

Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model

Modelbouw, kalibratie en validatie



Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model

Modelbouw, kalibratie en validatie

Auteur(s)

Wilbert Verbruggen

Jos van der Baan

Ontwikkeling zesde-generatie 3D Noordzeekanaal Amsterdam-Rijnkanaal model

Modelbouw, kalibratie en validatie

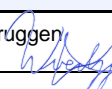
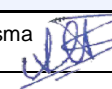
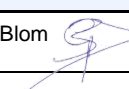
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving & Rijkswaterstaat West-Nederland Noord
Contactpersoon	Martijn Scholten, Yann Friocourt en Arjen Kikkert
Referenties	-
Trefwoorden	Noordzeekanaal, Amsterdam-Rijnkanaal, D-HYDRO Suite, zesde generatie, Modelschematisaties, KPP, D-Flow Flexible Mesh

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	17-12-2020
Projectnummer	11205258-011
Document ID	11205258-011-ZWS-0004
Pagina's	144
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Wilbert Verbruggen	
	Jos van der Baan	

Doc. Versie	Auteur	Controle	Akkoord	Publicatie
1.0	Wilbert Verbruggen 	Arnout Bijlsma 	Gerard Blom 	

Samenvatting

Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van de nieuwe zesde-generatie modelschematisatie voor Rijkswaterstaat (RWS) voor de waterbeweging in het watersysteem Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal 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 eendimensionale (1D), tweedimensionale (2D) en driedimensionale (3D) hydrodynamische simulaties gemaakt kunnen worden op ongestructureerde roosters.

De zesde generatie D-HYDRO modelschematisatie voor het NZK/ARK is gebaseerd op een model dat oorspronkelijk door Arcadis is opgezet. Tijdens de verdere ontwikkeling van het model is door Deltares en Arcadis samengewerkt. Hierbij is zoveel mogelijk rekening gehouden met de verschillende voor Rijkswaterstaat relevante toepassingen en primaire processen (studies t.b.v. ingrepen/maatregelen in systeem, vergunningverlening, operationele voorspellingen en systeemanalyses). Ook is rekening gehouden met de door RWS opgestelde Programma van Eisen (PvE) voor 2D en 3D zesde generatie watermodellen en is gebruik gemaakt van Baseline-NL. Op basis van het PvE zijn landelijk afgestemde generieke technische en functionele specificaties (aangaande roosteropbouw, numerieke instellingen, kalibratiemethodes, etc.) voor alle nieuwe zesde-generatie modelschematisaties opgezet (Spruyt et al. 2017). In overleg met kerngebruikers bij RWS zijn kalibratie- en validatieperiodes vastgesteld welke gebruikt zijn om het model te toetsen op kwaliteit en geschiktheid. De werkzaamheden voor de ontwikkeling van alle zesde generatie modelschematisaties van heel Nederland hebben plaatsgevonden in de periode 2017-2020.

Bij de opzet van het NZK/ARK model is gebruikgemaakt van de geometrische data van Baseline, en de best beschikbare informatie over de afvoeren in het gebied. Deze informatie komt uit het Boezemmodel van Waternet. Deze informatie is verder gecontroleerd op geometrische artefacten ten gevolge van de automatisch procedures. Verder is de waterbalans sluitend gemaakt, o.a. door correctie van debieten op het ARK, bij de Oranjesluizen en bij IJmuiden. Daarnaast zijn gevoeligheidsanalyses gedaan voor diverse fysische en numeriek parameters. Hiermee is op dit moment de best beschikbare modelbeschrijving voor dit gebied verkregen. Het model is vervolgens geëvalueerd met betrekking tot de beoogde modeltoepassingen. Op basis hiervan zijn aanbevelingen geformuleerd voor verdere verbetering van het model.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doel	9
1.3	Toepassingen van het model	9
1.4	Gebruikte programmatuur en hardware:	11
1.5	Organisatie en bijdragen	11
1.6	Leeswijzer	11
1.7	Terminologie	12
2	Systeembeschrijving	13
2.1	Gebiedsbeschrijving	13
2.2	Geometrie	14
2.2.1	Sluizen	14
2.2.2	Bruggen	16
2.3	Verbinding met andere gebieden	17
3	Beschikbare data	18
3.1	Geometrie in Baseline	18
3.2	Randvoorwaarden en meetgegevens ten behoeve van kalibratie/validatie	18
3.2.1	Aangeleverde meetgegevens	18
3.2.2	Lateralen vanuit Boezemmodel	19
3.2.3	Afvoeren bij spui-maalcomplex IJmuiden en Schellingwoude	19
3.2.4	Randvoorwaarden schutsluizen IJmuiden	20
3.2.5	Meteorologische data	20
4	Modelopzet	21
4.1	Roosterontwerp	21
4.1.1	Methodiek roosteropbouw	21
4.1.2	Roostereigenschappen	23
4.2	Projectie vanuit Baseline	24
4.3	Debietrandvoorwaarden	25
4.3.1	Lateralen uit het boezemmodel	25
4.3.2	Overige lateralen	26
4.3.2.1	Schutsluizen IJmuiden	26
4.3.2.2	Spui- maaldebieten	31
4.3.2.3	Schutcomplex Schellingwoude	31
4.3.2.4	Industriële lozingen	32
4.3.3	Correctie op de waterbalans	32
4.3.3.1	Correctie op basis van gemeten debiet bij Maarssen en Weesp	33
4.3.3.2	Correctie op basis van de totale waterbalans	34

4.3.4	Zout en temperatuur bij lozingen	37
4.4	Overige randvoorwaarden	37
4.4.1	Meteorologische forcering	37
4.4.2	Initiële condities	37
4.5	Schematisatie kunstwerken	37
4.5.1	Bruggen	37
4.6	Definitie ruwheden	38
4.7	Overige fysisch numerieke instellingen	38
5	Kalibratie en validatie	39
5.1	Kalibratiemethodiek	39
5.1.1	Kalibratieprocedure	39
5.1.2	Gevoeligheidsstudie	39
5.2	Beknopte resultaten gevoeligheidssimulaties	40
5.3	Kalibratie- en validatieperiode	41
5.4	Resultaten kalibratie	41
5.4.1	Vergelijking met waterstandmetingen	41
5.4.2	Vergelijking met debietmeting bij Weesp	44
5.4.3	Vergelijking met 100-punten metingen	44
5.4.3.1	Vergelijking zoutgehalte	45
5.4.3.2	Vergelijking temperatuur	49
5.4.4	Vergelijking met stationsmetingen in NZK en ARK	52
5.4.4.1	Vergelijking zoutgehalte	52
5.4.4.2	Vergelijking temperatuur	56
5.5	Resultaten validatie	58
5.5.1	Vergelijking met waterstandmetingen	58
5.5.2	Vergelijking met debietmetingen bij Weesp en Maarsssen	59
5.5.3	Vergelijking met 100-punten metingen	59
5.5.3.1	Vergelijking zoutgehalte	59
5.5.3.2	Vergelijking temperatuur	61
5.5.4	Vergelijking met stationsmetingen in NZK en ARK	63
5.5.4.1	Vergelijking zoutgehalte	63
5.5.4.2	Vergelijking temperatuur	66
5.6	Conclusies kalibratie en validatie	69
5.6.1	Zout	69
5.6.2	Temperatuur	70
5.6.3	Waterstanden	70
5.6.4	Debeten	71
6	Discussie	72
6.1	Aandachtspunten voor modelinvoer en modelinstellingen	72
6.1.1	Boezemmodel	72
6.1.2	Schutdata IJmuiden	73
6.1.3	Schematisatie van de zoutlast bij IJmuiden	73
6.1.3.1	Vergelijk huidige aanpak en online Delft3D – COSUMO - WANDA-Locks systeem	73
6.1.3.2	Mogelijke meerwaarde inzet ZSF en aandachtspunten	74
6.1.4	Scheepvaartmenging op het ARK en NZK	74
6.1.5	Wrijvingscoëfficiënten	75

6.1.6	Conclusie	75
6.2	Evaluatie prestatie model met betrekking tot beoogde toepassingen	75
6.2.1	Reproducere van relatieve effecten op zoutindringing	76
6.2.2	Reproducere van (effecten op) het absolute zoutgehalte	76
6.2.3	Reproducere van (effecten op) temperatuur	77
6.2.4	Operationeel inzetten van model	77
7	Conclusies en aanbevelingen	79
7.1	Conclusies	79
7.1.1	Algemeen	79
7.1.2	Kalibratie en validatie	79
7.1.3	Prestatie model met betrekking tot beoogde modeltoepassingen	80
7.2	Aanbevelingen	81
7.2.1	Aanleg en beheer	81
7.2.2	Vergunningverlening	82
7.2.3	Operationeel inzetten van model	83
7.2.4	Kennisontwikkeling	83
8	Referenties/Literatuur	84
A	Basis instellingen voor zesde-generatie D-HYDRO modellen	85
A.1	Algemene aanpak voor keuze van parameters in zesde-generatie model	85
A.2	Afwijkingen van de basisinstellingen voor numerieke parameters	86
A.3	Afwijkingen van de basisinstellingen voor fysische parameters	86
B	Aanpassingen na Baseline projectie	88
B.1	Thin dams	88
B.2	Dry areas	89
B.3	Fixed weirs	89
B.4	Bodemhoogte	90
B.5	MATLAB script voor Baseline aanpassingen	92
C	Trachytopendefinitie	95
D	Randvoorwaarden 2018	112
D.1	Schutsluizen IJmuiden	112
D.2	Schutcomplex Schellingwoude	115
D.3	Correcties op waterbalans	115
E	Vergelijking profielmetingen 100-punten metingen	118
E.1	2015 (juli en augustus)	118
E.1.1	Chloride	118
E.1.2	Temperatuur	127
E.2	2018 (september)	135
E.2.1	Zout	135
E.2.2	Temperatuur	140

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Met het in gebruik nemen van de D-HYDRO Suite stapt RWS over van modelschematisaties in de vijfde generatie naar modelschematisaties in de zesde generatie. RWS heeft als doel gesteld om uiterlijk in 2020 een eerste versie van 6^e generatiemodellen voor alle watersystemen in D-HYDRO ter beschikking te hebben. In 2016 is hiervoor al een drietal pilotstudies gedaan o.a. voor de Waal. Op basis hiervan en een aantal klankbordsessies zijn generieke specificaties voor de opzet van de zesde generatie modellen opgesteld (Spruyt et al., 2017), zie Bijlage A.

Op initiatief van Rijkswaterstaat is Deltares in samenwerking met Arcadis in 2018 begonnen aan een 3D D-Flow FM pilotstudie voor het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (Verbruggen et al., 2019). Het doel van deze studie was het (verder) ontwikkelen van een 3D model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal, opgezet door Arcadis (van Banning et al., 2016), met behulp van de D-Hydro software. In 2020 is dit 3D model als basis gebruikt voor het maken van het zesde-generatie model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal. De modelopzet, kalibratie en validatie worden beschreven in deze rapportage.

1.2 Doel

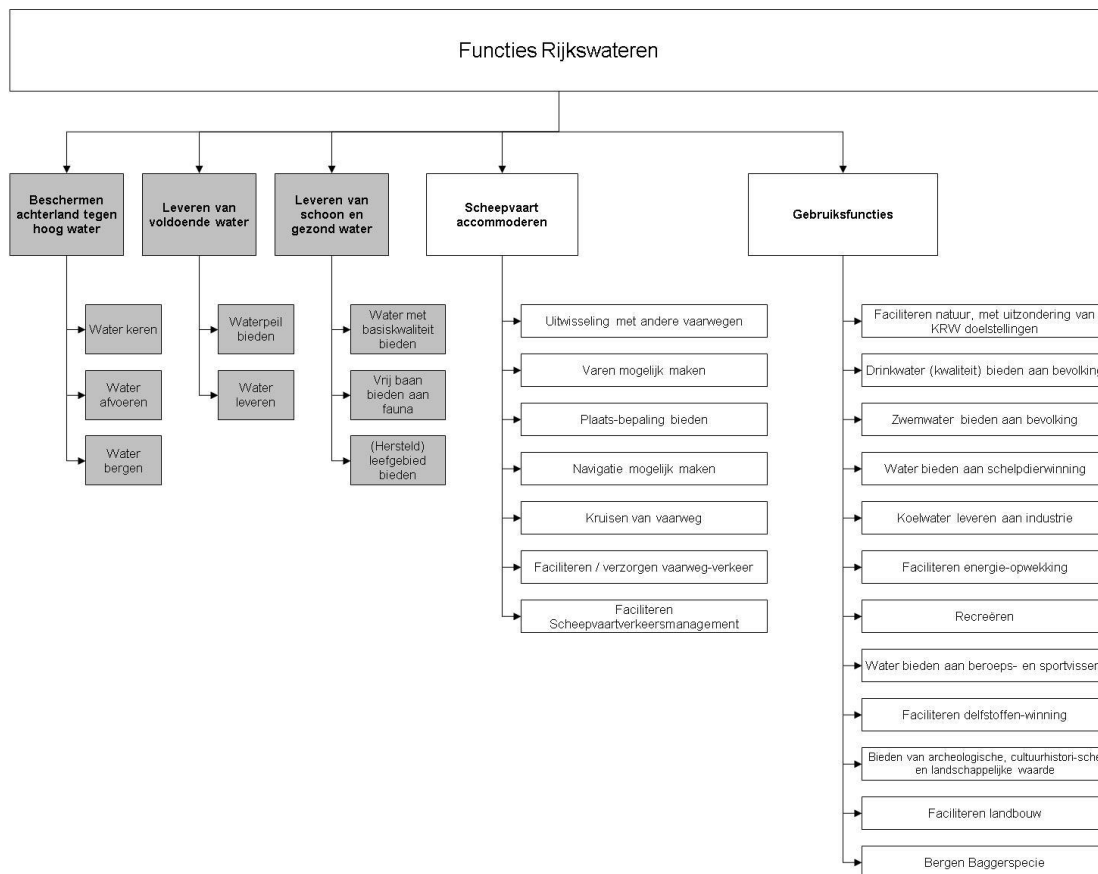
Het doel is de ontwikkeling van een 3D-model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal in de D-HYDRO Suite. Dit model wordt opgezet voor meerdere historische situaties (met betrekking tot geometrie en bathymetrie) en gekalibreerd en gevalideerd op historische metingen.

1.3 Toepassingen van het model

Het model van het NZK/ARK wordt gebruikt in verschillende toepassingen die gerelateerd zijn aan de functies van het watersysteem (zie Figuur 1-1) en het model dient 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 geïnventariseerd 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.



Figuur 1-1: Functieboom Rijkswateren (Bron: Basisspecificatie Rijkswateren versie 5.2).

Toepassing van hydraulische modellen van het NZK/ARK vindt voornamelijk plaats in de volgende processen:

- 1 Aanleg en onderhoud
 - Aanleg van de Nieuwe Zeesluis en selectieve onttrekking bij IJmuiden
 - Verwijderen Sluiseiland Zeeburg (in het recente verleden)
 - Verkenningen en planstudies
- 2 Omgevings- en assetmanagement
 - Vergunningverlening en handhaving
- 3 Verkeer- en watermanagement
 - Dagelijkse berichtgeving (Rijkswaterstaat Operationele Systemen (RWsOS), Beslis en Ondersteunend Systeem (BOS))
- 4 Kennis en netwerkqualiteit
 - Bouw, ontwikkeling, actualisatie, software
 - Beleidsadvies
 - Netwerkmonitoring
 - Onderzoek

Deze toepassingen stellen verschillende eisen aan het model. Zo zullen veel aanleg- en onderhoudsvraagstukken zich focussen op de effecten op de zoutindringing op het ARK. Voor de vergunningverlening zal een gedetailleerde temperatuursmodellering (inclusief correcte representatie van de aanwezige industriële lozingen) van groot belang zijn.

Het D-HYDRO model dat in dit rapport wordt beschreven richt zich voornamelijk op het modelleren van de zoutindringing op het NZK en ARK, zodat het gebruikt kan worden om bijvoorbeeld het effect van maatregelen op de zoutindringing in kaart te brengen. Aangezien de ontwikkeling van het zesde generatie model van het NZK/ARK focust op de huidige situatie, zijn de Nieuwe Zeesluis en daaraan gerelateerde mitigerende maatregelen (bijvoorbeeld een zoutschermbank in de monding van het Binnenspuikanaal) niet in het model opgenomen. Wel wordt verwacht dat deze nieuwe ontwikkelingen in de nabije toekomst ook in het model opgenomen zullen worden.

In de huidige opzet van het zesde generatie model zijn de vergunde industriële lozingen op een schematische manier meegenomen (er is geen near-field analyse uitgevoerd). Voor vergunningsvraagstukken met betrekking tot warmtelozingen (bijvoorbeeld voor inzet voor de Emissie-Immissietoets en voor specifieke gevallen) is het daarom aan te bevelen om eerst de huidige lozingen te actualiseren en voor deze lozingen een near-field analyse uit te voeren.

1.4 Gebruikte programmatuur en hardware:

Binnen het project is continu gewerkt met recente versies van de software. Op die manier zijn zowel autonome ontwikkelingen als specifieke features voor dit project meegenomen. De softwareversies waarvan in dit rapport gebruik wordt gemaakt, zijn:

Onder Windows:

D-HYDRO Suite 2020.04 HMWQ (bevat DIMR versie 2.11.06.66476)
RGFGRID 6.03.00.67532

Voor de Baseline-nzkark-j15 schematisatie:

- Baseline 5.3.3 onder ArcGis 10.3.1
- BAS2FM 1.4.7

Voor de Baseline-nzkark-j19 schematisatie:

- Baseline 5.3.3 onder ArcGis 10.3.1 (hier is oorspronkelijk j19_5-v1 in opgebouwd)
- Baseline 6.1.1 onder ArcGis 10.3.1 (hiernaar is de Baseline 5 versie omgezet)
- Baseline 6.2 (om schematisatie uit Baseline-NL te halen)
- BAS2FM 1.0.14 (in ArcGIS 10.3.1)

Rekenharten op Linux:

DIMR 2.11.06.66476 (correspondeert met D-HYDRO Suite 2020.04)

1.5 Organisatie en bijdragen

De modellering en rapportage is uitgevoerd door Deltares in samenwerking met Arcadis. Vanuit Deltares is het werk vooral uitgevoerd door Wilbert Verbruggen en vanuit Arcadis door Jos van der Baan. Baseline ondersteuning is gegeven door Ton Visser. Tijdens de modellering is ook regelmatig contact geweest met Herman Kernkamp en Erik de goede over software gerelateerde zaken. Door Arnout Bijlsma is de review van de rapportage uitgevoerd.

Het plan en de voortgang van de modelopzet en kalibratie is meermaals gepresenteerd aan Rijkswaterstaat. Bij deze sessies is input geleverd door Martin Scholten, Yann Friocourt (beiden RWS-WVL) en Arjen Kikkert (RWS-WNN).

1.6 Leeswijzer

Het rapport is opgezet volgens de gebruikelijke (generieke) structuur voor de zesde-generatie modellen.

Allereerst volgt een uitgebreide beschrijving van het systeem, de diverse geometrische elementen die hierin voorkomen en andere belangrijke aspecten voor modelopzet en -toepassingen (Hoofdstuk 2). Hierna volgt een beschrijving met een selectie van beschikbare data voor de opzet van het model (Hoofdstuk 3).

Vanaf Hoofdstuk 4 wordt begonnen met een beschrijving van de opbouw van het model. Allereerst wordt hier het ontwerp van het rooster beschreven en daarna de verdere opzet en configuratie van het model.

Na de modelopzet volgen de kalibratie en validatie van het model in Hoofdstuk 5.

In Hoofdstuk 6 wordt in een discussie stilgestaan bij een aantal keuzes die zijn gemaakt verder onder de loep genomen.

In Hoofdstuk 6 wordt alles samengevat met de belangrijkste conclusies en aanbevelingen. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met een advies voor modelactualisatie.

1.7 Terminologie

In dit rapport worden de volgende definities gebruikt:

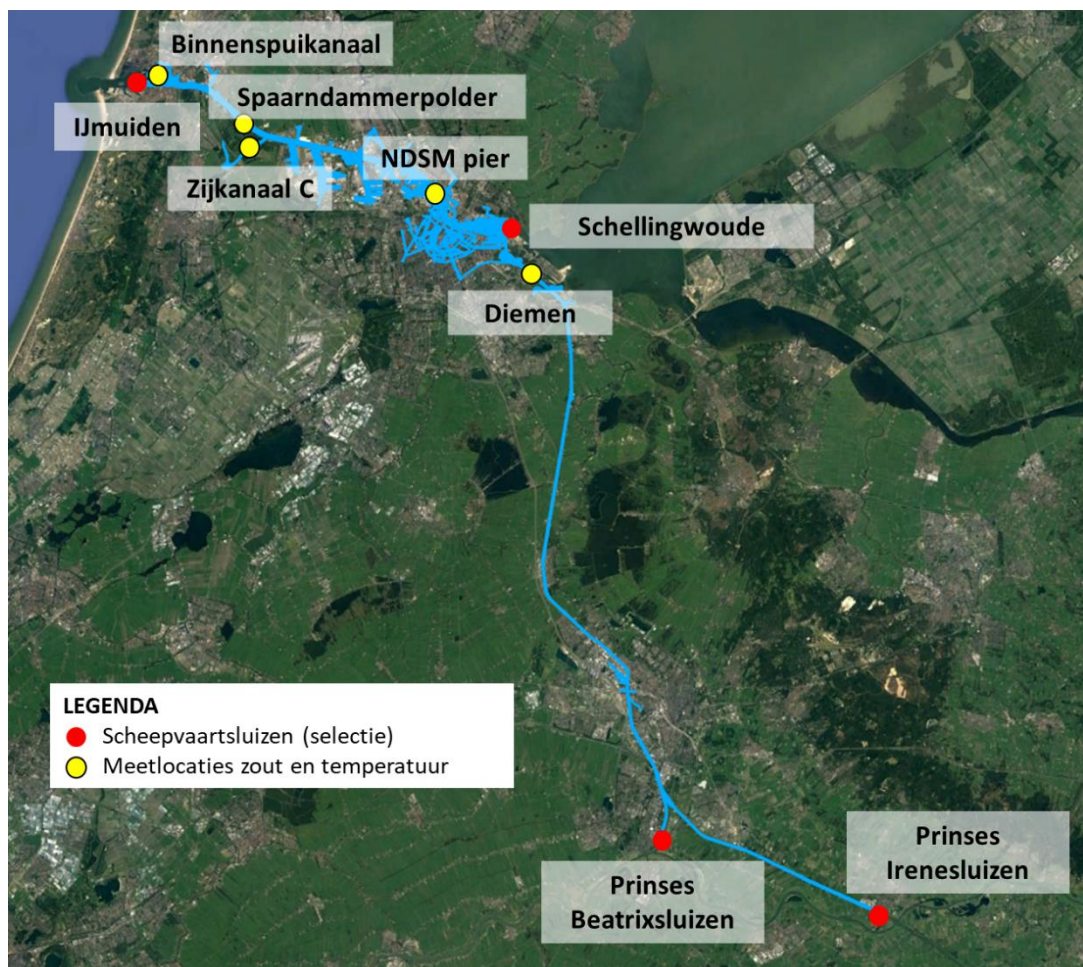
Nederlandse term	Beschrijving	Voorbeeld
<i>gebiedschematisatie</i>	Een beschrijving van een specifiek gebied of water-/grondwatersysteem, voor een specifieke periode	baseline-rijn-j15_5-v1 (software: Baseline, watersysteem: Rijn, periode: 2015)
<i>modelschematisatie</i>	= modelsoftware + gebiedschematisatie 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 hiermee specifiek een 'modelschematisatie' bedoeld.

2 Systeembeschrijving

2.1 Gebiedsbeschrijving

Het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal systeem loopt vanaf de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede tot aan het sluisencomplex bij IJmuiden. Het systeem is door middel van gemalen en sluisen verbonden met de Lek, Vecht, Markermeer, Noordzee en vele polders (bijvoorbeeld Haarlemmermeer). Daarnaast staat het systeem in open verbinding met de rivier de Amstel.



Figuur 2-1: Overzicht van het NZK-ARK systeem. Het D-HYDRO NZK-ARK model is in blauw weergegeven. Bron satellietbeeld: Google Earth

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste (netto) lozingen op het systeem:

- Rivierwater vanuit het Lek via de Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede
- Water vanuit de Haarlemmermeerpolder via Boezemgemaal Halfweg
- Water vanuit de Schermerboezem via het Zaangemaal
- Vanuit de Amstel (onder andere) bij de Berlagebrug
- Vanuit de Vecht via de Vechtsluis en bij Nigtevecht
- Water vanuit de Haarlemmermeerpolder en het Spaarne via Gemaal Spaarndam

Om de waterstand op het gewenste peil te houden wordt het overtollige water op de Noordzee geloosd via het spui-maalcomplex te IJmuiden.

Om scheepstransport mogelijk te maken zijn er op vele locaties langs dit systeem scheepvaartsluizen aangelegd. Voor de zoutindringing op het NZK-ARK zijn de scheepvaartsluizen bij IJmuiden van groot belang. Momenteel wordt een nieuwe zeesluis aangelegd bij IJmuiden, zodat in de toekomst grotere schepen de haven van Amsterdam kunnen bereiken. De aanvullende zoutindringing via deze grotere zeesluis en de manier waarop dit gecompenseerd kan worden (bijvoorbeeld door een zoutscherm in de mond van het Binnenspuikanaal dat naar het spui-maalcomplex leidt) zijn actuele thema's. Het zesde generatie model van het NZK/ARK is ontwikkeld voor de huidige situatie, de nieuwe zeesluis wordt hier dus (nog) niet in meegenomen.

De bodemhoogte varieert van ongeveer -6 m NAP op het Amsterdam-Rijnkanaal tot ongeveer -15 m NAP langs het grootste gedeelte van het Noordzeekanaal.

2.2 Geometrie

2.2.1 Sluizen

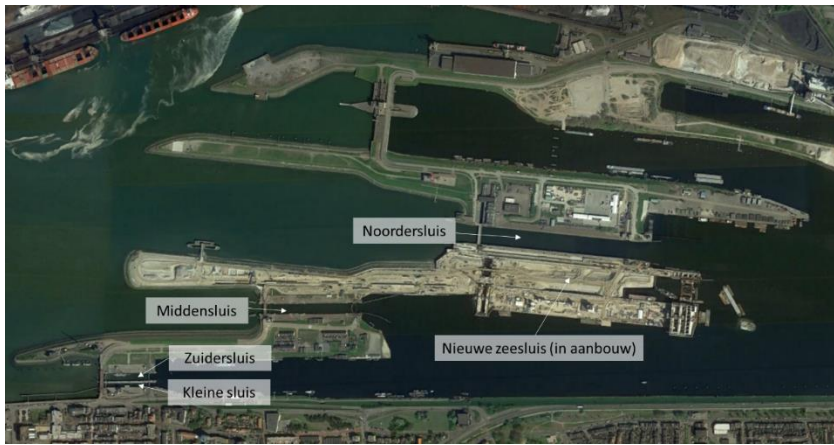
Het NZK-ARK systeem wordt op een aantal locaties afgebakend door scheepvaartsluizen. De belangrijkste scheepvaartsluizen zijn afgebeeld in Figuur 2-1.

De vier scheepvaartsluizen bij IJmuiden worden weergegeven in Figuur 2-2. De Noordersluis is momenteel de grootste scheepvaartsluis in dit complex. Er wordt momenteel een nieuwe zeesluis gebouwd die groter zal worden dan de Noordersluis.

De scheepvaartsluizen bij Schellingwoude die het Binnen-IJ (west) verbinden met het Buiten-IJ (oost) worden weergegeven in Figuur 2-3.

De sluizen die het Amsterdam-Rijnkanaal verbinden met de Lek (Prinses Beatrixsluizen en de Prinses Irenesluizen) worden weergegeven in Figuur 2-4 en Figuur 2-5.

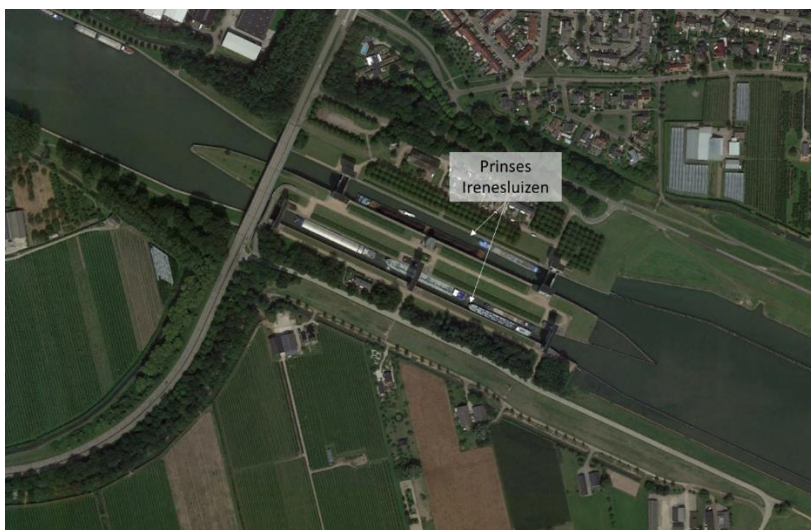
Hoewel de sluiskolken zijn opgenomen in het netwerk van het model worden de processen in de sluizen (in- en uitvaren, menging, etc.) niet expliciet gemodelleerd. Het actieve gedeelte van het D-HYDRO model begint bij de binnendeuren (vanuit het NZK-ARK systeem gezien). Aangezien de processen in de scheepvaartsluizen bij IJmuiden van groot belang zijn voor de zoutlast is er een methode opgezet om de water- en zoutuitwisseling ter plaatse van de binnendeuren te reproduceren. Dit wordt verder besproken in paragraaf 4.3.2.1.



Figuur 2-2: Overzicht van scheepvaartsluizen in IJmuiden. De Nieuwe Zeesluis is ten tijde van het schrijven van deze rapportage nog in aanbouw. Bron satellietbeeld: Google Earth.



Figuur 2-3: Overzicht van scheepvaartsluizen bij Schellingwoude. Bron satellietbeeld: Google Earth



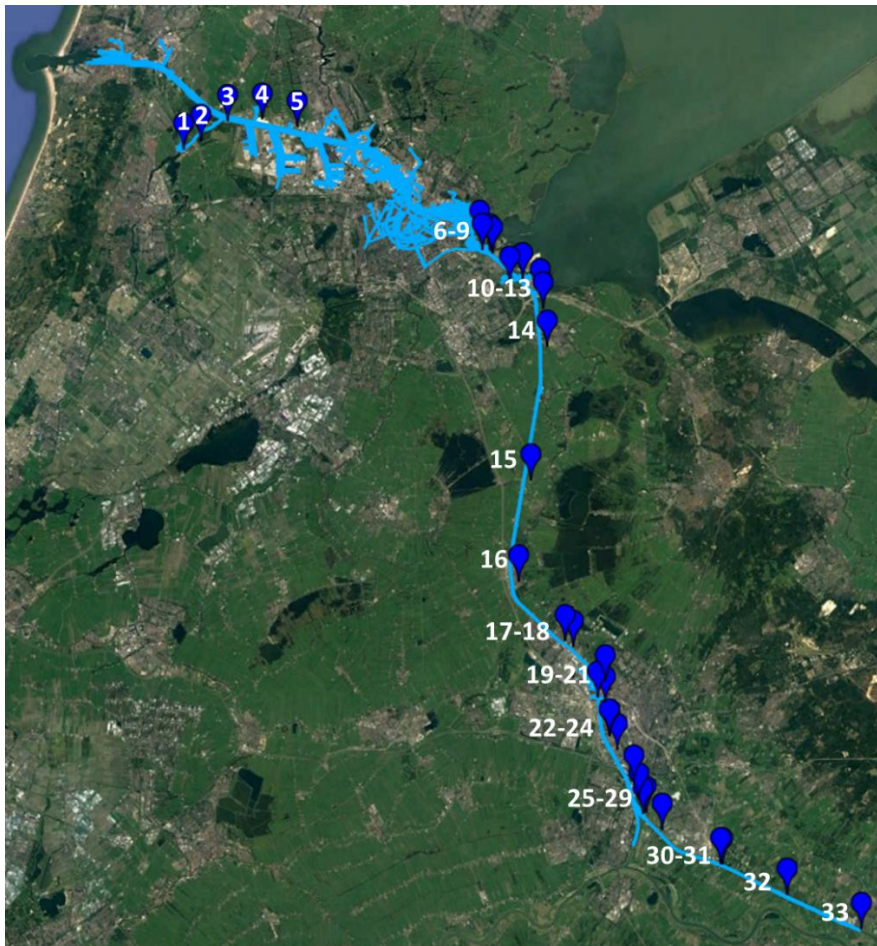
Figuur 2-4: Overzicht van Prinses Irenesluizen bij Wijk bij Duurstede. Bron satellietbeeld: Google Earth



Figuur 2-5: Overzicht van Prinses Beatrixsluizen bij Nieuwegein. Bron satellietbeeld: Google Earth

2.2.2 Bruggen

Er zijn diverse bruggen die de zijkanalen van het Noordzeekanaal of die het Amsterdam-Rijnkanaal kruisen. De bruggen beïnvloeden de stroming doordat de brugpijlers in het water kunnen staan. Naast bruggen vormen ook pijlers van kades een obstructie voor de stroming. Figuur 2-6 en Tabel 2-1 geven de bruggen en pijlers weer die in Baseline 6 zijn toegevoegd en binnen het D-HYDRO model vallen.



Figuur 2-6: Locaties van de bruggen/pijlers die in Baseline 6 zijn opgenomen en binnen het D-HYDRO model vallen.

Tabel 2-1: Overzicht van bruggen die in Baseline zijn opgenomen en in de modelschematisatie worden meegenomen.

Nummer in	Naam brug/pijler	Locatie
1	NK_IJdijk	Zijkanaal C
2	NK_Veerweg-A9-Zijkanaal-C	Zijkanaal C
3	NK_10.0_Amsterdamseweg-Zijkanaal-C	Zijkanaal C
4	NK_12.0_Westzanerweg-N516-Zijkanaal-D	Zijkanaal D
5	NK_14.1_Westzanerweg-N516-Zijkanaal-E	Zijkanaal E
6	AR_1.2_Amsterdamsebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
7	AR_2.0_Nieuwe-Diep	Amsterdam-Rijnkanaal
8	AR_2.3_Zeeburgerbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
9	AR_2.4_Nesciobrug	Amsterdam-Rijnkanaal
10	AR_Diemerpolderweg-A1	Amsterdam-Rijnkanaal
11	AR_5.1_De-Diemen	Amsterdam-Rijnkanaal
12	AR_6.7_Muiderbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
13	AR_7.5_Muiderspoorbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
14	AR_10.1_Weesperbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
15	AR_18.7_Loenerslootsebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
16	AR_25.3_Breukelerbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
17	AR_30.2_Maarssebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
18	AR_30.9_Zuilenbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
19	AR_33.9_Werkspoorbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
20	AR_pijlers-haven	Amsterdam-Rijnkanaal
21	AR_35.3_Vleutensespoorbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
22	AR_37.4_oude_pijler	Amsterdam-Rijnkanaal
23	AR_37.5_De-Meerbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
24	AR_38.5_Prins-Clausbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
25	AR_40.8_Jutfase(spoor)brug	Amsterdam-Rijnkanaal
26	AR_41.9_Nieuwegeinsebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
27	LK_42.9_Overeindsebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
28	AR_42.9_Heemsteedsebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
29	AR_44.4_Houtensebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
30	AR_48.9_Schalkwijksepoorbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
31	AR_49.0_Schalkwijksebrug	Amsterdam-Rijnkanaal
32	AR_53.6_Goyerbrug	Amsterdam-Rijnkanaal
33	AR_58.8_Romeinenbaan	Amsterdam-Rijnkanaal

2.3 Verbinding met andere gebieden

In het ontwikkelproces van de zesde-generatie modellen voor RWS staat voorop dat de verschillende modellen gecombineerd kunnen worden waardoor het belangrijk is om zowel de numerieke instellingen als de roosters op elkaar aan te laten sluiten.

Het model sluit aan op het Markermeermodel ter plaatse van de Oranjesluizen en de Prins Willem-Alexander (PWA) Sluis . Voor de 3 Oranjesluizen en de PWA sluis is in de breedte 1 cel per sluiskolk aangehouden.

Daarnaast sluit het model aan op het model van de Lek ter plaatse van de Irenesluizen. Het netwerk van het NZK-ARK model loopt tot aan de sluisdeuren die aan de Lek grenzen.

Het model sluit aan op het Noordzeemodel ter plaatse van de scheepvaartsluizen bij IJmuiden. Het netwerk van het NZK-ARK model loopt tot aan de buitensluisdeuren.

3 Beschikbare data

3.1 Geometrie in Baseline

Rijkswaterstaat beheert de geografische informatie ten behoeve van modellen in de GIS-databases van de applicatie Baseline. In deze database wordt data uit lodingen, het digitaal terrein bestand, ontwerptekeningen en vele andere databronnen gecombineerd. De database is daarna geschikt voor de conversie naar een modelschematisatie. Baseline biedt de mogelijkheid om met behulp van lokale maatregelen aanpassingen in de database te maken en zo op een reproduceerbare manier een nieuwe gebiedsbeschrijving te maken om een vergelijking mee uit te voeren. Voor de zesde-generatie hydrodynamische modellen zijn nieuwe Baseline-databases opgezet.

De Baseline schematisaties die zijn gebruikt in deze studie zijn weergegeven in Tabel 3-1. Opgemerkt wordt dat voor het jaar 2018 geen aparte Baseline schematisatie beschikbaar is. Daarom is er voor het modelleren van 2018 gebruik gemaakt van de Baseline schematisatie van 2019.

Tabel 3-1: overzicht van toegepaste Baseline-schematisaties

Baseline-schematisatie	Jaar van Baseline schematisatie	Te modelleren jaar	Doel in dit rapport
Baseline-nzkark-j15_5-v1	2015	2015	Kalibratie
Baseline-nzkark-j19_6-v1	2019	2018	Validatie

3.2 Randvoorwaarden en meetgegevens ten behoeve van kalibratie/validatie

3.2.1 Aangeleverde meetgegevens

Voor de kalibratie en validatie van het model is ervoor gekozen om gebruik te maken van periodes waarin veel metingen beschikbaar zijn. In de huidige studie is het model vergeleken met metingen in het jaar 2015 en 2018. Het jaar 2015 werd gekozen, omdat het een recent jaar is waar 2 zogenaamde 100-puntenmetingen zijn verricht. Gedurende een 100-puntenmeting worden in de loop van enkele dagen op ongeveer 100 locaties in het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal zout- en temperatuurprofielen gemeten. Een dergelijke meting geeft een goed ruimtelijk beeld van de horizontale en verticale verdeling van het zout en de watertemperatuur. Het jaar 2018 werd gekozen, omdat ook voor dit jaar veel metingen beschikbaar zijn en omdat het vanwege de lage afvoer een interessant jaar was met betrekking tot zoutindringing. Een overzicht van de aangeleverde meetgegevens wordt hieronder gegeven:

Tabel 3-2: Overzicht van gebruikte metingen in 2015 en 2018

Categorie	Locatie	Periode
Stations metingen zout en temperatuur	Binnenspuikanaal, -1,4 m NAP, -6,4 m NAP en -10,4 m NAP	2015 en 2018 (t/m eind april)
	Zijkanaal C -1,4 en -4,4 m NAP	2018
	Ter hoogte van Spaarndammerpolder op -1,4 m NAP en -6,4 m NAP	2015 en 2018
	Ter hoogte van de NDSM pier op -1,4 m NAP en -6,4 m NAP	2015 en 2018
	Ter hoogte van Diemen op -1,4 m NAP en -6,5 m NAP	2015 (alleen op -1.4 m NAP) en 2018
100-punten metingen voor zout en temperatuur	-	27-31 Juli 2015
		10-13 Augustus 2015
		3-6 September 2018
Debietmetingen	Maarsen	2015 en 2018
	Weesp	2015 en 2018
Waterstanden	IJmuiden Buiten en IJmuiden Binnen, Buitenhuizen, Surinamekade, Weesp, Maarssen, Nieuwegein	2015 en 2018

3.2.2 Lateralen vanuit Boezemmodel

De debietrandvoorwaarden van het model zijn gebaseerd op een reconstructie van de werkelijk opgetreden afvoeren. Daarvoor is gebruik gemaakt van de afvoergegevens in het Boezemmodel, een SOBEK model in beheer van Waternet. Het Boezemmodel omvat het ARK en het NZK, maar ook de Vecht en Amstel. Het Boezemmodel wordt op ongeveer 800 locaties (lateralen) aangestuurd met afvoertijdseries. Omdat het D-HYDRO model van het NZK-ARK een andere gebiedsdekking heeft dan het Boezemmodel, zijn er op de locaties waar het Boezemmodel verder reikt dan het D-HYDRO model koppelpunten gedefinieerd. De debietgegevens op de lateralen en koppelpunten zijn door Waternet voor zowel 2015 als 2018 aangeleverd. Deze data en de bewerking hiervan wordt beschreven in paragraaf 4.3.

3.2.3 Afvoeren bij spui-maalcomplex IJmuiden en Schellingwoude

Voor de afvoeren bij het spui-maalcomplex in IJmuiden is in plaats van de debietgegevens van het Boezemmodel (zie paragraaf 3.2.2) gebruik gemaakt van de dagrapporten die direct door RWS zijn toegeleverd en meer details bevatten qua timing en volumes. Aangezien in de dagrapporten alleen de volumes per spui- of maalinterval worden opgenomen, is de data bewerkt om realistische debietsvariaties aan het model op te leggen. Daarnaast zijn de spui-maaldebieten gecorrigeerd om de waterbalans van het gehele systeem sluitend te maken. Deze bewerkingen zijn beschreven in paragraaf 4.3.2.1.

Gedurende het project kwam aan het licht dat de afvoeren bij Schellingwoude niet accuraat zijn opgenomen in het Boezemmodel. Daarom is ook voor deze afvoeren (inlaatdebieten door de inlaatsluis en vispassage) gebruik gemaakt van de door RWS aangeleverde dagrapporten¹.

¹ Bij de verwerking van de gerapporteerde debieten is ervan uitgegaan dat de richting altijd van het Buiten-IJ naar het Binnen-IJ was. Aanbevolen wordt om na te gaan of in werkelijkheid incidenteel water de andere kant op heeft gestroomd. De verwachting is dat dit nauwelijks het geval was, waardoor het waarschijnlijk alleen een beperkt effect zal hebben op de debietrandvoorwaarden/waterbalans.

3.2.4 Randvoorwaarden schutsluizen IJmuiden

Voor zowel 2015 als 2018 heeft RWS schutdata aangeleverd voor de scheepvaartsluizen bij IJmuiden. Op basis van deze gegevens zijn de water- en zoutfluxen bij de binnendeuren gereconstrueerd (zie paragraaf 4.3.2.1). De schutdata is voor 2015 beschikbaar in twee verschillende formats. Voor de maanden januari tot en met augustus 2015 zijn Lock Utilization Reports (LUR) beschikbaar. Voor de maanden september tot en met november in 2015 en voor heel 2018 zijn de Schuttrondes- en Scheepsbewegingsregistraties beschikbaar in CSV format. Beide bestandsformaten bevatten de volledige registratie van alle schuttrondes en scheepsbewegingen door de vier sluiskolken bij IJmuiden.

De volgende parameters zijn gebruikt voor de modelschematisatie:

- De gebruikte sluiskolk en schutrichting;
- De begin en eindtijd van de schutronde en de in- en uitvaartijd (N.B. beide tijdsregistraties zijn niet gelijk aan de deur-open-tijden (DOT));
- In het geval van één of meer scheepsbeweging bij de schutcyclus de scheepsinformatie:
 - Actuele diepgang;
 - Breedte;
 - Lengte.

3.2.5 Meteorologische data

Voor de modellering is gebruik gemaakt van de volgende gemeten parameters bij Schiphol:

- Windsnelheid en windrichting op 10 m hoogte
- Luchttemperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid
- Bewolgingsgraad

Deze gegevens zijn beschikbaar op een interval van 10 minuten.

4 Modelopzet

Aan de hand van de geometrische gegevens is eerst een rooster gebouwd (sectie 4.1). Vervolgens zijn ruimtelijke eigenschappen met Baseline op dit rooster geprojecteerd voor verschillende Baseline-schematisaties en is een aantal geautomatiseerde aanpassingen verricht (sectie 4.2). Sectie 4.3 beschrijft de totstandkoming van de debietrandvoorwaarden. De overige randvoorwaarden (meteorologie en initiële condities) worden beschreven in paragraaf 4.4. Ten slotte volgt de opzet en de schematisatie van de kunstwerken (zie sectie 4.5), de definitie van de ruwheden (zie sectie 4.6) en de fysisch-numerieke instellingen (zie sectie 4.7).

4.1 Roosterontwerp

4.1.1 Methodiek roosteropbouw

Inleiding

Voor het rooster is het in 2015 opgezette D-Flow FM model van Arcadis als beginpunt gebruikt (van Banning et al., 2016). Het domein van dit rooster besloeg het NZK/ARK systeem van IJmuiden tot de Irenesluizen, representatief voor de situatie eind 2014, d.w.z. na de verwijdering van sluiseland Zeeburg in het ARK.

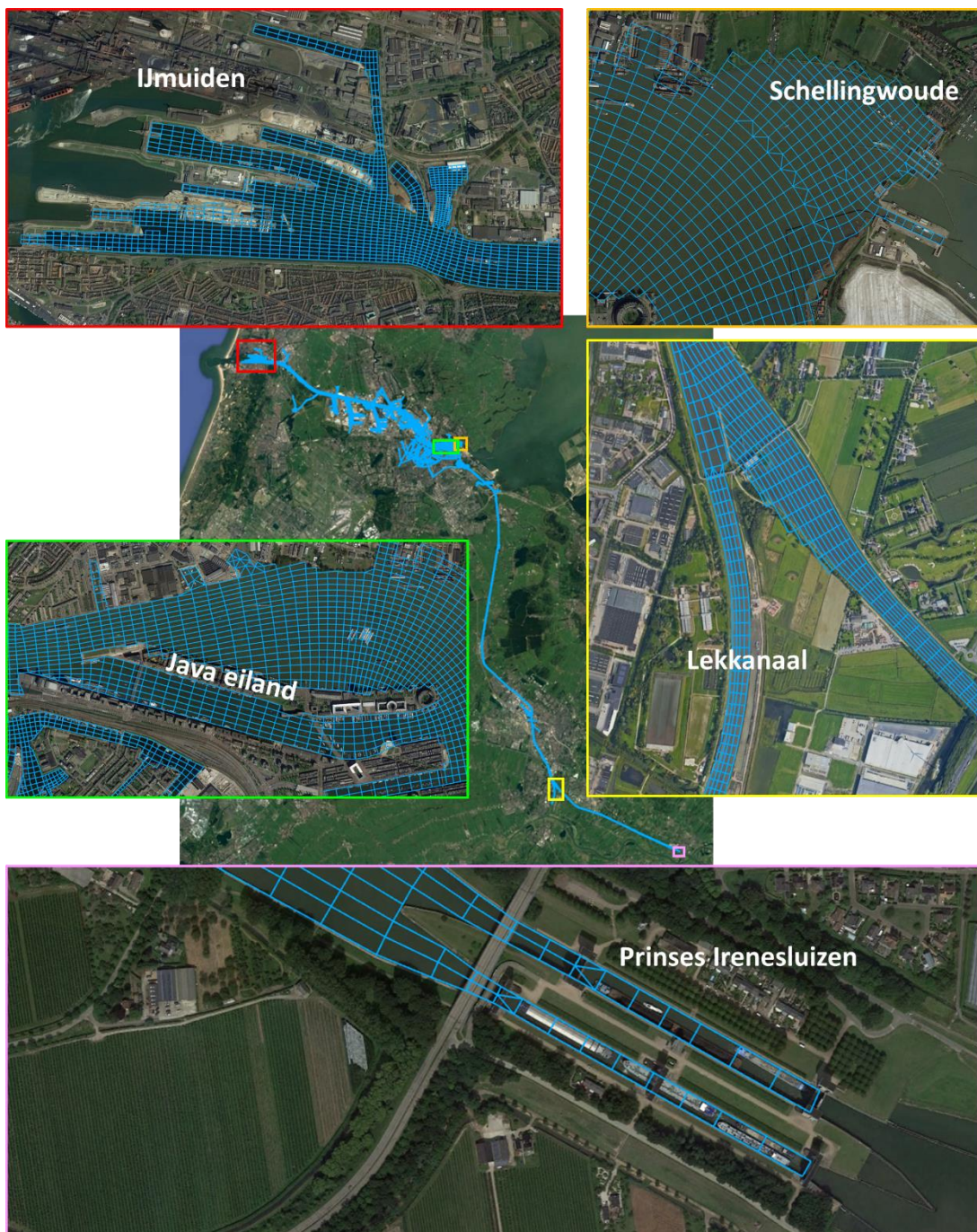
Bij de oorspronkelijke opzet en de recente verbetering is het uitgangspunt geweest om het model zoveel mogelijk uit te lijnen met de stroming en de geometrie. De aanpassingen die zijn uitgevoerd in het kader van het pilotproject (Verbruggen et al., 2019) en de huidige studie zijn hieronder kort beschreven.

