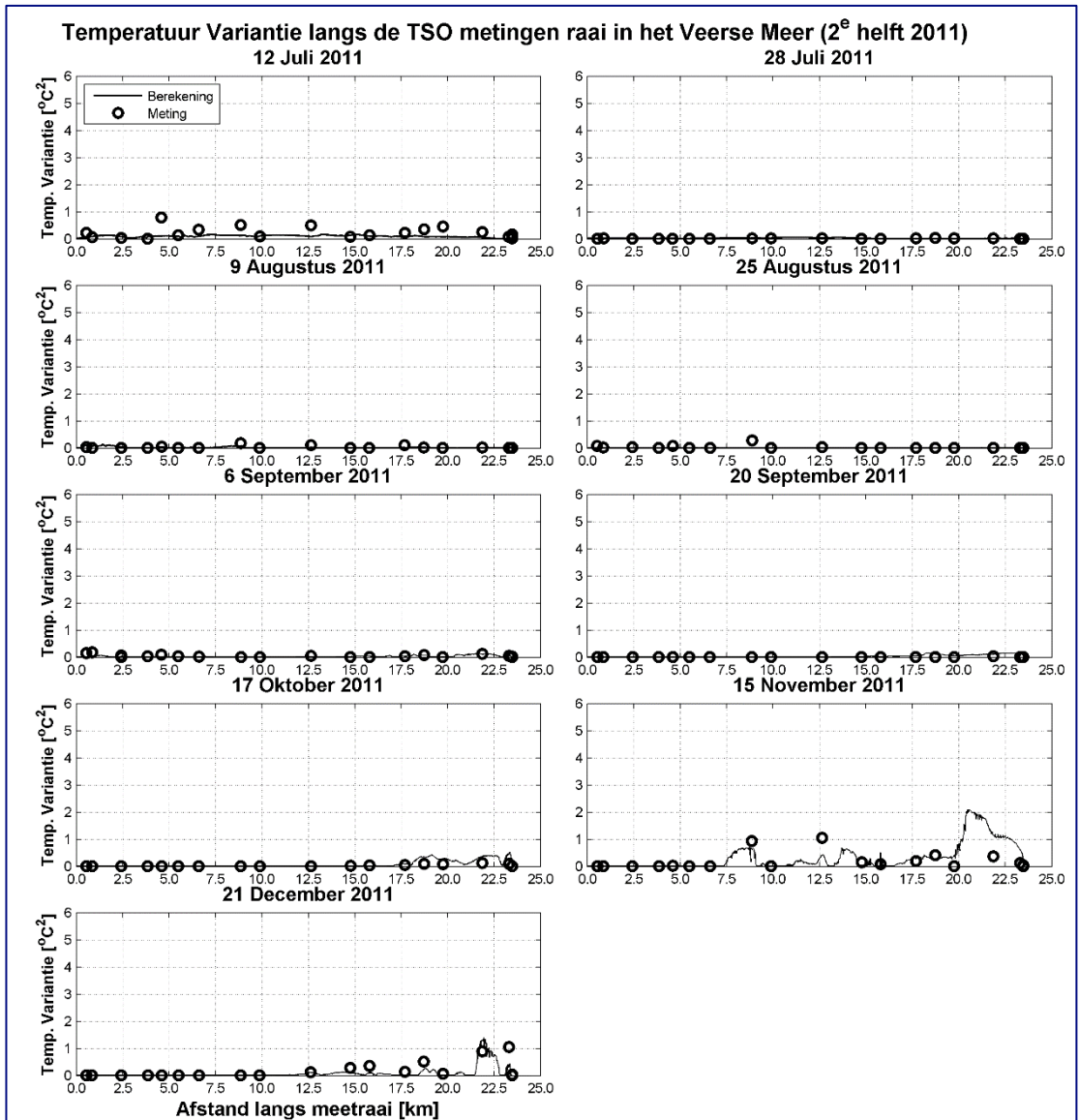
Figuur K-2: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011