Het uiteindelijke netwerk van het zesde generatie NZK/ARK model is te zien in Figuur 4-1.

Domein

Het modeldomein is minimaal aangepast. Zo is besloten de Amsterdamse grachten binnen het domein te houden en de Vecht (nog) niet op te nemen. Zeer lokaal zijn updates doorgevoerd, riviertakken toegevoegd en revisies uitgevoerd. Te weten: de verbeterde aansluiting van het rooster op de binnendeuren van de sluiskolken in IJmuiden, de Afrikahaven, Disteldorp, de aansluiting onder Provinciale weg N203, de energiehaven bij Utrecht en de aftakking naar het Lekkanaal. Ook zijn verscheidene onderdelen van het rekenrooster 'boundary-fitted' gemaakt. Een belangrijk voorbeeld hiervan is het gebied ten zuiden van Java-eiland. Het rooster is op (toekomstige) gedeelde randen met andere 6^e generatie modellen herzien zodat koppeling hier mogelijk is. De aansluiting van het Binnen-IJ op het Buiten-IJ, inclusief het sluizencomplex bij Schellingwoude is volledig herzien zodat het rooster nu de geometrie volgt. Enkele aanpassingen zijn ook gevisualiseerd in Figuur 4-1.

In overleg met RWS is besloten om vooralsnog het netwerk niet uit te breiden tot voorbij de oevers van het NZK en ARK. Op dit moment wordt er voor het NZK en ARK geen modeltoepassingen voorzien waarbij overstrooming over de dijken gemodelleerd moet worden.



Figuur 4-1 Overzicht van het D-Flow FM netwerk, ingezoomd op een aantal locaties.

Baseline-NL

Het is belangrijk om de discretisatie van de bodemhoogte op het rooster mee te nemen in de opzet van het rooster. De bodemhoogte wordt (door Baseline) bepaald door op de hoekpunten van het rooster de bodemhoogte te prikken in het hoogtebestand (terrain). Het waterbewegingsmodel bepaalt zelf de bodemhoogte op de snelheidspunten door het gemiddelde te nemen van de hoekpunten; en bepaalt de bodemhoogte op de waterstandspunten met het minimum van alle snelheidspunten. Dit is met name belangrijk op locaties met een grote verandering in de bodem, bijvoorbeeld bij kades. Een kleine verplaatsing van de roosterlijn bij de kade kan grote gevolgen hebben op de discretisatie. Aangezien bij de oorspronkelijke opzet van het rooster voor het NZK/ARK model gekozen is voor een uitlijning tegen de kademuren, is specifiek gekeken naar de interpolatie van de

bodemhoogte tegen de kademuren. Met name in (Smalle) zijkanalen en langs het ARK was er sprake van reductie van de bodemhoogte in de randcellen van het rooster vanwege het meenemen van de kademuren in de bodeminterpolatie. Om dit te voorkomen is besloten het rooster hier uit te lijnen net binnen de kademuren om zo hoogtepunten op de kade uit te sluiten bij de interpolatie en een foutieve reductie van het lokale doorstroomoppervlak te voorkomen.

4.1.2 Roostereigenschappen

Aanpak

Het originele rekenrooster was hoofdzakelijk opgebouwd uit vierhoekige roosterzellen (curvi lineair), uitgelijnd op de stroombanen. Bij de aanpassingen is gekozen voor zoveel mogelijk behoud of zelfs verbetering van deze aanpak. De keuze voor vierhoeken heeft de volgende voordelen (De Jong, 2017):

- Minder numerieke diffusie door uitlijning van het rooster met de stroomrichting.
- Een grotere rekentijdstep mogelijk door het grotere volume van vierhoeken in verhouding tot driehoeken.
- Minder roosterzellen nodig door de betere gridconvergentie van vierhoeken.

Afmetingen

Op het NZK varieert de afmetingen van de rekencellen van 30x20 m tot 80x25 m (grootste lengte in stroomrichting). Op het ARK varieert de afmeting van de rekencellen van 15x15 tot 50x20 m. Ook zijn er over de breedte van het ARK overal tenminste 6 cellen aanwezig. De meeste zijgeulen binnen het NZK/ARK systeem sluiten aan op de lokale celgrootte, om daarna langzaam te verlengen in de lenterichting. In het geval van enkele smalle zijgeulen is er gekozen om lokaal te verdichten over de breedte van het zijkanaal.

De Amsterdamse grachten vormen een uitzondering. Hier is vaak gewerkt met een enkele cel over de breedte (circa 10 tot 30 m) en is de cel lengte vaak 1 à 2 keer de lokale breedte. Het totale rekenrooster bevat 23850 rekencellen en 53017 flowlinks.

Orthogonaliteit en smoothness

Traditioneel wordt een rekenkundig rooster getoetst aan (met name) de volgende eigenschappen:

- De orthogonaliteit: dit is de hoek tussen een netlink en een flowlink.
- De gladheid (smoothness): dit is de verhouding van de lengtes van twee aansluitende roosterzellen.

Beide eigenschappen zorgen voor een hoge nauwkeurigheid in het oplossen van de numerieke vergelijkingen. Het rekenrooster is ook herzien om de orthogonaliteit en smoothness te verbeteren. Zo is de orthogonaliteit nu $<0,02$ (eis voor 6^e generatiemodellen) voor vrijwel het volledige NZK/ARK systeem. Voor de Amsterdamse grachten is een richtlijn van $<0,05$ aangehouden voor de orthogonaliteit. Een lagere orthogonaliteit in de Amsterdamse grachten is niet eenvoudig te bereiken met de huidige resolutie. In de toekomst zou overwogen kunnen worden om het 3D rooster in de Amsterdamse grachten te vervangen voor een 2DV netwerk. Met een 2DV netwerk kan het dwarsprofiel van de verschillende grachten ook beter gedefinieerd worden. In een 3D netwerk met 1 cel in de breedte wordt iedere geul namelijk als een vierkante bak beschouwd.

Hoewel er voor 6^e generatiemodellen nog geen eis is geformuleerd voor de smoothness, is voor de hoofdgeulen van het ARK en NZK een smoothness van $<1,2$ gehanteerd. Hierbuiten en met name in de Amsterdamse grachten is deze richtlijn losgelaten met het oog op de rekentijd en de vormgeving van het rekenrooster.

Verticale discretisatie

Het NZK/ARK model is een driedimensionaal model zodat ook het rekenrooster in de verticaal moet worden gedefinieerd. Hiervoor is een uniforme Z-lagen schematisatie toegepast, omdat deze meer geschikt is voor een vrij zwak dynamisch systeem als het NZK/ARK dan optie van sigma-lagen. De verticaal wordt dan met een vaste afstand gediscetiseerd en deze afstand blijft gelijk in het horizontale vlak. Dit houdt in dat diepere delen van het model meer lagen bevatten dan ondiepere delen. De huidige laagdikte van het NZK/ARK model is circa 1 m, wat neerkomt op maximaal 25 verticale lagen (in de Velserkom).

4.2 Projectie vanuit Baseline

Voor de opzet van het model wordt grotendeels gebruik gemaakt van de geometrische gebiedsbeschrijving zoals opgenomen in Baseline. De in deze studie gebruikte bestanden zijn weergegeven in Tabel 4-1. Zoals besproken in paragraaf 3.1 worden de jaren 2015 en 2018 gemodelleerd. Voor 2015 is de Baseline 5 projectie gebruikt, omdat dit jaar nog niet in Baseline 6 beschikbaar is. Voor de modellering van het jaar 2018 is gebruik gemaakt van de meest recente Baseline 6 projectie (2019), aangezien het jaar 2018 niet apart is opgenomen in Baseline. De tabel laat zien dat in j15_5-v1 veel detail ontbreekt in de dry areas en thin dams en dat de schematisatie van bruggen geheel ontbreekt. Aangezien er op het gebied van bruggen, kades en landaanwinningen weinig verschillen zijn te verwachten tussen 2015 en 2019, is in de 2015 simulaties gebruik gemaakt van de j19_6-v1 bestanden voor dry areas, thin dams en pillars. Zoals besproken in paragraaf 4.1, is het netwerk zo opgezet dat het de oevers in de hoofd- en zijgeulen zoveel mogelijk volgt. Daarom is ervoor gekozen om de enclosure bestanden (_enc.pol), die door Baseline worden gegenereerd, niet te gebruiken. Indien de enclosure gebruikt zou worden zouden enkele cellen in zijgeulen inactief worden, omdat ze net binnen de enclosure vallen. Dit zou vervolgens problemen geven voor de doorstroming in dergelijke zijgeulen. Ook zouden de grachten van Amsterdam inactief worden, omdat deze niet in Baseline zijn opgenomen.

Tabel 4-1 Overzicht van gebruikte modelbestanden uit Baseline 5 (2015) en 6 (2019)

Naamgeving FM	Extensie	Beschrijving	Beschikbaar in j19_6-v1	Beschikbaar in j15_5-v1
Netwerk	*_net.nc	De bodemhoogte wordt toegevoegd aan het rooster op de hoekpunten	Ja	Ja
fixed_weirs	*.pliz	Subgrid afhandeling voor lokale bodemveranderingen, door een drempelwaarde op de snelheidspunten	Ja	Ja
Trachytopes	*.arl	Voor iedere snelheidslink is aangegeven uit welke trachytopen de ruwheid bestaat en in welke verhouding	Ja	Ja
Dry_areas	*_dry.pol	Definieert dat een roostercel niet actief is	Ja	Ja (echter weinig detail)
Thin_dams	*_thd.pli	Definieert dat een snelheidspunt niet actief is	Ja	Ja (echter weinig detail)
Pillars	*_bridge.pliz	Subgrid afhandeling van obstructies in het water (bruggen, pijlers, etc.)	Ja	Nee

Om in de toekomst andere jaren te kunnen modelleren met dit D-HYDRO model is er de wens om de Baseline bestanden zoveel mogelijk zonder aanpassingen te kunnen gebruiken. In deze studie is echter toch gebleken dat aanpassingen nodig zijn, omdat anders essentiële delen van het model inactief blijven, of dat zijgeulen deels geblokkeerd worden door thin dams. Zo bleek dat ten onrechte de pijlers van een aantal bruggen als 'flow_blocking_polygons' zijn opgenomen in Baseline. Het gevolg is dat ter plaatse van deze pijlers thin dams en soms dry areas worden gedefinieerd. De afspraak is echter om bruggen op te nemen door middel van de hierboven beschreven *_bridge.pliz bestanden. Daarnaast bleek dat er in Baseline weinig *land_use_polygons* zijn gedefinieerd in het NZK/ARK. Op basis van deze polygoon worden de ruweheidsvelden gegenereerd (.arl bestanden). Met betrekking tot bovenstaande punten is het van belang de Baseline schematisatie van het NZK/ARK in de toekomst verder wordt verbeterd.

Om toekomstige projecties te faciliteren zijn de aanpassingen aan de thin dams, dry areas en fixed weirs geautomatiseerd door middel van een MATLAB script. De benodigde aanpassingen aan de bodemhoogte zijn niet geautomatiseerd, maar zijn wel stap voor stap beschreven. De uitgevoerde aanpassingen zijn in detail beschreven in Appendix B.

4.3 Debietrandvoorwaarden

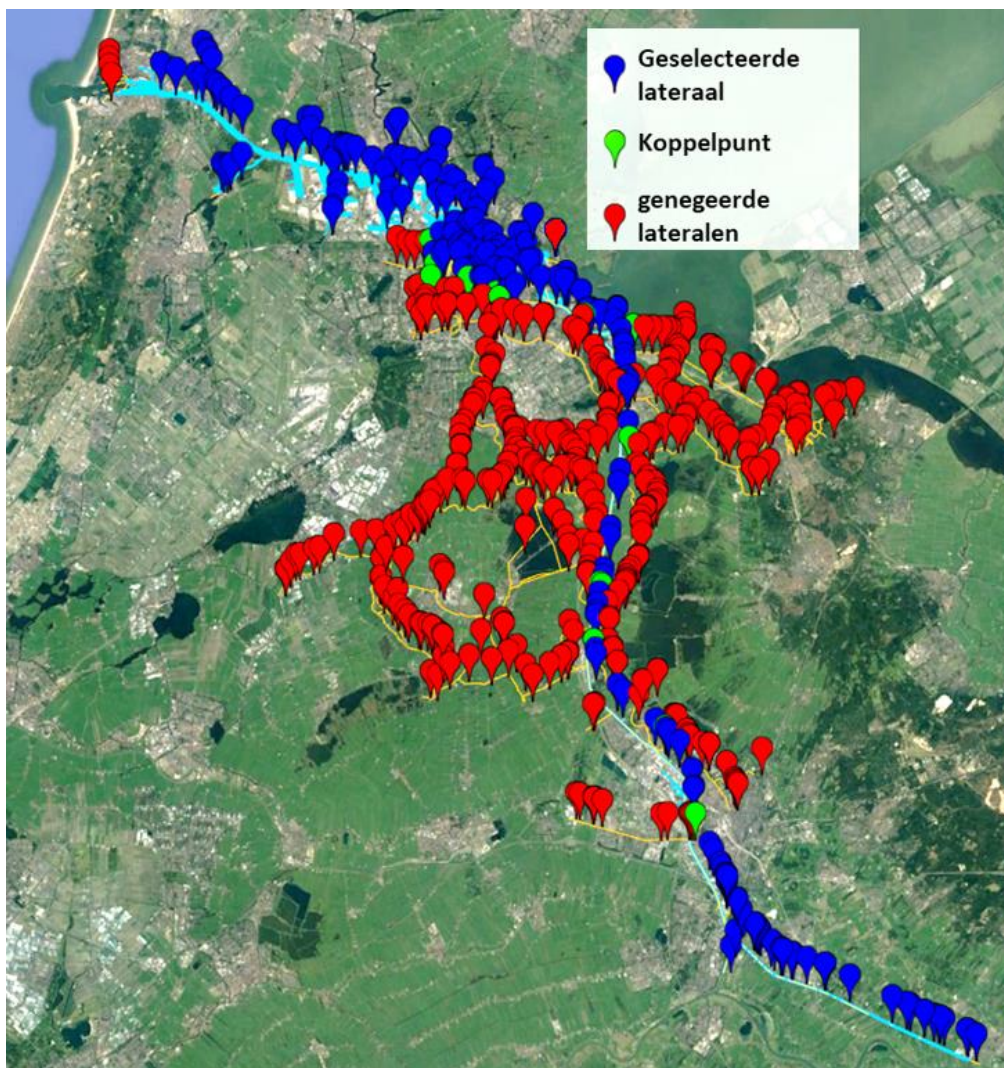
Het NZK/ARK model bevat geen traditionele open randen. Alle water- en zoutuitwisseling is opgelegd als puntbron (source-sink) op een bepaalde locatie (x, y en z component)². Een groot deel van deze debietrandvoorwaarden zijn gebaseerd op het Boezemmodel van Waternet, zie paragraaf 4.3.1. Daarnaast zijn er voor de schutsluizen bij IJmuiden, het spui-maalcomplex bij IJmuiden, de lateralen bij Schellingwoude en de industriële lozingen overige databronnen gebruikt, zie paragraaf 4.3.2. In paragraaf 4.3.3 wordt beschreven hoe al deze debietrandvoorwaarden zijn samengevoegd en hoe de waterbalans sluitend is gemaakt.

In deze paragrafen worden de randvoorwaarden en bewerkingen beschreven voor het jaar 2015. De toegepaste methodiek voor het jaar 2018 is hetzelfde. Voor een aantal onderdelen wordt in Bijlage D verder ingegaan op de randvoorwaarden van de 2018 simulatie.

4.3.1 Lateralen uit het boezemmodel

De rode en blauwe locaties in Figuur 4-2 representeren de afvoer- en onttrekkingslocaties (lateralen) in het Boezemmodel. De blauwe lateralen vallen binnen het D-Flow FM modelgebied en zijn expliciet opgelegd aan het D-Flow FM model. De rode locaties vallen buiten het D-Flow FM model of zijn vervangen door andere data (IJmuiden, Schellingwoude) en zijn dus niet expliciet in het model meegenomen. De lateralen die buiten het modelgebied vallen zijn impliciet meegenomen door het definiëren van koppelpunten (groene locaties). De koppelpunten zijn observatielocaties in het Boezemmodel op de rand van het D-Flow FM model. De berekende afvoertijdseries op deze koppelpunten zijn meegenomen in het D-Flow FM model. In totaal zijn er 202 lateralen en 16 koppelpunten in het D-Flow FM model opgelegd. Een overzicht van de grootste lozingen en onttrekkingen wordt gegeven in paragraaf 4.3.3.2.

² De source en sink locaties die in Baseline zijn opgenomen zijn niet gebruikt, aangezien deze niet volledig overeenkomen met de locaties van de debietrandvoorwaarden in het Boezemmodel. Aanbevolen wordt om deze gegevens in Baseline te herzien.



Figuur 4-2 Overzicht van de lateralen van het Boezemmodel (rood + blauw), waarvan alleen de blauwe locaties direct zijn gebruikt in de huidige modellering. De meeste rode locaties zijn impliciet meegenomen op de groene koppellocaties.

Zowel de koppelpunten als de lateralen zijn aangeleverd met een tijdsresolutie van 1 uur. Voor de grootste lozingen en onttrekkingen (de grootste gemalen, Vecht, Amstel, etc.) zijn de uurlijkse variaties in de tijdseries terug te zien. De kleinere lozingen en onttrekkingen zijn gebaseerd op maandelijks of in sommige gevallen jaargemiddelde waarden.

4.3.2 Overige lateralen

4.3.2.1 Schutsluizen IJmuiden

Het schutten van schepen bij het sluisencomplex bij IJmuiden is de voornaamste bron van zout in het NZK/ARK systeem. Het is daarom van groot belang dat de zoutlast op het systeem ten gevolge van het schutproces door de verschillende sluisgolven correct opgenomen wordt in het model. Het huidige NZK/ARK model maakt (nog) geen gebruik speciale modules als WANDA-Locks (Verbruggen, 2019) of de Zeesluisformulering (Vreeken, 2019) of van bewegende onderdelen die de sluisdeuren representeren, in combinatie met het online koppelen van het binnen- en buitenwater. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van lozingen en onttrekkingen die de gemiddelde uitwisseling ter plaatse van de binnendeuren zo goed mogelijk weergeeft.

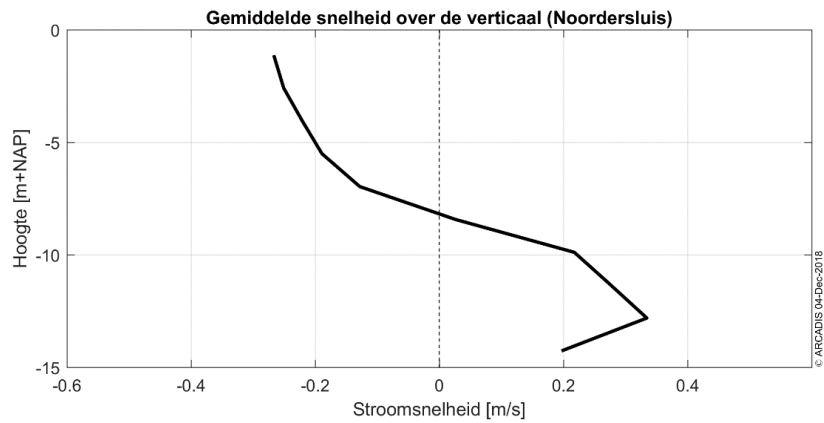
Bij de schematisatie van de schutcyclus is een aantal processen van belang. Zo vindt tussen de sluiskolk en de voorhavens een 'lock exchange' plaats gedurende de tijd dat de deur openstaat (de deur-open-tijd, DOT). Aan de kanaalzijde houdt dit in dat door een verschil in dichtheid van het zoutere en zoetere water er relatief zwaar zout water langs de bodem de Velserkom in stroomt, terwijl er tegelijkertijd eenzelfde hoeveelheid zoet water aan het oppervlak de sluiskolk instroomt. Ook is het van belang rekening te houden met het verschil in waterstand voor en achter de sluiskolk. Dit resulteert in de zogenaamde nivelleringsdebiëten. Tot slot is er sprake van waterverplaatsing ten gevolge van scheepsbewegingen. Om tot een zo realistisch mogelijke zoutlast te komen ten gevolge van de uitwisseling van zout en zoet water, is gebruik gemaakt van een detailmodel, om vervolgens op basis van die resultaten de schematisatie voor het NZK/ARK model op te zetten. Deze aanpak is in lijn met de aanpak van Arcadis voor het opzetten van het oorspronkelijke model. Op basis van de Zeesluisformulering (zie bijv. Vreeken, 2019) en ervaringen met WANDA-Locks opgedaan in studies voor Selectieve Onttrekking IJmuiden (zie bijv. Bijlsma en Weiler, 2016) zijn verbeteringen van de schutsluisrandvoorwaarden (zie hoofdstuk 6) mogelijk, maar het was niet haalbaar om deze verbeteringen al in deze versie van het model door te voeren.

Om meer detailinzicht te krijgen in de ruimtelijke en tijdsafhankelijke eigenschappen van de zoutlast tijdens het schutten van de sluis, is een schematisch model opgezet van de Noordersluis en het aansluitende binnenwater, de Binnenhaven. Op het tijdstip nul, bij de modelinitialisatie ($t = 0$), wordt de scheiding tussen het relatief zoute water in de kolk en het zoetere water aan de binnenzijde weggenomen. Op dit tijdstip is de saliniteit gradiënt in de sluiskolk in het detailmodel gelijk aan de jaargemiddelde saliniteit gradiënt in de Buitenhaven. Aan de binnenzijde is de saliniteit gradiënt representatief voor de binnenzijde.³

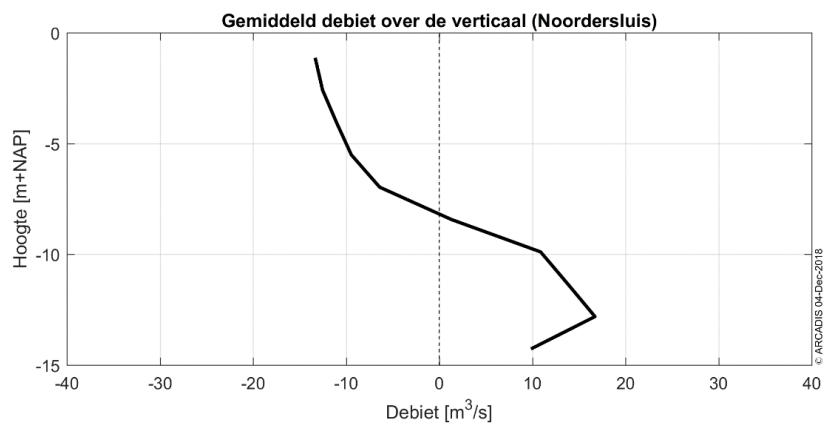
Na het starten van de simulatie zorgt het dichtheidsverschil in het model voor het op gang komen van de uitwisseling tussen de sluiskolk en de Binnenhaven. Onderin de waterkolom stroomt zout water richting de Binnenhaven. Ten gevolge van de massabalans is de stroomrichting bovenin de waterkolom in de richting van de sluiskolk. Figuur 4-3 en Figuur 4-4 tonen de gemiddelde snelheidsverticaal en het tijdsgemiddelde debiet over één schutcyclus (hier 45 minuten) voor de Noordersluis. De gemiddelde maximale snelheid voor zowel naar binnen als naar buiten bedraagt circa 0,4 m/s. Richting de Binnenhaven bevindt dit zich op ongeveer 85 % van de diepte, richting de sluiskolk wordt de maximale stroomsnelheid gevonden aan het oppervlak. Het gemiddelde debiet ten gevolge van de uitwisseling bedraagt circa 70 m³/s, zowel naar binnen als naar buiten. Door het verschil in saliniteit in de verticaal is er sprake van een netto advectief zouttransport richting de Binnenhaven. Het cumulatieve advectief zouttransport is gepresenteerd in Figuur 4-5. Hieruit is voor de Noordersluis het volgende af te leiden:

- Het zouttransport verloopt voor een groot deel van de schutcyclus vrij constant in de tijd (gradiënt is constant);
- Een totale uitwisseling vindt plaats in 40 minuten, waarvan ruim 90 % in de eerste 30 minuten;
- De totale zoutlast per schutting bedraagt circa 3.000 ton zout, op basis van 13,9 schuttingen per dag leidt dit tot een zoutlast van circa 485 kg/s. N.B.: dit is exclusief de nivelleringsdebiëten.

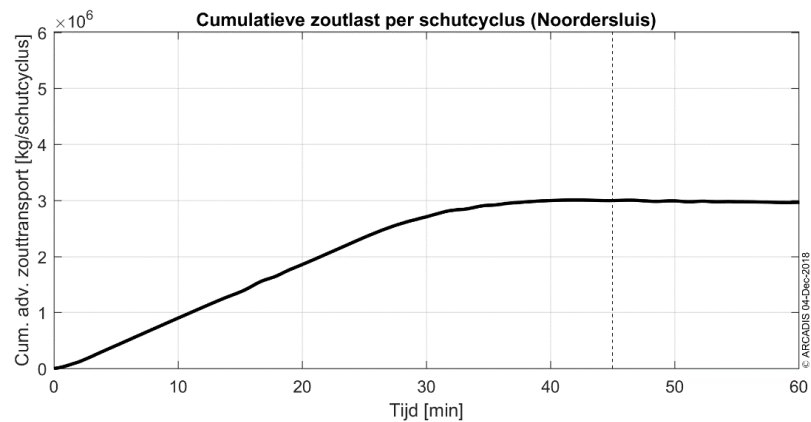
³ Het zou de voorkeur hebben om voor een reeks aan verschillende zoutverschillen over de sluiskolk het uitwisselingsproces te schematiseren. Echter, het ontbreken van een doorlopende zoutmeting in de Buitenhaven maakt de toepassing hiervan onmogelijk. In de huidige versie van de schematisatie is daarom gebruik gemaakt van de uitwisseling bij gemiddelde omstandigheden. Overigens moet opgemerkt worden dat de Binnen- en Buitenhaven een gekoppeld systeem vormen (door schutten en spuien/malen).



Figuur 4-3 Tijds gemiddelde snelheidsverticaal.



Figuur 4-4 Tijds gemiddelde debiet.



Figuur 4-5 Cumulatief advectief zouttransport.

Eenzelfde schematisch model is opgezet en toegepast voor de Middensluis, Zuidersluis en Kleine Sluis. Hierbij is rekening gehouden met de verschillende dimensies van de kolken. Deze hebben met name betrekking op het uitwisselingsvolume, maar ook op de saliniteit; hoe ondieper hoe lager het aangenomen zoutgehalte op de bodem. Een overzicht van de verschillende zoutwaarden per sluiskolk is opgenomen in Tabel 4-2.

Sluis	Sluisdiepte [m+NAP]	Zoutwaarde [PSU]
Noordersluis	15,0	27,5
Middensluis	10,0	27,0
Zuidersluis	8,0	26,5
Kleine sluis	5,4	26,0

Tabel 4-2 Overzicht van de maximale zoutwaarde per sluiskolk (van Banning et al., 2016).

De modelresultaten zijn vervolgens gebruikt om de ruimtelijke influx van zout (debiet * saliniteit) over de sluisdeurbreedte en diepte in de tijd te bepalen voor een representatieve schutcyclus, als functie van de DOT. Voor het bovenste deel van de verticaal is het debiet de sluiskolk in gericht en betreft het een uitstroom van zout. De netto instroom van zout vormt de zoutlast per schutcyclus als functie van de DOT. De DOT is vervolgens bepaald op basis van de schutdata zoals beschreven in paragraaf 3.2.4. De influx van zout (debiet over de tijd * saliniteit over de tijd) is vervolgens gediscretiseerd tot 10 source-sink punten over de verticaal aan de binnenzijde van de binnendeur van elke sluiskolk. Dit maakt het mogelijk de zoutlast de juiste ruimtelijke en temporale variatie mee te geven per specifieke schutcyclus.

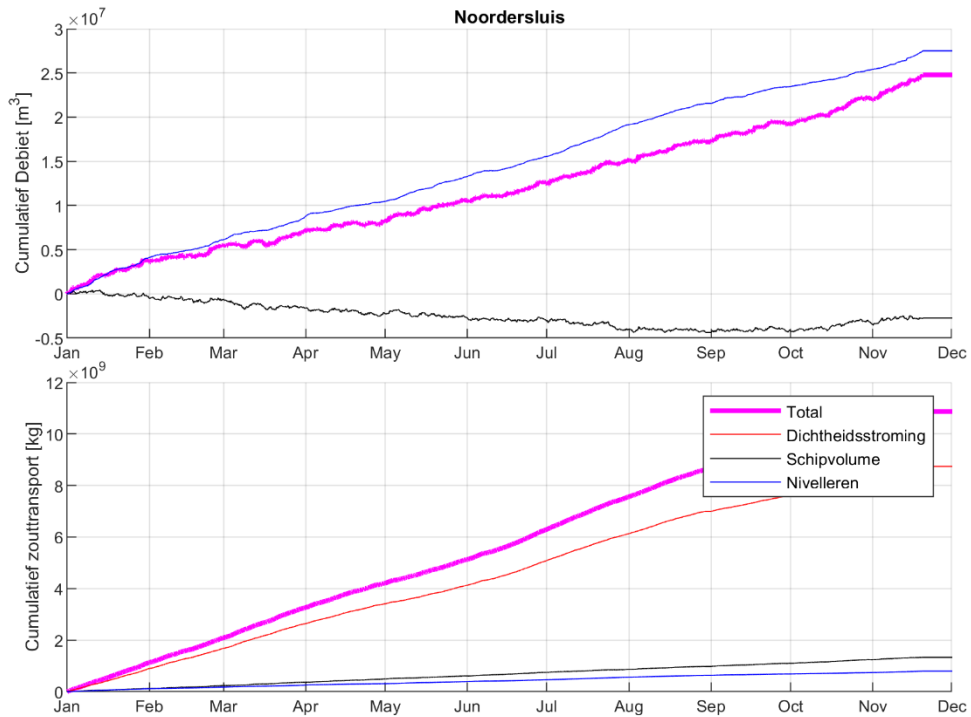
De schutgegevens zijn als volgt gebruikt om tot een schematisatie te komen:

- De gebruikte sluiskolk is gebruikt om te bepalen welke zoutlast-DOT functie opgelegd dient te worden op welke locatie;
- De schutrichting is gebruikt om te bepalen of er sprake is van nivelleringsdebiëten en, als er sprake is van een scheepsbeweging, de vaarrichting van het schip.
- De duur van de schutcyclus. Deze is gemaximaliseerd op 60 minuten om te corrigeren voor eventuele fouten in de registratie. Op basis van handmatige registraties van meerdere schutcycli (door Arjen Kikkert op 6 september 2018), is aangenomen dat de DOT gemiddeld 60% van de totale schutduur bedraagt. Echter, de resulterende zoutlast functie is gevoelig voor variatie in de DOT. Voor deze parameter is daarom specifiek een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.
- Het volume van de nivelleringsdebiëten is bepaald op basis van het momentane verval over de sluiskolk ten tijde van de start van de schutronde.
- Tot slot is een volume uitwisseling opgenomen in de schematisatie welke representatief is voor de scheepsbeweging. Dit volume is geschat op 0,8 maal de ruimtelijke dimensies van het schip (lengte * breedte * actuele diepgang). Bij een scheepsbeweging richting het NZK verplaats dit volume richting de sluiskolk en vice versa. Op basis van handmatige registraties en communicatie met Arjen Kikkert is besloten om deze uitwisseling over 10 minuten plaats te laten vinden (de geschatte in-/ uitvaartijd).
- NB: voor de periode 23 augustus tot 1 september 2015 is geen schutdata beschikbaar. Er is (voor nu) voor gekozen om deze periode niet op te vullen met een schematisatie schutschematisatie. Dit houdt in dat in deze periode (foutief) geen zoutlast wordt opgelegd in het model.

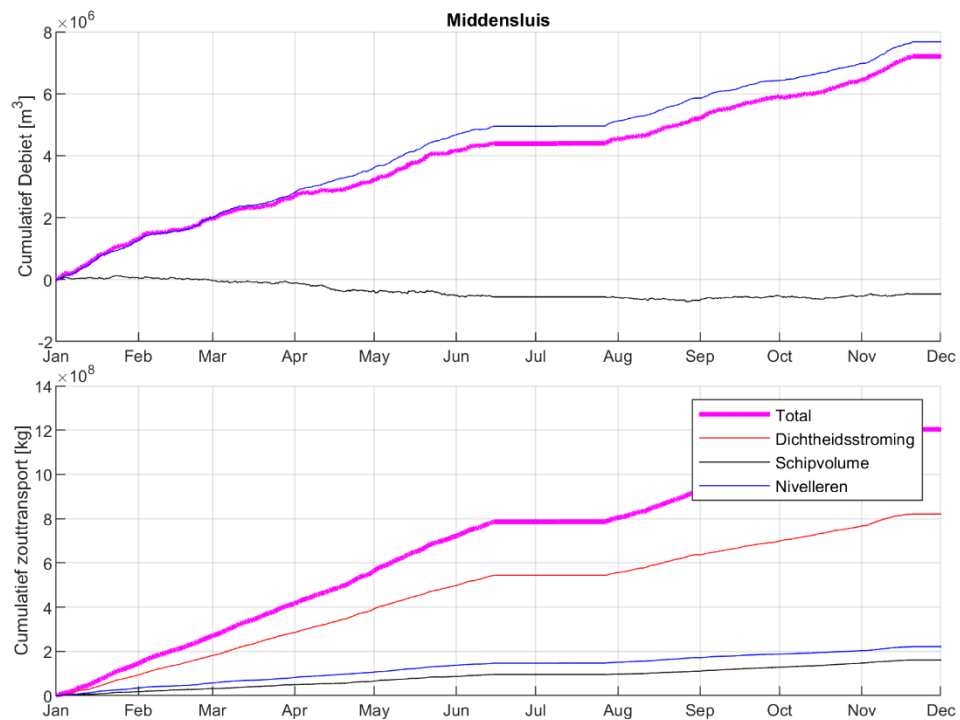
In Figuur 4-6 en Figuur 4-7 is het cumulatieve debiet en de cumulatieve zoutlast⁴ weergegeven ten gevolge van de schutcycli door de Noordersluis en Middensluis in 2015. Over beide schutkolken is het netto debiet positief in de richting van het NZK. Dit komt door het nivelleren van de schutschijf. Doordat de waterstand in de Buitenhaven gemiddeld hoger is dan in de Binnenhaven en omdat het bij scheepsbewegingen vaak de voorkeur heeft om in- en uit te varen tijdens hoogtij, is het netto debiet richting het NZK gericht.

⁴ In deze visualisatie is aangenomen dat het water dat vanuit de Velserkom richting de sluiskolk stroomt, een zoutgehalte heeft van 12 psu

Voor wat betreft de zoutlast kan opgemerkt worden dat de totale cumulatieve zoutlast door de Noordersluis ongeveer een factor 10 hoger ligt dan de zoutlast door de Middensluis. De bijdrage van de dichtheidsstroming op de totale zoutlast is fors groter dan de zoutlast door de nivelleringsdebielen en de scheepsbeweging(en). Ten gevolge van de grotere dimensies en met name de grotere diepte, is het relatieve aandeel van de dichtheidsstroming significant groter bij de Noordersluis. Tot slot is ook goed zichtbaar dat de Middensluis tijdelijk buiten werking was in de periode half juni tot eind juli.



Figuur 4-6 Cumulatief debiet en zoutlast ten gevolge van de schutcyclus door de Noordersluis



Figuur 4-7 Cumulatief debiet en zoutlast ten gevolge van de schutcyclus door de Middensluis

4.3.2.2 Spui- maaldebieten

Voor het schematiseren van de spui- en maaldebieten is gebruik gemaakt van de dagrapporten van het spui-maalcomplex IJmuiden. Hierin zijn per etmaal o.a. de spui- en maalkarakteristieken geregistreerd. Voor het schematiseren van zowel spuien als malen is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- De tijd waarbinnen gemaald dan wel gespuid is (spui/maal-raam);
- Hoeveel kokers/pompen zijn ingezet;
- Het totale volume dat gemaald dan wel gespuid is binnen het spui/maal-raam en op basis daarvan het gemiddelde debiet over deze periode;
- Het verval over het spui-maal middel.

De aanpak voor de schematisatie van het spuien en malen is enigszins verschillend.

Voor het malen is na de start van het gerapporteerde maal-raam elke vijf minuten een pomp aangezet, tot het gerapporteerde aantal pompen is bereikt. Aan het einde van het maal-raam worden alle pompen over een tijdsbestek van vijf minuten uitgezet. Het opgelegde debiet binnen het maal-raam is vervolgens geschaald op het totaal gerapporteerde maalvolume. Als er sprake is van een te grote afwijking van de beoogde $\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ maalcapaciteit per pomp en/of een overschrijding van de maximale gecombineerde capaciteit van $260 \text{ m}^3/\text{s}$, is hiervoor gecorrigeerd.

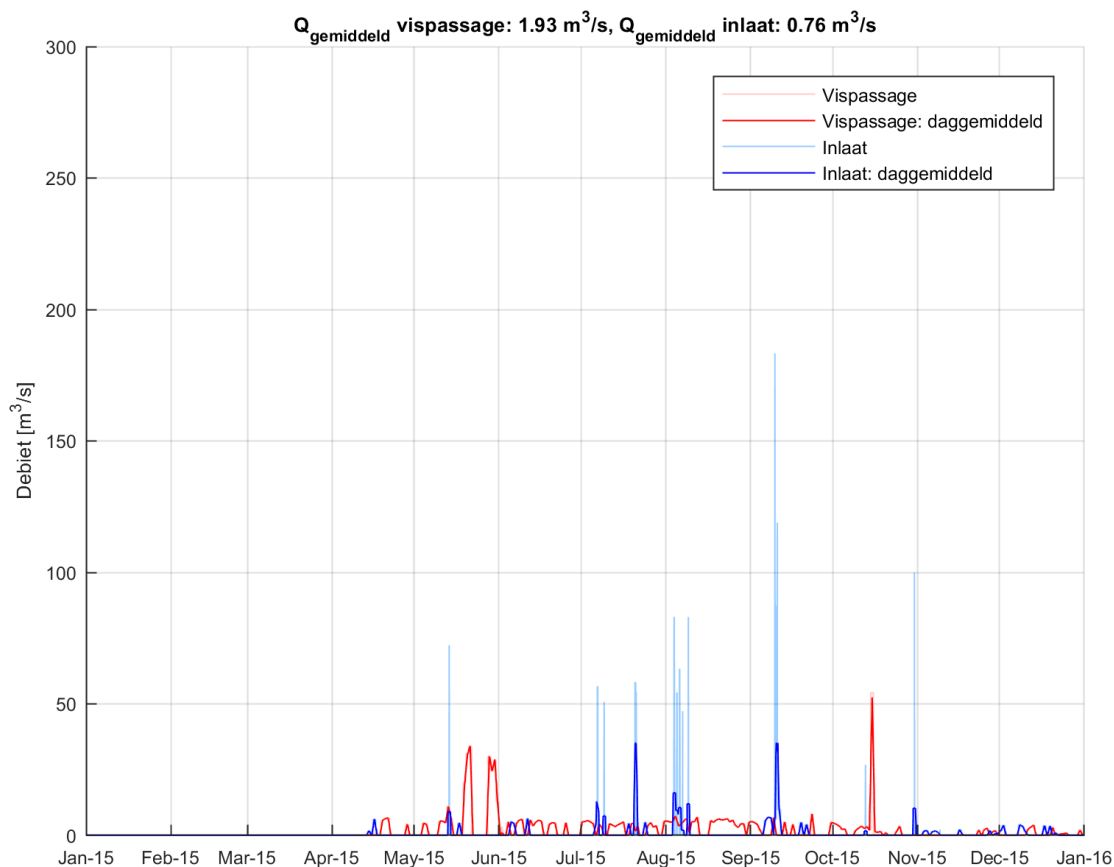
Voor het spuien is gebruik gemaakt van het gerapporteerde verval over het spuicomplex. In het geval van een positief verval richting de Buitenhaven is het debiet berekend aan de hand van de formule voor het spuien bij IJmuiden zoals beschreven in Rijkswaterstaat (2004), $Q = 1250 * \sqrt{h - 0,12}$, en het aantal ingezette kokers. Het opgelegde debiet binnen het spui-raam is vervolgens geschaald op het totaal gerapporteerde spuivolume. Als er sprake is van een significante overschrijding ($>25\%$) van de maximale spuicapaciteit van ca. $700 \text{ m}^3/\text{s}$, is hiervoor gecorrigeerd.

Tot slot is deze schematisatie omgezet naar een equidistante tijdserie met een interval van vijf minuten.

Voor wat betreft de verticale schematisatie is gebruik gemaakt van Rijkswaterstaat (2004). Daarin is beschreven dat de spuiokers hun instroomhoogte hebben tussen de $-9,25$ en $-3,75 \text{ m}+\text{NAP}$. In het model is dit gediscrètiseerd tot vier onttrekkingen over de verticaal, te weten $-8,5$, $-7,0$, $-5,5$ en $-4,0 \text{ m}+\text{NAP}$. Hoewel niet specifiek benoemd in dat rapport, is aangenomen dat de onttrekkingen voor het malen op vergelijkbare hoogte zijn gesitueerd. De verdeling in het horizontale vlak is bepaald door het aantal beschikbare rekencellen op de plek van het spui-maal systeem; vijf in totaal. Hiervan zijn er drie gebruikt voor het spuien en twee voor het malen.

4.3.2.3 Schutcomplex Schellingwoude

Via het schutcomplex Schellingwoude wordt regelmatig water vanuit het Markermeer geloosd. Dit gebeurt zowel via de inlaatsluis als via de vispassage. In de eerste fase van de modelontwikkeling werd voor de debietrandvoorwaarden bij Schellingwoude gebruik gemaakt van het Boezemmodel. Gedurende de ontwikkeling kwam echter aan het licht dat de debieten bij Schellingwoude niet correct in het Boezemmodel werden weergegeven (netto onttrekking in plaats van een netto lozing). Daarom is besloten om voor de debietrandvoorwaarden bij Schellingwoude gebruik te maken van de dagrapporten van RWS net zoals voor de spui- maaldebieten bij IJmuiden. De hieruit volgende inlaatdebieten voor 2015 zijn gevisualiseerd in Figuur 4-8.



Figuur 4-8 Inlaatdebieten bij Schellingwoude in 2015

4.3.2.4 Industriële lozingen

In het model zijn dezelfde industriële lozingen meegenomen als in het oorspronkelijke D-Flow FM model van Arcadis (van Banning et al., 2016). Het gaat in totaal om 12 actieve industriële onttrekkingen en lozingen. De karakteristieken van de lozingen (debieten en temperatuursverhogingen) zijn gebaseerd op de destijds vergunde debieten, en kunnen afwijken van de werkelijke lozingen doordat in de praktijk de maximaal vergunde eenheden niet altijd benut worden en/of door wijzigingen na de peildatum. De lozingen zijn op een eenvoudige manier in het model ingebracht (onverdund, lozing en onttrekking op -2 m NAP); er zijn geen near-field analyses uitgevoerd. Door de plaats en hoogte van onttrekken en lozen, en het eventuele dichtheidsverschil bij lozen kunnen de industriële lozingen bij dragen aan menging en transport. Vooral de Hemweg Centrale en de Centrales bij Velzen leveren karakteristieke bijdragen (ca 30-40 m³/s en 4,5-5 °C temperatuurverhoging).

4.3.3 Correctie op de waterbalans

De totale waterbalans voor 2015 bestaat uit de volgende posten:

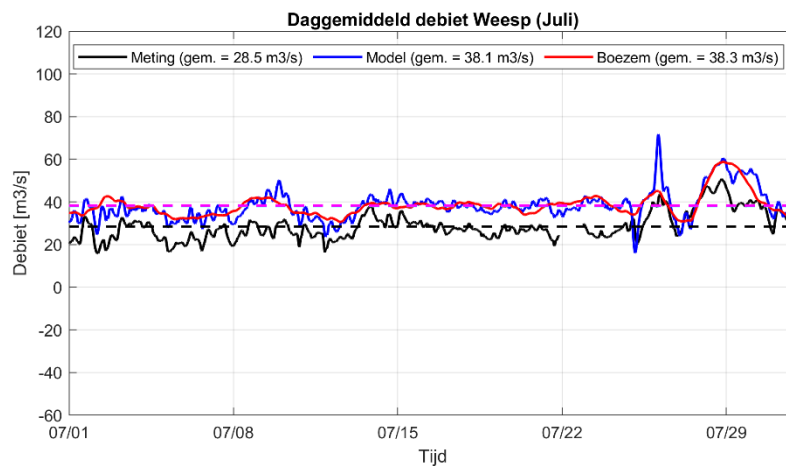
- Afvoeren vanuit het Boezemmodel (zie paragraaf 4.3.1)
- Spui- maaldebieten bij IJmuiden op basis van de dagrapporten (zie paragraaf 4.3.2.2)
- Debieten ter hoogte van Schellingwoude (zie paragraaf 4.3.2.3)
- Schutverliezen vanuit de scheepvaartsluizen bij IJmuiden (zie paragraaf 4.3.2.1).

Er is vervolgens een tweeledige correctie uitgevoerd op de waterbalans om deze sluitend te krijgen. Allereerst een correctie op basis van de gemeten debieten bij Maarssen en Weesp. Vervolgens een correctie op de onttrekking door het spui- maalcomplex te IJmuiden. Beide handelingen zijn hieronder toegelicht.

De volumeverandering ten gevolge van verdamping (en neerslag) worden niet in de modellering meegenomen, omdat dit een effect kan hebben op de vooraf sluitend gemaakte waterbalans.

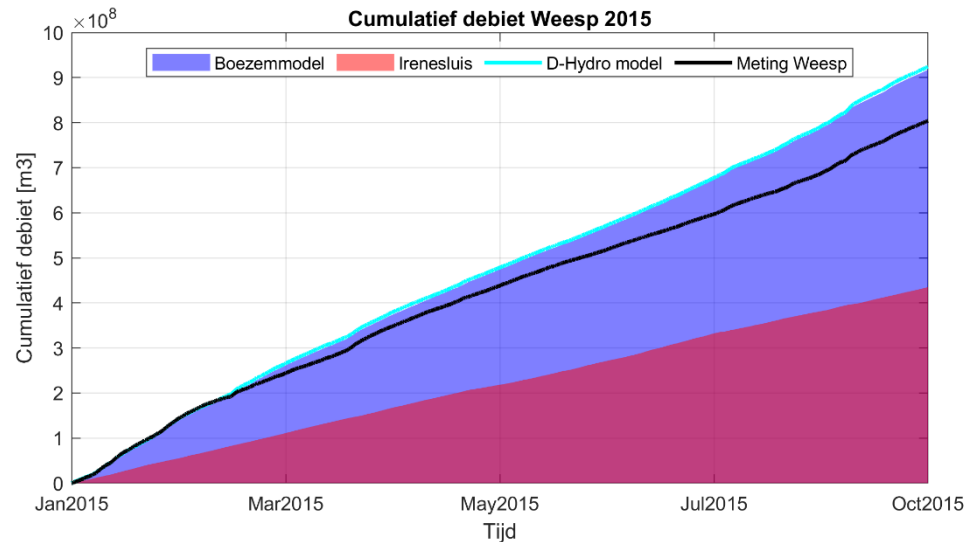
4.3.3.1 Correctie op basis van gemeten debiet bij Maarssen en Weesp

Ter hoogte van Maarssen en Weesp zijn gemeten debietreeksen beschikbaar. Dit maakt het mogelijk om het gesimuleerde debiet op deze locaties te vergelijken met het gemeten debiet. Echter bleek dat de debieten regelmatig niet overeenkwamen waarbij het gesimuleerde debiet vaak hoger lag dan het gemeten debiet. Dit was vooral het geval in de zomermaanden. Wat opmerkelijk is, aangezien alle lateralen bovenstrooms van deze debietmetingen direct volgen uit het Boezemmodel. In Figuur 4-9 is te zien dat de gesimuleerde waarden (blauw: D-HYDRO en rood: cumulatieve lateralen uit het Boezemmodel bovenstrooms van de meetlocatie) structureel circa 9,5 m³/s (daggemiddeld) boven de gemeten reeks liggen in juli 2015. Bij Maarssen is het beeld vergelijkbaar, maar is de overschatting kleiner (5 m³/s).



Figuur 4-9 Vergelijking gemeten debiet (zwart) en gesimuleerde debieten (blauw: D-HYDRO model, rood: Boezemmodel) bij Weesp in de maand Juli.

Als het verschil cumulatief uitgezet wordt over het gehele jaar volgt het beeld zoals weergegeven in Figuur 4-10. Gedurende de eerste maanden is er sprake van een lichte onderschatting ten opzichte van het gemeten debiet. Vanaf juni slaat dit om en bouwt de overschatting op tot circa november, waarna het constant blijft op ruim $1,1 \cdot 10^8$ m³ over het jaar 2015. Opnieuw is het beeld bij Maarssen vergelijkbaar, hoewel daar de overschatting beperkt blijft tot ongeveer $0,3 \cdot 10^8$ m³ over dezelfde periode.



Figuur 4-10 Vergelijking cumulatieve debieten bij Weesp (2015).

Aangezien er voldoende vertrouwen is in de validiteit van de debietmetingen bij Maarssen en Weesp, is besloten om de lateralen zodanig te corrigeren dat het gesimuleerde debiet overeenkomt met het gemeten debiet bij Maarssen en Weesp. Er is voornamelijk gekozen deze correctie uit te voeren op 2 lateralen met een relatief groot debiet, zodat de correctie niet groter is dan het debiet van de lateraal zelf:

- Allereerst is het opgelegde debiet bij de Irenesluizen zodanig gecorrigeerd dat het gemeten debiet bij Maarssen goed gevolgd wordt. De correctie is uitgevoerd over een tijdsraam van 3 dagen zodat eventuele pieken in de correctie afgevlakt worden en de hydrodynamica in het systeem minimaal beïnvloed wordt. Daartoe is een correctie van gemiddeld $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ toegepast op deze lateraal, waar het gemiddelde debiet ruim $18 \text{ m}^3/\text{s}$ is.
- Vervolgens is gecorrigeerd bij Nigtevecht op eenzelfde manier zodat gecompenseerd wordt voor de resterende discrepantie en het gemeten debiet bij Weesp goed gevolgd wordt. Op deze locatie is een correctie van gemiddeld $3,1 \text{ m}^3/\text{s}$ toegepast (gemiddelde debiet bij Nigtevecht is $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$).

Dezelfde methode is gebruikt om de debietrandvoorwaarden in 2018 te corrigeren.

4.3.3.2 Correctie op basis van de totale waterbalans

Zonder verdere correcties zou in 2015 $2,5 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ water verloren gaan, wat neerkomt op een daling van de waterspiegel van ongeveer 8 m (oppervlakte van het Noordzeekanaal is ongeveer $3,1 \cdot 10^7 \text{ m}^2$). Om de waterbalans op jaarbasis sluitend te maken zijn de spui-maaldebieten bij IJmuiden verminderd met ongeveer 9%.

Figuur 4-11 toont de variatie van het cumulatieve debiet na de uniforme correctie op de spui- en maaldebieten bij IJmuiden. Dat de waterbalans op jaarbasis sluitend is, is te zien aan het feit dat het cumulatieve debiet aan het eind van jaar 0 m^3 is. Binnen het jaar treden echter grote variaties op in het cumulatieve debiet. Het gevolg is dat zonder verdere correcties de waterstand medio november 2015 ongeveer 1,6 m hoger zou zijn dan op 1 januari 2015.

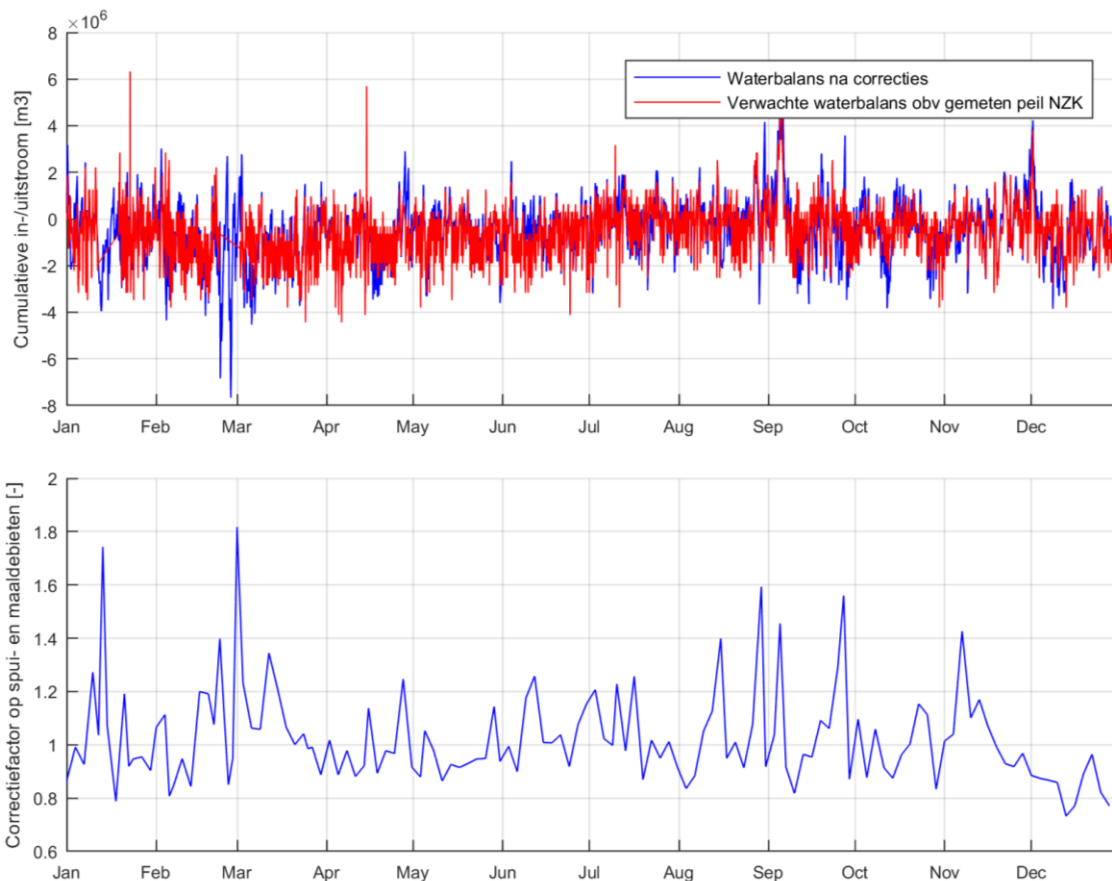


Figuur 4-11 Variatie cumulatief debiet over het jaar na uniforme correctie van ongeveer -9% op de spui- en maaldebieten bij IJmuiden.

Omdat een grote afwijking in waterstanden gevolgen kan hebben voor het transport van het zout richting het NZK, is ervoor gekozen om naast de jaargemiddelde uniforme correctie ook een variabele correctie per 1,5-3 dagen te berekenen. Indien het cumulatieve debiet op korte termijn sterk varieert is ervoor gekozen om de correctie voor een periode van 1,5 dag uit te rekenen. Indien het cumulatieve debiet minder sterk varieert is voor het berekenen van de variabele correctiefactoren een grotere periode aangehouden met een maximum van 3 dagen.

Figuur 4-12 (bovenste venster) toont in blauw de cumulatieve in- en uitstroom in het D-Flow FM model na het toepassen van de variabele correctiefactoren. In rood is de cumulatieve in-/uitstroom uitgerekend op basis van het gemeten peil op het NZK (bij IJmuiden). De figuur laat zien dat de gecorrigeerde waterbalans de verwachte cumulatieve in- en uitstroom goed volgt. De onderste figuur toont de berekende variabele correctiefactoren. De correctiefactoren variëren van ongeveer 0,7 tot 1,8.

Dezelfde methode is gebruikt om de debietrandvoorwaarden in 2018 te corrigeren, zie Bijlage D.



Figuur 4-12 Boven: Cumulatief debiet na variabele correctie, zoals in het model en zoals verwacht o.b.v. gemeten peil (rood). Onder: variabele correctiefactor toegepast op spui- en maaldebieten bij IJmuiden.

De grootste lozingen in 2015 en 2018 (met een gemiddeld debiet van meer dan 2 m³/s) zijn weergegeven in Tabel 4-3 en de grootste onttrekkingen in Tabel 4-4.

Tabel 4-3: Overzicht van de grootste lozingen (groter dan 2 m³/s).

Locatie	Gemiddeld debiet [m ³ /s]. Positief is instroom, negatief is uitstroom	
	2015	2018
Irenesluizen (instroom vanuit Lek)	+16,9	+19,5
Gemaal Halfweg	+11,3	+8,7
Zaangemaal	+8,4	+2,9
Berlagebrug (vanuit Amstel)	+6,8	+5,4
Vechtsluis (vanuit de Vecht)	+4,0	+2,1
Nigtevecht (vanuit de Vecht)	+3,6	+3,8
Smal Weesp	+3,5	+2,6
Gemaal Spaarndam	+3,2	+3,5
Inlaatsluis + vispassage Schellingwoude	+2,7	+3,3

Tabel 4-4: Overzicht van de grootste onttrekkingen (groter dan 2 m³/s).

Locatie	Gemiddeld debiet [m ³ /s]. Positief is instroom, negatief is uitstroom	
	2015	2018
Maalcomplex IJmuiden	-45,2	-32,6
Spuicomplex IJmuiden	-32,4	-29,9

4.3.4 Zout en temperatuur bij lozingen

Voor alle debietrandvoorwaarden (behalve bij de schutsluizen te IJmuiden) is een constant zoutgehalte van 0,3 psu gebruikt (ongeveer 150 mg/L). Deze waarde is gebaseerd op het achtergrondzoutgehalte in de metingen bij Diemen. Opgemerkt wordt het zoutgehalte bij gemaal Spaarndam hoger kan zijn dan 0,3 psu, omdat er regelmatig relatief brak water wordt geloosd vanuit het Hoogheemraadschap Rijnland. Metingen van het zoutgehalte bij gemaal Spaarndam zijn echter niet beschikbaar, waardoor dit niet is meegenomen in de modellering.

Voor alle debietrandvoorwaarden is de temperatuur gebaseerd op de gemeten temperatuur bij Diemen. Eventuele ruimtelijke verschillen van de temperatuur op de instroomranden van het model worden in de modellering dus niet meegenomen.

Daarnaast zijn, zoals beschreven in 4.3.2.4, industriële waterinnames en (koelwater)lozingen in het model meegenomen.

4.4 Overige randvoorwaarden

4.4.1 Meteorologische forcering

De meteorologische forcering vindt plaats middels een combinatie van een standaard wind- en meteo-file. Beide worden gegenereerd met behulp van een MATLAB script op basis van de 10 minuten meetgegevens bij meetpunt Schiphol. Dit meetpunt bevindt zich centraal in het NZK/ARK systeem en wordt dus als representatief verondersteld. Wel is het te verwachten dat bij IJmuiden de windsnelheden gemiddeld iets hoger zijn dan bij Schiphol, en op het ARK mogelijk iets lager. Daarnaast worden lokale windpatronen ter hoogte van het NZK/ARK niet in de huidige aanpak meegenomen. In tegenstelling tot het originele Delt3D4 model van het NZK/ARK (van Banning en van der Baan, 2014), wordt het effect van wind op zowel de warmte-uitwisseling als op de stroming meegenomen. De wind-file bevat de windsnelheid en windrichting in de tijd. De meteo-file bevat de luchttemperatuur, de relatieve vochtigheid en de mate van bewolking. De warmte-uitwisseling tussen het water en de atmosfeer wordt berekend met het composite ocean model. Dit model berekend de uitwisseling ten gevolge van zoninstraling, verdamping, convectie, etc. (Deltares, 2020). De volumeverandering ten gevolge van verdamping zijn niet meegenomen, omdat dit een effect kan hebben op de vooraf sluitend gemaakte waterbalans.

4.4.2 Initiële condities

De initiële conditie bij modelinitialisatie wordt geforceerd met ruimtelijk ingespeelde velden voor de waterstand, zoutwaarden en temperatuur. Voor de stroomsnelheden wordt er voorsnog niet gebruik gemaakt van een initiële forcering en is er dus sprake van enige inspeeltijd aan het begin van de simulatie. Aangezien het NZK/ARK systeem een zwak dynamisch systeem is, heeft dit relatief weinig impact op de modelresultaten.

Het toepassen van een dieptegemiddeld initieel zoutveld leidde wel tot een zichtbare inspeelperiode van ongeveer 1-2 maanden. Daarom is besloten om gebruik te maken van twee ruimtelijke initiële zoutvelden op basis van het ingespeelde model; één voor de toplaag en één voor de bodemlaag. Hiertussen vindt interpolatie plaats over de verticaal. Dit resulteerde in een vrijwel volledige afwezigheid van inspeleffecten voor het zout.

4.5 Schematisatie kunstwerken

4.5.1 Bruggen

Een brug bevat veelal pijlers die bij hoge stroomsnelheden de lokale doorstroming beperken met als gevolg een waterstandsverschil tussen de benedenstroomse en bovenstroomse zijde van de brug. In de zesde-generatiemodellen worden brugpijlers gemodelleerd door middel van een kwadratische weerstandsterm in de impulsvergelijking. De weerstand is hierbij

afhankelijk van de breedte van de brugpijler (dwars op de stroomrichting) en een coëfficiënt. Uit onderzoek is gebleken dat deze coëfficiënt niet enkel afhankelijk is van de vorm van de brugpijler, maar ook van het lokale stroombeeld (stroomsnelheid/stroomrichting). Omdat hierdoor onvoldoende kennis is om de coëfficiënt op voorhand te bepalen is besloten de coëfficiënt voor alle pijlers op 1,0 te houden (De Jong et al., 2019).

4.6 Definitie ruwheden

In het model wordt gebruik gemaakt van een ruimtelijk variërende ruwheid. In Baseline is deze gespecificeerd met polygonen (met codes), en met behulp van de tool BAS2FM wordt voor iedere flow link (snelheidspunt) bepaald voor hoeveel procent de ruwheid afhankelijk is van de diverse polygonen oftewel codes. Binnen de trachytopen-module van D-HYDRO wordt vervolgens berekend welke ruwheid hierbij hoort. In tegenstelling tot de aanpak voor de vijfde-generatie modellen worden deze waarden niet omgerekend naar Chézy, maar naar de gespecificeerde uniforme ruwheidsdefinitie van het model. Voor de zesde generatie is dit de Manning-formulering.

De sleutel voor de omrekening van ruwheidscodes naar ruwheden staat in het invoerbestand *roughcombination-all-2015_5_handm_baseline6.ttd*, een geconverteerde versie van het bestand *roughcombination-general-2015_5-v1* met de toevoeging van de nieuwe waarden voor het NZK en ARK. Het gehele bestand is opgenomen in Bijlage C. In het grootste gedeelte van het NZK/ARK model is een Nikuradse ruwheid van 0,15 m gespecificeerd. Tijdens de initialisatie van het model wordt vervolgens op basis van de gespecificeerde Nikuradse ruwheden, de ruimtelijk variërende Manning coëfficiënten berekend.

4.7 Overige fysisch numerieke instellingen

De gebruikte instellingen zijn zoveel als mogelijk gebaseerd op de gespecificeerde standaardinstellingen voor zesde generatie modellen, zoals beschreven in Bijlage A en op basis Bijlage A van de D-Flow Flexible Mesh User Manual (versie 0.9.1, SVN Revision: 69226, 10 november 2020). In deze paragraaf wordt alleen de enige afwijking ten opzichte van de standaardinstellingen besproken.

Voor de windschuifspanningsformulering is in voor het NZK-ARK model gekozen voor de formulering van Wuest and Lorke (Wüest and Lorke, 2003) (ICdtyp = 6). Het onderscheidende van deze formulering ten opzichte van de meest gebruikte Smith and Banke formulering (ICdtyp = 2), is dat bij lage windsnelheden een veel hogere windschuifspanning wordt berekend. Aangezien de warmteuitwisseling met de atmosfeer deels is gekoppeld met de windschuifspanning (Dalton en Stanton coëfficiënten), wordt bij gebruik van de Wuest and Lorke formulering bij lage windsnelheden ook meer warmte uitgewisseld. Deze formulering is gebaseerd op metingen bij enkele meren, waaronder het meer van Geneve. In vergelijkbare projecten met koelwatermodellering bleek dit een belangrijke verbetering te zijn. Omdat in het huidige model koelwaterlozingen een rol spelen (paragraaf 4.3.2.4) is ook hier de Wuest and Lorke formulering toegepast.

5 Kalibratie en validatie

5.1 Kalibratiemethodiek

5.1.1 Kalibratieprocedure

Bij de ontwikkeling van het D-HYDRO model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal is de focus gelegd op het zo goed mogelijk weergeven van de zoutindringing. Dit is beoordeeld aan de hand van de vergelijking met een 5-tal stationsmetingen en een aantal grootschalige profielmetingen, de zogenaamde 100-puntenmetingen. Als start van de kalibratie is een referentiesimulatie opgezet met invoer en instellingen die op dat moment het meest realistisch werden geacht. Vervolgens zijn er verschillende parameters gevarieerd om te analyseren waar de gevoeligheden met betrekking tot de zoutindringing liggen, zie paragraaf 5.1.2.

Vooruitlopend op de resultaten van deze gevoeligheidsstudie, paragraaf 5.2, bleek de prestatie van het model met betrekking tot zoutindringing voornamelijk afhankelijk te zijn van de schematisatie van de zoutlast bij IJmuiden en de waterbalans. Gevoeligheidsstudies hebben aangetoond dat de prestatie nauwelijks gevoelig is voor numerieke instellingen als verticale/horizontale resolutie, viscositeit, etc. Voor de ontwikkeling van het model is daarom geen klassieke kalibratie uitgevoerd waarbij bijvoorbeeld bodemruwheden zijn gevarieerd. In overleg met RWS richtte de 'kalibratie' zich daarentegen op de volgende onderdelen:

- Corrigeren van lozingen/onttrekking op basis van gemeten debieten bij Weesp en Maarssen, zoals beschreven in paragraaf 4.3.3.1.
- Analyseren en verbeteren van mogelijke inconsistenties in de debietrandvoorwaarden (bijvoorbeeld bij de Schellingwoude), zoals beschreven in paragraaf 4.3.2.3.
- Corrigeren van de deur-open-tijden (DOT) bij de scheepvaartsluizen bij IJmuiden, omdat de data een grote onzekerheid bevat en deze parameter bepalend is voor de zoutlast, zoals beschreven in paragraaf 4.3.2.1.

5.1.2 Gevoeligheidsstudie

Voor de ontwikkeling van het D-HYDRO model zijn sinds de start van het pilotproject (Verbruggen et al., 2019), een groot aantal gevoeligheidsstudies uitgevoerd. Bij deze simulaties werden er ten opzichte van een referentiesimulatie parameters gevarieerd om de gevoeligheid van die individuele instellingen te testen. Op basis van die inzichten is de referentiesimulatie in de loop van de tijd verbeterd. De gevoeligheden zijn daarom niet allemaal getest op basis van de uiteindelijke opzet van het D-HYDRO model en zijn niet altijd gebaseerd op de D-Flow FM versie die voor deze oplevering uiteindelijk is gebruikt (versie 2020.04). Aangezien de (gedateerde) referentiesimulatie en bijbehorende gevoeligheidsstudies wel consistent waren zijn de relatieve verschillen nog steeds waardevol voor het inschatten van de gevoeligheden.

Hieronder volgt een overzicht van de parameters die tijdens de ontwikkeling van het model zijn beschouwd:

Tabel 5-1: Overzicht van geteste parameters in gevoeligheidsstudie

Categorie	Parameter	Instelling opgeleverd model	Overige geteste instellingen
Resolutie	Verticale resolutie	20 lagen (1 m resolutie)	40 lagen (0,5 m resolutie)
	Horizontale resolutie	40-80 m bij 20-25 m in de Velserkom	2x2 verfijning van Velserkom
Numerieke instellingen	Smagorinsky factor	0,2	0,1
	Horizontale diffusiviteit	0,1	0
	Schematisatie Z-lagen bij bodem (keepzlayeringatbed)	2 (onderste 2 lagen worden geschaald, zodat bodem wordt gevolgd)	1
Industrie	Debieten industriële lozingen	Vergund, op basis van Arcadis (van Banning et al., 2016)	50% reductie
Initiële conditie	Zoutinitialisatie	Op basis van ingespeelde simulatie	schematisch
Spui- maal complex	Schematisatie van maal- en spuidebieten	Op basis van actueel verval	Op basis van schematische sinuscurve
Schutsluizen IJmuiden	Aangenomen zoutgehalte in schutsluizen IJmuiden	26,0 – 27, 5 (afhankelijk van sluisolk)	+/- 5% van waarde in kolom hiernaast
	Aangenomen deur-open-tijden	60% van gerapporteerde schutduur	100%, 57%, 63% van gerapporteerde schutduur
Schutsluizen Schellingwoude	Kolkuitwisseling	niet meegenomen	schematische uitwisseling op basis van Bijlsma en Reijmerink (2013)
Waterbalans	Debietrandvoorwaarden Schellingwoude	Op basis van dagrapporten RWS (netto lozing)	Op basis van Boezemmodel (incorrect, netto onttrekking)
	Debietrandvoorwaarden bovenstreams van Weesp	Gecorrigeerd op basis van gemeten debieten bij Weesp en Maarssen	Op basis van Boezemmodel
	Debiet vanuit Irenesluizen	Gecorrigeerd op basis van gemeten debieten bij Maarssen	Op basis van Boezemmodel en 5% toename op basis van Boezemmodel

5.2 Beknopte resultaten gevoeligheidssimulaties

De gevoeligheid van het model voor de geteste instellingen is bepaald op basis van de vergelijking met stationsmetingen (Binnenspuikanaal, Spaarndammerpolder, NDSM pier en Diemen) en op basis van de vergelijkingen met de twee 100-punten metingen in 2015. Deze paragraaf begint met de instellingen die de meeste invloed hadden en sluit af met de instellingen die geen/nauwelijks invloed hadden op de modelresultaten.

Het model is gevoelig voor de volgende instellingen:

- Debiet vanuit de Irenesluizen (getest: registratie en 5% toename)
- Aangenomen zoutgehalte in schutsluis (getest: Referentiesimulatie en +/- 5%)
- Aangenomen deur-open-tijden (getest: Referentiesimulatie en +/- 5%)
- Verbeterde zoutinitialisatie: effect is alleen merkbaar in de eerste maanden van de simulatie.

Het model blijkt niet/nauwelijks gevoelig te zijn voor de volgende instellingen:

- Verticale resolutie (getest: 25 en 40 lagen)
- Horizontale resolutie bij Velserskom (getest: Referentiesimulatie (40-80 m bij 20-25 m) en 2x2 verfijning)
- Smagorinsky factor (getest: 0,1 en 0,2)
- Extra horizontale diffusiviteit (dicouv = 0,1 en 0)
- Dichtheidseffect in impulsadvectie (jarhoxu = 0 en 1)
- Exacte debieten industriële lozingen (getest vergunde lozingen en 50% gereduceerde lozingen)
- Schematisatie van maal- en spuidebieten: (spuiscematisatie op basis van actueel verval of op basis van een sinuscurve)

Deze opsomming laat zien dat de zoutindringing in het model vooral afhangt van de randvoorwaarden bij de schutsluizen en de grootste afvoeren in het gebied (Irenesluizen, spui- maalcomplex, etc.). De geteste numerieke en fysische modelinstelling hebben slechts een geringe invloed op het resultaat.

5.3 Kalibratie- en validatieperiode

De kalibratie van het model is uitgevoerd voor het jaar 2015. Dit jaar is gekozen, omdat het een recent jaar is waar twee 100-puntenmetingen zijn verricht. Gedurende een 100-puntenmeting worden in de loop van enkele dagen op ongeveer 100 locaties in het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal zout- en temperatuurprofielen gemeten. Een dergelijke meting geeft een goed ruimtelijk beeld van de horizontale en verticale verdeling van het zout en de watertemperatuur.

De validatie van het model is uitgevoerd voor het jaar 2018, omdat ook voor dit jaar veel metingen beschikbaar zijn en omdat het vanwege de lage afvoer een interessant jaar is met betrekking tot zoutindringing. De invloed van een aantal maatregelen die vanaf juli - december zijn genomen om de zoutindringing te beperken, zoals optimaal schutten in IJmuiden (vanaf 3 september), tijdelijke inzet bellenschermen bij de Noordersluis (3 september tot 14 december, maar weinig effectief) en de toepassing van een bellenscherm in de mond van het ARK (28 juli tot 20 december 2018) konden evenwel niet in het model worden meegenomen. Maatregelen die betrekking hadden op debieten (bijv. extra waterinlaten bij de Irenesluizen) en deur-open-tijden (onderdeel van optimaal schutten) zijn wel verdisconteerd.

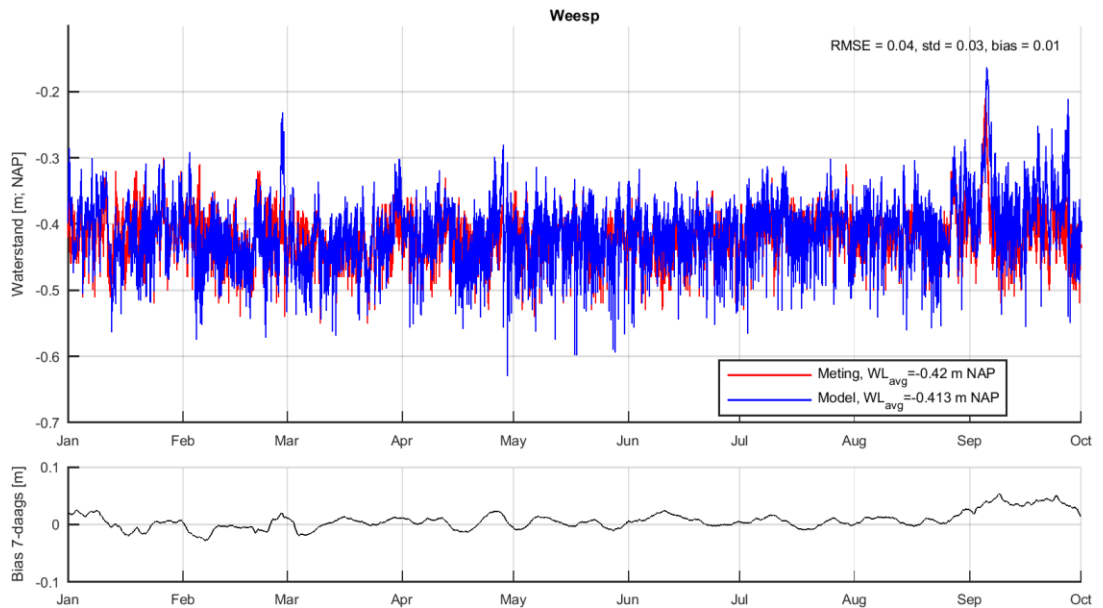
5.4 Resultaten kalibratie

5.4.1 Vergelijking met waterstandmetingen

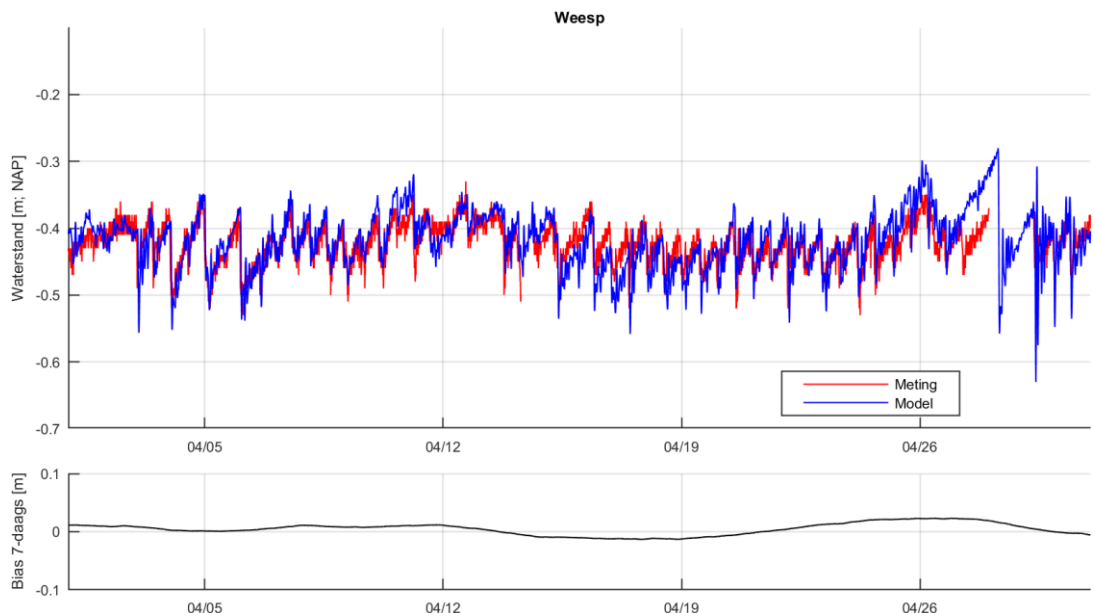
Op 6 locaties (Nieuwegein, Maarssen, Weesp, Surinamekade, Buitenhuizen en IJmuiden Binnen) is de gemodelleerde waterstand vergeleken met de metingen. Figuur 5-1 geeft de vergelijking weer voor Weesp voor de gehele simulatieperiode. Voor alle locaties geldt dat de waterstand zowel op korte termijn (schommelingen met een periode van enkele uren) als op langere termijn (van dagen tot weken) goed wordt weergegeven in het model.

De prestatie op langere termijn is in Figuur 5-1 weergegeven door de 7-daags gemiddelde bias (verschil) weer te geven in de onderste grafiek. Bij Maarssen schommelt dit verschil tussen -5 en +5 cm. Voor de andere locaties zijn de resultaten vergelijkbaar.

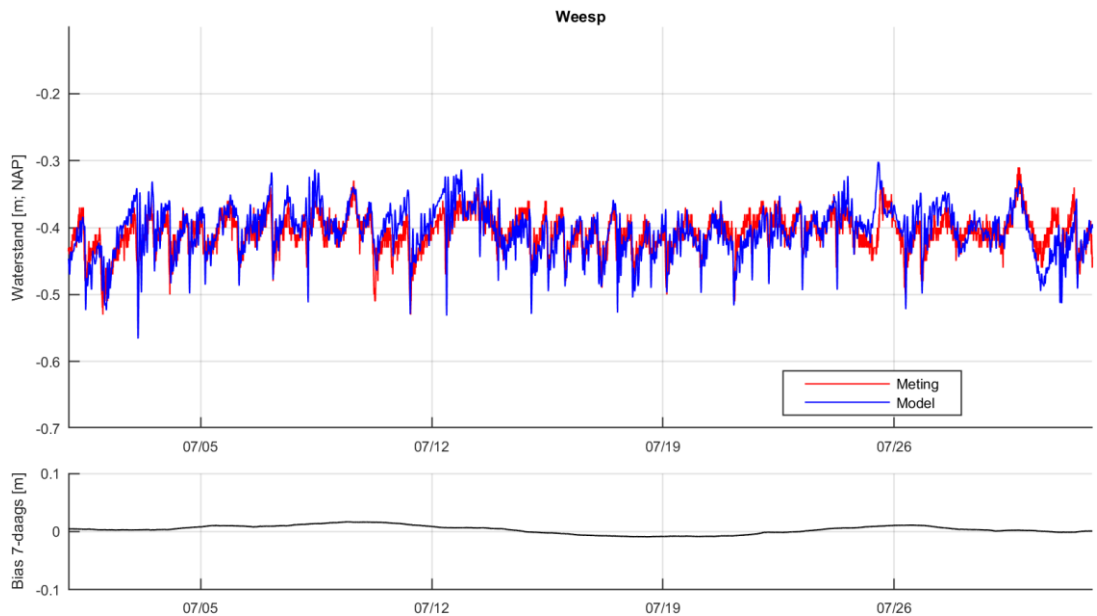
Waterstandsvariaties met een periode van ongeveer 12 – 24 uur zijn vaak het gevolg van oppervlaktetranslatiegolven/stoorgolven die veroorzaakt worden door het periodieke spuien en malen bij IJmuiden en in sommige gevallen door variaties in lozingen (bijvoorbeeld bij de Irenesluizen, gemaal Halfweg, etc.). Opgemerkt wordt dat deze stoorgolven door interacties met zijgeulen en havens een complexe dynamica tot gevolg kunnen hebben. Het model is in staat deze schommelingen goed te reproduceren, ondanks de onzekerheden in de randvoorwaarden (exacte verloop en grootte van de spui-maaldebieten). Om dit te illustreren is er ingezoomd op 2 willekeurig gekozen maanden (april en juli), zie Figuur 5-2 en Figuur 5-3. Op een aantal events na, worden vrijwel alle schommelingen goed door het model gereproduceerd. Dit geeft het vermoeden dat de spui- maaldebieten die uiteindelijk in het model zijn opgenomen waarschijnlijk redelijk goed overeenkomen met de werkelijke debieten, ondanks de benodigde correcties en het reconstrueren van het verloop van de spuidebieten.



Figuur 5-1 Vergelijking gemeten en gemodelleerde waterstand bij Weesp in 2015. Onder: 7-daags gemiddelde Bias.



Figuur 5-2 Vergelijking gemeten en gemodelleerde waterstand bij Weesp in april 2015. Onder: 7-daags gemiddelde Bias.



Figuur 5-3 Vergelijking gemeten en gemodelleerde waterstand bij Weesp in juli 2015. Onder: 7-daags gemiddelde Bias.

Naast een vergelijking van de waterstandsvariaties per locatie is ook gekeken naar het gemiddelde verhang tussen de stations. Hierbij is voor de interpretatie het bemeten gebied in 3 delen geknipt:

- Nieuwegein \leftrightarrow Surinamekade: Dit omvat het ARK en het aansluitende gedeelte van het Binnen-IJ
- Surinamekade \leftrightarrow Buitenhuizen: Dit omvat het oostelijke gedeelte van het Noordzeekanaal
- Buitenhuizen \leftrightarrow IJmuiden Binnen: Dit omvat het westelijke gedeelte van het Noordzeekanaal

De gemiddelde waterstand op deze meetpunten en het verhang daartussen wordt weergegeven in Tabel 5-2. Deze tabel toont dat het verhang in het model tussen Nieuwegein en Surinamekade met 25% wordt overschat (-1,6 cm in de meting en -2 cm in het model). Dit zou kunnen illustreren dat de bodemruwheid in het model enigszins wordt overschat. Een andere mogelijke verklaring is eventuele (ruimtelijke) fouten in de waterbalans. Zoals beschreven zijn de debietrandvoorwaarden gecorrigeerd op basis van de debietmetingen bij Weesp en Maarssen. De correcties zijn opgelegd bij de Irenesluizen en Nigtevecht. Indien in werkelijkheid de onnauwkeurigheden op een andere plek liggen (bijvoorbeeld deels benedenstrooms van Nieuwegein in plaats van bij de Irenesluizen) kan dit een effect hebben op het verval.

Het verhang in het model tussen Surinamekade en Buitenhuizen (oostelijke gedeelte van het NZK) komt redelijk goed overeen met de meting (-1,6 cm in de meting, -1,4 cm in het model). Dit zou kunnen illustreren dat zowel de bodemruwheid als de waterbalans correct zijn in dit gebied. Opgemerkt wordt dat er niet uitgesloten kan worden dat de eventuele fout in de bodemruwheid hier wordt gecompenseerd door een eventuele fout in de lokale waterbalans.

Het verhang in het model tussen Buitenhuizen en IJmuiden Binnen (westelijke gedeelte van het NZK) is in het model veel kleiner dan in de metingen (-2,1 cm in de meting, -0,5 cm in het model). Opgemerkt wordt dat het meetpunt bij IJmuiden Binnen direct naast het spui-maalcomplex ligt. De waterstand kan dus beïnvloed worden door zeer lokale effecten bij de spui-kokers en inlaat naar het maalcomplex.

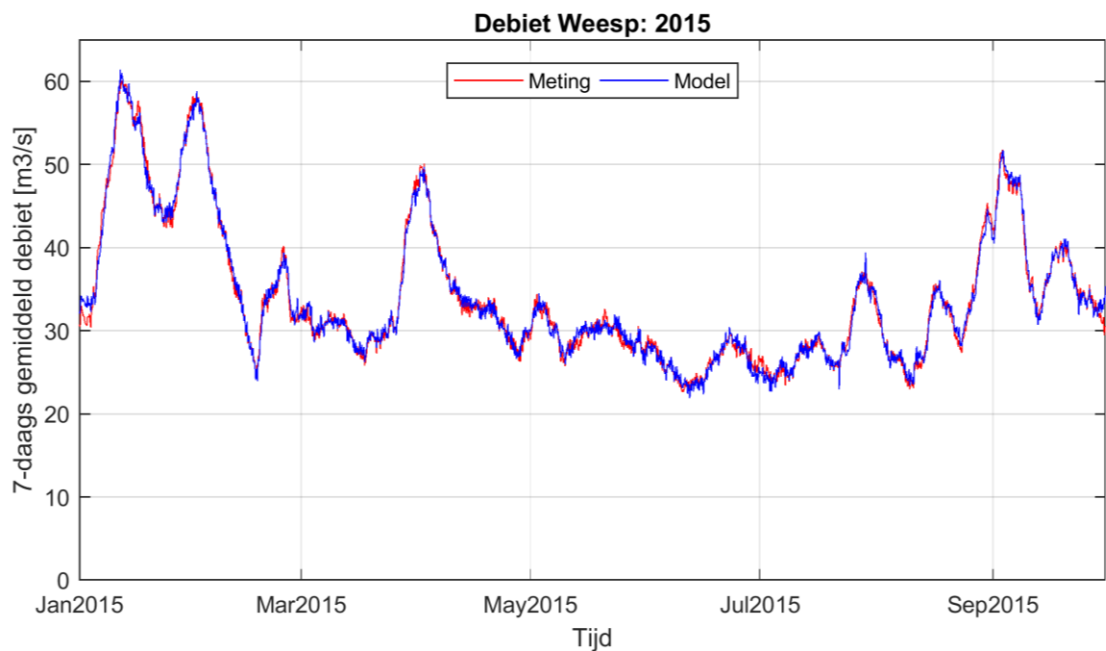
In bovenstaande vergelijkingen is het effect van een eventuele afwijking in de (gemeten en gemodelleerde) dichtheden niet meegenomen. Daarnaast zou de analyse verder verbeterd kunnen worden door ook de snelheidshoogte in de analyse van de modelresultaten te betrekken er van uitgaande dat die in de waterstandsmetingen geen rol spelen.

Tabel 5-2 Overzicht gemiddelde waterstand en verhang in 2015 voor de meetpunten Nieuwegein, Surinamekade, Buitenhuizen en IJmuiden Binnen.

Meetpunt	Gemiddelde waterstand (1 jan – 1 okt 2015) [m; NAP]		Gemiddeld verhang t.o.v. bovenstrooms meetpunt [m]		Verschil gemiddeld verhang t.o.v. bovenstroom meetpunt [%]
	Meting	Model	Meting	Model	
Nieuwegein	-0,396	-0,404	-	-	
Surinamekade	-0,412	-0,424	-0,016	-0,02	+25%
Buitenhuizen	-0,428	-0,438	-0,016	-0,014	-12,5%
IJmuiden Binnen	-0,449	-0,442	-0,021	-0,005	-75%

5.4.2 Vergelijking met debietmeting bij Weesp

In paragraaf 4.3.3.1 is beschreven dat hoe de debietrandvoorwaarden bovenstrooms van Weesp en Maarssen zijn gecorrigeerd, zodat het model de gemeten debieten goed weergeeft. Om dit nogmaals te bevestigen is in Figuur 5-4 een vergelijking gemaakt tussen het gemeten en gemodelleerde debiet bij Weesp. Omdat er door translatiegolven grote fluctuaties zijn is er voor de leesbaarheid een 7-daagse middeling uitgevoerd op de gemeten en gemodelleerde debieten. De figuur laat zien dat de correctie goed is uitgevoerd.

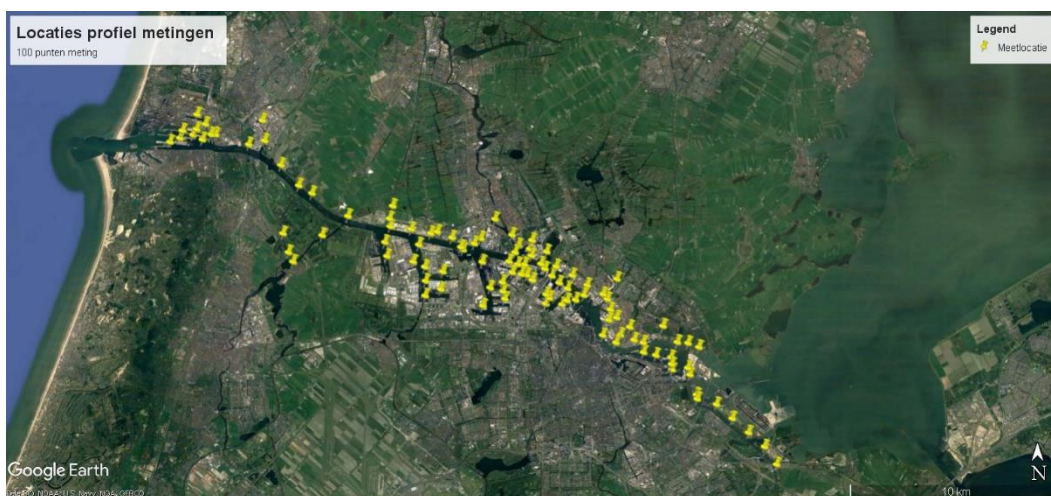


Figuur 5-4 Vergelijking 7-daags gemiddeld gemeten en gemodelleerd debiet bij Weesp in 2015.

5.4.3 Vergelijking met 100-punten metingen

Regelmatig (sinds een aantal jaren tweemaal per jaar) vindt een 100-punten meting plaats in het Noordzeekanaal, de zijkanalen en de eerste 7 km van het Amsterdam-Rijnkanaal (zie Figuur 5-5). Bij een dergelijke meetcampagne worden binnen een beperkt aantal dagen ruim honderd profielmetingen uitgevoerd waarbij onder andere chloride en temperatuur gemeten wordt over de verticaal. In voorliggende studie is voor de kalibratie van het model gebruik gemaakt van de 100-punten metingen die uitgevoerd zijn in juli 2015 en augustus 2015.

Waar de profielmetingen interessant zijn voor een veelvoud van (systeem)analyses, zijn de metingen in deze studie uitsluitend gebruikt ter vergelijking met, en kalibratie van het D-HYDRO NZK/ARK model. Voor een meer uitgebreide analyse van de 100-punten metingen wordt de lezer doorverwezen naar Buschman en Tiessen (2017).



Figuur 5-5 Overzicht 100-punten metingen in het NZK/ARK systeem.

In onderstaande paragrafen is de vergelijking tussen de 100-punten metingen en het model beschouwd voor chloride en temperatuur. De vergelijking is uitgevoerd voor zowel de individuele profielmetingen als ook een ruimtelijke vergelijking langs de as van het NZK/ARK systeem, gebruikmakend van een interpolatie op basis van een dertigtal van de meetprofielen. Om het rapport bondig te houden is enkel de laatste vergelijking in het hoofdrapport gepresenteerd.

De gepresenteerde figuren bestaan uit een ruimtelijke interpolatie van de profielmetingen. Vanwege het feit dat de metingen over een tijdsbestek van enkele dagen zijn uitgevoerd binnen het zwak dynamische NZK/ARK systeem, is het resultaat daarmee variabel in de ruimte en quasi-constant in de tijd. Voor de presentatie van de modelresultaten is dit zo goed mogelijk benaderd door per gebruikt profiel een modeluitvoer registratie te gebruiken ten tijde van de geassocieerde meting en vervolgens hiertussen ruimtelijk te interpoleren.

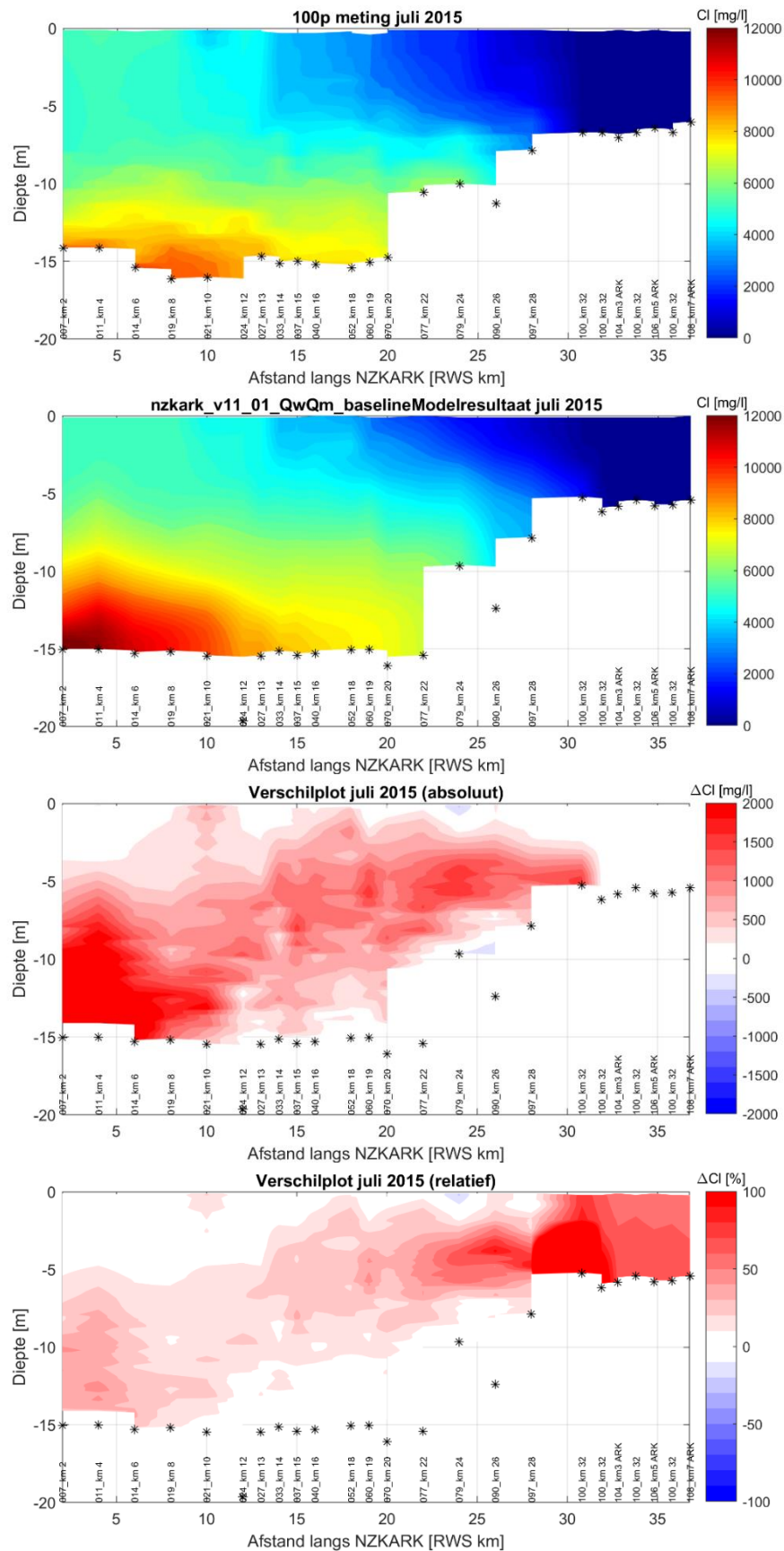
De vergelijking met alle beschikbare individuele profielmetingen in 2015 is opgenomen in Bijlage E.