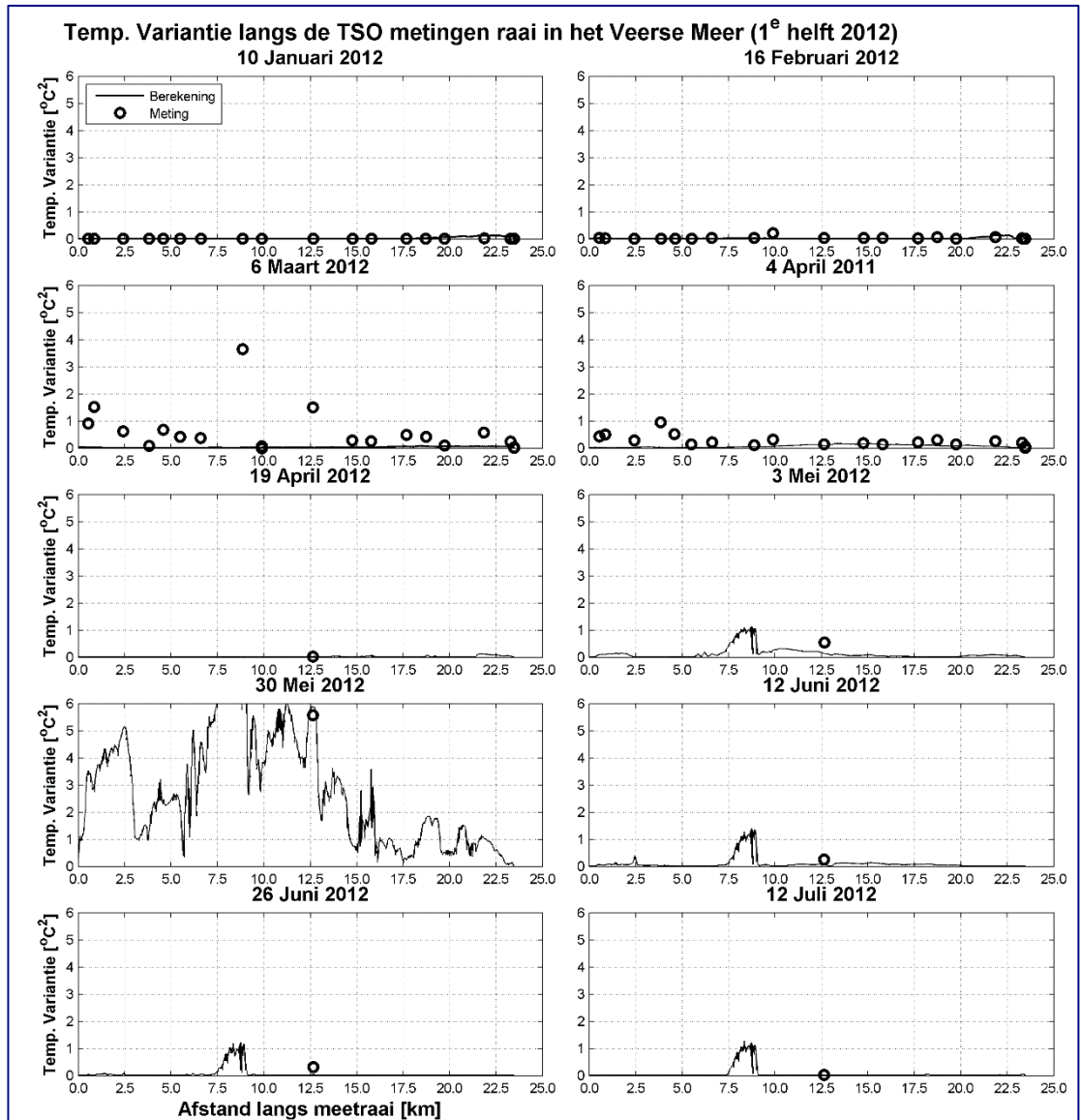
Figuur K-3: Saliniteit: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012



Figuur K-4: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2011



Figuur K-5: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 2^e helft 2011



Figuur K-6: Temperatuur: Variantie; Langs TSO meetraai; 1^e helft 2012

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