5.4.3.1 Vergelijking zoutgehalte

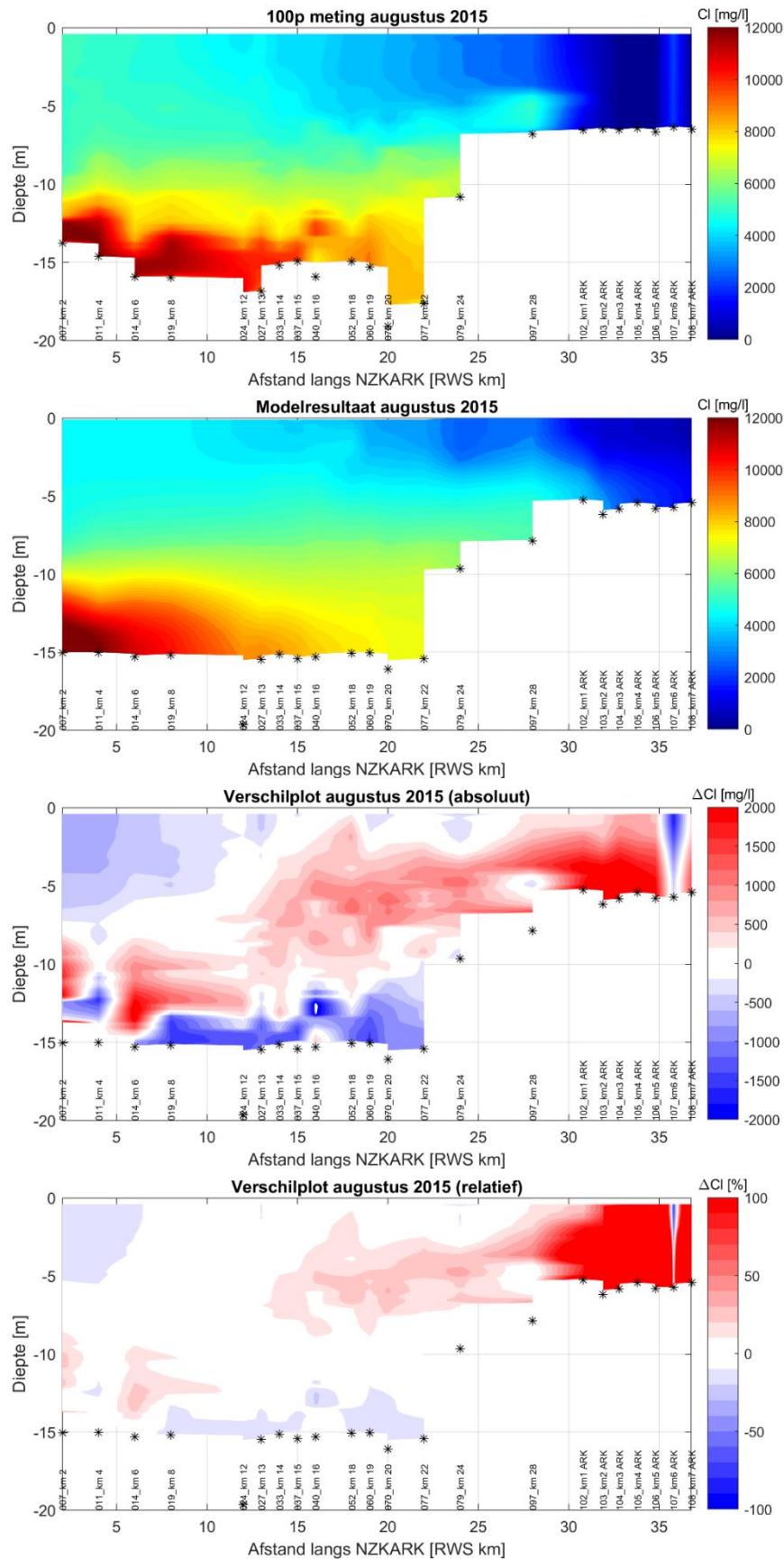
In Figuur 5-6 is de vergelijking gevisualiseerd met de meting in juli 2015. Alle vensters tonen de diepte op de y-as en de lengte langs de as van het NZK/ARK systeem op de x-as. Het meetresultaat is getoond in het bovenste venster, daaronder is het modelresultaat gepresenteerd. Het derde en vierde venster laten het absolute en relatieve verschil zien. Over het algemeen tonen de metingen en het modelresultaten een vergelijkbaar beeld. Zo bevindt de hogere chlorideconcentratie zich voornamelijk onder de -6 m NAP waar de stratificatie vrij constant is over de lengte van het NZK. Voor de bovenste 6 m van de waterkolom is de concentratie redelijk uniform tussen de 5000 en 6000 mg/l Cl, tot NZK km13. Hierna neemt de concentratie geleidelijk af tot de monding van het ARK, waarna het vrijwel 0 bedraagt. Een opvallend verschil tussen het model en de meting is dat in dit traject (ongeveer van km13 t/m km28) de metingen meer verticale menging laten zien in de oppervlaktelaag (tot aan -6 m NAP).

De absolute verschilplot laat zien dat het model een lichte overschatting simuleert van de zoutconcentratie langs de eerste 6-8km van het NZK, vooral bij de bodem. Ook in de tweede helft van het NZK overschat het model de chlorideconcentratie, echter in minder grote mate dan in de eerste kilometers. Op het ARK is zowel in de meting als in het model de chlorideconcentratie rond de 300 mg/l.

Waar ook de 100-punten meting in augustus en het modelresultaat vergelijkbaar zijn, zijn de verschillen enigszins anders (Figuur 5-7). Zo is het verschil in het NZK wisselend negatief en positief, maar relatief gezien beperkt; grotendeels <10%. Echter, op het ARK wordt nu een overschatting van de chloride concentratie gesimuleerd. Hier is de overschatting vooral op de bodem opvallend; tot wel 2000 mg/l Cl (>100%). Vergelijkbaar met de profielmetingen in juli zijn de gemeten zoutprofielen in de oppervlaktelaag in het traject van km13 t/m km28 meer gemengd dan in het model.



Figuur 5-6 Vergelijking 100-punten meting (27-31 juli 2015) en modelresultaten voor de saliniteit (in mg/l Chloride). De maximale diepte per locatie in de metingen of het model zijn weergegeven met een *.



Figuur 5-7 Vergelijking 100-punten meting (10-13 augustus 2015) en modelresultaten voor de saliniteit (in mg/l Chloride).

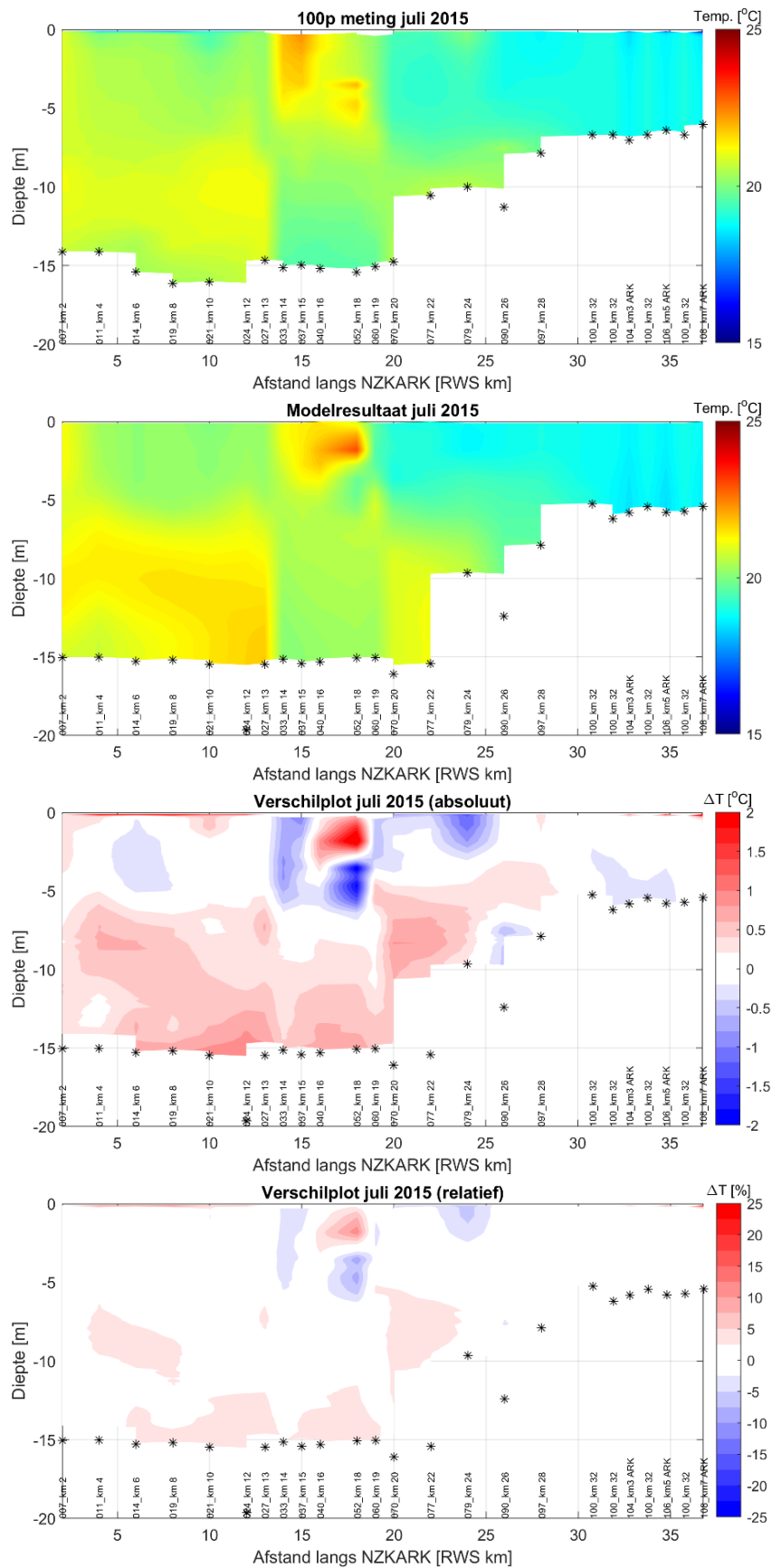
5.4.3.2 Vergelijking temperatuur

Figuur 5-8 toont de temperatuursvergelijking voor de 100-puntenmetingen in juli 2015. Op het ARK is de temperatuur een stuk lager dan in het westelijke gedeelte van het NZK (18 graden tegenover 20-22 graden). Het model is in staat om deze grootschalige horizontale temperatuursgradient te simuleren.

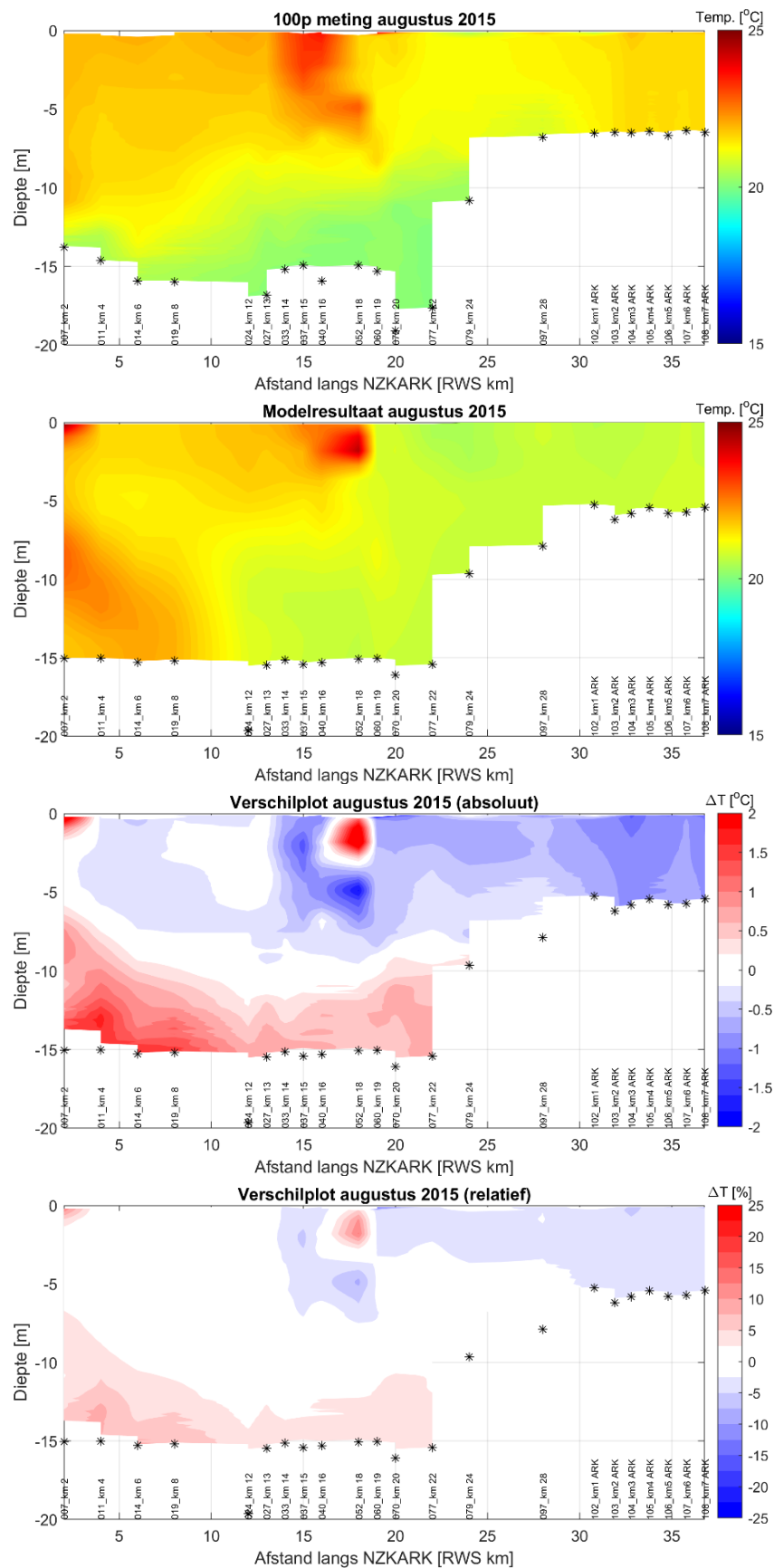
In de diepere lagen van het NZK overschat het model de temperatuur met ongeveer 0,5°C. Mogelijk komt dit door een overschatting van de temperatuur in de randvoorwaarden voor de schutsluizen bij IJmuiden.

In de bovenste 6m van de waterkolom tussen km 13 en km 19 laten de metingen een grotere verticale menging zien dan in het model wordt gerealiseerd. Ook is te zien dat de hoogste temperatuur verder benedenstrooms wordt waargenomen dan in het model. De verwachting is dat deze verschillen te wijten zijn aan een verschil tussen de gemodelleerde en werkelijke industriële lozingen (warmtelozingen). In het model lijkt de temperatuursverhoging ten gevolge van de warmtelozing overschat te worden. Een van de gevolgen hiervan is dat de lozing minder verticaal zal mengen. Bovendien wordt opgemerkt dat de lozingen schematisch in het model zijn ingebracht (zonder initiële verdunning op basis van een near-field analyse). In de huidige studie is de schematisatie van de warmtelozingen niet verder geanalyseerd.

Figuur 5-9 toont de temperatuursvergelijking voor de 100-puntenmetingen in augustus 2015. De verschillen tussen het model en de meting zijn vergelijkbaar met de verschillen voor juli 2015; hogere temperatuur bij de bodem en minder verticale menging rond km 13-19. Daarnaast wordt vooral op het ARK de temperatuur met ongeveer 0,5 tot 1,0°C onderschat. Opgemerkt wordt dat voor alle debietrandvoorwaarden de gemeten temperatuur bij Diemen wordt voorgeschreven. Eventuele ruimtelijke variaties op de rand van het model worden daarom niet in de modellering meegenomen.



Figuur 5-8 Vergelijking 100-punten meting (27-31 juli 2015) en modelresultaten voor de temperatuur (in graden Celsius).



Figuur 5-9 Vergelijking 100-punten meting (10-13 augustus 2015) en modelresultaten voor de temperatuur (in graden Celsius).

5.4.4 Vergelijking met stationsmetingen in NZK en ARK

Een tweede methode om inzicht te krijgen in de prestaties van het model, is de vergelijking met tijdseries van metingen bij meetstations. Ten opzichte van de 100-punten metingen zijn deze metingen constant in de ruimte en variabel in de tijd. Voor de vergelijking van de metingen met de simulaties zijn een aantal meetstations beschikbaar. Het betreft:

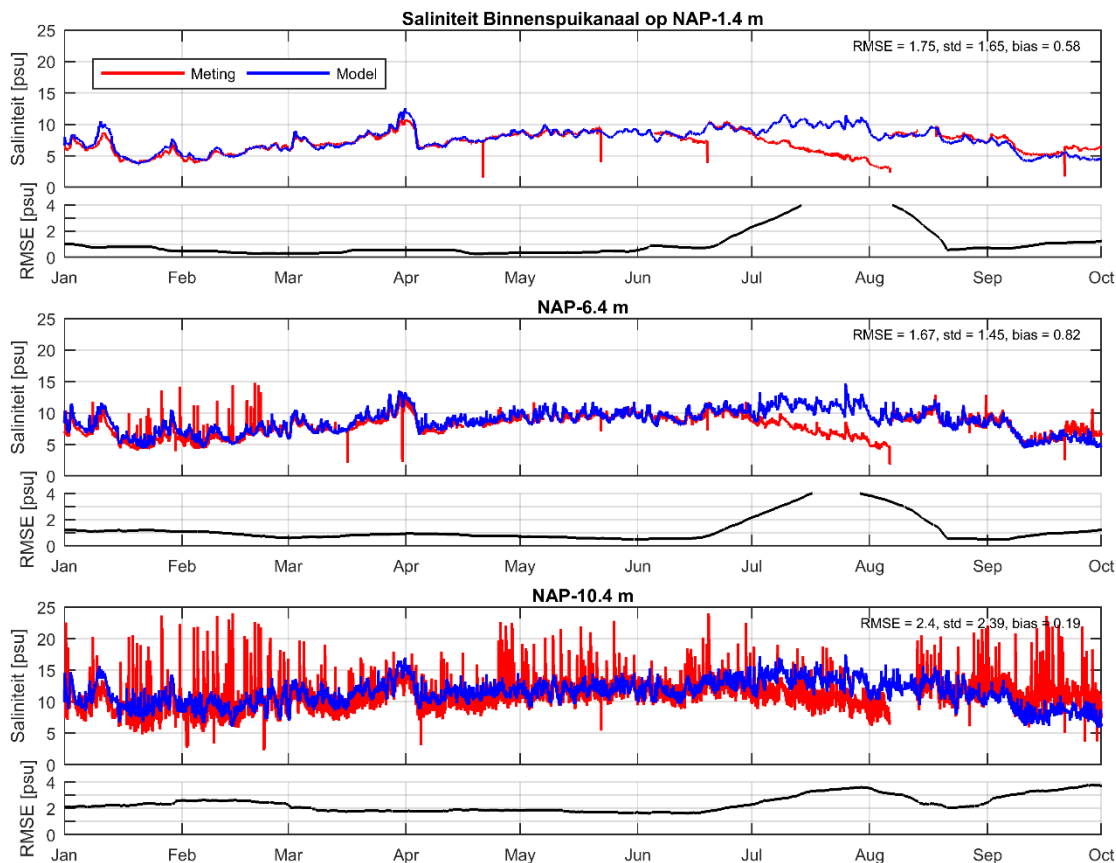
- Het meetstation Binnenspuikanaal, ter hoogte van NZK km2. Op deze locatie in het Binnenspuikanaal worden op een drietal hoogten chloride en temperatuur gemeten, namelijk op -1,4 m, -6,4 m en -10,4 m NAP.
- Het meetstation Spaarndammerpolder. Op deze locatie worden chloride en temperatuur op een tweetal hoogten gemeten (-6,4 m en -1,4 m NAP), ter hoogte van NZK km8.
- Het meetstation NDSM-pier. Op deze locatie wordt eveneens op dezelfde twee hoogten chloride en temperatuur gemeten ter hoogte van NZK km22, aan de Noordzijde van het IJ.
- Het meetstation Diemen, hier worden chloride en temperatuur gemeten op -1,4 m NAP.

Opgemerkt wordt dat bij Spaarndammerpolder, NDSM-pier en Diemen vooral in de bovenste helft van de waterkolom is gemeten. De stationsmetingen kunnen daardoor niet een volledig beeld vormen van de prestatie van het model.

5.4.4.1 Vergelijking zoutgehalte

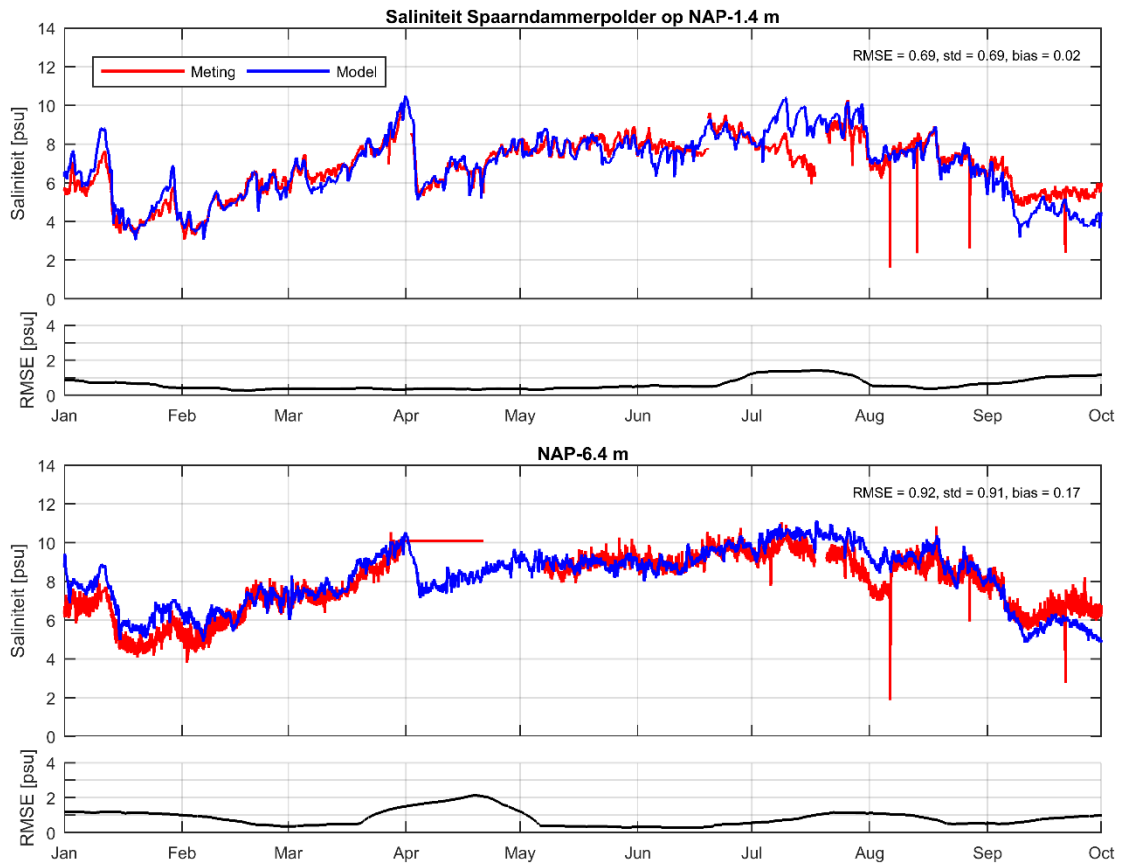
In Figuur 5-10 is de vergelijking getoond tussen de meetserie (rood) en de gesimuleerde saliniteitswaarde (blauw) bij meetstation Binnenspuikanaal, op drie hoogten over de verticaal. Over het algemeen volgt het gesimuleerde signaal het gemeten signaal zeer goed. Het volgende kan nog opgemerkt worden:

- In de periode half juni tot begin augustus is er sprake van een forse afwijking tussen meting en model op alle dieptes. Het is echter duidelijk dat het hier een foutieve meting betreft. Buiten deze periode is de RMSE aan het oppervlak en midden in de waterkolom over het algemeen kleiner dan 1 psu (ongeveer 500 mg/l Cl).
- Vanaf eind augustus wordt, vooral bovenin de waterkolom, de saliniteit enigszins onderschat door het model. Dit zou kunnen komen door het ontbreken van de zoutlast door schutten in de periode 23 augustus tot 1 september.
- Halverwege de waterkolom, maar vooral onderin, laat de meetserie forse (korte) pieken in saliniteit (>20 psu, > ongeveer 10.000 mg/l Cl) zien. De pieken in zoutconcentratie zouden het resultaat kunnen zijn van zoutlek bij de spuisluizen. Doordat dit proces niet in het model zit, zijn de pieken niet terug te zien in het modelresultaat. Hierdoor is de RMSE bij de bodem ook hoger (over het algemeen 2 psu, ongeveer 1000 mg/l Cl) dan op de andere meetdieptes.



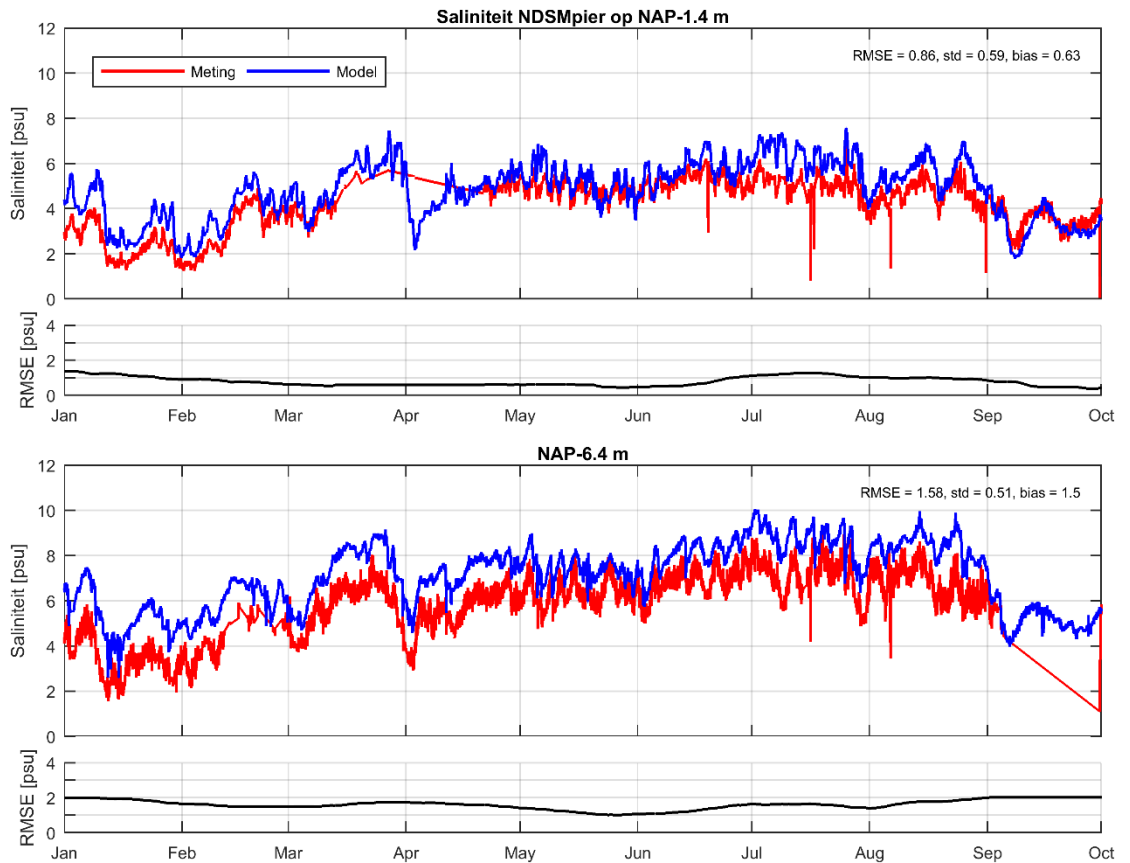
Figur 5-10 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Binnenspuikanaal.

Ook bij Spaarndammerpolder worden de metingen goed gevolgd door het model. Opgemerkt wordt dat de schaal van de verticale as anders is dan voor de figuur hierboven. In de periode mid-juni tot begin augustus lijkt het gedrag in de meting onbetrouwbaar. Aan het begin van de simulatie sluit het zoutgehalte in het model net niet aan op de meting. Het duurt ongeveer tot begin februari voordat het model is ingespeeld. Buiten deze periodes om is de RMSE over het algemeen onder de 0,5 psu (ongeveer 250 mg/l Cl) op beide meetdieptes.



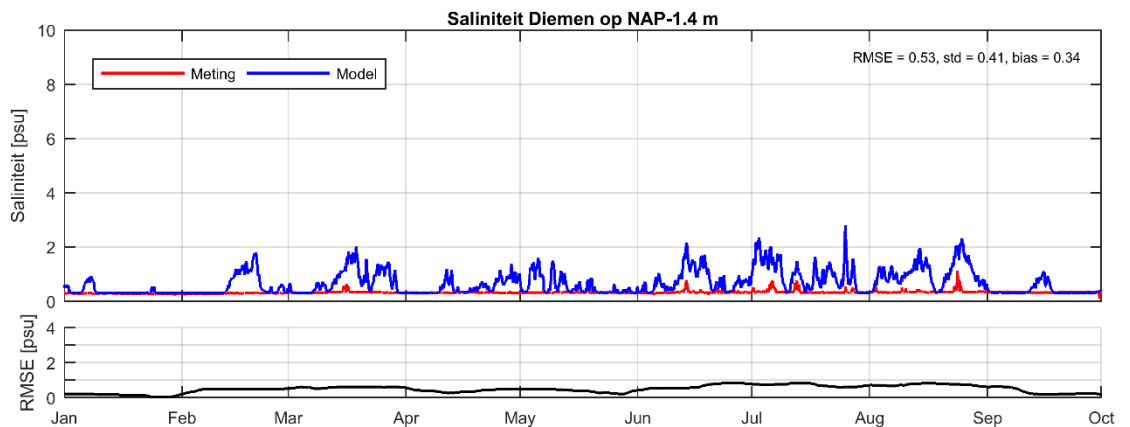
Figur 5-11 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Spaarndammerpolder.

Ter hoogte van NDSM-pier is de conclusie enigszins anders. Hoewel de meetserie qua variatie nog steeds goed gevolgd wordt, is de gesimuleerde saliniteitswaarde te hoog. Dit is wat duidelijker te zien lager in de waterkolom dan bovenin. Buiten deze inspeelperiode om, wordt de saliniteitswaarde 0,5 tot 1 psu (ongeveer 250 tot 500 mg/l Cl) overschat aan het oppervlak en 1 tot 2 psu (ongeveer 500 tot 1000 mg/l Cl) overschat op -6,4 m NAP.



Figuur 5-12 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation NDSM-pier.

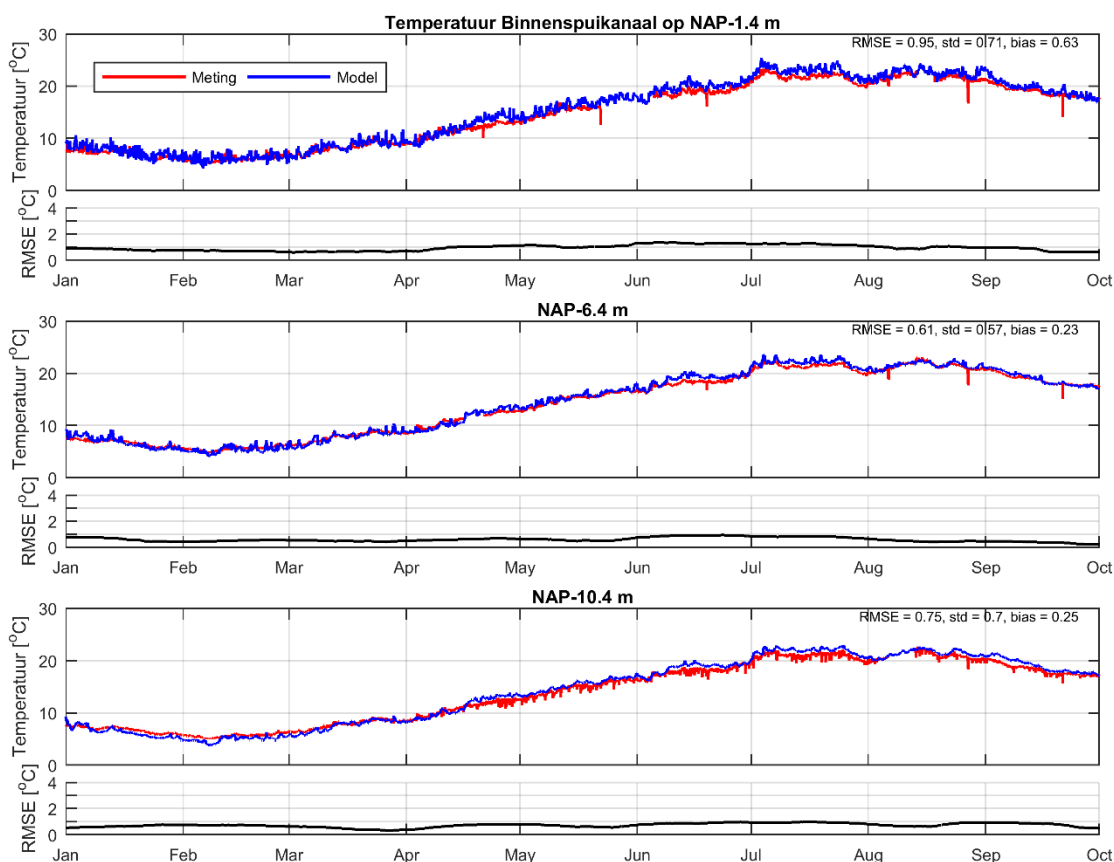
Bij Diemen is het model gevoeliger voor zoutindringing dan in werkelijkheid gemeten. Op de momenten dat de metingen een kleine piek laten zien boven de achtergrondswaarde van 0,3 psu (ongeveer 150 mg/l Cl), simuleert het model ook een verhoogde zoutindringing. De hoogte en frequentie van de pieken wordt echter overschat door het model. Waar in de meting de pieken tot maximaal 1 psu (ongeveer 500 mg/l Cl) reiken, komen in het model pieken tot 3 psu (ongeveer 1500 mg/l Cl) voor. Een deel van deze overschatting is te relateren aan de overschatting van het zoutgehalte bij de NDSM pier en de onderschatting van de verticale menging tussen km13 en km28, zoals beschreven in paragraaf 5.4.3.1.



Figuur 5-13 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Diemen.

5.4.4.2 Vergelijking temperatuur

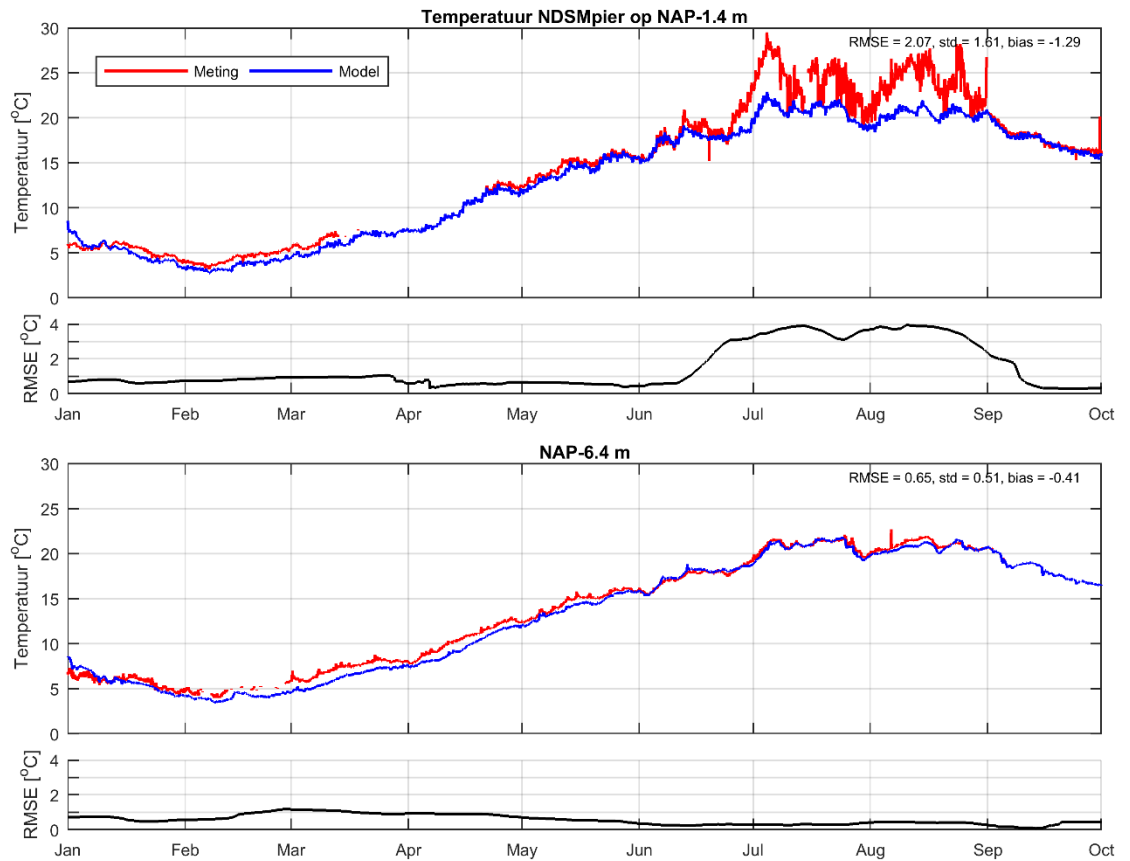
De gemeten temperatuur varieert in het Binnenspuikanaal van ongeveer 5°C in februari tot ongeveer 22°C. Het verschil in temperatuur over de waterkolom is gering. Het model volgt de jaarlijkse variatie nauwkeurig. De RMSE is in de eerste maanden van 2015 over het algemeen rond de 0,5 tot 1°C. In de zomermaanden neemt de RMSE iets toe tot ongeveer 1°C op alle dieptes.



Figuur 5-14 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Binnenspuikanaal.

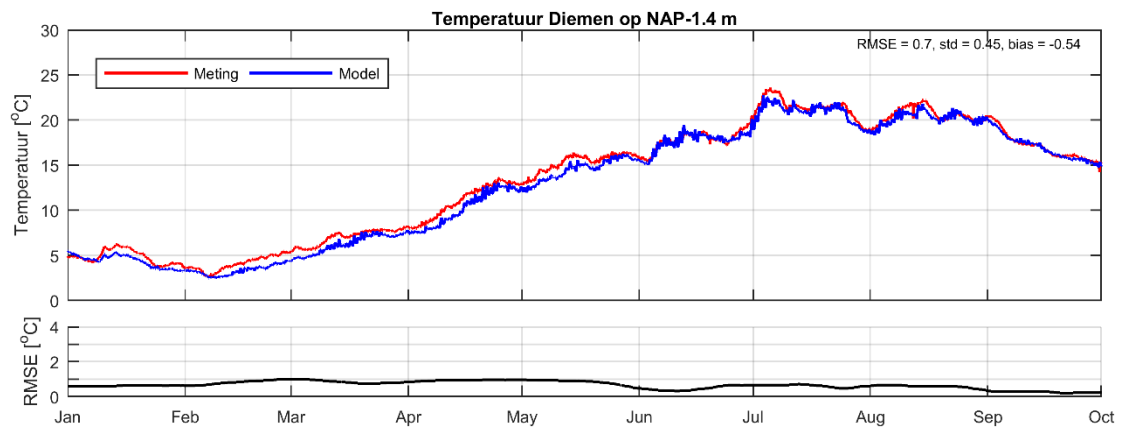
Ook bij de NDSM-pier wordt de jaarlijkse temperatuursvariatie over het algemeen goed gevolgd. De RMSE is over het algemeen in de orde van 0,5 tot 1 °C. Opvallend is echter het groter verschil aan het oppervlak in de periode van eind juni tot begin september (verschil regelmatig rond de 5°C). Een dunne warme toplaag op deze locatie is ook te zien in de 100-puntenmetingen. De scherpe overgang van eind augustus tot begin september geeft echter ook twijfels over de metingen, vooral omdat op -6,4 m NAP deze hogere temperatuur volstrekt niet wordt waargenomen⁵. Een mogelijke verklaring voor deze lokale temperatuursverhoging aan het oppervlak is een industriële lozing (bijvoorbeeld Hemwegcentrale). Er zou dan sprake moeten zijn van een plotselinge toename van de capaciteit van deze centrale. In de huidige opzet van het D-HYDRO model zijn de industriële lozingen gebaseerd op de vergunde lozingen en zijn ze schematisch ingebracht, zie paragraaf 4.3.2.4. Een eventuele tijdsvariatie in de lozingen wordt dus in huidige model niet weergegeven.

⁵ Daarnaast valt op dat in dezelfde periode ook het zoutgehalte aan het oppervlak (zie paragraaf 5.4.4.1) een afwijkend gedrag vertoond.



Figuur 5-15 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation NDSM pier.

Bij Diemen wordt de gemeten temperatuur goed gevolgd (gemiddelde RMSE is 0,7°C). In de lente onderschat het model de temperatuur met ongeveer 1°C en in de zomer ongeveer 0,5°C.

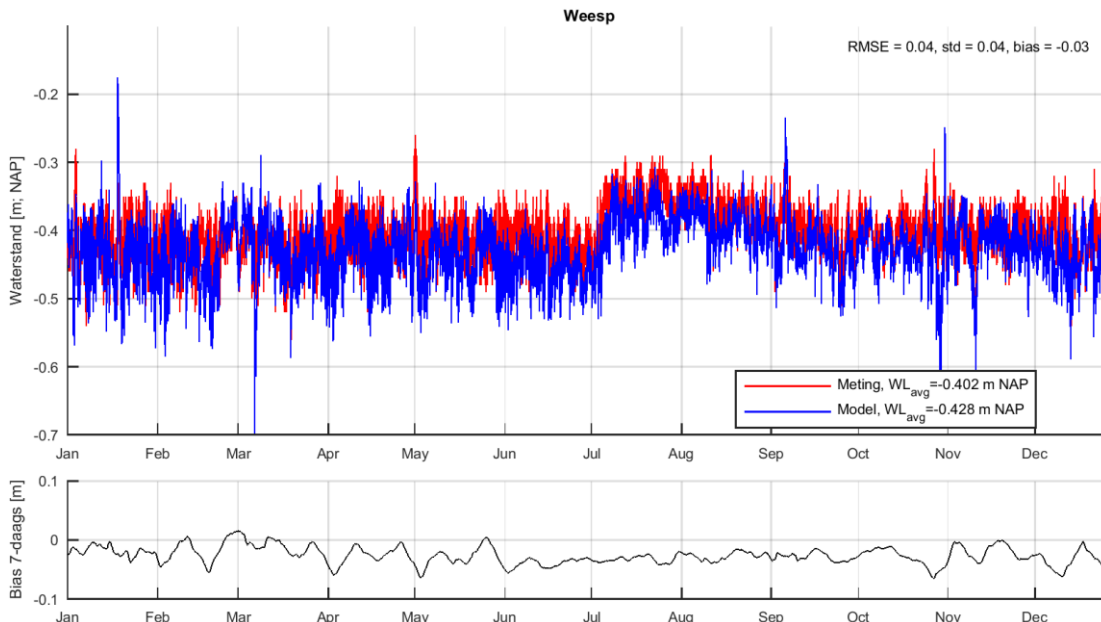


Figuur 5-16 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Diemen.

5.5 Resultaten validatie

5.5.1 Vergelijking met waterstandmetingen

Figuur 5-17 toont de gemeten en gemodelleerde waterstand bij Weesp in 2018. De gemeten waterstand wordt redelijk goed gevolgd, wel zijn de verschillen iets groter dan in de simulatie voor 2015. De waterbalans lijkt net niet helemaal gesloten te zijn. Binnen de huidige studie is deze kleine afwijking niet verder geanalyseerd, maar verwacht wordt dat deze fout eruit gehaald kan worden door secuur langs de locaties van alle debietrandvoorwaarden te lopen.



Figuur 5-17 Vergelijking gemeten en gemodelleerde waterstand bij Weesp in 2018.

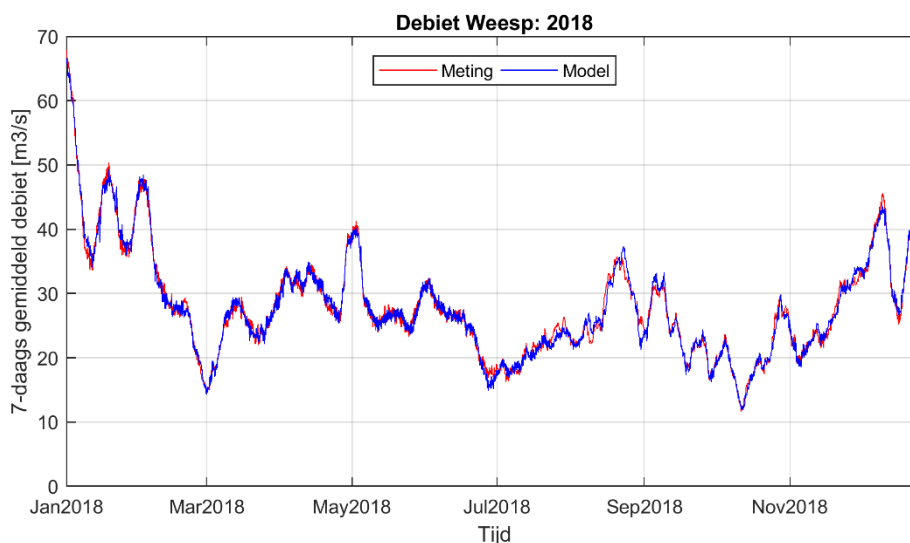
Tabel 5-3 toont dat de verschillen tussen het model en meting met betrekking tot het verhang vergelijkbaar zijn met de observaties voor 2015. Opvallend is dat het gemeten verhang in het oostelijke gedeelte van het NZK (tussen Surinamekade en Buitenhuizen) in 2018 significant kleiner is dan in 2015 (-1,6 cm in 2015 en -1,0 cm in 2018). Dit relatieve verschil tussen beide jaren wordt goed weergegeven in het model (-1,4 cm in 2015 en -0,9 cm in 2018).

Tabel 5-3 Overzicht gemiddelde waterstand en verhang in 2018 voor de meetpunten Nieuwegein, Surinamekade, Buitenhuizen en IJmuiden Binnen.

Meetpunt	Gemiddelde waterstand (1 jan 2018 – 1 jan 2019) [m; NAP]		Gemiddeld verhang t.o.v. bovenstrooms meetpunt [m]		Verschil gemiddeld verhang t.o.v. bovenstroom meetpunt [%]
	Meting	Model	Meting	Model	
Nieuwegein	-0,386	-0,412	-	-	
Surinamekade	-0,401	-0,43	-0,015	-0,018	+20%
Buitenhuizen	-0,411	-0,439	-0,01	-0,009	-10%
IJmuiden Binnen	-0,431	-0,442	-0,021	-0,003	-85%

5.5.2 Vergelijking met debietmetingen bij Weesp en Maarsse

Figuur 5-18 toont dat het gemodelleerde debiet bij Weesp goed overeenkomt met de metingen, zoals verwacht op basis van de correcties, beschreven in paragraaf 4.3.3.1. Waar in 2015 het minimale 7-daags gemiddelde debiet rond de 22 m³/s lag, duikt het 7-daags gemiddelde debiet daar in 2018 regelmatig onder. Dit komt overeen met het feit dat 2018 een jaar was met lage afvoeren en daardoor relatief hoge zoutgehaltes op het NZK en ARK, zoals beschreven in onderstaande paragrafen.



Figuur 5-18 Vergelijking 7-daags gemiddeld gemeten en gemodelleerd debiet bij Weesp in 2018.

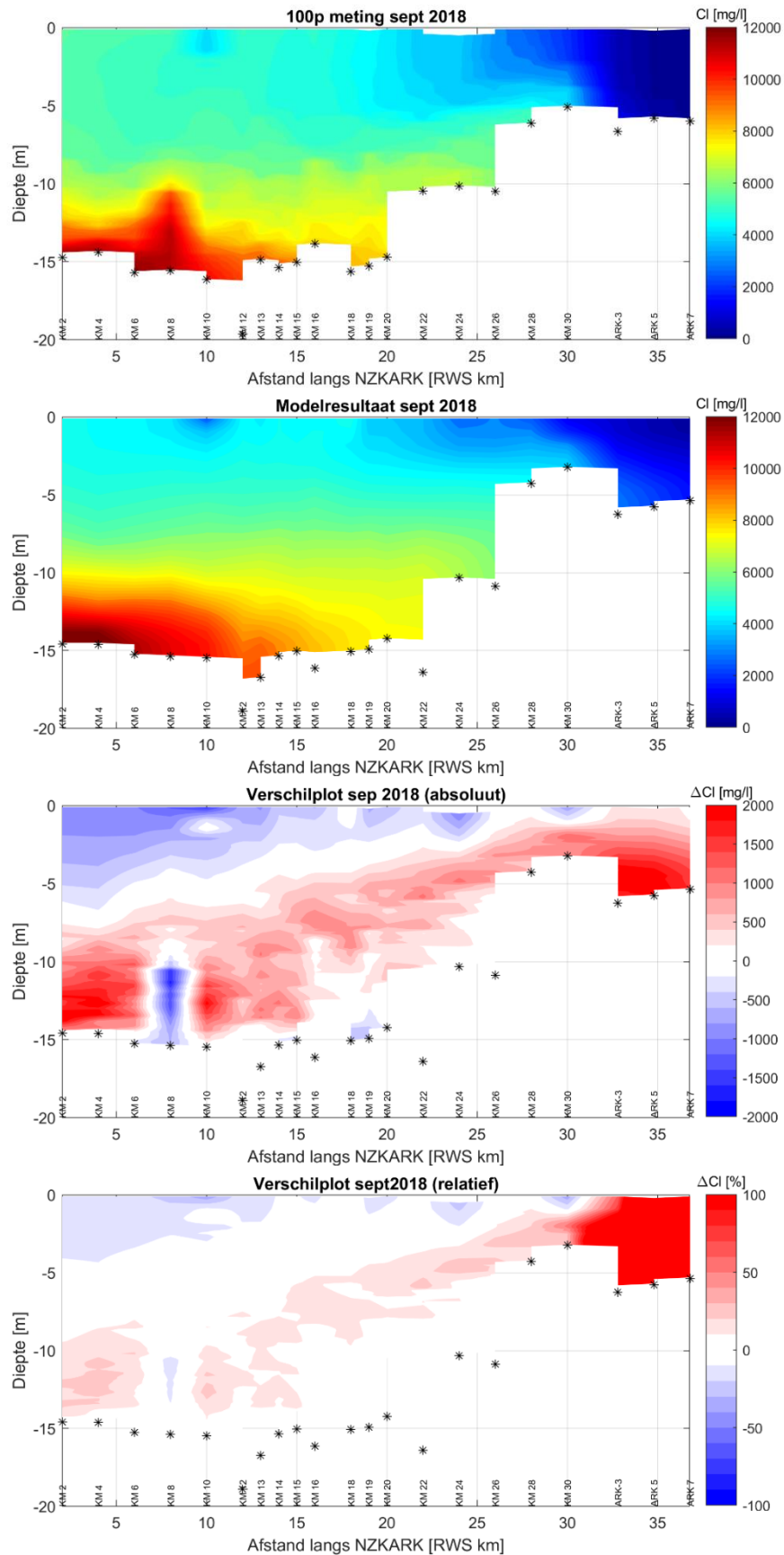
5.5.3 Vergelijking met 100-punten metingen

Vergelijkbaar met paragraaf 5.4.3 wordt in deze paragraaf een vergelijking gemaakt tussen de gemeten en gemodelleerde zout- en temperatuurprofielen in de as van het NZK en ARK. Voor een vergelijking met alle beschikbare individuele profielmetingen in september 2018 wordt verwezen naar Bijlage E.2.

5.5.3.1 Vergelijking zoutgehalte

In Figuur 5-19 is de vergelijking gevisualiseerd met de 100-punten meting in september 2018. Alle vensters tonen de diepte op de y-as en de lengte langs de as van het NZK/ARK systeem op de x-as. Het meetresultaat is getoond in het bovenste venster, daaronder is het modelresultaat gepresenteerd. Het derde en vierde venster laten het absolute en relatieve verschil zien, respectievelijk.

De vergelijking tussen het model en de metingen geeft een vergelijkbaar beeld als op basis van de 100-puntenmetingen in 2015. In zowel de metingen als het model bevindt de hogere chloride concentratie zich voornamelijk onder de -8 m NAP. Dit beeld is vrij constant over de lengte van het NZK. De stratificatie in het NZK wordt in het model iets overschat. Op het ARK wordt consistent met de kalibratieperiode, de zoutindringing overschat.



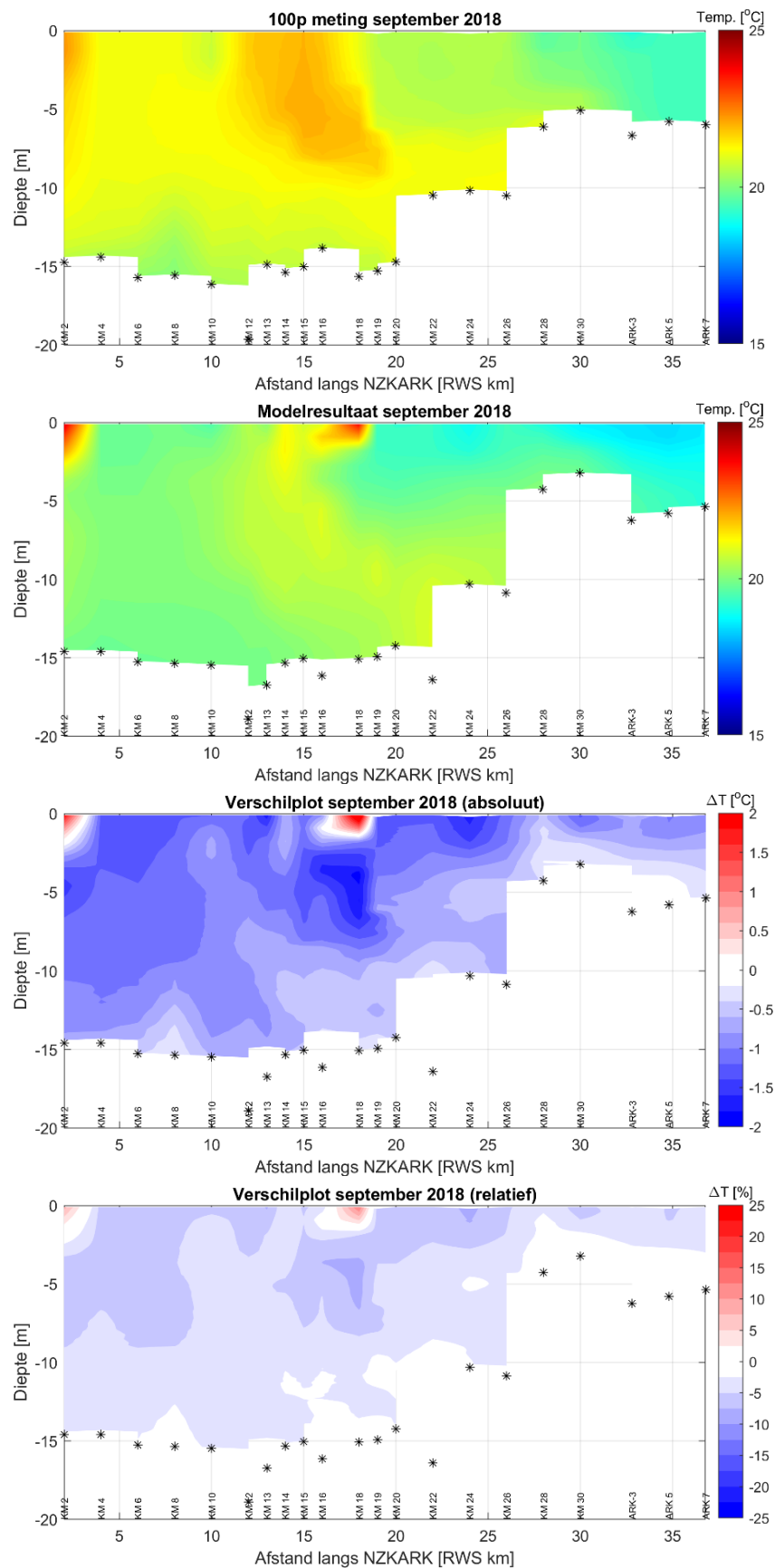
Figuur 5-19 Vergelijking 100-punten meting (3-6 september 2018) en modelresultaten voor de saliniteit (in mg/l Chloride).

5.5.3.2 Vergelijking temperatuur

Figuur 5-20 toont de temperatuursvergelijking voor de 100-puntenmetingen in september 2018. Ook bij deze meting is de temperatuur op het ARK een stuk lager dan in het westelijke gedeelte van het NZK (19 graden tegenover 20-22 graden). Het model is in staat om deze grootschalige horizontale temperatuurgradiënt te simuleren.

Vergelijkbare verschillen worden waargenomen rond km 13 t/m km 19 die opnieuw waarschijnlijk te relateren zijn aan het verschil tussen de gemodelleerde en werkelijke industriële lozingen (warmtelozingen).

Echter is nu ook een ander verschil waarneembaar. Los van de afwijkingen ter hoogte van de industriële lozingen lijkt de temperatuur in het gehele systeem onderschat te worden door het model. Aan het oppervlak kan dit oplopen tot ruim 1 graad Celsius, richting de bodem blijft de onderschatting beperkt tot 0-0,5 graden Celsius. Dit terwijl de forcering methodiek van de temperatuur op de lateralen als wel de meteo forcering gelijk is aan het kalibratie jaar 2015, waar deze onderschatting niet zo generiek is terug te vinden. Opgemerkt wordt dat eventuele effecten van bijvoorbeeld warmte-koudeopslagsystemen en energie uit oppervlaktewater niet in het model zijn meegenomen.



Figuur 5-20 Vergelijking 100-punten meting (3-6 september 2018) en modelresultaten voor de temperatuur (in graden Celsius).

5.5.4 Vergelijking met stationsmetingen in NZK en ARK

5.5.4.1 Vergelijking zoutgehalte

Voor de validatieperiode (2018) zijn ten opzichte van 2015 meer meetlocaties beschikbaar, namelijk Zijkanaal C (op 2 dieptes) en op -6,5 m NAP bij Diemen. Voor het Binnenspuikanaal zijn echter alleen tot eind april metingen beschikbaar.

De observaties bij het Binnenspuikanaal zijn vergelijkbaar met die voor 2015. De langeretermijn zoutvariatie wordt zeer goed gevolgd. In het midden van het waterkolom en vooral bij de bodem worden in de metingen hogere zoutpieken waargenomen dan in het model. Zoals eerder vermeld komt dit waarschijnlijk door het lekken van zout door het spui-maalcomplex.

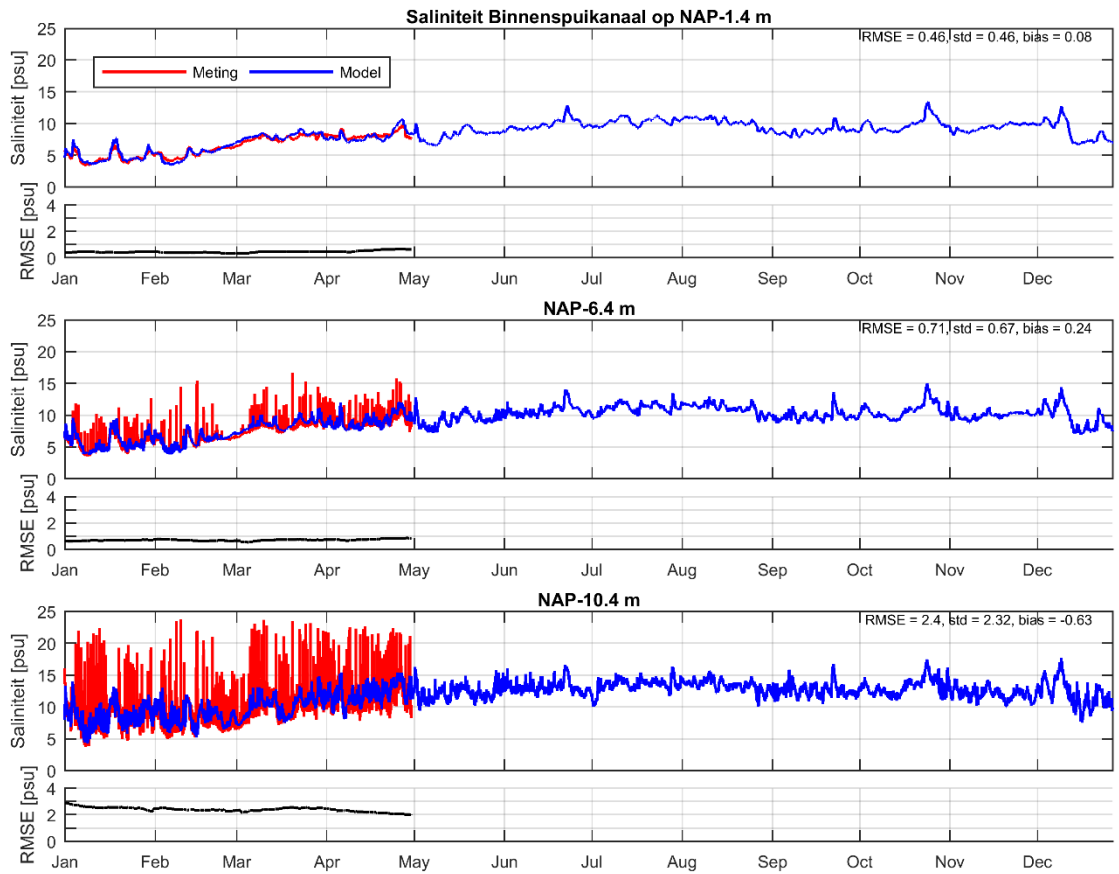
In Zijkanaal C wordt de trend in de metingen wel gevolgd, maar is er wel sprake van een systematische onderschatting in het model van ongeveer 0,5 psu (ongeveer 250 mg/l Cl) bij het oppervlak en 1,0 psu (ongeveer 500 mg/l Cl) nabij de bodem. Een mogelijke oorzaak is dat in de modellering bij gemaal Spaarndam een zoutconcentratie van 0,3 psu (ongeveer 150 mg/l Cl) is opgelegd (net zoals voor de andere debietrandvoorwaarden). Het is bekend dat er vanuit Hoogheemraadschap Rijnland relatief brak water geloosd kan worden via gemaal Spaarndam. Metingen van het zoutgehalte bij gemaal Spaarndam zijn echter niet beschikbaar, waardoor dit niet is meegenomen in de modellering.

Bij Spaarndammerpolder wordt het gemeten zoutgehalte goed weergegeven in het model (RMSE over het algemeen rond de 0,5 psu, ongeveer 250 mg/l Cl). Opgemerkt wordt dat de metingen op -1,4 m NAP in de periode van begin juni tot eind juli (en misschien zelfs tot eind augustus) minder betrouwbaar lijken.

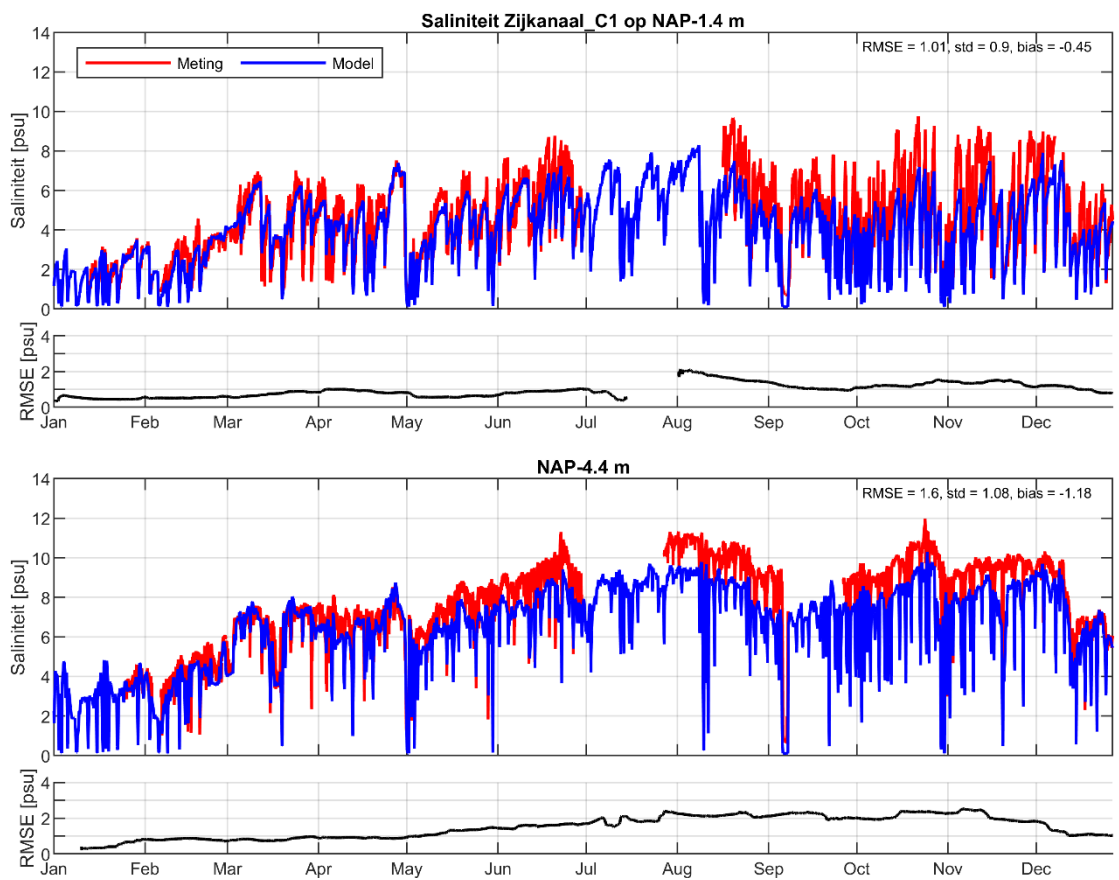
Net als in de kalibratieperiode wordt het zoutgehalte bij de NDSM-pier overschat in het model. Vlakbij de waterspiegel is de gemiddeld fout iets groter dan in 2015 (1,0 psu tegenover 0,9 psu). Vooral in de maand maart is bij het oppervlak een opvallend ander gedrag te zien in het model. De gemodelleerde verhoging in mid-maart van ongeveer 2 psu (ongeveer 1000 mg/l Cl) is in de meting afwezig. Op -6,4 m NAP presteert het model in 2018 iets beter dan in 2015 (RMSE van 1,3 psu (ongeveer 720 mg/l Cl) tegenover 1,6 psu (ongeveer 890 mg/l Cl)).

De metingen bij Diemen tonen dat de zoutindringing op het ARK groter was dan in 2015. Ook het model berekend een grotere zoutindringing in 2018. Het model is dus in staat om deze relatieve effecten weer te geven. Net als in de kalibratieperiode lijkt de timing van de pieken in het model goed te zijn, maar wordt de hoogte van de pieken (en ook de frequentie) overschat. Opgemerkt wordt dat de zouttong bij Diemen gevoelig is voor veel detailprocessen, zoals het debiet door het ARK, stratificatie in het NZK, verticale menging in het Binnen-IJ, etc. De grote onzekerheid in de randvoorwaarden (waterbalans en zoutlek bij IJmuiden) heeft daardoor al snel een afwijking bij Diemen tot gevolg.

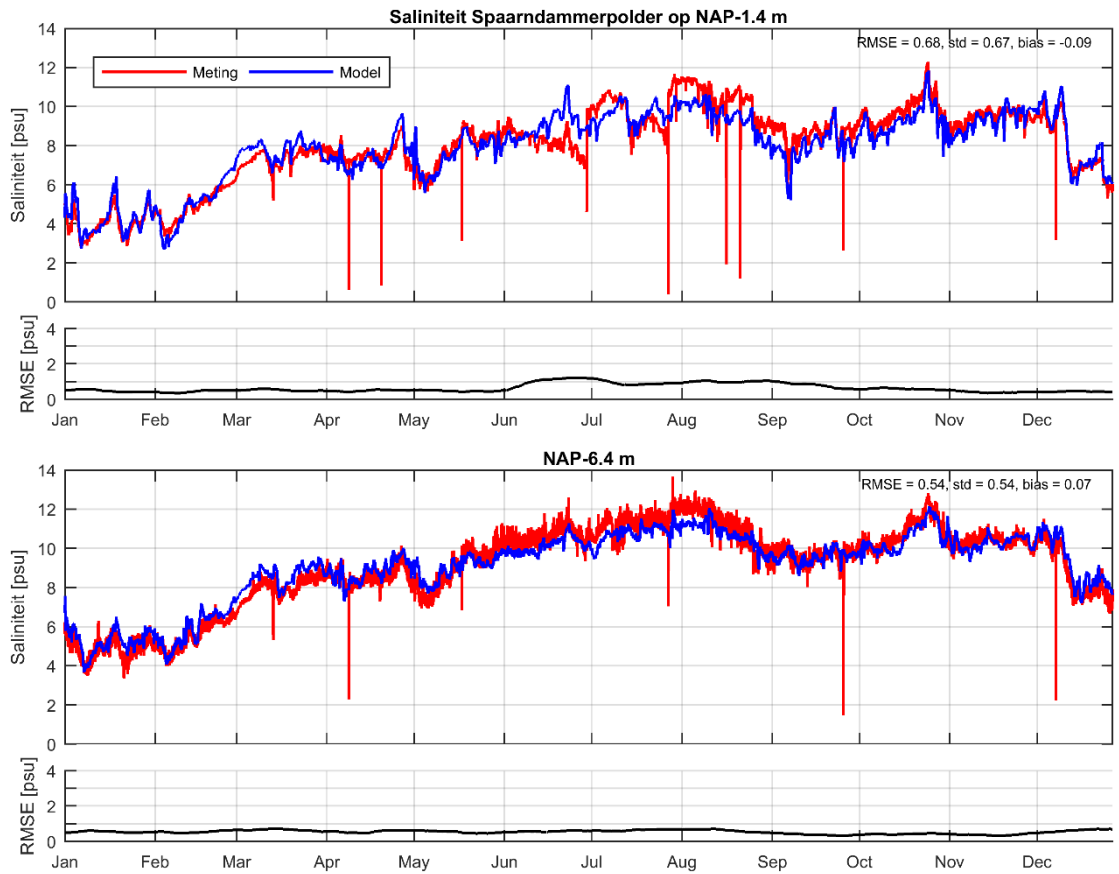
Zoals beschreven in paragraaf 5.3 is er een bellenscherm geplaatst in de mond van het ARK dat in de periode van eind juli tot eind december periodiek actief was. In de vergelijking tussen het model en de metingen bij Diemen is geen duidelijke trendbreuk te zien tussen de periode voor en na eind juli. Het effect van het bellenscherm is in deze resultaten dus niet (over)duidelijk aanwijsbaar. Met het model zou dit in een vervolgstudie verder onderzocht kunnen worden.



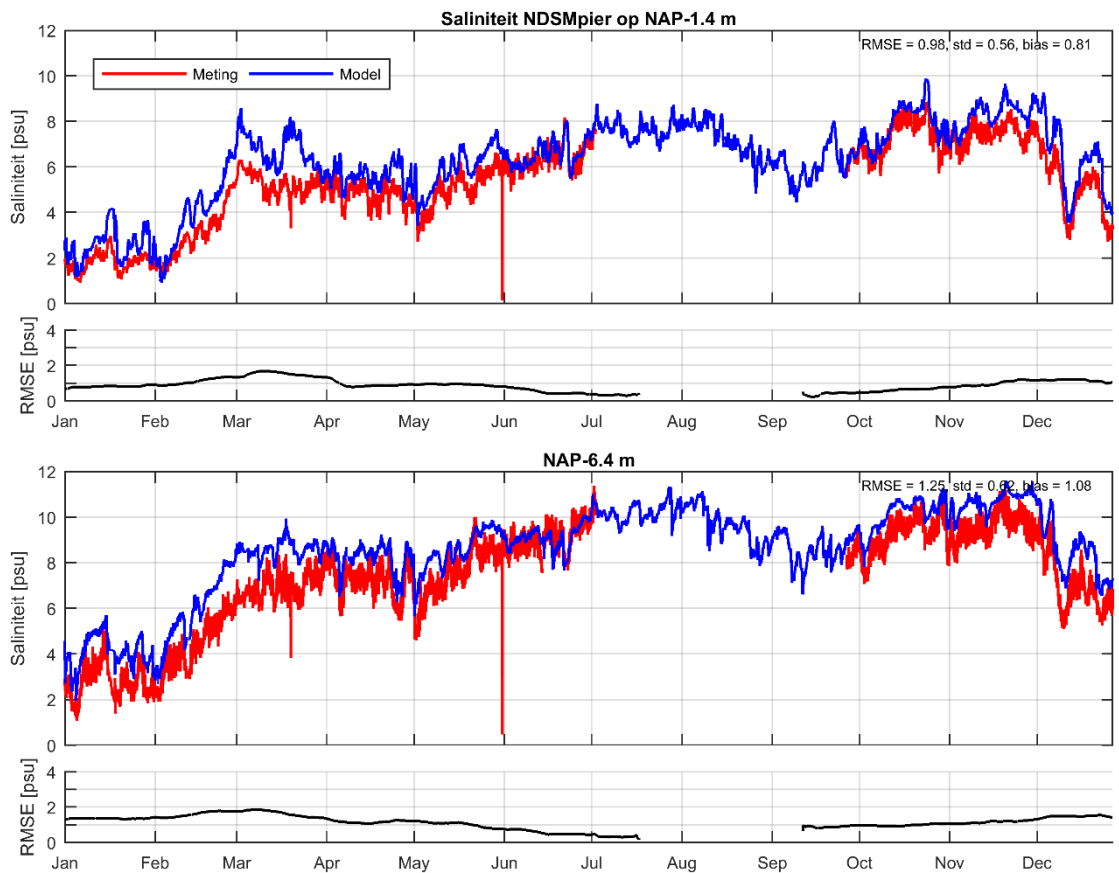
Figuur 5-21 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Binnenspuikanaal.



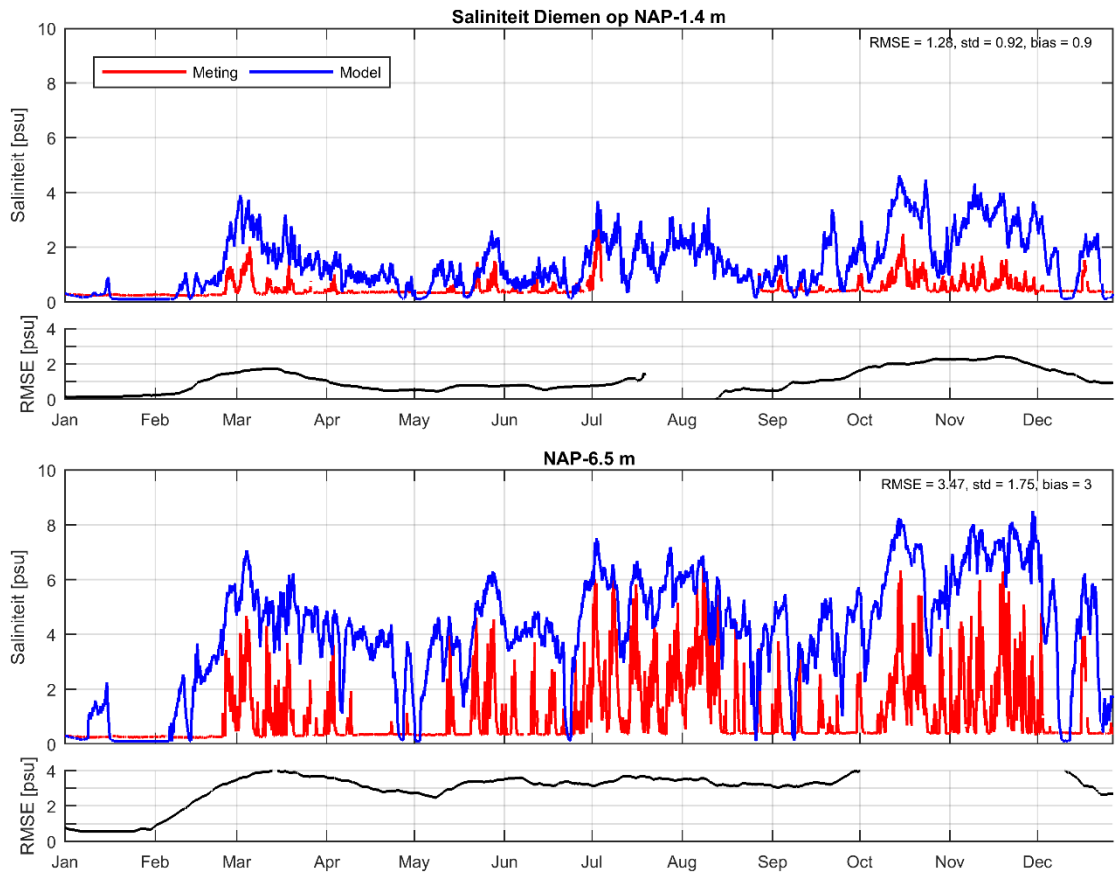
Figuur 5-22 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Zijkanaal C.



Figuur 5-23 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Spaarndammerpolder.



Figuur 5-24 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation NDSM-pier.

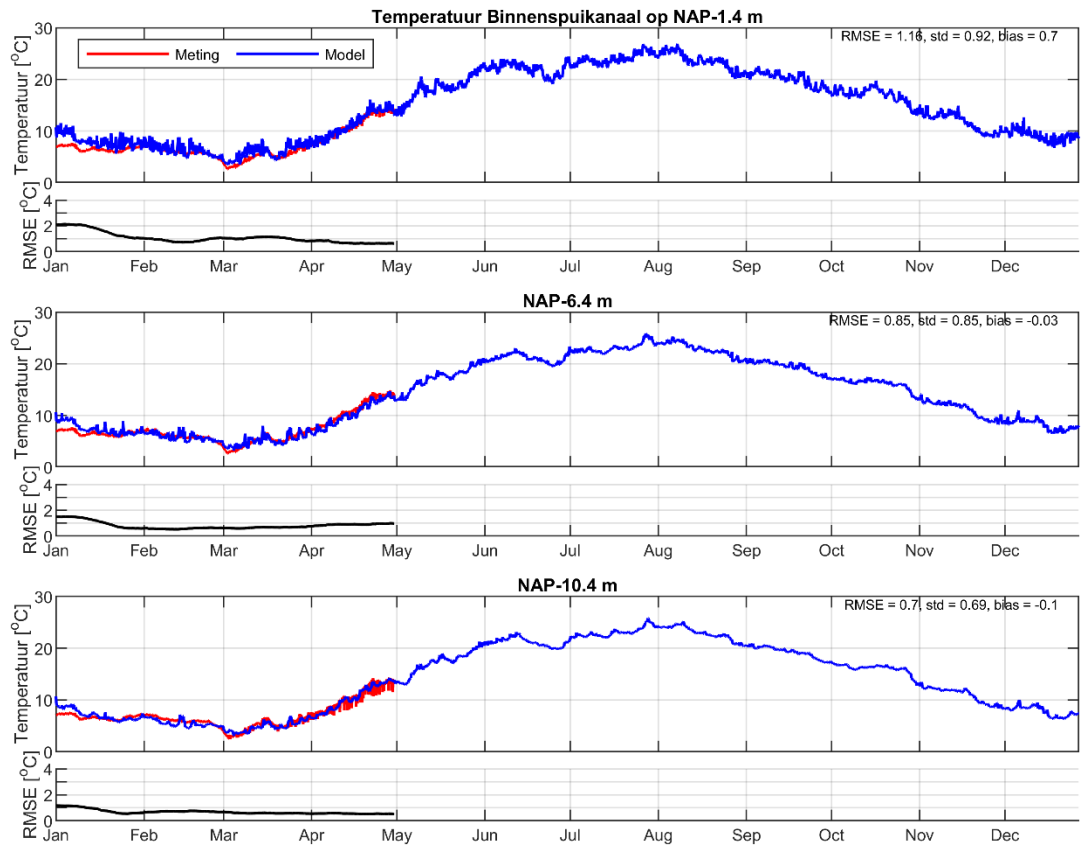


Figuur 5-25 Gemeten en gesimuleerde saliniteit bij het meetstation Diemen.

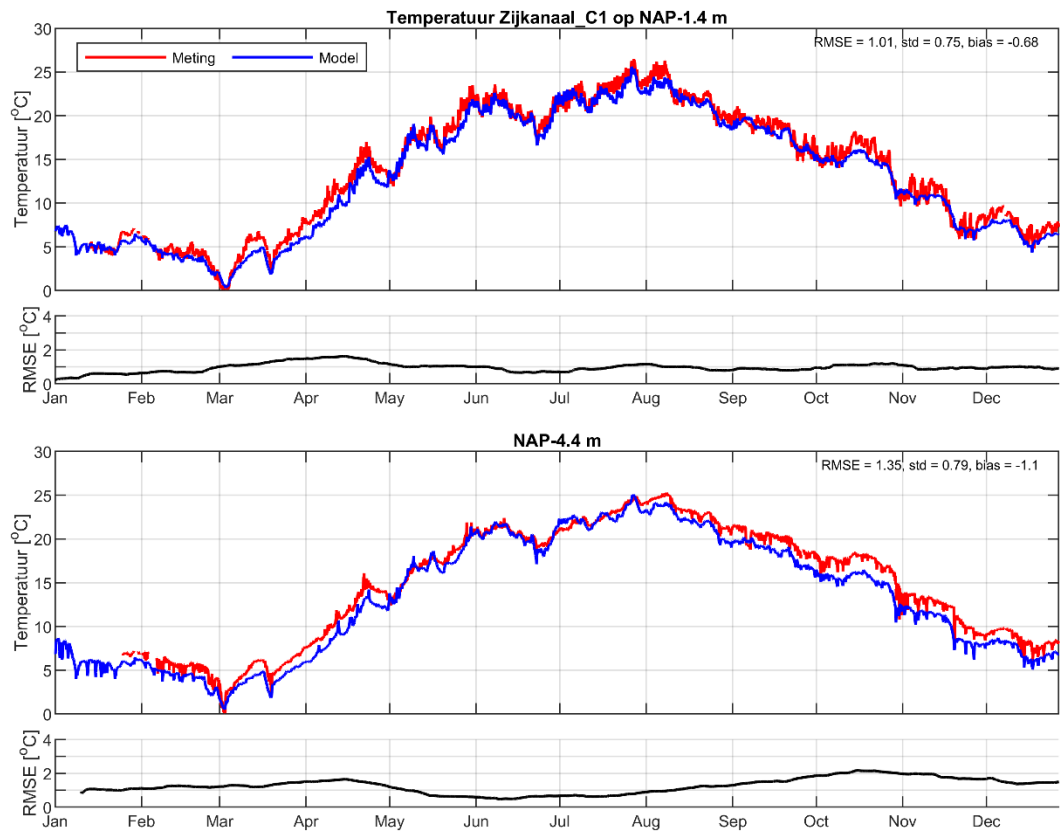
5.5.4.2 Vergelijking temperatuur

Vergelijkbaar met de kalibratiesimulatie voor 2015 wordt de jaarlijkse temperatuursvariatie op alle locaties goed gevolgd. Wel is het opvallend dat de fout in de temperatuur toeneemt (vooral in de periode van maart tot juni) van IJmuiden tot Diemen. Dit zou kunnen duiden op een te lage temperatuur in de randvoorwaarde van de lozingen in het ARK (bijvoorbeeld bij de Irenesluizen). Zoals beschreven in paragraaf 4.3.4 is de gemeten temperatuur bij Diemen gebruikt voor alle debietrandvoorwaarden. Eventuele grote ruimtelijke verschillen in watertemperatuur worden op de rand van het model dus niet meegenomen. Opgemerkt wordt echter dat dezelfde aanpak is gehanteerd voor 2015, waar de temperatuur wel goed werd weergegeven in het model. Op alle locaties wordt de temperatuur in de zomermaanden het best gevolgd (RMSE tussen de 0,5°C en 1°C). In het voor- en najaar is de RMSE over het algemeen in de orde 1,5°C - 2°C.

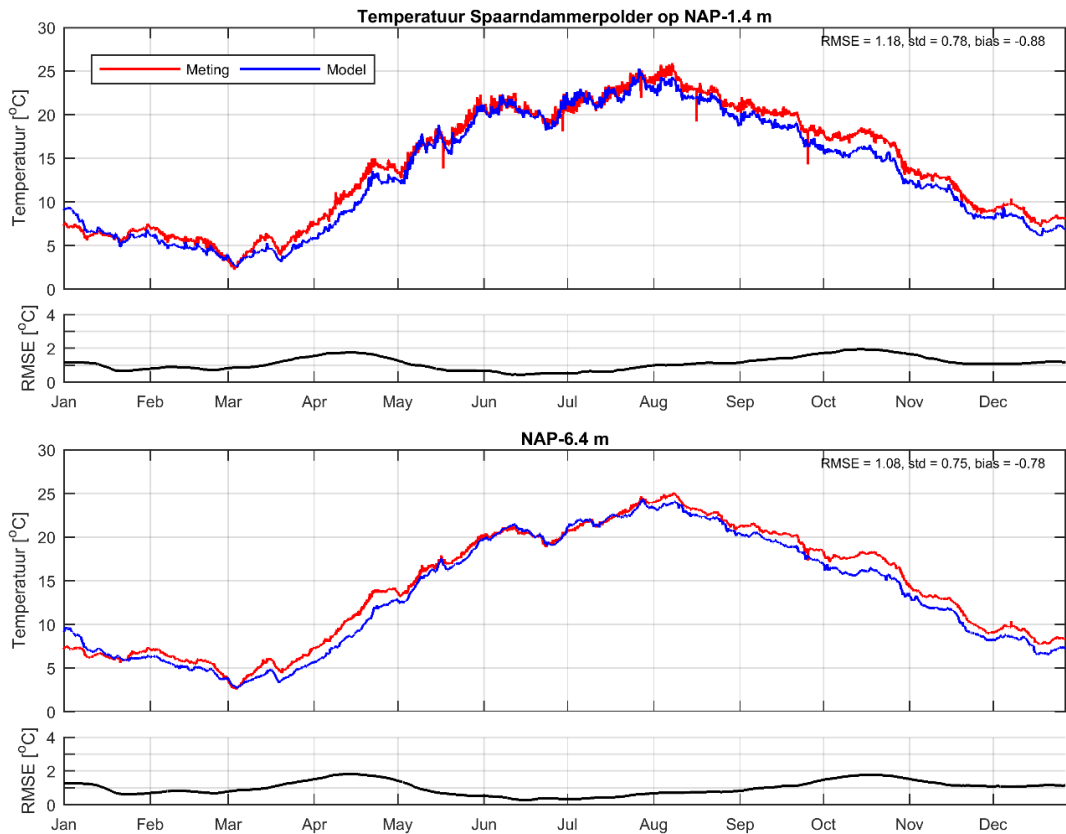
In tegenstelling tot 2015 wordt de temperatuur bij NDSM ook in de zomermaanden goed gevolgd.



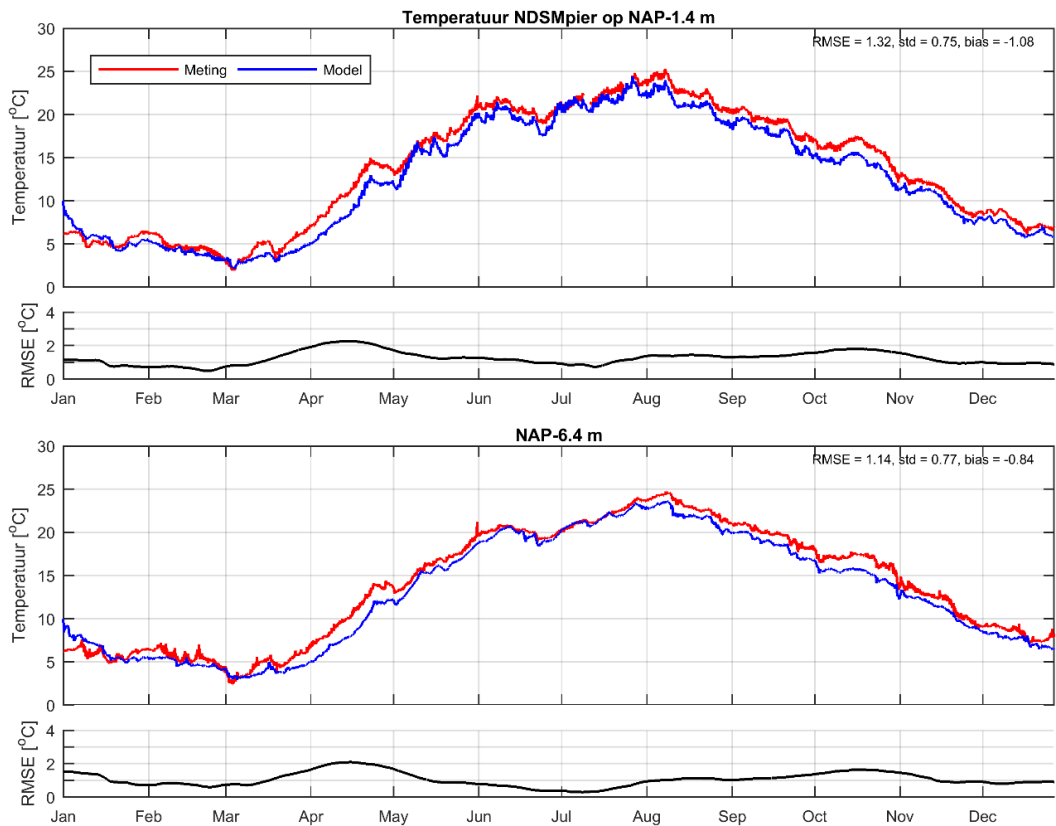
Figuur 5-26 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Binnenspuikanaal.



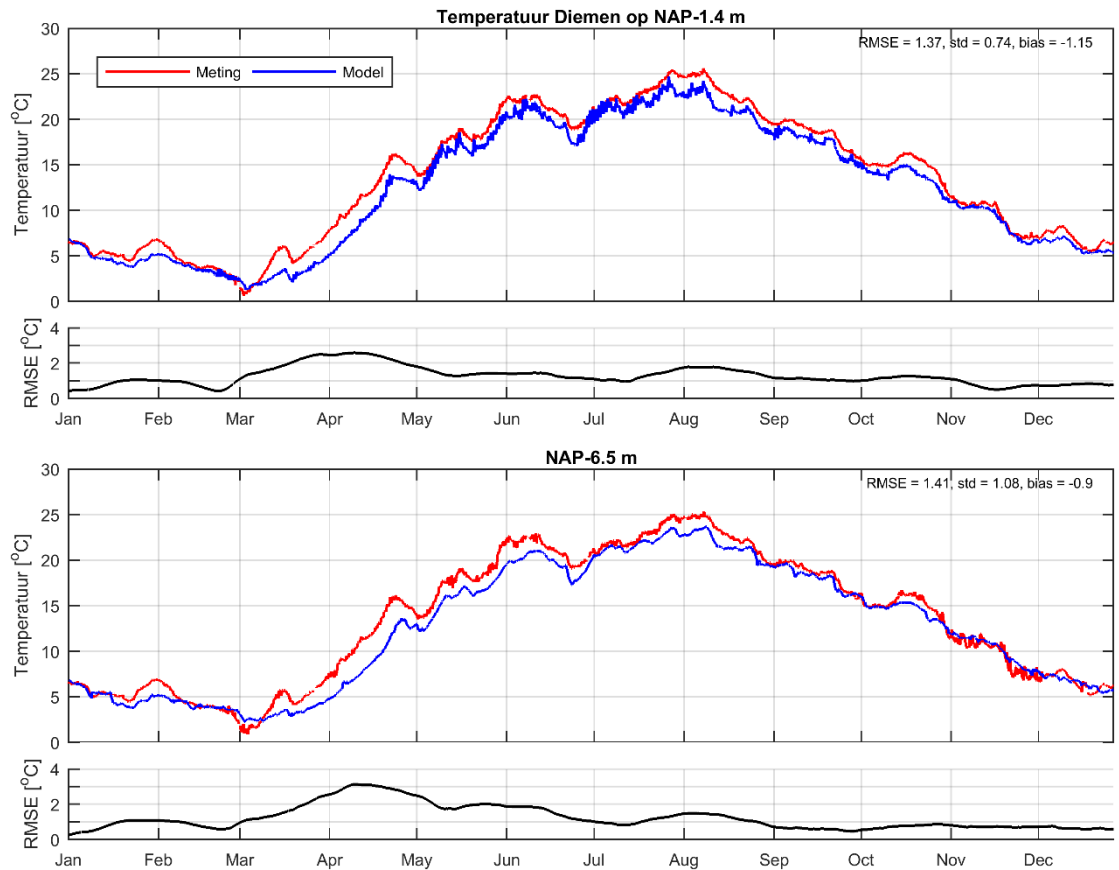
Figuur 5-27 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Zijkanaal C.



.Figuur 5-28 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation NDSM pier.



.Figuur 5-29 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Spaarndammerpolder.



Figuur 5-30 Gemeten en gesimuleerde temperatuur bij het meetstation Diemen.

5.6 Conclusies kalibratie en validatie

Gevoeligheidssimulaties hebben aangetoond dat de prestatie van het model vooral gevoelig is voor de waterbalans en schutgegevens bij IJmuiden. De horizontale en verticale resolutie en de geteste numerieke instellingen (viscositeit, diffusiviteit, etc.) bleken vrijwel geen invloed te hebben op de prestatie van het model.

5.6.1 Zout

Op basis van vergelijkingen met de beschikbare zoutmetingen (100-punten metingen, stationsmetingen) kan geconcludeerd worden dat het D-HYDRO model goed presteert in het grootste gedeelte van het Noordzeekanaal. In het oostelijke gedeelte van het Noordzeekanaal (vanaf ongeveer km 13-15) wordt de verticale menging in het model onderschat. Dit leidt tot een overschatting van het zoutgehalte nabij de NDSM pier, het Binnen-IJ en in de mond van het ARK.

De prestatie op de verschillende locaties kan als volgt worden samengevat:

- Op het grootste gedeelte van het Noordzeekanaal worden zowel de stationsmetingen (o.a. Binnenspuikanaal en Spaarndammerpolder) als profielmetingen zeer goed gereproduceerd door het model. De afwijkingen bij het Binnenspuikanaal en Spaarndammerpolder zijn in zowel 2015 als 2018 over het algemeen tussen de 0,5 en 1 psu (ongeveer 250 tot 500 mg/l Cl).
- Verder naar het oosten (bij de NDSM pier) wordt het zoutgehalte overschat door het model. Aan het oppervlak is de fout gemiddeld 1 psu (ongeveer 500 mg/l Cl) en halverwege de waterkolom (-6,4 m NAP) is de overschatting ongeveer 1 tot 2 psu (ongeveer 500 tot 1000 mg/l Cl).

- Bij Diemen wordt het zoutgehalte zowel bij het oppervlak als bij de bodem overschat. Zowel in 2015 als 2018 lijkt de timing van de pieken in het model goed te zijn, maar wordt de hoogte van de pieken (en de frequentie) overschat. In 2015 treden aan het oppervlak bijvoorbeeld pieken op van 1-3 psu (ongeveer 500 tot 1500 mg/l Cl), terwijl het maximale zoutgehalte in de metingen 1 psu is (ongeveer 500 mg/l Cl).
- Hoewel de absolute zoutgehalten bij Diemen overschat worden is het model wel in staat om de toename van de zoutindringing in 2018 ten opzichte van 2015 goed weer te geven.

5.6.2 Temperatuur

Op basis van de vergelijkingen met de beschikbare temperatuursmetingen (100-punten metingen, stationsmetingen) kan geconcludeerd worden dat het D-HYDRO model in staat is om de temperatuur goed weer te geven. Wel zijn er enkele opvallende verschillen geobserveerd die gerelateerd lijken te zijn aan warmtelozingen en de voorgeschreven temperatuur bij de debietrandvoorwaarden.

De volgende deelconclusies kunnen getrokken worden:

- In 2015 is op alle locaties de afwijking van het model over het algemeen rond de 0,5 en 1 °C.
- Uitzonderingen op de goede prestatie in zijn:
 - de periode eind juni tot eind augustus 2015 bij de NDSM pier, waar de temperatuur in de metingen een aantal graden hoger is dan in het model. De scherpe overgangen rond eind juni en eind augustus en het feit dat dit niet in 2018 wordt geobserveerd geeft twijfels over de betrouwbaarheid van de metingen. Het is echter mogelijk dat deze tijdelijke afwijking gerelateerd is aan industriële warmtelozingen die op een schematische manier in het model zijn meegenomen.
 - In alle 100-puntenmetingen (2 in 2015 en 1 in 2018) is rond km 13 en km 16 een warmtepluim te zien die gemengd is over de bovenste 5 m. In het model ligt de warmtepluim echter een aantal kilometer verder bovenstrooms en is de pluim gemengd over de bovenste 3 m. Ook dit lijkt te kunnen worden gerelateerd aan de implementatie van de warmtelozingen.
 - In 2018 wordt vergelijkbaar met 2015, de jaarlijkse temperatuursvariatie goed gevolgd, maar wordt de temperatuur (vooral bij de oostelijke meetstations) onderschat (0,5°C tot 1°C in de zomermaanden en 1,5°C tot 2°C in het voor- en najaar). Hoewel de temperatuur bij de debietrandvoorwaarden op een vergelijkbare manier zijn gedefinieerd als in de simulatie voor 2015.

5.6.3 Waterstanden

Voor alle meetlocaties geldt dat de waterstand zowel op korte termijn (pseudo getij) als op langere termijn (van dagen tot weken) goed wordt weergegeven in het model. Het verhang op het ARK wordt in het model overschat (+25%), terwijl het verhang in het oostelijke gedeelte van het NZK zeer goed wordt weergegeven. In het westelijke gedeelte van het NZK lijkt het model het verhang te onderschatten (-75%), hoewel dit gebaseerd is op metingen vlakbij het spui-maal complex, waar lokale effecten een rol kunnen spelen (dichtheidsverschillen, snelheidshoogte).

De volgende deelconclusies kunnen getrokken worden:

- Op een schaal van 7 dagen is het gemiddelde verschil tussen de -5 cm en +5 cm.
- De goede prestatie op langere termijn is gerelateerd aan de correcties die zijn gedaan op de waterbalans.
- Waterstandsvariaties met een periode van ongeveer 12 – 24 uur, het pseudogetij, worden goed weergegeven in het model. Op een aantal geïsoleerde events na, worden

vrijwel alle schommelingen op deze tijdschaal door het model gereproduceerd. Dit geeft vertrouwen in de spui- maaldebieten zoals ze zijn opgenomen in het model.

- Het verhang tussen Nieuwegein en Surinamekade (ARK + deel Binnen-IJ) wordt in het model licht overschat (1,6 cm in de meting, 2,0 cm in het model). Dit zou het gevolg kunnen zijn van een overschatting van de bodemruwheid of een onbetrouwbaarheid in de ruimtelijke verdeling van de waterbalans.
- Het verhang tussen Surinamekade en Buitenhuisen (oostelijke gedeelte NZK) wordt goed weergegeven in het model (1,6 cm in de meting, 1,4 cm in het model).
- Het verhang tussen Buitenhuisen en IJmuiden Binnen wordt in het model onderschat (2,1 cm in de meting, 0,5 cm in het model). Opgemerkt wordt dat het meetpunt bij IJmuiden Binnen direct naast het spui- maalcomplex ligt. De waterstand kan dus beïnvloed worden door zeer lokale effecten bij de spuikokers en inlaat naar het maalcomplex (dichtheden, snelheidshoogte).

5.6.4 Debieten

De debieten worden bij Weesp en Maarssen, zoals verwacht, goed weergegeven. Dit toont aan dat de correcties op de waterbalans op correcte wijze zijn uitgevoerd. Het debiet in IJmuiden is ten gevolge van alle correcties op de waterbalans met 9% afgenomen in 2015 en 18% in 2018.

6 Discussie

In dit hoofdstuk zullen eerst een aantal instellingen en randvoorwaarden van het model worden beschouwd. Hierbij zal ingegaan worden op de grootste onzekerheden in de modelinvoer en mogelijke technieken die in de toekomst gebruikt zouden kunnen worden. Vervolgens zal in paragraaf 6.2 worden geëvalueerd in hoeverre het huidige D-HYDRO model ingezet kan worden voor de beoogde modeltoepassingen.

6.1 Aandachtspunten voor modelinvoer en modelinstellingen

6.1.1 Boezemmodel

Tijdens de ontwikkeling van het model bleek dat de prestatie van het model sterk afhangt van de nauwkeurigheid van de debietrandvoorwaarden. Als basis is gebruik gemaakt van de debietrandvoorwaarden van het Boezemmodel. Voor de opzet van het Boezemmodel heeft Waternet op ongeveer 900 locaties debietrandvoorwaarden gegenereerd. Het hergebruiken van die kennis is natuurlijk van grote waarde. Gedurende het project bleek wel dat voor de toepassing van Waternet andere details van belang zijn dan voor de modellering van het NZK-ARK. Waar voor Waternet de waterbalans in de boezems vooral van belang is, is voor het NZK-ARK systeem vooral de waterbalans op het NZK en ARK van belang. Met behulp van enkele correcties zijn de debietrandvoorwaarden beter geschikt gemaakt voor het NZK-ARK model, maar er blijft een aantal onzekerheden. Om het NZK-ARK model eenvoudig voor andere jaren dan 2015 en 2018 in te zetten, is het van belang dat het Boezemmodel verder ontwikkeld wordt. Hieronder worden een aantal aandachtspunten opgesomd:

- Het Boezemmodel is niet gekalibreerd op de debieten bij Maarssen en Weesp, zie paragraaf 4.3.3.1. Hierdoor wijken de debieten bij Maarssen en Weesp regelmatig zo'n 5-10 m³/s af ten opzichte van de metingen. In de huidige studie zijn de debietrandvoorwaarden bovenstreams van Weesp hiervoor gecorrigeerd, maar voor een generieke toepassing voor andere jaren is het aan te bevelen om dit in het Boezemmodel te verbeteren.
- Zoals geconcludeerd in paragraaf 4.3.2.3 komen de debietrandvoorwaarden in het Boezemmodel bij Schellingwoude niet overeen met de werkelijkheid. De debieten hebben het verkeerde teken (2,7 m³/s onttrekking in plaats van jaargemiddelde lozing van ongeveer 2 à 3 m³/s) en zijn voor alle jaren constant opgelegd in plaats van de sterke seizoensvariatie in werkelijkheid.
- Na het doorvoeren van bovenstaande aanpassingen (vooral de eerste aanpassing) lijkt de waterbalans ten oosten/zuiden van Weesp betrouwbaar. Ten westen van Weesp blijft de betrouwbaarheid van de waterbalans echter onzeker. In de huidige studie is de waterbalans sluitend gemaakt door de spui- maaldebieten bij IJmuiden te corrigeren. Dit is een gangbare aanpak die ook in eerdere studies is gehanteerd, omdat het bekend is dat de registraties van de spui- maaldebieten bij IJmuiden onnauwkeurig zijn. In paragraaf 4.3.3.2, is echter gebleken dat de benodigde correctie op de spui- maaldebieten sterk varieert over het jaar. Bovendien verschillen de jaargemiddelde correcties in 2015 (-9%) en 2018 (-18%). Dit wekt het vermoeden dat de fout in de waterbalans niet alleen veroorzaakt wordt door de registraties van de spui- maaldebieten, maar dat er ook elders tussen IJmuiden en Weesp posten ontbreken of dat bepaalde posten onnauwkeurigheden bevatten (bijvoorbeeld de open verbinding met de Amstel).

6.1.2 Schutdata IJmuiden

Naast een nauwkeurige waterbalans is ook een goede schematisatie van de zoutflux bij IJmuiden van belang voor de prestatie van het model. De zoutflux bij de scheepvaartsluizen hangt nauw samen met de deur-open-tijden. De data die door RWS is geleverd bevat niet expliciet de deur-open-tijden. Wel wordt er een begin- en einddatum van een schutting weergegeven. Deze is echter niet gelijk aan de deur-open-tijden, zie paragraaf 4.3.2.1. Voor verdere ontwikkeling van het model is het van belang dat er toegang komt tot de exacte deur-open-tijden.

6.1.3 Schematisatie van de zoutlast bij IJmuiden

Op basis van de geleverde schutgegevens en de beschikbare functionaliteit in D-Flow FM is een routine opgezet waarmee offline randvoorwaarden worden gegenereerd voor de water- en zoutuitwisseling bij de binnendeuren van de scheepvaartsluizen in IJmuiden, zoals beschreven in paragraaf 4.3.2.1. In eerdere modelstudies met Delft3D4 is door Deltares een online koppeling tussen Delft3D4, COSUMO en WANDA-Locks toegepast om de zoutuitwisseling te modelleren (Bijlsma en Weiler, 2016). Beide methodes hebben sterke en zwakke punten. Aangezien COSUMO (de software waarmee informatie tussen Delft3D4 en WANDA-Locks werd uitgewisseld en geïnterpreteerd) nog niet beschikbaar is in D-Flow FM was deze aanpak in de huidige studie niet mogelijk. Daarnaast is er recentelijk een nieuwe generieke methode opgezet om de zoutuitwisseling bij schutsluizen te simuleren, de Zeesluisformulering (Vreeken, 2019). Het is nuttig om in de toekomst de sterke punten van deze drie verschillende methodes te combineren. Hieronder wordt eerst een beknopte vergelijking gemaakt tussen de huidige aanpak en het online gekoppelde systeem van Bijlsma en Weiler (2016). Vervolgens wordt besproken wat de toegevoegde waarde van de Zeesluisformulering (ZSF) kan zijn en welke aandachtspunten er op dit moment worden voorzien.

6.1.3.1 Vergelijk huidige aanpak en online Delft3D – COSUMO - WANDA-Locks systeem

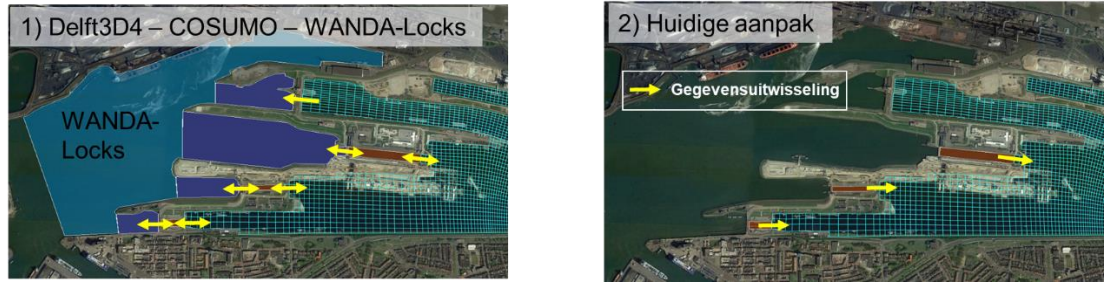
Een beknopte weergave van de gegevensuitwisseling in de Delft3D4 – COSUMO – WANDA-Locks koppeling (hierna de 'online koppeling') en in de huidige aanpak is te zien in Figuur 6-1.

De grootste verschillen tussen beide methodes zijn samengevat in onderstaande tabel:

	Delft3D4 – COSUMO – WANDA-Locks system	Huidige aanpak
Rand van het model	Op zee	Bij de buitensluisdeur
Variatie zoutgehalte sluisenkolk	Onder invloed van voorgaande schuttingen	Vaste waarde bij aanvang van iedere schutting
Gegevensuitwisseling	Online 2-richtingen	Offline
Groote uitwisselingsdebieten	Op basis van actuele dichtheidsverschillen tussen sluis en voorhaven	Op basis van vast aangenomen dichtheidsverschil, omdat de randvoorwaarden offline worden gegenereerd
Verticale schematisatie	Sluis is in 1D gemodelleerd □ uitwisseling is als blokprofiel geschematiseerd (bovenste 40% uitstroom, onderste 40% instroom)	Sluis is in 3D gemodelleerd □ realistisch uitwisselingsprofiel

Samengevat zou gezegd kunnen worden dat de online koppeling voornamelijk uitblinkt in het feit dat de uitwisseling door zowel de binnen- als buitendeuren wordt meegenomen en dat er online gegevens worden uitgewisseld. Een belangrijk aspect is dat in die aanpak de zoutlek afneemt als de Velserkom zouter wordt door verzilting van het Noordzeekanaal. Ook is het mogelijk om na te gaan wat de effecten zijn van wijzigingen in het schutproces (bijv. van

maatregelen om de zoutindringing te beperken). Het sterke punt van de huidige aanpak is vooral dat de uitwisselingsdebiëten en zoutgehalten realistisch worden verdeeld over de verticaal en dit aspect kan goed worden toegevoegd aan de COSUMO/WANDA-Locks methode of meegenomen bij de implementatie van de Zeesluisformulering (zie volgende paragraaf).



Figuur 6-1: Beknopte weergave van de gegevensuitwisseling in de online Delft3D4 – COSUMO – WANDA-Locks koppeling (Deltares, 2016) en de huidige aanpak

6.1.3.2 Mogelijke meerwaarde inzet ZSF en aandachtspunten

In samenwerking met RWS heeft Vreeken (2019) een formulering opgezet waarmee de water- en zouttransporten die optreden door de operatie van een schutsluis beschreven kunnen worden; de Zeesluisformulering (ZSF). In deze formulering worden de volgende processen onderscheiden: nivelleren, kolkuitwisseling, scheepvaart en de spui- en spoeldebieten door de kolk.

Het plan bestaat om de ZSF in te bouwen in D-Flow FM. Daarmee zou de ZSF toegepast kunnen worden voor het NZK-ARK model. Met de ZSF zouden de sterke punten van de twee methodes in paragraaf 6.1.3.1 gecombineerd kunnen worden. Met de ZSF zou dan zowel de uitwisseling bij de binnen- als buitendeuren gesimuleerd kunnen worden. Door ook in het buitengebied een D-Flow FM model aan te maken kan een eventuele interactie tussen het door het spui- maalcomplex geloosde ‘zoete’ water en de buitenhavens van de sluisen gemodelleerd worden. Wel is het wenselijk om de realistische verticale verdeling van de uitwisselingsdebiëten, zoals in de huidige aanpak, mee te nemen in deze ZSF methode. Dit leidt tot een aantal aandachtspunten:

- De individuele zoutpulsen van schuttingen zitten nog niet in de ZSF (er wordt een tijds-gemiddelde zoutlast berekend). Deze zoutpulsen zijn wel nodig voor toepassingen als IJmuiden met nabije zoutafvoer via spui/gemaal en SO. Ze zouden o.b.v. het tangenshyperbolicus-verloop kunnen worden gereconstrueerd. Maar hiervoor dient nog actie te worden ondernomen.
- De ZSF werkt met diepte gemiddelde zoutgehalten (terwijl voorhavens en kolk vaak gelaagd zijn - althans in geval van IJmuiden).
- De interactie met schepen zit in de ZSF, maar nog op een schematische manier. De volume-uitwisseling ten gevolge van in- en uitvaren vindt plaats terwijl ook de kolkuitwisseling bezig is. De interactie tussen die twee kan in werkelijkheid vrij sterk zijn. Bijvoorbeeld als er een groot schip uitvaart, zal de retourstroming daarvan (naar binnen) ervoor zorgen dat er (haast) geen water de kolk uit kan stromen als gevolg van de dichtheidsstroming.

6.1.4 Scheepvaartmenging op het ARK en NZK

De zoutdynamiek op het Noordzeekanaal kan met het huidige D-HYDRO model nauwkeurig gesimuleerd worden. De zoutindringing richting het Amsterdam-Rijnkanaal wordt echter zowel in 2015 als 2018 overschat. Opgemerkt wordt dat in 2018 een bellenscherm is geplaatst in de monding van het ARK. Dit bellenscherm was echter pas vanaf eind juli periodiek operationeel. Aangezien dit bellenscherm niet in de modellering is opgenomen, zou

er verwacht kunnen worden dat het model de zoutindringing vanaf eind juli overschat. Het verklaart echter niet de overschatting eerder dat jaar en in 2015. Op basis hiervan wordt vermoed dat er een specifiek proces ontbreekt/onderschat wordt wat vooral van belang is voor het ARK. Een van de mogelijke processen die een rol kan spelen en die niet gemodelleerd wordt is menging door scheepvaart. Aangezien het ARK en Binnen-IJ minder diep is dan het NZK is het mogelijk dat menging door binnenvaartschepen hier een rol speelt. Verticale menging door schepen kan ook op andere locaties spelen (bijvoorbeeld ten gevolge van schepen met een grote diepgang in het westelijke gedeelte van het NZK), hoewel dit uit de vergelijking met de 100-punten metingen minder sterk naar voren kwam. Ook zou verticale menging door wind een grotere rol kunnen spelen op het ARK en Binnen-IJ. Hoewel menging door wind wel expliciet in rekening wordt gebracht in het model, zou mogelijk een andere instelling (voor bijvoorbeeld de windschuifspanning) of meer gedetailleerde lokale windpatronen een verschil kunnen maken.

6.1.5 Wrijvingscoëfficiënten

In de huidige studie zijn geen gevoeligheidsimulaties uitgevoerd voor de windschuifspanningsformulering en de bodemruwheid. Voor beide instellingen wordt een aanvullende gevoeligheidsanalyse aanbevolen.

De keuze voor de windschuifspanningsformulering is onderdeel van een bredere discussie, aangezien er veel verschillende methodes worden toegepast in de opgezette 6^e generatiemodellen. Verwacht wordt dat een andere instelling voor de windschuifspanning voornamelijk een effect zal hebben op de gemodelleerde watertemperatuur (meer of minder verdamping en convectie). Daarnaast zou het ook een effect kunnen hebben op de verticale menging door wind.

Variaties in bodemruwheid zullen vooral doorwerken in de berekende vervallen op het ARK en NZK. Op de prestatie van het model met betrekking tot zout en temperatuur wordt geen grote invloed verwacht.

6.1.6 Conclusie

In de voorliggende studie is een 6^e generatie D-HYDRO model opgezet voor NZK en ARK. Hiervoor is maximaal gebruikgemaakt van de geometrische data van Baseline, en de best beschikbare informatie over de afvoeren in het gebied uit het Boezemmodel van Waternet. Deze informatie is verder gecontroleerd op geometrische artefacten ten gevolge van de automatisch procedures. Verder is de waterbalans sluitend gemaakt, o.a. door correctie van debieten op het ARK, bij de Oranjesluizen en bij IJmuiden. Daarnaast zijn gevoeligheidsanalyses gedaan voor diverse fysische en numerieke parameters. Hiermee is de best beschikbare modelbeschrijving voor dit gebied verkregen. Dit biedt een uitgelezen mogelijkheid om te evalueren in hoeverre het model geschikt is voor de beoogde toepassingen, en welke verdere ontwikkelingen het meest kunnen bijdragen aan verdere verbeteringen van het model.

6.2 Evaluatie prestatie model met betrekking tot beoogde toepassingen

Zoals beschreven in paragraaf 1.3 is de wens van RWS om het D-HYDRO model uiteindelijk in te kunnen zetten voor de volgende toepassingen:

- 1 Aanleg en onderhoud. Modelinzet voor verkenning en planstudies.
- 2 Omgevings- en assetmanagement (Vergunningverlening en handhaving). Inzet voor de Emissie-Immisietoets en voor specifieke gevallen.
- 3 Verkeer- en watermanagement. Op termijn zullen operationele systemen en BOS nodig zijn.
- 4 Kennisontwikkeling, waarbij het model een van de instrumenten is (denk bijv. aan waterkwaliteitsmodellering).

Voor deze toepassingen zijn verschillende modelaspecten van belang. Hieronder is een eerste opsomming gemaakt van de belangrijkste modelaspecten voor deze toepassingen:

- Reproduceren van relatieve effecten op zoutindringing: 1) en 4)
- Reproduceren van (effecten op) absolute zoutgehalten: 3), en in mindere mate 4) en 1)
- Reproduceren van absolute temperatuur: 2) en mogelijk 3) en 4)
- Operationele randvoorwaarden kunnen voorschrijven: 3) en in mindere mate 4)

Voor deze modelaspecten wordt hieronder geëvalueerd in hoeverre het huidige D-HYDRO model hiertoe in staat is. Bij deze evaluatie worden waar nodig recente/actuele onderzoeken gebruikt ter illustratie.

6.2.1 Reproduceren van relatieve effecten op zoutindringing

Zoals beschreven in paragraaf 5.6 geeft het model het gemeten zoutgehalte in het grootste gedeelte van het NZK correct weer. Vanaf de NDSM pier en in het ARK overschat het model het zoutgehalte. In de vergelijking tussen 2015 en 2018 valt echter wel op dat het model goed in staat is om de gemeten relatieve verschillen tussen beide jaren goed weer te geven. Het model kan dus over het algemeen in staat worden geacht om de relatieve effecten van verschillende droogte scenario's in kaart te brengen.

Het model wordt ook in staat geacht om de relatieve effecten op de zoutindringing te kunnen reproduceren voor een aangepaste netto zoutlast (door bijvoorbeeld aanpassingen aan de schutoperatie, of de aanleg van de Nieuwe Zeesluis). Een aandachtspunt hierbij is echter wel hoe deze netto zoutlast bij IJmuiden wordt opgelegd. Als het gaat om de relatieve effecten van ontwikkelingen die zich op de rand van het model bevinden is het namelijk altijd van belang dat er wordt nagegaan of deze ontwikkeling de randvoorwaarden beïnvloedt. Bijvoorbeeld, na de aanleg van de Nieuwe Zeesluis zal meer zout naar de Velserkom worden getransporteerd. Een hoger zoutgehalte in de Velserkom (de selectieve onttrekking even buiten beschouwing gelaten) heeft tot gevolg dat het dichtheidsverschil tussen de schutsluizen en de Velserkom kleiner zal worden. Hierdoor zal in werkelijkheid de uitwisselingsstroming verkleind worden. Dit effect kan alleen nauwkeurig gemodelleerd worden als de uitwisselingsstroming in het model afhankelijk is van het gemodelleerde zoutgehalte in de voorhaven. In het huidige D-HYDRO model worden de randvoorwaarden bij de sluisen offline gegenereerd, waarbij een zoutgehalte in de voorhaven wordt aangenomen. Een verhoging van het zoutgehalte in de Velserkom moet dus vooraf ingeschat worden (of iteratief bepaald worden). Voor dergelijke toepassingen is het van belang dat de sluis (en bij voorkeur ook de Buitenhaven) expliciet in de berekening wordt meegenomen, zoals bijvoorbeeld in geval van een koppeling met WANDA-Locks of de ZSF, zie paragraaf 6.1.3.2.

6.2.2 Reproduceren van (effecten op) het absolute zoutgehalte

Voor deze modeltoepassing zijn de eisen strikter dan beschreven in paragraaf 6.2.1. De prestatie voor zoutindringing zal dan voornamelijk vanaf NDSM pier en verder naar het oosten verbeterd moeten worden.

Op basis van de kalibratie- en validatieresultaten lijkt er in werkelijkheid tussen km 13 en de mond van het ARK meer verticale menging plaats te vinden dan in het model. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn scheepvaartmenging en menging door wind (paragraaf 6.1.4). Daarnaast zou het ook te maken kunnen hebben met de schematisatie van de warmtelozingen in het model, gezien de opvallende verschillen in de temperatuurprofielen tussen km 13 en km 19.

Het model is in staat om zowel in 2015 en 2018 het zoutgehalte op het NZK (tot aan NDSM pier) goed te reproduceren. Op basis hiervan lijkt de waterbalans goed in evenwicht te zijn met de schematisatie van de zoutlast bij IJmuiden. In beide posten zit echter onzekerheid. De onzekerheden in de waterbalans zijn beschreven in paragraaf 6.1.1. De onzekerheden in de zoutlast bij IJmuiden zijn voornamelijk gerelateerd aan de deur-open-tijden, zie paragraaf 0. Op basis van de goede resultaten voor 2015 en 2018 kan niet worden aangenomen dat dit evenwicht in de toekomst voor andere jaren ook zo zal liggen. Het is daarom van belang dat zowel de waterbalans wordt verbeterd als dat er toegang komt tot de werkelijke deur-open-tijden. Een van de manieren om de waterbalans te verbeteren is door het Boezemmodel verder te kalibreren. Dit zou actie vereisen van Waternet waarbij bij voorkeur samengewerkt wordt met RWS en Deltares. Een andere mogelijkheid is om bijvoorbeeld ook in het NZK gebruik te gaan maken van debietmetingen. Een debietmeting in het Binnenspuikanaal zou bijvoorbeeld veel onzekerheid over de spui- maalregistraties wegnemen. Een debietmeting halverwege het NZK zou helpen om meer zekerheid te krijgen over de benodigde correcties tussen dat meetpunt en Weesp.

6.2.3 Reproducieren van (effecten op) temperatuur

In paragraaf 5.6 is beschreven dat het model over het algemeen goed in staat is om de gemeten oppervlaktetemperatuur en temperatuurprofielen te reproduceren. Wel zijn er enkele opvallende verschillende geobserveerd die gerelateerd lijken te zijn aan warmtelozingen. Om het model geschikt te maken voor vergunningverlening is daarom een betere schematisatie en actualisatie van de industriële lozingen van belang. Daarvoor is aan de kant van RWS voor nodig dat actuele overzichten van de vergunde lozingen beschikbaar komen, inclusief basale constructieve details van de inlaat- en de uitlaatconstructie (doorsneden, dieptes), zodat deze op een correcte wijze in het model opgenomen kunnen worden. Vervolgens kan op basis van deze gegevens een schatting van het near-field gedrag gemaakt worden (initiële menging). Een punt van aandacht is het verschil tussen de vergunde en de daadwerkelijk opgetreden lozingen en temperatuur en/of zoutgehalteverschillen.

In het huidige D-HYDRO model is voor alle randvoorwaarden de gemeten temperatuur bij Diemen gebruikt. Naar aanleiding van de vergelijking voor 2018 lijkt het verstandig om in ieder geval voor de grootste debietrandvoorwaarden (Irenesluizen, schutsluizen IJmuiden, Gemaal Halfweg, Zaangemaal, lozingen vanuit de Vecht, etc.) lokale temperatuursmetingen/inschattingen te gebruiken.

6.2.4 Operationeel inzetten van model

Bij het operationeel inzetten van het model moet eerst worden nagedacht over wat men zou willen voorspellen met het model, en welke beslissingen men daarmee zou willen nemen. De aanpak zal sterk verschillen als de horizon van interesse maar enkele dagen is of 2 – 3 maanden.

In het eerste geval kan de assimilatie van het model met de laatst waargenomen metingen een beeld geven van de zoutverdeling in het systeem. Daarvoor zullen randvoorwaarden uit het nabije verleden voor de scheepvaartsluizen en de afvoeren praktisch online beschikbaar moeten zijn, en eventueel aangevuld met verwachtingen voor de komende dagen, bijv. op basis van weekpatronen voor de scheepvaart, verwachte rivierafvoeren en neerslag tot maximaal 2 weken vooruit (vergelijk de droogteberichten). Gezien de 'zwakke dynamica' is het vermoedelijk niet nodig de berekening frequent uit te voeren (bijvoorbeeld 1x per dag)

Als men verder vooruit wil kijken, bijv. 2 – 3 maanden verder om te zien hoe maatregelen uiteindelijk uitpakken, is het voorstelbaar dat met meerdere toekomstscenario's wordt gewerkt. De berekeningen kunnen minder vaak worden uitgevoerd maar zijn wel veel langer.

Ook hier geldt: welke beslissingen zou men op basis van de resultaten willen nemen, en zijn die daarvoor geschikt?

Ter indicatie, de rekentijd van het huidige model is ongeveer 1 dag per 100 dagen modeltijd (op 8 processoren). De prestaties lijken ook redelijk goed te schalen op meer processoren. Zo kunnen op 20 processoren ruim 160 dagen modeltijd in 1 dag worden gesimuleerd.

7 Conclusies en aanbevelingen

De hoofdconclusie voor deze studie is beschreven in paragraaf 7.1.1. Vervolgens geeft paragraaf 7.1.2 in meer detail de conclusies voor de kalibratie en validatie die is uitgevoerd voor de jaren 2015 en 2018. Op basis van deze resultaten is de prestatie van het huidige D-HYDRO model met betrekking tot de beoogde modeltoepassingen (zoals beschreven in paragraaf 1.3) geëvalueerd in paragraaf 7.1.3. Het hoofdstuk sluit vervolgens af in paragraaf 7.2 met aanbevelingen hoe het model verder verbeterd kan worden voor de beoogde toepassingen.

7.1 Conclusies

7.1.1 Algemeen

In de voorliggende studie is een 6^e generatie D-HYDRO model opgezet voor het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. Hiervoor is maximaal gebruikgemaakt van de geometrische data van Baseline, en de best beschikbare informatie over de afvoeren in het gebied uit het Boezemmodel van Waternet. Deze informatie is verder gecontroleerd op geometrische artefacten ten gevolge van de automatisch procedures. Verder is de waterbalans sluitend gemaakt, o.a. door correctie van debieten op het ARK, bij de Oranjesluizen en bij IJmuiden. Daarnaast zijn gevoeligheidsanalyses gedaan voor diverse fysische en numerieke parameters. Hiermee is op dit moment de best beschikbare modelbeschrijving voor dit gebied verkregen.

Bij de modelopzet is op enkele punten afgeweken van de basisinstellingen voor zesde-generatiemodellen (rand van het model niet tot aan de kruin van de dijken en de windschuifspanningsformulering).

7.1.2 Kalibratie en validatie

Op basis van vergelijkingen met de beschikbare metingen (100-punten metingen, en stationsmetingen) zijn de volgende conclusies getrokken over de prestaties van het huidige zesde-generatie D-HYDRO model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal (zie paragraaf 5.6 voor meer gedetailleerde conclusies):

- Met betrekking tot zoutgehaltenes en zoutprofielen presteert het model goed in het grootste gedeelte van het Noordzeekanaal. In het oostelijke gedeelte van het Noordzeekanaal (vanaf ongeveer km 13-15) wordt de verticale menging in het model onderschat. Dit leidt tot een overschatting van het zoutgehalte over de gehele waterkolom nabij de NDSM pier. Hoewel het Binnen-IJ en het ARK minder diep zijn werkt vooral de overschatting van het zoutgehalte in de bovenlaag in het oostelijke gedeelte van het NZK ook door naar deze gebieden
- Het model is in staat om de tijds- en ruimtelijke variatie van de watertemperatuur goed te reproduceren (vooral 2015). Wel zijn er enkele opvallende verschillen geobserveerd die gerelateerd lijken te zijn aan warmtelozingen en de gekozen aanpak voor de temperatuur bij de debietrandvoorwaarden.
- Voor alle meetlocaties geldt dat de waterstand zowel op korte termijn (pseudo getij) als op langere termijn (van dagen tot weken) goed wordt weergegeven in het model. Het verhang op het ARK wordt in het model overschat (+25%), terwijl het verhang in het oostelijke gedeelte van het NZK zeer goed wordt weergegeven. In het westelijke gedeelte van het NZK lijkt het model het verhang te onderschatten (-75%), hoewel dit gebaseerd is op metingen vlakbij het spui-maal complex, waar lokale effecten een rol kunnen spelen.

- De debieten worden bij Weesp en Maarssen, zoals verwacht, goed weergegeven. Dit toont aan dat de correcties op de waterbalans op correcte wijze zijn uitgevoerd.

7.1.3 Prestatie model met betrekking tot beoogde modeltoepassingen

Voor een uitgebreide evaluatie van het huidige model wordt verwezen naar paragraaf 6.2. In deze paragraaf worden alleen de belangrijkste conclusies op een rij gezet.

Aanleg en beheer

Het huidige model is in staat om relatieve effecten van maatregelen/ontwikkelingen op zoutindringing/temperatuur/stroming te reproduceren indien de zoutlast bij IJmuiden niet of beperkt beïnvloed wordt. In gevallen waar dit wel het geval is (bijvoorbeeld bij aanpassingen van het gebruik of de geometrie van de sluizen, of wanneer het zoutgehalte in de Velserskom door een ontwikkeling sterk zal veranderen) wordt aanbevolen om uit te zoeken hoe de wisselwerking tussen de Binnenhaven, sluis en Buitenhaven het beste gemodelleerd kan worden. De huidige offline aanpak waarbij het zoutgehalte in de sluis kolk constant wordt verondersteld voldoet dan niet.

Indien bij dergelijke studies ook het effect van maatregelen/ontwikkelingen op absolute zoutgehalten onderzocht moeten worden, dient het model op een aantal aspecten verder verbeterd te worden. Allereerst zal de waterbalans verder verbeterd moeten worden. Ook zal er meer zekerheid geboden moeten worden met betrekking tot de zoutlast bij IJmuiden. Hiervoor is het van belang dat de exacte deur-open-tijden beschikbaar komen. Daarnaast is in de huidige studie gebleken dat de verticale menging in het oostelijke gedeelte van het NZK en het Binnen-IJ onderschat wordt, waardoor de zoutgehalten op het ARK worden overschat. Het proces of combinatie van processen (mogelijk scheepvaartmenging, menging door lokale windeffecten, warmtelozingen, invloed uitwisseling bij Oranjesluizen, etc.) die hiervoor verantwoordelijk zijn, zullen eerst nog verder onderzocht moeten worden.

Vergunningverlening

Het huidige model is in staat om relatieve effecten van (warmte)lozingen op de nabije omgeving te onderzoeken. Een belangrijke voorwaarde is dat dergelijke lozingen zich voldoende ver van randvoorwaarden bevinden waar water in- en uit kan stromen (bijvoorbeeld bij schutsluizen, vlakbij aansluiting op de Amstel, etc.) en ver genoeg van andere, voorsnog schematisch ingebrachte, industriële lozingen. Mogelijk zal de resolutie lokaal verfijnd moeten worden om het gedrag van de pluim te kunnen weergeven.

Voor studies waarbij ook absolute temperaturen een rol spelen is het van belang dat de bestaande industriële lozingen worden geactualiseerd en dat ze op een meer gedetailleerde manier in het model worden ingebracht (op basis van een near-field analyse). Daarnaast is in de simulaties voor 2018 gebleken dat de temperatuursrandvoorwaarde voor de debietrandvoorwaarden verdere verbetering vereist.

Operationeel inzetten van het model

In de huidige studie is het D-HYDRO model gekalibreerd voor 2015 en gevalideerd voor 2018. Vooral het verwerken van de waterbalans en de randvoorwaarden bij de schutsluizen vereiste een aanzienlijke inspanning. Het opzetten van een operationeel model zal naar verwachting vooral op deze twee aspecten veel aandacht vereisen. Allereerst is het van belang dat er wordt nagegaan hoe een operationeel model van het NZK/ARK zou moeten worden ingezet (welke vragen zouden moeten worden beantwoord).

Kennisontwikkeling

Het huidige model is in staat om veel aspecten van de hydrodynamica goed weer te geven (zoutgehaltes, temperatuur, debieten, korte- en lange termijn waterstandsvariaties). Het kan daarmee als een instrument worden gebruikt om het systeem beter te leren kennen met betrekking tot deze aspecten, bijvoorbeeld door middel van gevoeligheidsanalyses voor de randvoorwaarden of voor de initiële conditie.

Indien voor kennisvragen een goede weergave van het absolute zoutgehalte/temperatuur van belang zijn gelden dezelfde conclusies als hierboven. Indien kennisvragen zich richten op processen die nog niet expliciet zijn gevalideerd (kunnen interne golven weergegeven worden?, hoe scheepvaartmenging te parameteriseren?) is aanvullend onderzoek aanbevolen.

7.2 Aanbevelingen

Hieronder worden per toepassing aanbevelingen gedaan om het model (verder) te verbeteren. Om het vervolgproces zo goed mogelijk te faciliteren is een eerste opzet richting prioritering gegeven. Deze prioritering zal in overleg met experts van RWS en Deltares worden verfijnd.

7.2.1 Aanleg en beheer

- A. Voor toekomstige studies in het kader van verkenning en planstudies (zoals bijvoorbeeld voor de Nieuwe Zeesluis en de Selectieve Onttrekking) wordt aangeraden om verder te onderzoeken hoe de processen in de sluizen (en bij voorkeur ook de Buitenhaven) expliciet in de berekening kunnen worden meegenomen. Op dit moment lijken een koppeling met WANDA-Locks/Zeesluisformulering of opnemen van de sluizen in het D-Flow FM model (gebruik makend van RTC-Tools) de meest geschikte opties. Aangezien dit vraagstuk breder speelt dan alleen bij IJmuiden is het voorstel om in overleg de beste aanpak te bepalen voor implementatie in D-HYDRO.
- B. Om de zoutlast van de huidige scheepvaartsluizen bij IJmuiden in te kunnen schatten (en bijvoorbeeld te kunnen vergelijken met de toekomstige zoutlast t.g.v. de Nieuwe Zeesluis) is het van belang dat RWS de werkelijke deur-open-tijden en bijbehorende scheepvaartinformatie beschikbaar maakt (bijvoorbeeld vanuit het SCADA systeem). Voor toekomstscenario's moet deze informatie kunnen worden ontleend aan scheepvaartsimulatie modellen (zoals SIVAK, of zoals PMSS voor de onderzoeken van de Nieuwe Zeesluis en de Selectieve Onttrekking).
- C. De grootste verschillen in het model (zout en temperatuur) lijken te komen door het onderschatten van verticale menging rondom het Binnen-IJ en op het ARK. Aanbevolen wordt om het lopende onderzoek naar menging door scheepvaart voort te zetten, en wanneer het belang is bewezen te komen tot een adequate wijze van parametrisatie van deze effecten in D-HYDRO modellen. Daarnaast moet vermoedelijk rekening gehouden worden met andere potentiële bronnen van menging (wind, lozingen/onttrekkingen).
- D. Aanbevolen wordt om het Boezemmodel uitgebreider te verbeteren/kalibreren voor het ARK en NZK, onder andere op basis van metingen bij Weesp en Maarssen en door gebruik te maken van geregistreerde spui- maal debieten (al dan niet gecorrigeerd). Uitvoering hiervan zal grotendeels bij Waternet liggen, bij voorkeur in nauwe samenwerking met RWS en Deltares. Omdat in het algemeen de waterbalansen nooit perfect zullen sluiten, is het nodig voor de toepassing in het NZK/ARK model dat het sluitend maken van de balans onderdeel wordt van de procedure rond het Boezemmodel. Daarnaast wordt aanbevolen om de verschillende ervaringen (systeemkennisstudies en IWP, etc.) met waterbalansen van het

NZK/ARK te bundelen en na te gaan hoe deze waterbalansen en de uitgevoerde correcties zich tot elkaar verhouden.

- E. Als mogelijk alternatief of aanvulling op C, zouden extra (continue) debietmetingen in het NZK kunnen worden toegevoegd. Een debietmeting in het Binnenspuikanaal zou de grootste onzekerheid in de waterbalans (correctie op spui- maaldebieten) wegnemen, onafhankelijk van de wijze van registreren bij het spuien en malen en inclusief een correct verloop bij aanvang en beëindiging spuien en pompen (nu geschat op basis van een afvoerformule en een veronderstelling over het op- en afschakelen van pompen). Een debietmeting in het oostelijke gedeelte van het NZK zou veel onzekerheid over de netto waterbalans tot aan Weesp wegnemen. In dit gebied worden ook de grootste verschillen tussen het model en de metingen geobserveerd, dus is het belangrijk om vooral hier eventuele fouten in de waterbalans te verkleinen.
- F. Aanbevolen wordt om het meetnet met betrekking tot zout, temperatuur, waterstanden en debieten te optimaliseren. Afhankelijk van de toepassing zal bepaald moeten worden welke locaties en frequentie van belang is. In het algemeen kan gesteld worden dat het uitbreiden van het meetnet het meest relevant is op locaties waar de onzekerheden in het systeem het grootst zijn (bijvoorbeeld Binnenspuikanaal) of waar het model de grootste afwijking laat zien (bijvoorbeeld Binnen-IJ). In aanbeveling E is al opgesomd hoe de onzekerheden in de waterbalans verkleind kunnen worden met debietmetingen. Daarnaast is het voor de validatie van het model van belang om inzicht te krijgen in de zoutfluxen op belangrijke locaties in het systeem (Binnenspuikanaal, overgang van Velserskom naar NZK, monding van het ARK, etc.). Aanbevolen wordt om onderzoek naar het (integraal) meten van zoutfluxen te entameren.
- G. Aanbevolen wordt om de Baseline schematisatie van het NZK/ARK te verbeteren op een aantal punten, zoals bijvoorbeeld de schematisatie van brugpijlers, ruwheidsvelden, source en sink locaties consistent maken met het Boezemmodel, etc. Daarnaast zou er gekeken kunnen worden of de Baseline schematisatie uitgebreid kan worden met andere data zoals industriële lozingen (debiet, toegevoegde warmte, locaties), innamehoogtes bij spui- maalcomplex, etc. Met het oog op de prestatie van het model zal deze verbetering geen grote invloed hebben, maar voor de algemene inzetbaarheid voor andere jaren is dit wel van belang.
- H. Om het model geschikt te maken om scenario's door te rekenen met de nieuwe zeesluis en de selectieve onttrekking wordt implementatie van beide constructies aanbevolen. Voor de implementatie van de nieuwe zeesluis zijn aanbevelingen A en B van groot belang. Met betrekking tot de implementatie van de selectieve onttrekking wordt aanbevolen om eerst te onderzoeken welke methode hier het best voor gebruikt kan worden. Enkele opties ter implementatie zijn bijvoorbeeld het inbouwen van de SO middels 3D gates, opzetten van een specifieke koppeling/ kunstwerk waarmee de verwachte effectiviteit en weerstand goed nagebootst kan worden, etc.

7.2.2 Vergunningverlening

- A. Om het model geschikt te maken voor vergunningverlening en handhaving (incl. Emissie Immissie Toets) is een betere schematisatie en actualisatie van de industriële lozingen van belang. Daarvoor is aan de kant van RWS nodig dat actuele overzichten van de vergunde lozingen beschikbaar komen, inclusief basale constructieve details van de inlaat- en de uitlaatconstructie (doorsneden, dieptes), zodat deze op een correcte wijze in het model opgenomen kunnen worden. Indien nodig kan dan ook een schatting van het near-field gedrag gemaakt worden (initiële menging). Een punt van aandacht is het verschil tussen de vergunde en de daadwerkelijk opgetreden lozingen en temperatuur en/of zoutgehalteverschillen.

Daarnaast zouden warmte- en koude lozingen ten gevolge van aquatermie (TEO) ook (in de toekomst) van belang kunnen zijn.

- B. Op basis van de simulaties voor 2018 wordt aanbevolen om de keuze voor de temperatuursrandvoorwaarde te herzien. In ieder geval voor de grootste debietrandvoorwaarden zouden lokale temperatuursmetingen/inschattingen gebruikt moeten worden. Daarvoor is van de kant van RWS een overzicht nodig van de beschikbare data (voornamelijk in het NZK/ARK systeem). Daarnaast kan bij de beheerders van omliggende gebieden (bijv. Waternet) nagegaan worden of vanuit die hoek relevante gegevens aangeleverd kunnen worden

7.2.3 Operationeel inzetten van model

- A. Voor het operationeel inzetten van het model is het van belang dat RWS een overzicht geeft (bijvoorbeeld gerelateerd aan het Instrument voor het Waterpeilbeheer) van de gewenste toepassingen, voorspeltermijnen en welke beslissingen op basis van dit model genomen moeten worden. Vervolgens zou door experts van RWS en Deltares (en mogelijk andere partners) gekeken kunnen worden wat de eisen en mogelijkheden zijn (bijv. in een workshop).

7.2.4 Kennisontwikkeling

Omdat kennisontwikkeling zich kan richten op veel verschillende modelaspecten, zijn de aanbevelingen onder paragraaf 7.2.1 en 7.2.2 ook hier van toepassing. Daarnaast valt te denken aan kennisontwikkeling waarbij het model een van de instrumenten is, bijvoorbeeld:

- A. Waterkwaliteitsmodellering (anders dan zout), bijvoorbeeld het transport van nutriënten (N, P), ev. algen. Inzicht in deze aspecten kunnen een rol spelen bij de inschatting van de effecten van wateruitwisseling met andere gebieden, zoals het Markermeer (Meijers et al , 2020).
- B. Verder onderzoeken inzet bellenscherm in monding ARK. Er zijn binnen de huidige modelsoftware opties beschikbaar voor het schematiseren van bellenschermen.
- C. Inzetten van het model bij initiatieven met betrekking tot kennisontwikkeling voor zoutindringing (SaltiSolutions, AquaConnect).

8 Referenties/Literatuur

- Van Banning, G., van der Baan, J., Geleynse, N. (2016). Debiet verzilting ARK: Benodigd debiet om verzilting vanuit NZK tegen te gaan, een 3D modelstudie. Arcadis Rapport C03041.002133, november 2016.
- Van Banning, G., van der Baan, J. (2014). Aanvullende studie naar de effecten van het verwijderen van sluiseland en drempel op de zoutindringing op het Amsterdam-Rijnkanaal Arcadis Rapport c03041.003026,
- Bijlsma, A.C., Reijmerink, B. (2013). Zoutindringing Buiten-IJ: Effecten aanleg nieuwe Zeesluis IJmuiden. Deltares Rapport 1208240-000-HYE-0001, mei 2013.
- Bijlsma, A.C., Weiler, O.M. (2016). Zoutindringing IJmuiden - Fase 3: Verdere uitwerking mogelijke bronmaatregelen. Deltares, eindrapport 1220309-000-HYE-0045, oktober 2016
- Buschman, F., Tiessen, M. (2017). Zoutverspreiding in het Noordzeekanaal en Amsterdam-Rijnkanaal. Analyse van 100-punten-metingen. Deltares Rapport 11200589-001-ZWS-0004. Delft.
- De Jong, J.S., J. van Kester, E. de Goede (2019). Implementation, validation and application of bridge piers in D-Flow Flexible Mesh. Deltares memo 11202220-003-ZWS-0004, d.d. 5 juni 2019.
- Deltares (2020). D-Flow Flexible Mesh. Computational Cores and User Interface. User Manual. Version 0.9.1, SVN Revision 69351, 22 November 2020.
- Meijers, E., Bijlsma, A.C., Buschman, F., van Duin, O. (2020).Uitwisseling van water tussen Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal en Markermeer – Definitiefase. Deltares rapport 11205273-002-BGS-0005, concept, nov 2020.
- Rijkswaterstaat (2004). Het Noordzeekanaal in cijfers anno 2004 - Een kwantitatieve beschrijving van de historie en huidige eigenschappen van het kanaal, zijkanalen, havens en kunstwerken. Rapport ANW-04.04.
- Spruyt, A, Minns, T., Zijl, F., Genseberger, M., Yossef, M., van der Kaaij, T., de Goede, E. (2017): Ontwikkeling zesde-generatie modellen met D-HYDRO. Generieke technische en functionele specificaties. Deltares rapport 11200569-000-ZWS-0028.
- Verbruggen, W. (2019). Effectiviteit van de selectieve onttrekking bij IJmuiden in het droge jaar 2018. Deltares Rapport 11200215-004-HYE-0012, versie 2.1. Delft
- Verbruggen, W., van der Baan, J., Buschman, F. (2019). Delft3D-FM pilotproject voor het NZK-ARK. Beschrijving van modelopzet en eerste resultaten – 60% versie. Voorlopig. Deltares Rapport 11203712-002-ZKS-0005. December 2019.
- Vreeken, D. (2019). Zoutindringing schut- en spuisluizen. Kennisprogramma Natte Kunstwerken 2019. Deltares Rapport 11200741-003-HYE-0009, versie 1.2. Delft
- Wüest, A. Lorke, A. (2003). Small-scale hydrodynamics in lakes. Annual review of fluid mechanics 35, 373-412.

A Basis instellingen voor zesde-generatie D-HYDRO modellen

In de D-HYDRO Flexible Mesh modelschematisaties worden voor de zesde-generatie modellering basisinstellingen gebruikt. Dit betreft zowel numerieke als fysische parameters. Alleen met goede argumentatie mag hiervan afgeweken worden bij het opzetten van D-Flow Flexible Mesh modelschematisaties voor de zesde generatie. Afwijkingen worden zo veel mogelijk beperkt. Hierdoor zal er een zo groot mogelijke consistentie in modelinvoer tussen de verschillende D-HYDRO modelschematisaties zijn. Bovendien is de doelstelling om één landsdekkend model als uitgangspunt te hebben, wat een (bijna) volledige uniformiteit van de modelinvoer vereist. Tevens wordt getracht de basisinstellingen van de zesde-generatie modelschematisaties zo veel mogelijk identiek te laten zijn aan de defaultwaarden van de D-HYDRO software. Dit zijn defaultwaarden in de software die (hopelijk) overal ter wereld toegepast worden, terwijl de basisinstellingen voor de zesde-generatie modelschematisaties specifiek voor Nederland zijn. Ter illustratie, de defaultwaarde voor de breedtegraad in D-HYDRO (Anglat) is 0.0° , wat correspondeert met de evenaar. Voor de zesde-generatie modelschematisaties wordt als basisinstelling een breedtegraad van 52.0° toegepast.

De basisinstellingen bestaan uit voornamelijk fysische en numerieke parameters. De basisinstellingen voor de fysische parameters (dichtheid van lucht, referentiedichtheid van water, enz.) zijn overgenomen uit Simona en Delft3D v4. De basisinstellingen voor de numerieke parameters (drempel voor droogval/onderlopen, advectionschema voor impulsvergelijkingen, enz.) zijn bepaald op basis van de ervaringen die met de D-HYDRO software is opgedaan.

Het verleden met Simona en Delft3D 4 heeft aangetoond dat het gebruik van basisinstellingen zeer goed werkt. In de praktijk blijken de basisinstellingen vrijwel nooit aangepast hoeven te worden. Dit principe wordt ook in D-HYDRO toegepast.

A.1 Algemene aanpak voor keuze van parameters in zesde-generatie model

Een zesde-generatie model dient opgezet te worden met het DeltaShell Grafische User Interface; zie (Deltares, 2020c). Per definitie bevat een model dan alleen defaultwaarden voor de keywords. Vervolgens kan hiervan afgeweken gaan worden, wat uiteengezet wordt in de twee volgende secties.

De keywords in de master definition file die gegenereerd worden door het DeltaShell GUI worden opgesomd in Appendix A.1 van de D-Flow FM User Manual (Deltares, 2020c). Voor ieder keyword staat de defaultwaarden gespecificeerd. De belangrijkste groepen zijn:

- [Geometry] over o.a het rooster, de locatie van de kunstwerken, overlaten, dunne dammen en cross-secties;
- [Numerics] met o.a de drempel voor droogval/onderlopen, advectionschema voor impulsvergelijkingen;
- [Physics] met o.a de coëfficiënten voor de horizontale viscositeit/diffusie.

Daarnaast zijn er ook keywords die niet door het DeltaShell Grafische User Interface worden gegenereerd maar wel door een modelleur aangepast mogen worden. Appendix A.2 van de D-Flow FM User Manual (Deltares, 2020c) bevat een overzicht van deze keywords. Dit zijn vooral keywords voor 3D-modellering, waarvoor nog geen GUI ontwikkeld is.

Verder zijn er numerieke keywords die in principe niet door een modelleur aangepast mogen worden. Deze keywords worden opgesomd in Paragraaf 5.12 van de Technical Reference Manual van D-Flow FM (Deltares, 2019b). Dergelijke keywords zijn vaak geïntroduceerd bij de ontwikkeling van de rekenkern. Het is verstandig om in de invoerfile zo weinig mogelijk keywords te hebben.

Tabel A-1 Samenvatting van keyword definities locaties

Locaties van keyword definities	Beschrijving
Appendix A.1 van de D-Flow FM User Manual	keywords door GUI gegenereerd en via GUI aan te passen door gebruikers
Appendix A.2 van de D-Flow FM User Manual	keywords niet door GUI gegenereerd, maar handmatig aan te passen door gebruikers
Paragraaf 5.12 van de D-Flow FM Technical Reference Manual	keywords niet door GUI gegenereerd en in principe niet aan te passen door gebruikers

A.2 Afwijkingen van de basisinstellingen voor numerieke parameters

Voor 2D-toepassingen worden alle relevante numerieke defaultwaarden opgesomd in de hierboven genoemde paragrafen. Hiervan mag niet afgeweken worden. Tot nu toe is er ook geen aanleiding geweest om een van de numerieke parameters aan te passen.

Voor 3D-toepassingen worden alle relevante numerieke defaultwaarden opgesomd in de hierboven genoemde paragrafen. Hiervan mag in principe niet worden afgeweken. Dit is minder strikt in vergelijking tot 2D-modellering, omdat 3D-modellering nog in ontwikkeling is. Daarom staat nog niet volledig vast wat de optimale parameterinstellingen zijn voor 3D-modellering. Eventuele aanpassingen van de defaults zal plaatsvinden in overleg met de software-afdeling van Deltares.

A.3 Afwijkingen van de basisinstellingen voor fysische parameters

In tegenstelling tot bij de numerieke parameters, mag bij sommige fysische parameters wel worden afgeweken van de defaultinstellingen. Deze instellingen kunnen namelijk per gebiedstoepassing enigszins variëren.

Bij de huidige zesde-generatie modelschematisaties (Noordzee, rivieren en meren) geeft de volgende tabel de toegestane afwijkingen in de basisinstellingen ten opzichte van de defaultwaarden van de D-HYDRO software voor wereldwijde toepassingen:

Tabel A-2 Afwijkingen van basisinstellingen

Parameter	Toegestane afwijking
Getijopwekkende krachten (tidalforcing)	Getijopwekkende krachten worden toegepast voor de Noordzee, maar niet voor rivieren en meren. Dit is een toegestane afwijking, omdat het voor de Noordzee de modelresultaten verbetert en het voor rivieren en meren niet van toepassing is.
Tide Generating Forces (TGF)	De effecten van Tide Generating Forces (TGF) hebben een amplitude van ca. 10cm door het hele Noordzee model. Getijcomponenten met een Doodson Number van 55.565 tot 375.575 zijn meegenomen.
Interne golven	In de Noordzee modelschematisatie wordt het effect van interne golven meegenomen door additionele energie dissipatie dat afhankelijk is van de lokale bathymetrie, lokale snelheden en de lokale diepte-gemiddelde Brunt-Väisälä frequentie.
Inverse barometercorrectie op open randen	Inverse barometercorrectie op open randen (PavBnd) wordt toegepast voor de Noordzee maar niet voor rivieren en meren. Dit is een toegestane afwijking, omdat het voor de Noordzee de modelresultaten verbetert en het voor rivieren en meren niet van toepassing is.
Wind-drag formulering	Voor de Noordzee wordt de Charnock-formule toegepast. Voor rivieren en meren wordt de Smith & Banke formulering toegepast.
Wind-drag coëfficiënten	De wind drag-coëfficiënten (Cdbreakpoints) voor de Noordzee wijken af van de default, omdat hiermee betere resultaten verkregen worden.
Breedtegraag (Anglat)	De breedtegraad (Anglat) van zesde-generatie modelschematisaties is 52.0° en niet 0.0° (evenaar), wat de default is.
Uniforme bodemwrijving (UniFrictCoef)	De uniforme bodemwrijving (UniFrictCoef) is per toepassing verschillend. Voor een landsdekkend model zal dit in een in de plaats variërend veld opgeslagen moeten worden, waardoor de modelresultaten niet zullen veranderen.
Horizontale viscositeit/diffusie	Smagorinsky aanzetten met een coëfficiënt van 0.2, terwijl de default is dat dit uitstaat. Tevens kan vicou en dicou op een achtergrondswaarde van bijvoorbeeld 0.1 gezet worden.

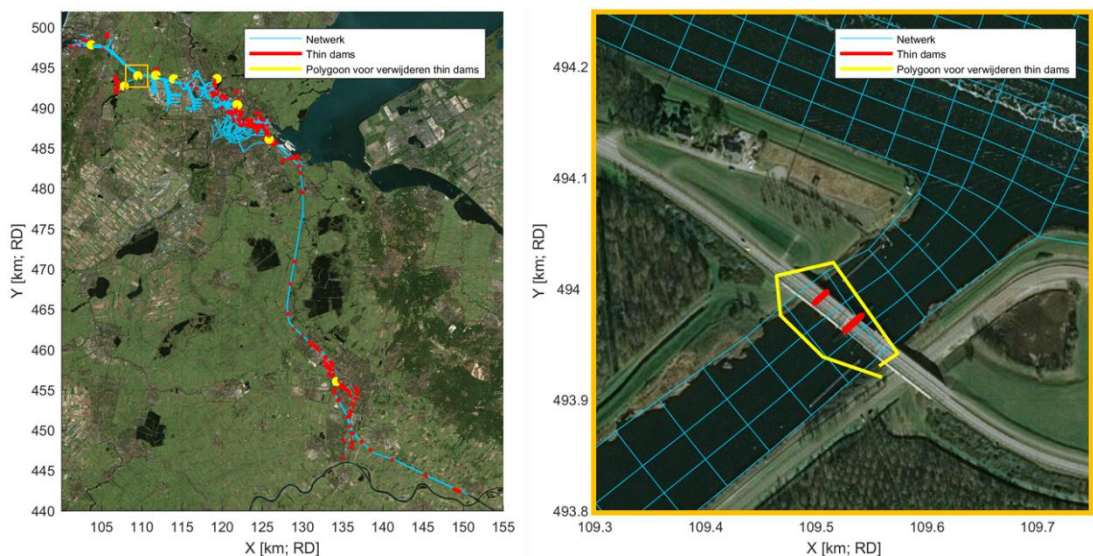
B Aanpassingen na Baseline projectie

Om in de toekomst andere jaren te kunnen modelleren met het D-HYDRO model van het Noordzeekanaal/Amsterdam-Rijnkanaal is er de wens om de Baseline bestanden zoveel mogelijk zonder aanpassingen te kunnen gebruiken. In deze studie is echter toch gebleken dat aanpassingen nodig zijn, omdat anders essentiële delen van het model inactief blijven, of dat zijgeulen deels geblokkeerd worden door thin dams. Om toekomstige projecties te faciliteren zijn de aanpassingen aan de thin dams, dry areas en fixed weirs geautomatiseerd door middel van een MATLAB script. Onderstaande paragrafen beschrijven de aanpassingen die aan deze bestanden zijn gedaan. De benodigde aanpassingen aan de bodemhoogte zijn niet geautomatiseerd, maar zijn hieronder wel stap voor stap beschreven. Deze bijlage sluit af met een printout van het MATLAB script waarmee de aanpassingen zijn uitgevoerd.

B.1 Thin dams

Een aantal brugpijlers zijn in Baseline geschematiseerd als zogenaamde flow_blocking_polygons. Het gevolg is dat deze pijlers terug komen in de thin dams en in enkele gevallen in de dry areas. Hierdoor wordt bij een aantal bruggen een deel van een geul geblokkeerd, terwijl dat niet realistisch is. Bovendien worden de bruggen al gerepresenteerd in het pillar bestand (*_bridge.pliz). Er is daarom gekozen om de thin dams ter plaatse van bruggen te verwijderen. Rondom deze locaties waar de problemen zich voordeden zijn in totaal 9 polygonen gedefinieerd, zie gele lijnen in Figuur B-1. Het MATLAB script selecteert en verwijdert vervolgens de thin dams die binnen de gedefinieerde polygonen vallen.

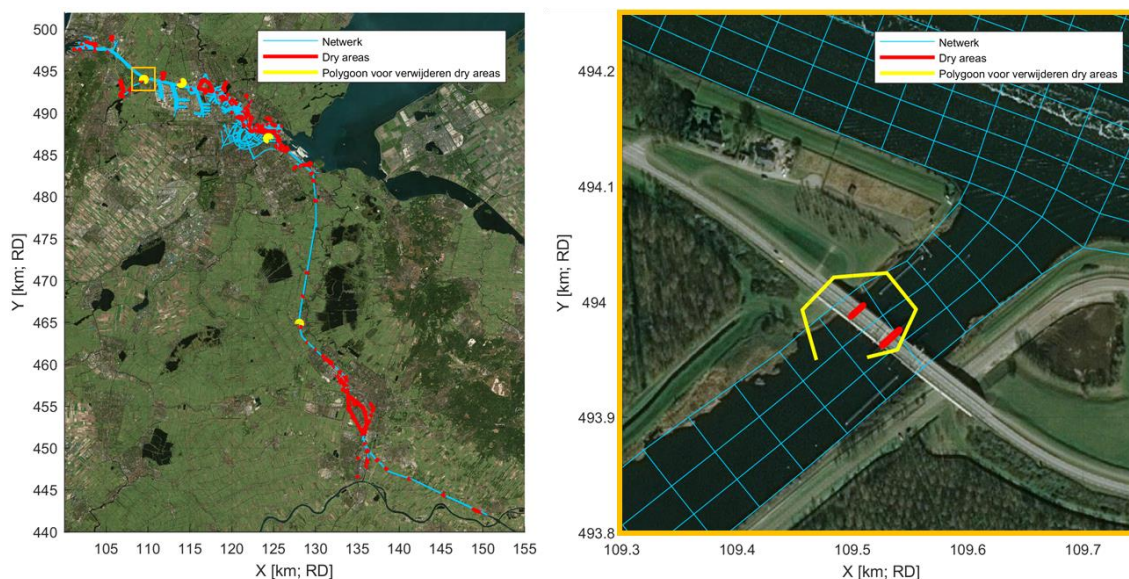
Ter plaatse van de binnendeuren van de scheepvaartsluizen (scheepvaartsluizen IJmuiden, Oranjesluizen, PWA sluis, Irenesluizen, Beatrixsluizen) zijn thin dams toegevoegd. Dit is gedaan, omdat in de huidige modellering, de processen in de scheepvaartsluizen niet expliciet gemodelleerd worden.



Figuur B-1: Overzicht van thin dams na Baseline 6 projectie (rode lijnen) en de handmatig gedefinieerde polygonen (gele lijnen), waarbinnen de thin dams zijn verwijderd. Rechts: ingezoomd op brug over Zijkanaal C. Bron satelliet beelden: Bing Maps.

B.2 Dry areas

Voor dry areas geldt hetzelfde als voor thin dams. Ter plaatse van enkele bruggen zijn de pijlers geschematiseerd als dry areas. Op die locaties zijn handmatig polygoon gedefinieerd (zie gele lijnen in Figuur B-2) waarbinnen de dry areas zijn verwijderd. Opgemerkt wordt dat deze aanpassing op minder locaties nodig was dan voor de thin dams (4 tegenover 9).

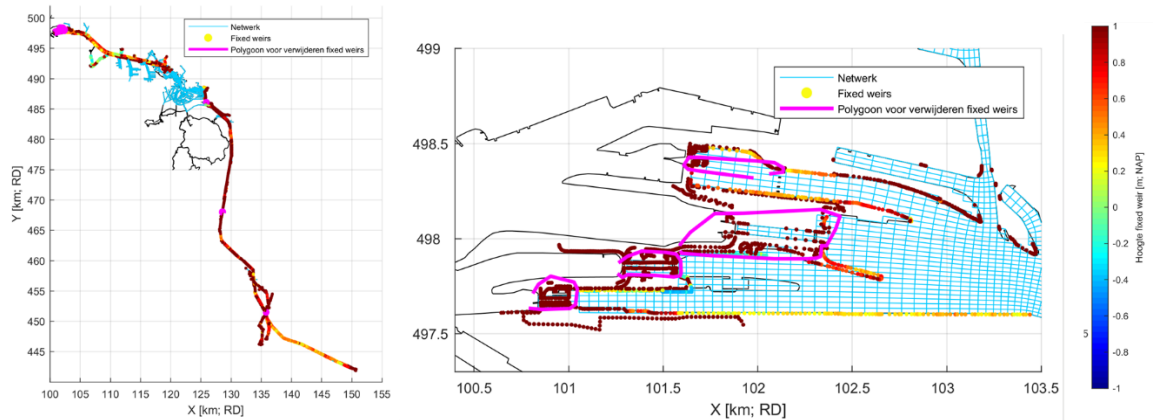


Figuur B-2: Overzicht van dry areas na Baseline 6 projectie (rode lijnen) en de handmatig gedefinieerde polygoon (gele lijnen), waarbinnen de dry areas zijn verwijderd. Rechts: ingezoomd op brug over Zijkanaal C. Bron satelliet beelden: Bing Maps.

B.3 Fixed weirs

Het grootste gedeelte van de fixed weirs representeren dijken rondom het NZK en ARK. Aangezien het netwerk vrijwel overal de oevers volgt ligt het grootste gedeelte van deze fixed weirs (net) buiten het netwerk. In dat geval worden ze door het rekenhart genegeerd. In overleg met RWS is besloten om vooralsnog het netwerk niet uit te breiden tot voorbij de fixed weirs. Op dit moment wordt er voor het NZK en ARK geen modeltoepassingen voorzien waarbij overstrooming over de dijken gemodelleerd moet worden. Een gedeelte van de fixed weirs liggen wel binnen het netwerk, maar ook die hebben in de berekening over het algemeen weinig betekenis, aangezien de kruin van de meeste fixed weirs ver boven het peil van het NZK/ARK ligt.

Op enkele locaties zijn fixed weirs verwijderd. Dit is vooral het geval bij de scheepvaartsluizen bij IJmuiden. Om de zoutlast vanuit de scheepvaartsluizen te modelleren wordt de uitwisselingsstroming in de Noordersluis en Middensluis in 2 cellen opgelegd. Op enkele locaties wordt 1 cel doorkruist door een fixed weir, waardoor de cel waarin geloosd wordt inactief zou worden. Om dit te voorkomen is ervoor gekozen om de fixed weirs op die locaties te verwijderen. In de toekomst zou dit voorkomen kunnen worden door het netwerk nog iets te verfijnen en te verschuiven bij de scheepvaartsluizen. Dit heeft overigens wel gevolgen voor de rekentijd.

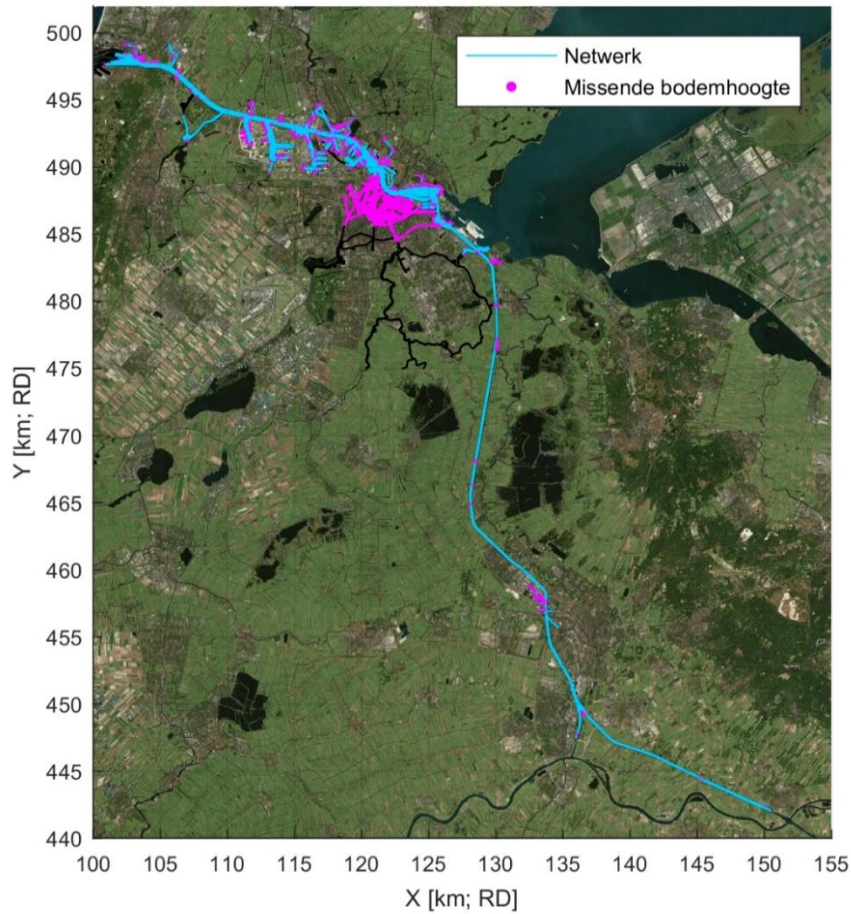


Figuur B-3: Overzicht van de fixed weirs na Baseline 6 projectie (gekleurde punten) en de handmatig gedefinieerde polygoenen (paarse lijnen), waarbinnen de fixed weirs zijn verwijderd. Rechts: ingezoomd op de scheepvaartsluizen bij IJmuiden.

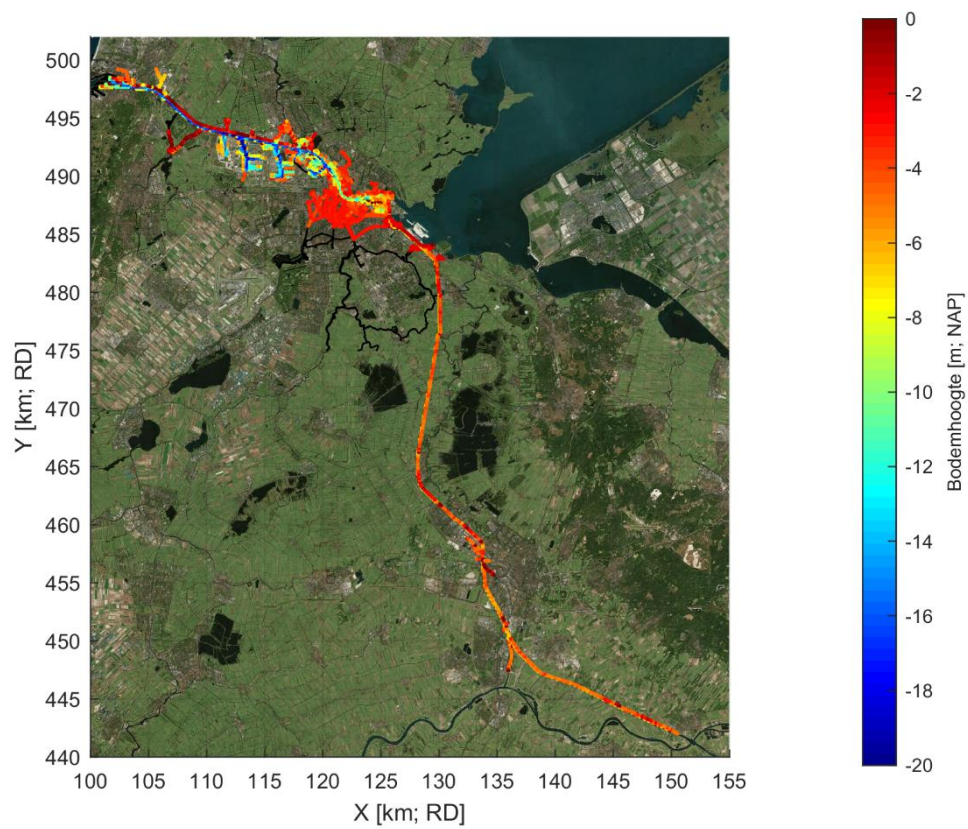
B.4 Bodemhoogte

De bodemhoogte is op het rooster geprojecteerd door Baseline. Omdat een deel van het netwerk net buiten de enclosure van Baseline valt, krijgen deze hoekpunten geen bodemhoogte, zie Figuur B-4. Daarnaast zijn de grachten van Amsterdam niet opgenomen in Baseline, waardoor ook hier geen bodemhoogte wordt meegegeven. Daarnaast was er ook bij een aantal scheepvaartsluizen een handmatige aanpassing nodig van de bodemhoogte. De bodemhoogte is op basis van de volgende stappen aangepast:

- 1 De ontbrekende bodemhoogtes zijn vervangen op basis van de bodemschematisatie van het oorspronkelijke NZK-ARK D-HYDRO model dat is opgezet door Van Banning en van der Baan (2014)
- 2 De bodemhoogte bij het sluisencomplex IJmuiden is ook vervangen door de bodemhoogte in het oorspronkelijke NZK-ARK D-HYDRO model. Dit is gedaan om te garanderen dat de zoutuitwisseling bij IJmuiden op correcte wijze wordt geschematiseerd. Anders zouden niet alle cellen waarin wordt geloosd/onttrokken de bodemhoogte hebben die hoort bij de diepte ter plaatse van de binnendeuren.
- 3 Bodem bij Oranjesluizen aangepast naar -4.5 m NAP (email Arjen Kikkert op 9 juli 2020)
- 4 Bodem bij Prins Willem-Alexander Sluis aangepast naar -4.7 m NAP (email Arjen Kikkert op 9 juli 2020)
- 5 Bodem bij Irenesluizen aangepast naar -5 m NAP (inschatting op basis van voorhaven aan de kant van het Amsterdam-Rijnkanaal)



Figuur B-4: Overzicht van hoekpunten waar de bodemhoogte ontbrak na de Baseline projectie



Figuur B-5: Bodemligging zoals gebruikt in de modellering

B.5 MATLAB script voor Baseline aanpassingen

```
clear
clc

%% ----- Invoer -----

% Locatie van baseline bestanden en de uitvoerlocatie van de door dit script aangepaste
bestanden
dirBaselinOriginal = '..\Baseline\NZK_ARK_NL_6\NZK_ARK-j19_6-
v1\models\dflowfm\nzk_ark_adam_v20200917_v1.19_ns_ark\geometry\';
dirBaselineModifiedOutput = '..\Baseline\NZK_ARK_NL_6\NZK_ARK-j19_6-
v1\models\dflowfm\nzk_ark_adam_v20200917_v1.19_ns_ark\geometry\modifications_20201
104\';

% Polygonen waarmee de bestanden worden aangepast
deleteThdPol = 'modificationPolygons\delete_thd.pol';
extraThdPol = 'modificationPolygons\extra_thin_dams.pli';

deleteDryPol = 'modificationPolygons\delete_dry.pol';
deleteFwxPol = 'modificationPolygons\delete_fwx.pol';

% tekst die aan de bestanden wordt toegevoegd om aan te geven dat ze zijn aangepast na
de Baseline schematisatie
fileNameLabel = 'mod';

%% ----- processing -----
mkdir(dirBaselineModifiedOutput)

% checken of het hier gaat om een Baseline 5 of Baseline 6 projectie
dummy = dir([dirBaselinOriginal,filesep,'*_thd.pli']);

if ~isempty(dummy)
    baselineVersion = 6;
else
    baselineVersion = 5;
end

switch baselineVersion
case 5
    thdFileExt = '_thin_dams.pli';
    dryFileExt = '_dry_areas.pol';
    fwxFileExt = '_fixed_weirs.pliz';
case 6
    thdFileExt = '_thd.pli';
    dryFileExt = '_dry.pol';
    fwxFileExt = '_fwx.pliz';
end

% read files
thdFile = dir([dirBaselinOriginal,filesep,'*',thdFileExt]);
dryFile = dir([dirBaselinOriginal,filesep,'*',dryFileExt]);
fwxFile = dir([dirBaselinOriginal,filesep,'*',fwxFileExt]);
```

```

thd = landboundary('read',[dirBaselinOriginal,filesep,thdFile.name]);
dry = landboundary('read',[dirBaselinOriginal,filesep,dryFile.name]);
fxw = landboundary('read',[dirBaselinOriginal,filesep,fxwFile.name]);
fxw_tekal = tekal('read',[dirBaselinOriginal,filesep,fxwFile.name]);

% read modification polygons
polDeleteThd = landboundary('read',deleteThdPol);
extraThd = landboundary('read',extraThdPol);
polDeleteDry = landboundary('read',deleteDryPol);
polDeleteFwx = landboundary('read',deleteFwxPol);

%% process thd.pli
% find thd in polygon
IDdelete = find(inpolygon(thd(:,1),thd(:,2),polDeleteThd(:,1),polDeleteThd(:,2)));

% modify thd
thd(IDdelete,:) = [];

% add additional thd
thd = [thd;[NaN NaN];extraThd];

% write new thd file
thdFileName = [dirBaselineModifiedOutput,thdFile.name(1:end-
length(thdFileExt)),'_',fileNameLabel,thdFileExt];
landboundary('write',thdFileName,thd,'dosplit');

%% process dry.pol
% find dry in polygon
IDdelete = find(inpolygon(dry(:,1),dry(:,2),polDeleteDry(:,1),polDeleteDry(:,2)));

% modify thd
dry(IDdelete,:) = [];

% write new dry file
dryFileName = [dirBaselineModifiedOutput,dryFile.name(1:end-
length(dryFileExt)),'_',fileNameLabel,dryFileExt];
landboundary('write',dryFileName,dry,'dosplit');

%% process fxw.pliz
% find start IDs of fixed weirs
IDstart = [1;find(isnan(fxw(:,1)))+1];
IDend = [IDstart(2:end)-2;size(fxw,1)];
IDall = zeros(size(fxw,1),1)+NaN;
for ff = 1:length(IDstart)
    IDall(IDstart(ff):IDend(ff)) = ff;
end

% find fxw in polygon
IDdelete = find(inpolygon(fxw(:,1),fxw(:,2),polDeleteFwx(:,1),polDeleteFwx(:,2)));

% modify thd
fxw(IDdelete,:) = [];
IDall(IDdelete,:) = [];

```

```

IDstart = [1;find(isnan(fxw(:,1)))+1];
IDend = [IDstart(2:end)-2;size(fxw,1)];

% write new fxw file
fxwFileName = [dirBaselineModifiedOutput,dryFile.name(1:end-
length(fxwFileExt)),'_',fileNameLabel,fxwFileExt];

fid = fopen(fxwFileName,'w');

for pp = 1:length(IDstart)
    field = fxw(IDstart(pp):IDend(pp),:);

    if ~isempty(field)
        fprintf(fid,[fxw_tekal.Field(IDall(IDstart(pp))).Name,'\n']);
        fprintf(fid,[' ',num2str(size(field,1)),' ',num2str(size(field,2)),'\n']);
        fprintf(fid,[repmat('%16.7e',1,size(field,2)) '\n'],field);
    end
end
fclose(fid);

```

C Trachytopendefinitie

Het volgende trachytopendefinitiebestand is gebruikt in de modellering:

```
# This file has been created by conversion from WAQUA using the matlab script by Jurjen de
# Jong
# 15/06/2018: Handmatig ruwheidscodes toegevoegd uit Ketelmeer / Zwarte Meer. Afk. uit
# IJVD-waqua hr2017
# 04/07/2018: Handmatig ruwheidscodes Duitse Rhein toegevoegd (751 - 760). Afk. uit DVR-
# model
1 1
2 1
3 1
#=====
#
# Roughcombination : Ruwheids karakteristieken voor de ROUGHCOMBINATION method in
# Waqua
#     De r_code verwijst naar de r_code in de area-u en area-v files
#
#     De vegetatie waarden zijn afkomstig van het Handboek
#     Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden Deel 1 en 2
#     Riza rapport 2003.028 en Riza rapport 2003.029
#
#     De handboek ruwheden kunnen vrijuit gebruikt worden. Het betreft de codes:
#     101-122, 1201-1250, 1501-1510, 1601-1618, 1801-1807
#
#     De overige codes zijn :
#     - gekalibreerde waarden voor specifieke gebieden
#     - coderingen gebruikt in WBR vergunningen
#     - specifieke ruwheden voor projecten
#     Deze ruwheden zijn niet vrijuit in andere projecten te gebruiken.
#
#-----
# Versie 2015_5-v1 (06-11-2015): - gebaseerd op Versie 0.88 van
# 'roughcombination.karak_5_vast'
#     - opschonen code: alle gekalibreerde waarden voor specifieke
#     gebieden worden in aparte files opgenomen
#     - overgang naar nieuwe naam volgens naamgevingsconventie
#     - toevoegen codering ivm vegetatielegger
#
#=====
#
# CODE 1-50 : Formulering voor bebouwing en hoogwatervrije terreinen
#           : Deze formulering vraagt geen invoer parameters in roughcombination
#
#=====
#
# CODE 51-100 : Niet gedefinieerd
```

```

#
#=====
=====
#
# CODE 101-300 : Ruwheids formulering volgens de formule van White-Colebrook
# r_code      : de ruwheids code
# a          : k-Nikuradse (normaal of eb)      (0.0001 - 0.20 - 100.)
# b          : k-Nikuradse (vloed)             (0.0001 - 0.20 - 100.)
# c          : geen betekenis
# d          : geen betekenis
#
101 51 0.20          # default waarde
102 51 0.15          # diepe bedding
103 51 0.15          # ondiepe bedding
104 51 0.15          # strang
105 51 0.20          # nevengeul
106 51 0.05          # plas/haven/slikkige oever
111 51 0.15          # kribvakstrand/zandplaat/grindplaat
112 51 0.40          # ruwe oever
113 51 0.30          # steenbekleding
114 51 0.60          # bebouwd/verhard terrein
115 51 1.00          # bebouwd terrein
116 51 0.20          # verhard terrein
121 51 0.20          # akker
122 51 0.25          # strooisel
131 51 0.63          # vaste laag Nijmegen
132 51 0.34          # vaste laag St. Andries
133 51 0.68          # bodem kribben Erlecom
#
161 51 3.00          # oever met begroeiing Brokx_kl
#                      # dit is een Ruimte voor de Rivier maatregel
#
# CODE 171 t/m 175 : Codes gereserveerd voor de Duitse zijrivieren
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rhein'
#
# CODE 180 t/m 185 : Codes gereserveerd voor de Markermeer-Gooimeer-Eemmeer-
# schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-markermeer'
#
# De volgende codes zijn toegevoegd voor de Vegetatielegger
201 51 0.15          # water
202 51 0.60          # verhard
#
#r_code = 299 a = 0.20 b = 0.25 # eb en vloed (voorbeeld)
#
#=====
=====
#
# CODE 301-500 : Ruwheids formulering volgens de formule van Manning
# r_code      : de ruwheids code
# a          : Manning (normaal of eb)         (0.001 - 0.0263 - 100.)
# b          : Manning (vloed)                 (0.001 - 0.0263 - 100.)
# c          : geen betekenis
# d          : geen betekenis

```



```

#
301 53 0.0263                # default waarde
302 53 0.0263                # diepe meerbodem
303 53 0.0283                # ondiepe meerbodem
304 53 0.024                 # diep getijdewater
305 53 0.022                 # ondiep getijdewater
#
#
# CODE 307 t/m 315 : Codes gereserveerd voor de Noordzee
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-noordzee'
#
# CODE 320 t/m 400 : Codes gereserveerd voor de Rijn-Maasmonding schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rmm'
#
#
=====
#
# CODE 401 t/m 410 : Codes gereserveerd voor de IJsselmeer-IJsselVechtDelta en
Overijsselsche Vecht-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-ym_ijvd_ov'
#
#Not calibrated parameters for IJsselmeer, Zwarte Meer (handm toegevoegd)
401 53 0.013989779470259332      # Zwarte Meer = calibrated
402 53 0.0263                    # Vossemeer = default
403 53 0.0263                    # Ketelmeer Oost = default
404 53 0.0263                    # Ketelmeer West = default
405 53 0.022                      # IJsselmeer = uit oud model
#
#
=====
#
# CODE 411 t/m 415 : Codes gereserveerd voor de Markermeer-Gooimeer-Eemmeer-
schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-markermeer'
#
# CODE 416 t/m 420 : Codes gereserveerd voor de Veluwerandmeren-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-vm'
#
# CODE 421 t/m 423 : Codes gereserveerd voor de Volkerak-Zoommeer-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-vozo'
#
# CODE 424 t/m 429 : Codes gereserveerd voor de Oosterschelde-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-oosterschelde'
#
# CODE 430 t/m 432 : Codes gereserveerd voor de Veerse Meer-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-veersemeer'
#
# CODE 433 t/m 473 : Codes gereserveerd voor de Westerschelde-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-westerschelde'
#
# CODE 474 t/m 477 : Codes gereserveerd voor de Grevelingen-schematisatie
#   Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-grevelingen'

```

```

#
#r_code = 499 a = 0.0263 b = 0.0283 # eb en vloed (voorbeeld)
#
=====
#
# CODE 501-600 : Chezy waarde
# r_code      : de ruwheids code
# a          : Chezy (normale of eb)          (0.01 - 45. - 100.)
# b          : Chezy (vloed)                 (0.01 - 45. - 100.)
# c          : geen betekenis
# d          : geen betekenis
#
501 52 45.0 # default waarde
#r_code = 599 a = 45.0 b = 40.0 # eb en vloed (voorbeeld)
#
=====
#
# CODE 601-900 : Ruwheids methode voor het zomerbed van een rivier
# r_code      : de ruwheids code
# a          : alfa (normaal of eb)          (0.001 - 0.1 - 1.)
# b          : beta (normaal of eb)         (0.1 - 2.5 - 100.)
# c          : alfa (vloed) (alleen voor testen) (0.001 - 0.1 - 1.)
# d          : beta (vloed) (alleen voor testen) (0.1 - 2.5 - 100.)
#
601 101 0.1 2.5 # zomerbed default
#
# CODE 611 t/m 700 : Codes gereserveerd voor de Rijntakken-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rijn'
#
# CODE 701 t/m 750 : Codes gereserveerd voor de Maas-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-maas'
#
# CODE 751 t/m 760 : Codes gereserveerd voor de Duitse Rhein
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rhein'
# Duitse Rhein [based on rough.karak_2004]
#r_code = 751 a = 0.0335 b = 2.5 # Andernach - Bonn
#r_code = 752 a = 0.0180 b = 2.5 # Bonn - Koln
#r_code = 753 a = 0.0191 b = 2.5 # Koln - Dusseldorf
#r_code = 754 a = 0.0304 b = 2.5 # Dusseldorf - Ruhrort
#r_code = 755 a = 0.0350 b = 2.5 # Ruhrort - Wesel
#r_code = 756 a = 0.0533 b = 2.5 # Wesel - Rees
756 101 0.0809 2.5
#r_code = 757 a = 0.0161 b = 2.5 # Rees - Emmerich
757 101 0.0809 2.5
# CODE 800 t/m 850 : Codes gereserveerd voor de IJsselmeer-IJsselVechtDelta en
Overijsselsche Vecht-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-ym_ijvd_ov'
#
# CODE 851 t/m 860 : Codes gereserveerd voor de Rijn-Maasmonding-schematisatie
# Deze codes zijn opgenomen in het bestand 'roughcombination-rmm'
#

```

```

=====
#
# CODE 901-1200 : Niet gedefinieerd
#
=====
#
# CODE 1201-1400 : Ruwheids formulering voor door- en overstroomde vegetatie
# r_code      : de ruwheids code
# a           : de vegetatie hoogte          (0.001 - 0.2 - 50.)
# b           : de vegetatie dichtheid      (0.0001 - 0.2 - 100.)
# c           : drag coefficient             (0.1 - 1.8 - 10.)
# d           : k-Nikuradse (onderlaag begroeiing) (0.001 - 0.2 - 100.)
#
1201 152 0.06 45. 1.8 0.1      # productiegrasland
1202 152 0.10 12. 1.8 0.1      # natuurlijk gras/hooiland
1203 152 0.20 15. 1.8 0.1      # verruigd grasland
1211 152 0.30 3. 1.8 0.1      # akkerdistelruigte
1212 152 0.56 0.23 1.8 0.1     # droge ruigte
1213 152 0.50 0.56 1.8 0.1     # dauwbraamruigte
1214 152 0.95 0.13 1.8 0.1     # wilgenroosje ruigte
1215 152 2.00 0.16 1.8 0.1     # rietruigte
1221 152 0.35 0.25 1.8 0.1     # natte ruigte homogeen
1222 152 0.30 1.2 1.8 0.1     # zegge homogeen
1223 152 1.00 0.4 1.8 0.1     # rietgras homogeen
1224 152 0.50 1.2 1.8 0.1     # biezen homogeen
1225 152 1.50 0.35 1.8 0.1     # lisdodde homogeen
1226 152 2.50 0.37 1.8 0.1     # riet homogeen
1231 152 6.00 0.13 1.5 0.4     # zachthoutstruweel
1232 152 3.00 0.041 1.5 0.4   # griend
1233 152 5.00 0.17 1.5 0.4   # doornstruweel
1241 152 10.00 0.011 1.5 0.3   # productiebos hardhout
1242 152 10.00 0.010 1.5 0.3   # productiebos zachthout
1243 152 10.00 0.016 1.5 0.3   # productiebos naaldhout
1244 152 10.00 0.023 1.5 0.4   # hardhoutoobos
1245 152 10.00 0.028 1.5 0.6   # zachthoutoobos
1246 152 3.00 0.024 1.5 0.2   # boomgaard laagstam
1247 152 6.00 0.01 1.5 0.2    # boomgaard hoogstam
1250 152 0.15 0.15 1.8 0.1    # pioniervegetatie
#
# Aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#
1301 152 1.00 0.130 1.5 0.4    # zachthoutstruweel, hoogte 1.00 m
1305 152 2.00 0.130 1.5 0.4    # zachthoutstruweel, hoogte 2.00 m
1311 152 5.00 0.130 1.5 0.4    # zachthoutstruweel, hoogte 5.00 m
1316 152 8.00 0.130 1.5 0.4    # zachthoutstruweel, hoogte 8.00 m
1362 152 0.50 0.041 1.5 0.4    # griend, hoogte 0.50 m
1365 152 1.50 0.041 1.5 0.4    # griend, hoogte 1.50 m
1379 152 0.20 0.041 1.5 0.4    # griend, hoogte 0.20 m
#
# Einde aanvullingen voor wbr08 van DON van 1300-1379
#

```

```

=====
#
# CODE 1401-1500 : Niet gedefinieerd
#
=====
#
# CODE 1501-1600 : Ruwheids formulering voor door- en overstroomde bomen
# r_code      : de ruwheids code
# a           : de vegetatie hoogte          (0.5 - 10. - 50.)
# b           : drag coefficient              (0.1 - 1.5 - 10.)
# c           : geen betekenis
# d           : geen betekenis
# In area file staat de dichtheid ( (de som van alle diameters) / celgrootte)
#
1501 251 1.00 1.5                # individule bomen
1502 251 2.00 1.5                # individule bomen
1503 251 3.00 1.5                # individule bomen
1504 251 4.00 1.5                # individule bomen
1505 251 5.00 1.5                # individule bomen
1506 251 6.00 1.5                # individule bomen
1507 251 7.00 1.5                # individule bomen
1508 251 8.00 1.5                # individule bomen
1509 251 9.00 1.5                # individule bomen
1510 251 10.00 1.5              # individule bomen
#
=====
#
# CODE 1601-1700 : Ruwheids formulering voor door- en overstroomde heggen
# r_code      : de ruwheids code
# a           : de vegetatie hoogte          (0.5 - 2.0 - 10.)
# b           : de vegetatie dichtheid      (0.01 - 0.6 - 10.)
# c           : drag coefficient             (0.1 - 1.5 - 10.)
# d           : overlaat coefficient        (0.1 - 1.2 - 10.)
#
1601 202 1.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1602 202 1.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1603 202 1.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1604 202 2.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1605 202 2.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1606 202 2.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1607 202 3.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1608 202 3.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1609 202 3.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1610 202 4.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1611 202 4.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1612 202 4.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1613 202 5.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1614 202 5.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open
1615 202 5.00 1.00 1.5 1.2      # heggen dicht
1616 202 6.00 0.20 1.5 1.2      # heggen zeer open
1617 202 6.00 0.60 1.5 1.2      # heggen open

```

```

1618 202 6.00 1.00 1.5 1.2 # heggen dicht
#
=====
#
# CODE 1701-1800 : Niet gedefinieerd
#
=====
#
# CODE 1801-1999 : Ruwheids combinatie voor r_codes van 101-600 en 1201-1300
# Combinatie van enkelvoudige code met een combinatie dan:
# a = enkelvoudige code
# b = combinatie code
# Combinatie van 2 combinaties mogelijk vanaf simona2007-01 versie
# r_code : de ruwheids code
# a : de r_code van de eerste ruwheid (1 - 1221 - 1300)
# b : de r_code van de tweede ruwheid (1 - 106 - 1900)
# c : het percentage van de eerste r_code (0.001 - 0.75 - 0.999)
# d : het percentage van de tweede r_code (0.001 - 0.25 - 0.999)
#
1801 2 1221 106 0.75 0.25 # 75% natte ruigte
# 25% water
1802 2 1245 1801 0.05 0.95 # 5% zachthoutoibos
# 95% (natte ruigte met 25% water)
1803 2 1222 122 0.75 0.25 # 75% zegge
# 25% strooisel
1804 2 1223 106 0.75 0.25 # 75% rietgras
# 25% water
1805 2 1224 106 0.75 0.25 # 75% biezen
# 25% water
1806 2 1225 106 0.75 0.25 # 75% lisdodde
# 25% water
1807 2 1226 122 0.75 0.25 # 75% riet
# 25% strooisel
#
# 1808 uit rough.karak_wbr08 van DON
# 1809 uit rough.karak_hr2006_pkb
#
1808 2 1245 1231 0.50 0.50 # 50% zachthoutoibos
# 50% zachthoutstruweel
1809 2 1203 1245 0.90 0.10 # 90% verruigd grasland
# 10% zachthoutoibos
#
# combinaties uit de vegetatie opname van DON 2004
#
1811 2 1250 1245 0.95 0.05 # 95% pioniervegetatie
# 5% zachthoutoibos
1812 2 1202 1245 0.80 0.20 # 80% natuurlijk gras/hooiland
# 20% zachthoutoibos
1813 2 1203 1231 0.80 0.20 # 80% verruigd grasland
# 20% zachthoutstruweel
1814 2 1223 1231 0.95 0.05 # 95% rietgras homogeen
# 5% zachthoutstruweel

```

1815 2 1226 1231 0.70 0.30 # 70% riet homogeen
 # 30% zachthoutstruweel
 1816 2 1231 1245 0.80 0.20 # 80% zachthoutstruweel
 # 20% zachthoutooibos
 1817 2 1221 1245 0.95 0.05 # 95% natte ruigte homogeen
 # 5% zachthoutooibos
 1818 2 1221 1231 0.70 0.30 # 70% natte ruigte homogeen
 # 30% zachthoutstruweel
 1819 2 1212 1231 0.90 0.10 # 90% droge ruigte
 # 10% zachthoutstruweel
 #
 # combinaties uit de Atkis gegevens van de BFG, Duitse Rhein
 #
 1820 2 1202 1241 0.75 0.25 # 75% natuurlijk gras/hooiland
 # 25% produktiebos hardhout
 1821 2 1201 1241 0.75 0.25 # 75% produktiegrasland
 # 25% produktiebos hardhout
 1822 2 121 1233 0.95 0.05 # 95% akker
 # 5% doornstruweel
 1823 2 1202 1244 0.25 0.75 # 25% natuurlijk gras/hooiland
 # 75% hardhoutooibos
 #
 # Codes uit rough.karak_wbr08 van DON:
 # 1850,1851,1852,1853,1854,1859,1860,1862,1863,1864
 # 1865,1866,1867,1868,1872,1879,1880,1881,1882,1887
 # 1888,1889,1890,1891
 # Codes uit rough.karak_hr2006_pkb van PKB:
 # 1850,1851,1852,1853,1854,1860,1861,1862,1863,1865
 # 1866,1867,1868,1870,1871,1874,1875,1876,1877
 # 1879,1880,1881
 #
 1850 2 1222 1231 0.80 0.20 # 80% zegge
 # 20% zachthoustruweel
 1851 2 1202 1245 0.50 0.50 # 50% natuurlijk gras/hooiland
 # 50% zachthoutooibos
 1852 2 1202 1231 0.95 0.05 # 95% natuurlijk gras/hooiland
 # 5% zachthoutstruweel
 1853 2 1202 1231 0.75 0.25 # 75% natuurlijk gras/hooiland
 # 25% zachthoutstruweel
 1854 2 1202 1231 0.90 0.10 # 90% natuurlijk gras/hooiland
 # 10% zachthoutstruweel
 # Toegevoegd t.b.v. maatregel ma_overdm_a1 (email Jan Bremer)
 # CODE 1855-1893 : Nieuw tbv project Over de Maas (NB hoogste code in b)
 #
 1855 2 1202 1212 0.90 0.10 # 90% natuurlijk gras/hooiland
 # 10% droge ruigte
 1856 2 1231 1855 0.05 0.95 # 5% zachthoutstruweel
 # 95% 1855
 1857 2 1202 1223 0.75 0.25 # 75% natuurlijk gras/hooiland
 # 25% rietgras homogeen
 1858 2 1245 1857 0.05 0.95 # 5% zachthoutooibos
 # 95% 1857
 1892 2 1226 106 0.75 0.25 # 75% riet homogeen
 # 25% plas/haven/slikkige oever

1893 2 1245 1892 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos # 80% 1892
#	
1859 2 1212 1231 0.85 0.15	# 85% droge ruigte # 15% zachthoutstruweel
1860 2 111 1212 0.40 0.60	# 40% kribvak # 60% droge ruigte
1862 2 1245 1853 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos # 60% natuurlijk gras/hooiland # 20% zachthoutstruweel
1863 2 1860 1862 0.50 0.50	# 20% kribvak # 30% droge ruigte # 10% zachthoutooibos # 30% natuurlijk gras/hooiland # 10% zachthoutstruweel
1864 2 1202 1231 0.70 0.30	# 70% natuurlijk gras/hooiland # 30% zachthoutstruweel
1865 2 106 1231 0.83 0.17	# 83% slikkige oever # 17% zachthoutstruweel
1866 2 1245 1223 0.50 0.50	# 50% zachthoutooibos # 50% rietgras
1867 2 1865 1866 0.75 0.25	# 61% slikkige oever # 13% zachthoutstruweel # 13% zachthoutooibos # 13% rietgras
1868 2 111 1867 0.60 0.40	# 60% kribvak # 25% slikkige oever # 5% zachthoutstruweel # 5% zachthoutooibos # 5% rietgras
1869 2 1203 1231 0.95 0.05	# 95% verruigd grasland # 5% zachthoutstruweel
1870 2 1202 1231 0.99 0.01	# 99% natuurlijk gras/hooiland # 1% zachthoutstruweel
1871 2 1202 1231 0.975 0.025	# 97,5% natuurlijk gras/hooiland # 2,5% zachthoutstruweel
1872 2 1202 1231 0.98 0.02	# 98% natuurlijk gras/hooiland # 2% zachthoutstruweel
1874 2 1212 1231 0.20 0.80	# 20% droge ruigte # 80% zachthoutstruweel
1875 2 1212 1231 0.95 0.05	# 95% droge ruigte # 5% zachthoutstruweel
1876 2 1231 1801 0.25 0.75	# 25% zachthoutstruweel # 75% (natte ruigte met 25% water)
1877 2 1231 1803 0.20 0.80	# 20% zachthoutstruweel # 80% (zegge met 25% strooisel)
1879 2 114 1231 0.90 0.10	# 90% bebouwd/verhard terrein # 10% zachthoutstruweel
1880 2 1222 1223 0.50 0.50	# 50% zegge # 50% rietgras
1881 2 1202 1231 0.85 0.15	# 85% natuurlijk gras/hooiland # 15% zachthoustruweel
1882 2 1203 1231 0.975 0.025	# 97,5% verruigd grasland # 2,5% zachthoutstruweel

1886 2 1203 1231 0.90 0.10	# 90% verruigd grasland
	# 10% zachthoustruweel
1887 2 1202 1212 0.50 0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland
	# 50% droge ruigte
1888 2 1231 1887 0.05 0.95	# 5% zachthoustruweel
	# 47,5% natuurlijk gras/hooiland
	# 47,5% droge ruigte
1889 2 1231 1887 0.10 0.90	# 10% zachthoustruweel
	# 45% natuurlijk gras/hooiland
	# 45% droge ruigte
1890 2 1202 1231 0.50 0.50	# 50% natuurlijk gras/hooiland
	# 50% zachthoustruweel
1891 2 1203 1231 0.97 0.03	# 97% verruigd grasland
	# 3% zachthoustruweel
1906 2 1202 1245 0.90 0.10	# 90% natuurlijk gras/hooiland
	# 10% zachthoutooibos
1907 2 111 1231 0.88 0.12	# 88% kribvakstrand/zandplaat
	# 12% zachthoustruweel
1908 2 111 1231 0.80 0.20	# 80% kribvakstrand/zandplaat
	# 20% zachthoustruweel
1909 2 1245 1804 0.20 0.80	# 20% zachthoutooibos
	# 80% (rietgras met 25% water)
1910 2 1202 1245 0.95 0.05	# 95% natuurlijk gras/hooiland
	# 5% zachthoutooibos
1911 2 1212 1231 0.80 0.20	# 80% droge ruigte
	# 20% zachthoustruweel
1912 2 1202 1231 0.80 0.20	# 80% natuurlijk gras/hooiland
	# 20% zachthoustruweel
1913 2 106 1226 0.75 0.25	# 75% water
	# 25% riet homogeen
1914 2 111 1912 0.40 0.60	# 40% kribvakstrand
	# 48% natuurlijk gras/hooiland
	# 12% zachthoustruweel
1915 2 106 1222 0.40 0.60	# 40% water
	# 60% zegge homogeen
1916 2 1226 1915 0.50 0.50	# 50% riet homogeen
	# 20% water
	# 30% zegge homogeen
1917 2 1202 1212 0.95 0.05	# 95% natuurlijk grasland/hooiland
	# 5% droge ruigte
1918 2 1213 1231 0.90 0.10	# 90% dauwbraamruigte
	# 10% zachthoustruweel
1919 2 1215 1231 0.95 0.05	# 95% rietruigte
	# 5% zachthoustruweel
1920 2 1215 1231 0.90 0.10	# 90% rietruigte
	# 10% zachthoustruweel
1921 2 1801 1245 0.80 0.20	# 80% natte ruigte met 25% water
	# 20% zachthoutooibos
1922 2 1212 1245 0.80 0.20	# 80% droge ruigte
	# 20% zachthoutooibos
1933 2 1801 1231 0.95 0.05	# 95% natte ruigte met 25% water
	# 5% zachthoustruweel
1934 2 1801 1231 0.90 0.10	# 90% natte ruigte met 25% water


```

1935 2 1801 1231 0.80 0.20          # 10% zachthoutstruweel
                                       # 80% natte ruigte met 25% water
1936 2 1803 1231 0.95 0.05          # 20% zachthoutstruweel
                                       # 95% zegge met 25% strooisel
1937 2 1803 1231 0.90 0.10          # 5% zachthoutstruweel
                                       # 90% zegge met 25% strooisel
1938 2 1807 1231 0.95 0.05          # 10% zachthoutstruweel
                                       # 95% riet met 25% strooisel
1939 2 1807 1231 0.90 0.10          # 5% zachthoutstruweel
                                       # 90% riet met 25% strooisel
1940 2 1807 1231 0.80 0.20          # 10% zachthoutstruweel
                                       # 80% riet met 25% strooisel
1941 2 1202 1212 0.70 0.30          # 20% zachthoutstruweel
                                       # 70% natuurlijk grasland
                                       # 30% droge ruigte
#-----
# VEGETATIELEGGER
#-----
# Geaggregeerde klassen - Koen Volleberg - 15-06-2012
# Aangepast voor vegetatieverdeling 2012 (Bas van Dongen, Arcadis, 04-01-2015)
#
# tussenstappen voor Homogene klassen
1970 2 1201 1202 0.561757253 0.438242747          # Gras 1 (prod. gras & nat.
gras)
1971 2 111 121 0.07415936 0.92584064          # Gras 2 (zand en akker)
1972 2 1212 1804 0.87552542 0.12447458          # Ruigte 1
1973 2 1242 1244 0.212045693 0.787954307          # Bos 1
1974 2 1245 1246 0.846018535 0.153981465          # Bos 2
1975 2 1973 1974 0.578653494 0.421346506          # Bos 3
1976 2 1970 1971 0.731872562 0.268127438          # Gras 3 (prod. gras, nat.
gras, zand en akker)
#
# Homogene klassen
#
1981 2 1250 1976 0.036775031 0.963224969          # gras en akker
1982 2 1807 1972 0.126268683 0.873731317          # riet en ruigte
1983 2 1975 1247 0.972225202 0.027774798          # bos
1984 2 1231 1233 0.597832635 0.402167365          # struweel
#
# tussenstappen voor Mengklassen
1989 2 1981 1982 0.50 0.50          # 50% gras en akker
                                       # 50% riet en ruigte
1993 2 1981 1982 0.25 0.75          # 25% gras en akker
                                       # 75% riet en ruigte
#
# Mengklassen (op basis van verdelingspercentages interventiewaarden)
#
1996 2 1981 1984 0.80 0.20          -          # 80% gras en akker | Mengklasse
90/10
                                       # 20% struweel _|
1997 2 1989 1984 0.60 0.40          # 30% gras en akker |
                                       # 30% riet en ruigte | Mengklasse 70/30
                                       # 40% struweel _|
1998 2 1993 1984 0.40 0.60          # 10% gras en akker |

```

30% riet en ruigte | Mengklasse 50/50

60% struweel _|

```
#####  
#####  
#  
# DUITSE RHEIN  
#  
#####  
#####  
611 DISCHARGE Q-LobithPannkop  
611 2700 101 0.0229 2.5 # emmerich - lobith  
611 4450 101 0.0262 2.5  
611 11800 101 0.0786 2.5  
#  
# in de calibratie van de Duitse Rhein is onderstaande waarde gecalibreerd voor traject 611  
# in de lopende projecten hanteren we de Nederlandse calibratie waarde  
# op termijn moet dit op elkaar worden afgestemd.  
# verschil wordt veroorzaakt doordat er een verschil is tussen de Nederlandse en  
# de duitse methodiek om de afvoer van een hoog water vast te stellen  
# verschil in afvoer bij een zelfde waterstand kan alleen met een verschillende ruwheid  
# r_code = 611 a = 0.0084 b = 2.5 # emmerich - lobith a is van Duitse Rhein model  
#  
#####  
#####  
#  
# BOVENRIJN  
#  
#####  
#####  
612 DISCHARGE Q-LobithPannkop  
612 2700 101 0.0229 2.5 # lobith - pankop  
612 4450 101 0.0262 2.5  
612 11800 101 0.0786 2.5  
#  
#####  
#####  
#  
# WAAL  
#  
#####  
#####  
613 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen  
613 1850 101 0.0598 2.5 # pankop - erlecom  
613 3000 101 0.0634 2.5  
613 7450 101 0.0765 2.5  
#-----  
614 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen  
614 1850 101 0.0598 2.5 # erlecom - nijmegen  
614 3000 101 0.0634 2.5  
614 7450 101 0.0765 2.5  
#-----  
615 DISCHARGE Q-NijmegenTielWI  
615 1850 101 0.0667 2.5 # nijmegen - dodewaard  
615 3000 101 0.0838 2.5  
615 7450 101 0.0721 2.5
```

```

#-----
616 DISCHARGE Q-NijmegenTielWI
616 1850 101 0.0667 2.5 # dodewaard - tiel
616 3000 101 0.0838 2.5
616 7450 101 0.0721 2.5
#-----
617 DISCHARGE Q-TielWIZaltb_waq
617 1850 101 0.0950 2.5 # tiel - sint andries
617 3000 101 0.1102 2.5
617 7450 101 0.0905 2.5
#-----
618 DISCHARGE Q-TielWIZaltb_waq
618 1850 101 0.0950 2.5 # sint andries - zaltbommel
618 3000 101 0.1102 2.5
618 7450 101 0.0905 2.5
#-----
619 DISCHARGE Q-Zaltb_waqVuren
619 1850 101 0.0701 2.5 # zaltbommel - vuren
619 3000 101 0.1074 2.5
619 7450 101 0.1085 2.5
#-----
620 DISCHARGE Q-VurenHardxv_waq
620 1850 101 0.0134 2.5 # vuren - hardinkxveld
620 3000 101 0.0666 2.5
620 7450 101 0.1511 2.5
#=====
#=====
#
# PANNERDENSCH KANAAL
#
#=====
#=====
631 DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop
631 850 101 0.0170 2.5 # pankop - pannerden
631 1450 101 0.0010 2.5
631 4250 101 0.0964 2.5
#-----
632 DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop
632 850 101 0.0170 2.5 # pannerden - looveer
632 1450 101 0.0010 2.5
632 4250 101 0.0964 2.5
#-----
633 DISCHARGE Q-PannkopIjsselkop
633 850 101 0.0170 2.5 # looveer - ijsselkop
633 1450 101 0.0010 2.5
633 4250 101 0.0964 2.5
#=====
#=====
#
# NEDERRIJN - LEK
#
#=====
#=====
634 DISCHARGE Q-IJsselkopDrielbo

```

634 475 101 0.0798 2.5 # ijsselkop - arnhem
 634 850 101 0.1569 2.5
 634 2500 101 0.0656 2.5
 #-----
 635 DISCHARGE Q-IJsselkopDrielbo
 635 475 101 0.0798 2.5 # arnhem - drielbov
 635 850 101 0.1569 2.5
 635 2500 101 0.0656 2.5
 #-----
 636 DISCHARGE Q-DrielbovDrielben
 636 475 101 0.1044 2.5 # drielbov - drielben
 636 850 101 0.0768 2.5
 636 2500 101 0.5380 2.5
 #-----
 637 DISCHARGE Q-DrielbeAmerongbo
 637 475 101 0.0143 2.5 # drielben - grebbe
 637 850 101 0.0523 2.5
 637 2500 101 0.1385 2.5
 #-----
 638 DISCHARGE Q-DrielbeAmerongbo
 638 475 101 0.0143 2.5 # grebbe - amerongenbov
 638 850 101 0.0523 2.5
 638 2500 101 0.1385 2.5
 #-----
 639 DISCHARGE Q-AmeronbeCulmbbrg
 639 475 101 0.0122 2.5 # amerongenbov - amerongenben
 639 850 101 0.0183 2.5
 639 2500 101 0.0010 2.5
 #-----
 640 DISCHARGE Q-AmeronbeCulmbbrg
 640 475 101 0.0122 2.5 # amerongenben - culemborg
 640 850 101 0.0615 2.5
 640 2500 101 0.2249 2.5
 #-----
 641 DISCHARGE Q-CulmbbrgHagestbo
 641 475 101 0.0010 2.5 # culemborg - hagesteinbov
 641 850 101 0.0473 2.5
 641 2500 101 0.0745 2.5
 #-----
 642 DISCHARGE Q-CulmbbrgHagestbo
 642 475 101 0.0089 2.5 # hagesteinbov - hagesteinben
 642 850 101 0.0018 2.5
 642 2500 101 0.0010 2.5
 #-----
 643 DISCHARGE Q-HagestbeSchoonh
 643 475 101 0.0089 2.5 # hagesteinben - schoonhoven
 643 850 101 0.0239 2.5
 643 2500 101 0.0945 2.5
 #-----
 644 DISCHARGE Q-SchoonhKrimpadaLk
 644 475 101 0.0250 2.5 # schoonhoven - krimpenadlek
 644 800 101 0.0140 2.5
 644 2400 101 0.0383 2.5

```

#-----
#
# IJSSEL
#
#-----
#-----
651 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbrg
651 370 101 0.0089 2.5 # ijsselkop - westervoort
651 625 101 0.0036 2.5
651 1780 101 0.0585 2.5
#-----
652 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbrg
652 370 101 0.0088 2.5 # westervoort - de steeg
652 625 101 0.0036 2.5
652 1780 101 0.0585 2.5
#-----
653 DISCHARGE Q-IJsselkpDoesbrg
653 370 101 0.0088 2.5 # de steeg - doesburg
653 625 101 0.0036 2.5
653 1780 101 0.0585 2.5
#-----
654 DISCHARGE Q-DoesbrgZutphen
654 400 101 0.0550 2.5 # doesburg - zutphen
654 675 101 0.0061 2.5
654 1850 101 0.0922 2.5
#-----
655 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
655 400 101 0.0818 2.5 # zutphen - eefde beneden
655 675 101 0.0224 2.5
655 1850 101 0.0336 2.5
#-----
656 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
656 400 101 0.0818 2.5 # eefde beneden - deventer
656 675 101 0.0224 2.5
656 1850 101 0.0336 2.5
#-----
657 DISCHARGE Q-ZutphenOlst
657 400 101 0.0818 2.5 # deventer - olst
657 675 101 0.0224 2.5
657 1850 101 0.0336 2.5
#-----
658 DISCHARGE Q-OlstKaterveer
658 440 101 0.0610 2.5 # olst - wijhe
658 730 101 0.0231 2.5
658 1900 101 0.0430 2.5
#-----
659 DISCHARGE Q-OlstKaterveer
659 440 101 0.0610 2.5 # wijhe - katerveer
659 730 101 0.0231 2.5
659 1900 101 0.0430 2.5
#-----
660 DISCHARGE Q-KatervrKampnbohv
660 440 101 0.0351 2.5 # katerveer - kampen

```

660 730 101 0.0271 2.5
 660 1900 101 0.0281 2.5
 #-----
 661 DISCHARGE Q-KatervrKampnbohv
 661 440 101 0.0047 2.5 # kampen - keteldiep
 661 730 101 0.0133 2.5
 661 1900 101 0.0175 2.5
 #-----
 662 DISCHARGE Q-KampnbohvKamprhk
 662 440 101 0.0047 2.5 # keteldiep - eindeijssel
 662 730 101 0.0133 2.5
 662 1900 101 0.0175 2.5
 #=====
 #
 # vaste lagen en bodemkribben
 #
 #=====
 671 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen
 671 1850 101 0.0628 2.5 # binnenbocht vaste laag Nijmegen,
 alfa = 1.05 * alfa traject 614
 671 3000 101 0.0665 2.5
 671 7450 101 0.0803 2.5
 #-----
 672 DISCHARGE Q-TielWIZaltb_waq
 672 1850 101 0.1302 2.5 # binnenbocht vaste laag St.
 Andries, alfa = 1.37 * alfa traject 617
 672 3000 101 0.1510 2.5
 672 7450 101 0.1240 2.5
 #-----
 673 DISCHARGE Q-PannkopNijmegen
 673 1850 101 0.0759 2.5 # binnenbocht bodem kribben
 Erlecom, alfa = 1.27 * alfa traject 613
 673 3000 101 0.0806 2.5
 673 7450 101 0.0971 2.5
 #=====
 #
 # NZK-ARK
 #
 #=====
 2501 51 0.15 # based on 102
 3300 51 0.15 # based on 102
 3301 51 0.15 # based on 102
 3302 51 0.15 # based on 102
 3303 51 0.15 # based on 102
 #=====
 #
 # Einde roughcombination

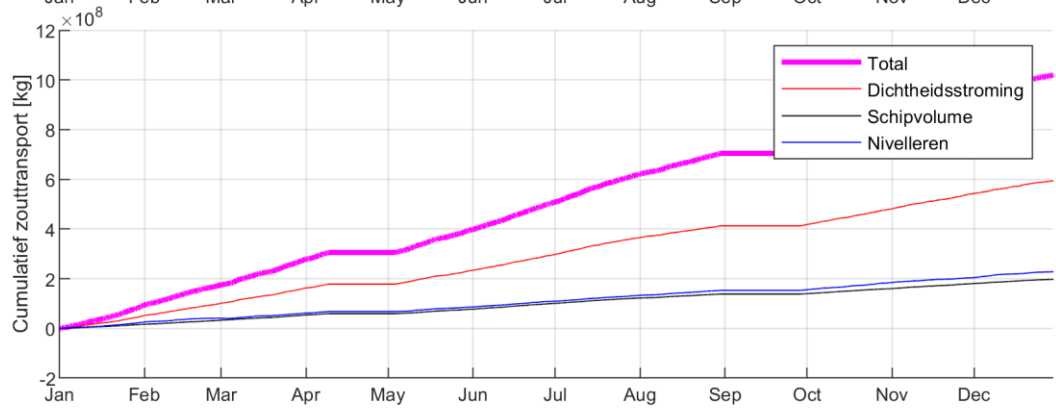
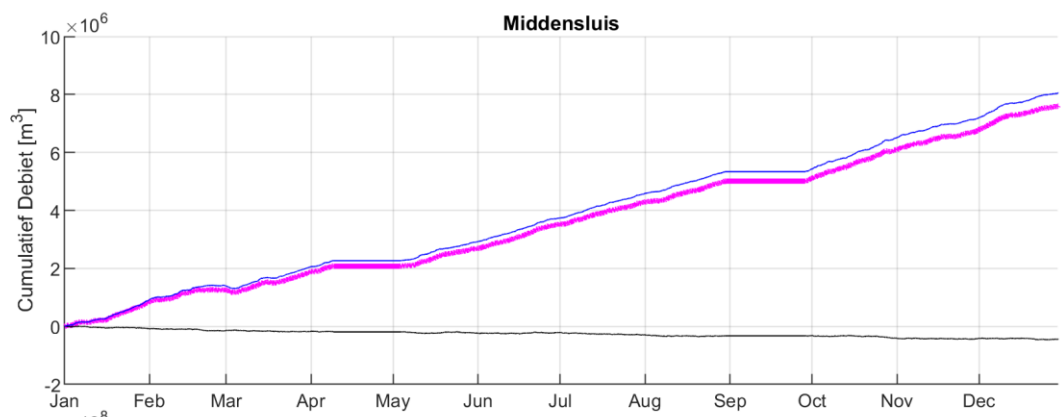
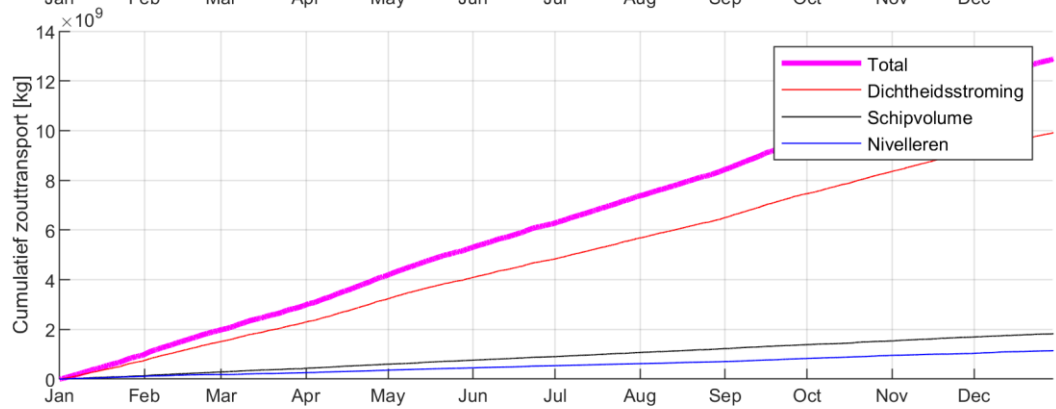
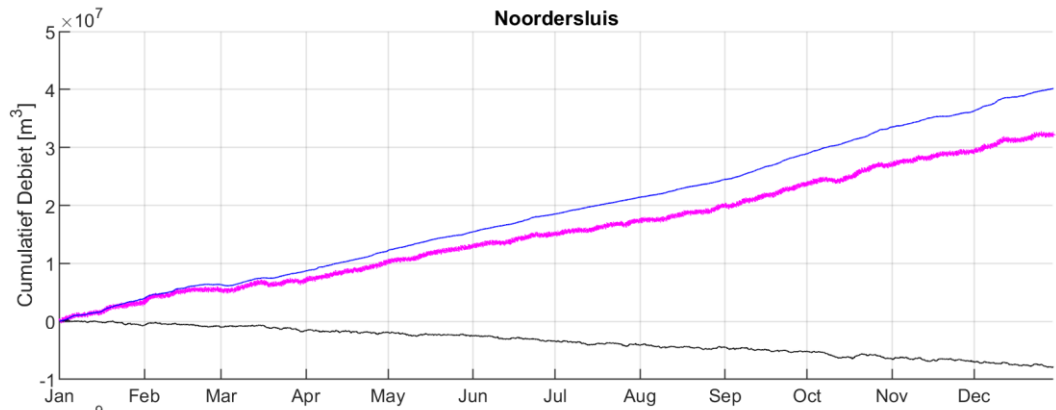
#

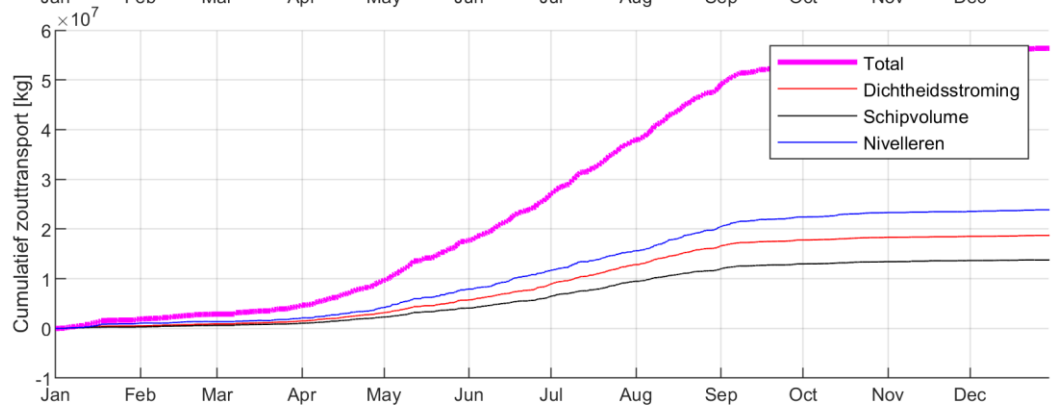
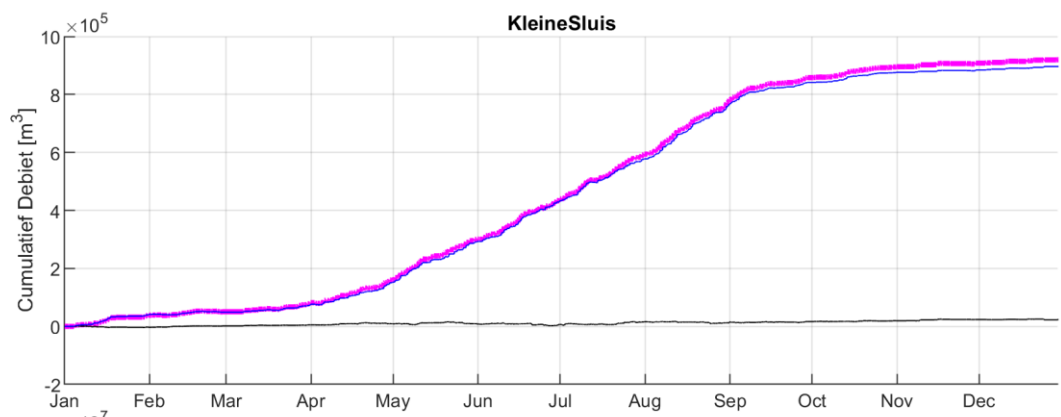
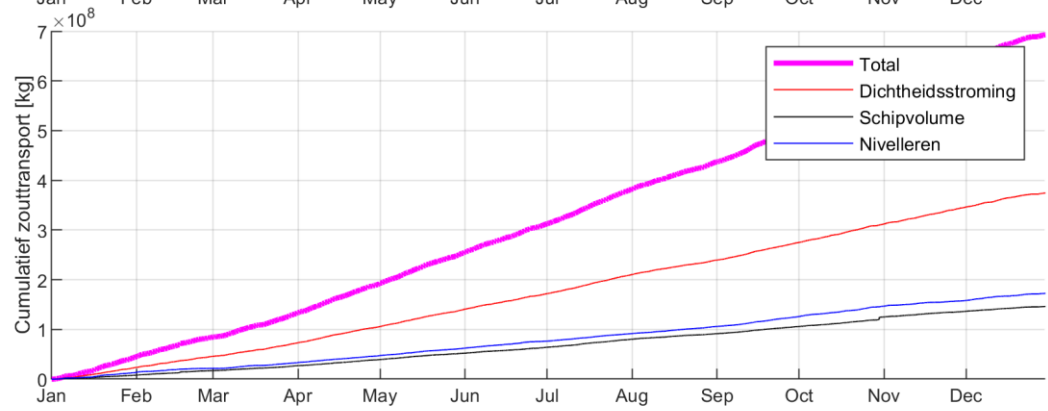
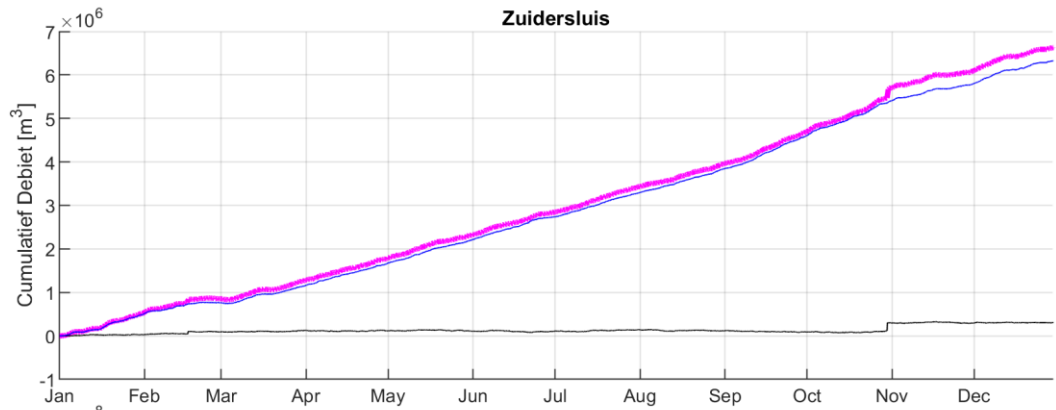
#

D Randvoorwaarden 2018

D.1 Schutsluizen IJmuiden

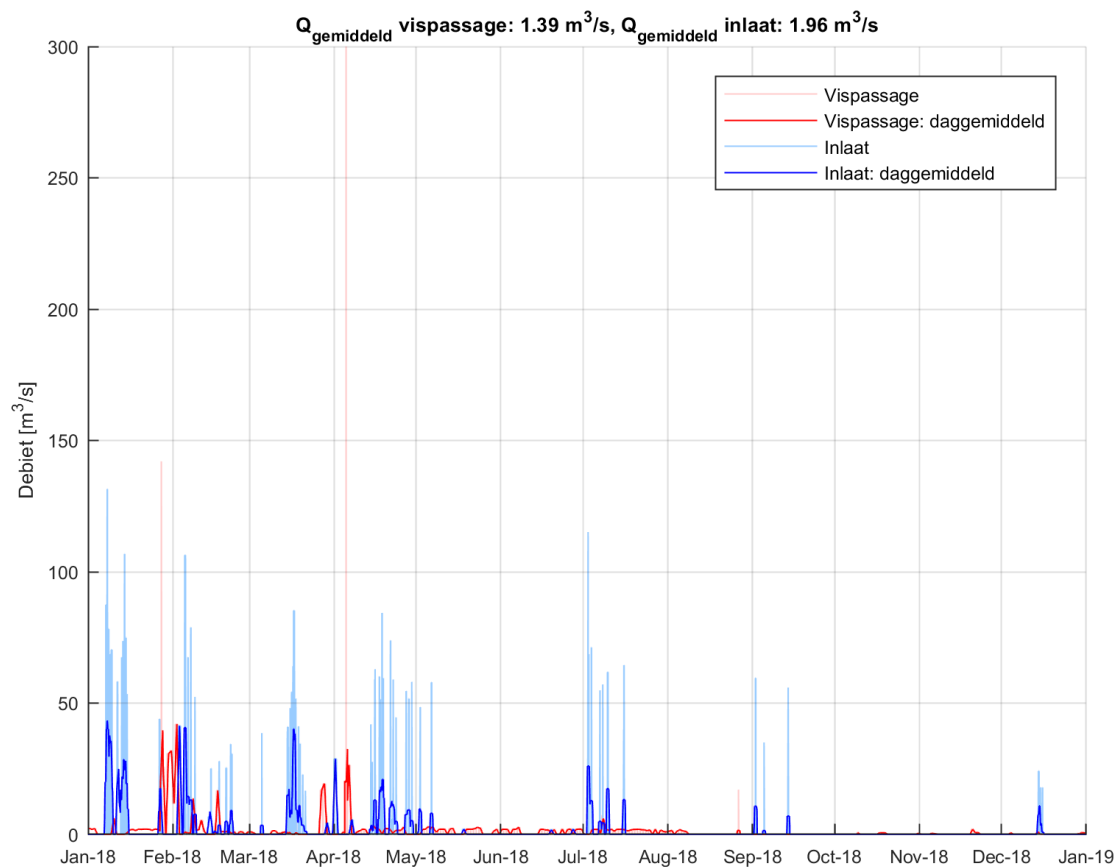
De debiet- en zoutrandvoorwaarden bij de schutsluizen van IJmuiden zijn voor 2018 op een vergelijkbare manier opgebouwd als beschreven in paragraaf 4.3.2.1. Het cumulatieve debiet en zouttransport per sluis is weergegeven in de onderstaande figuren.





D.2 Schutcomplex Schellingwoude

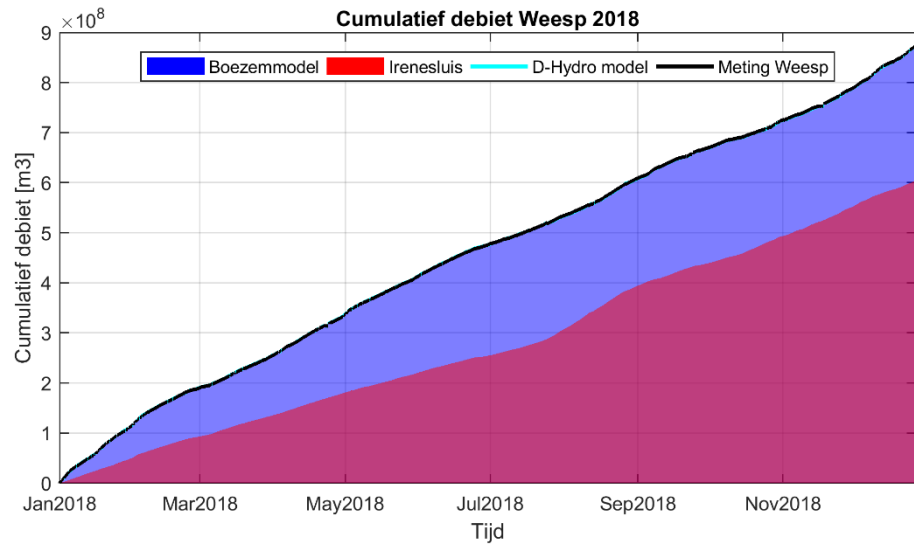
Consistent met de 2015 simulatie zijn de debietrandvoorwaarden bij Schellingwoude gebaseerd op dagrapporten van RWS in plaats van het Boezemmodel. De hieruit volgende inlaatdebieten voor 2018 zijn gevisualiseerd in Figuur D.1.



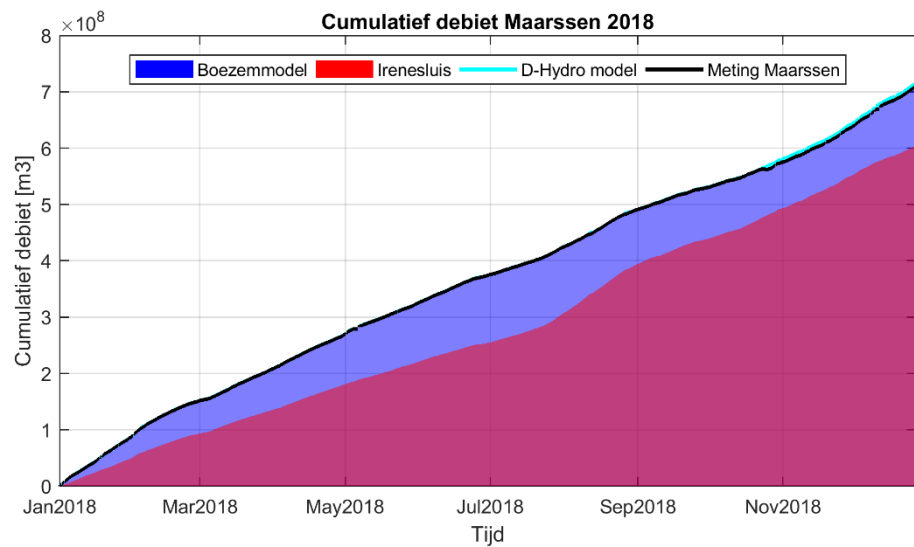
Figuur D.1 Inlaatdebieten bij Schellingwoude in 2018.

D.3 Correcties op waterbalans

Figuur D.2 en Figuur D.3 tonen het cumulatieve verschil tussen het berekende debiet op basis van het Boezemmodel en de metingen bij Weesp en Maarssen. In de eerste helft van het jaar wordt het debiet bij Maarssen en Weesp onderschat en in de tweede helft van het jaar overschat. Op basis van deze vergelijking zijn de debietrandvoorwaarden bij de Irenesluizen en bij Nigtevecht gecorrigeerd, zodat het model de gemeten debieten volgt.



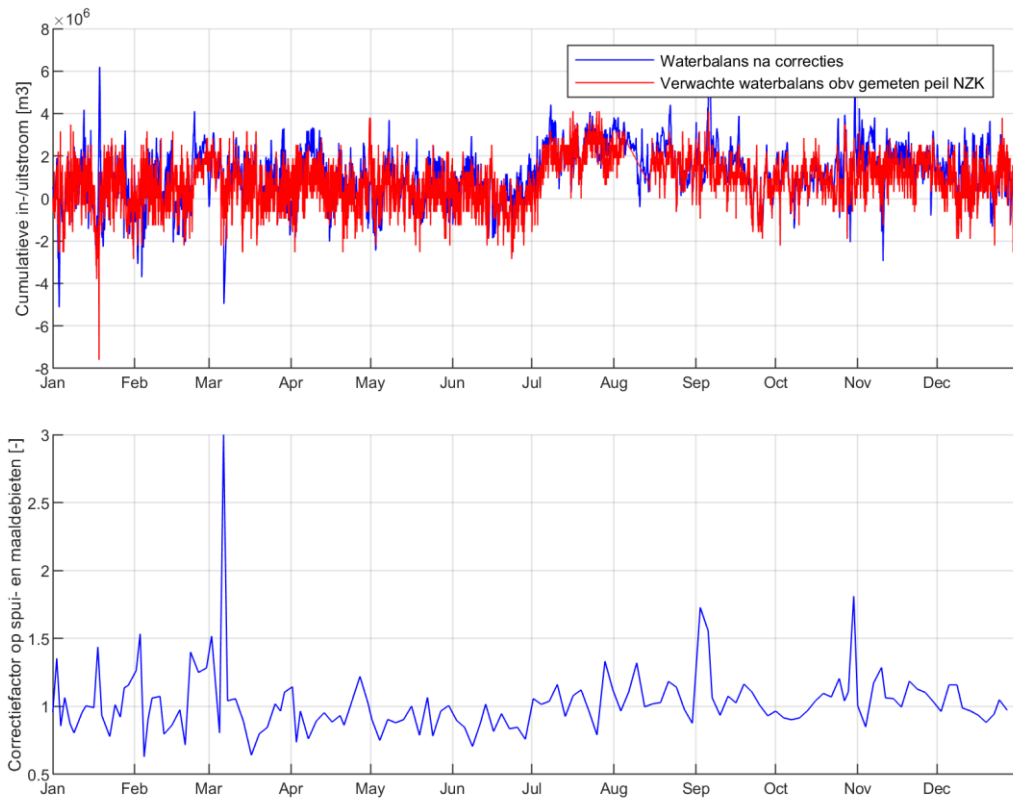
Figuur D.2 Vergelijking cumulatieve debieten bij Weesp (2018) op basis van het ongecorrigeerd D-HYDRO model, Boezemmodel en metingen.



Figuur D.3 Vergelijking cumulatieve debieten bij Maarssen (2018) op basis van het ongecorrigeerd D-HYDRO model, Boezemmodel en metingen.



Figuur D.4 Variatie cumulatief debiet over het jaar na uniforme correctie van ongeveer -18% op de spui- en maaldebieten bij IJmuiden.



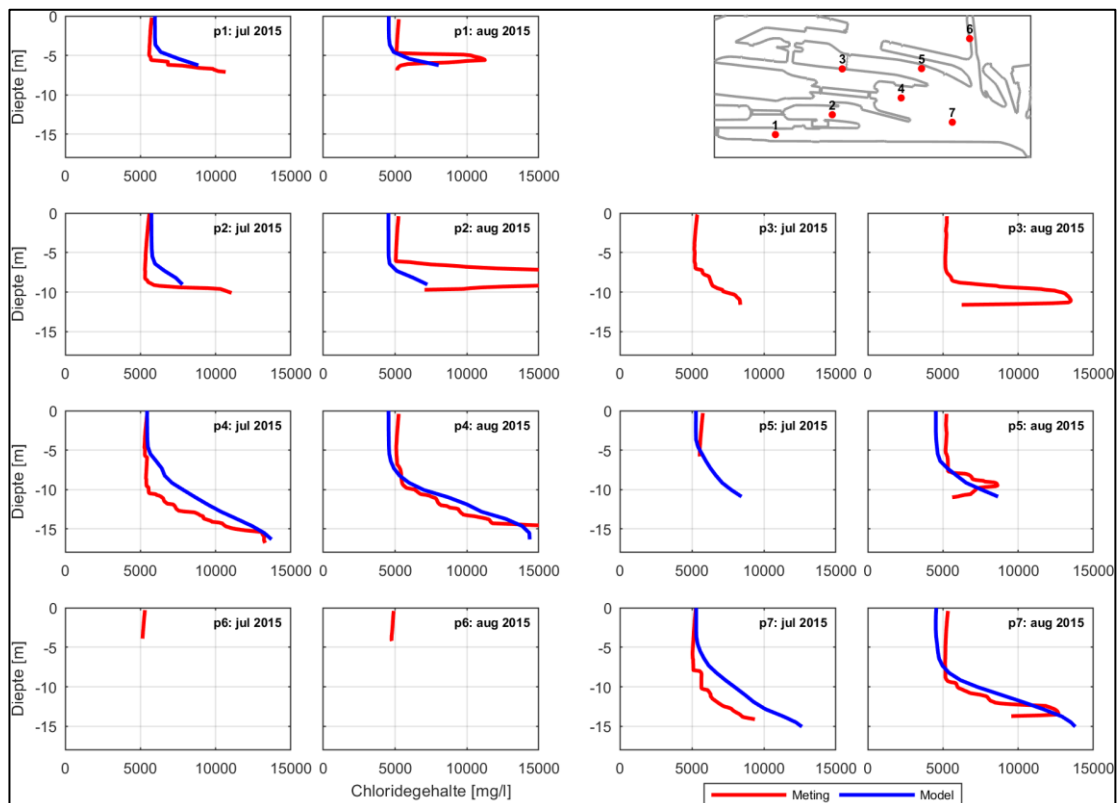
Figuur D.5 Boven: Cumulatief debiet na variabele correctie, zoals in het model en zoals verwacht obv gemeten peil (rood). Onder: variabele correctiefactor toegepast op spui- en maaldebieten bij IJmuiden.

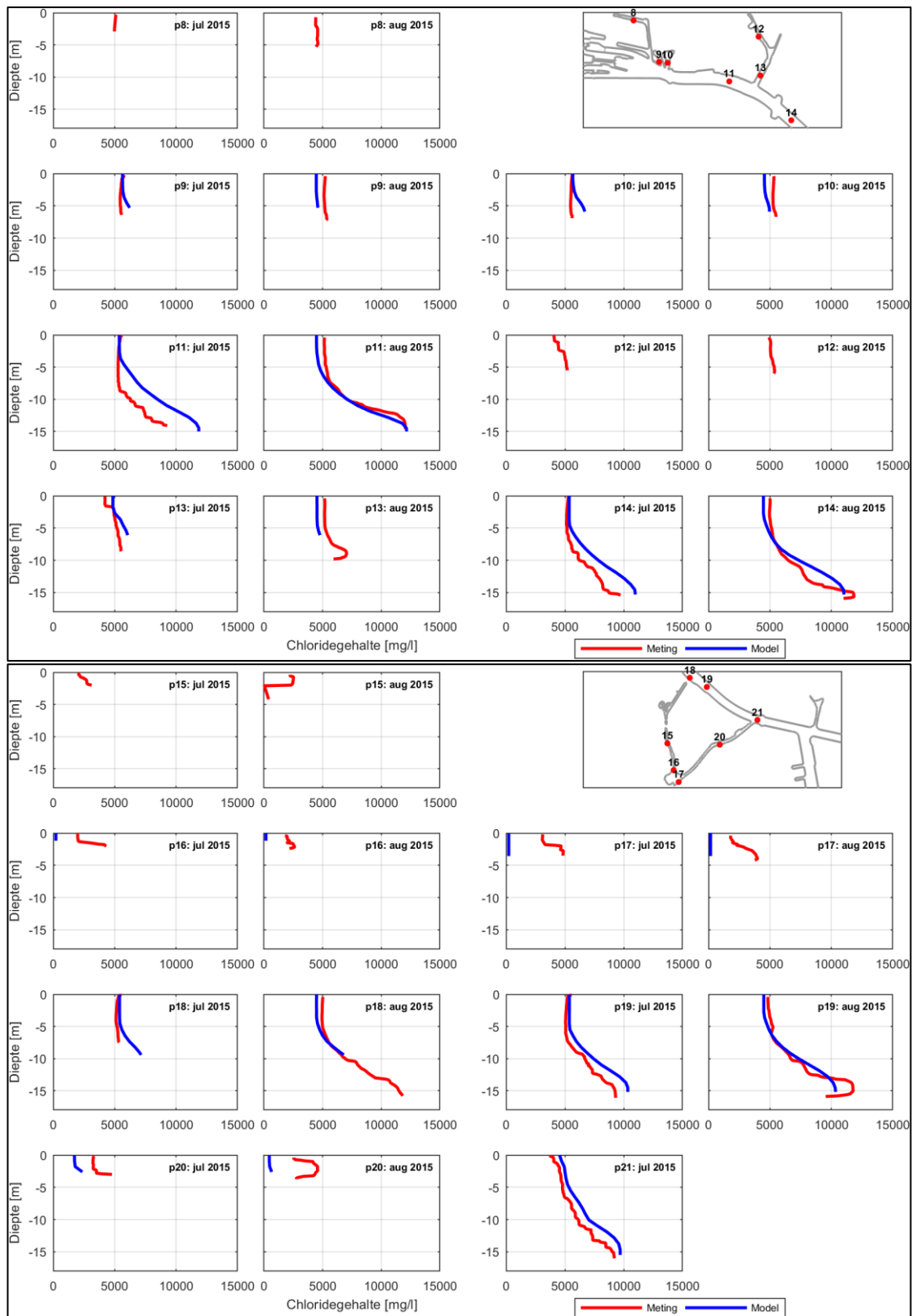
E Vergelijking profielmetingen 100-punten metingen

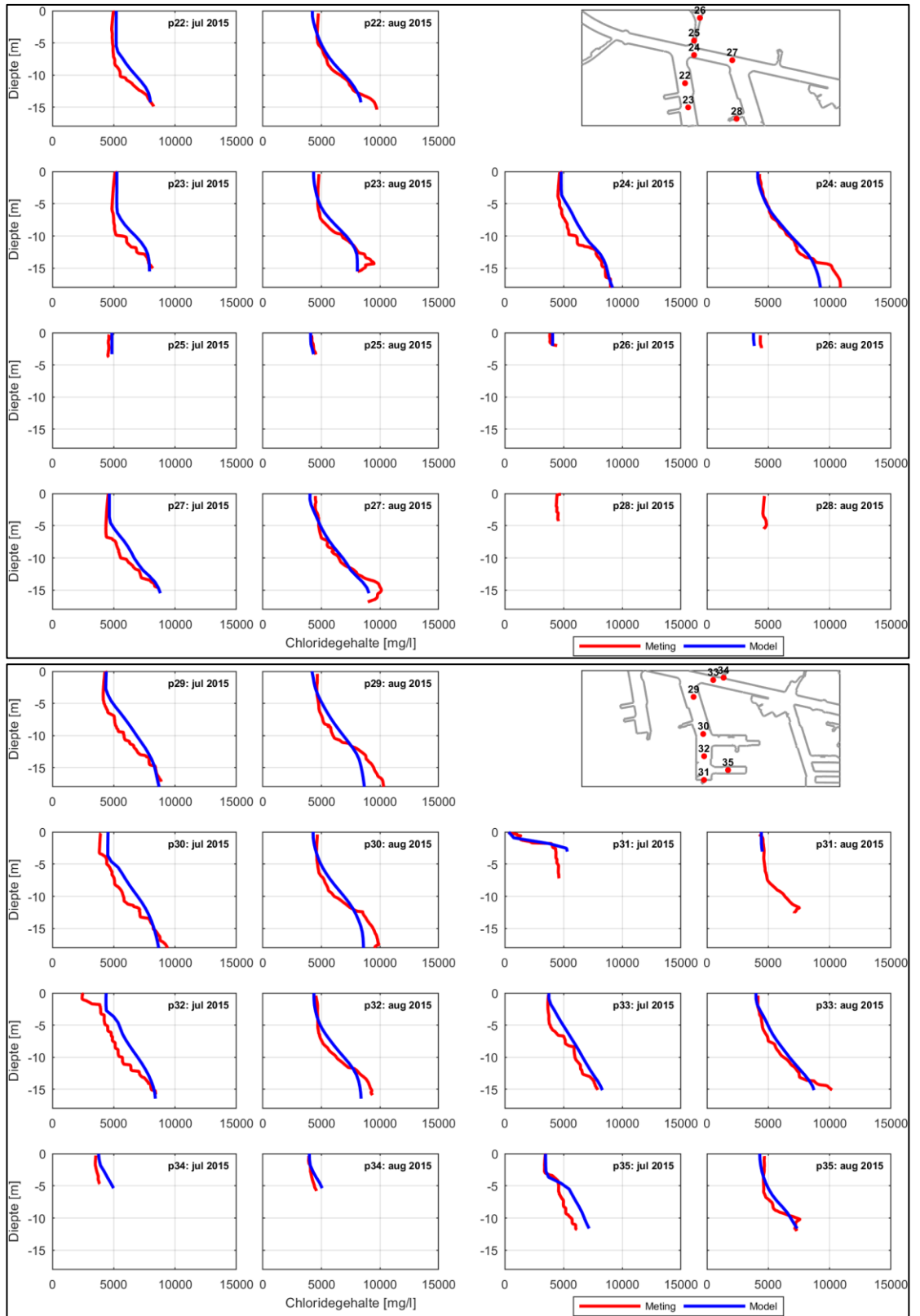
In deze bijlage wordt de vergelijking van de gemeten en gemodelleerde profielen voor zout en temperatuur gepresenteerd. De vergelijking voor de twee 100-puntenmetingen in 2015 wordt gepresenteerd in E.1 en voor de 100-puntenmeting van september 2018 in E.2.

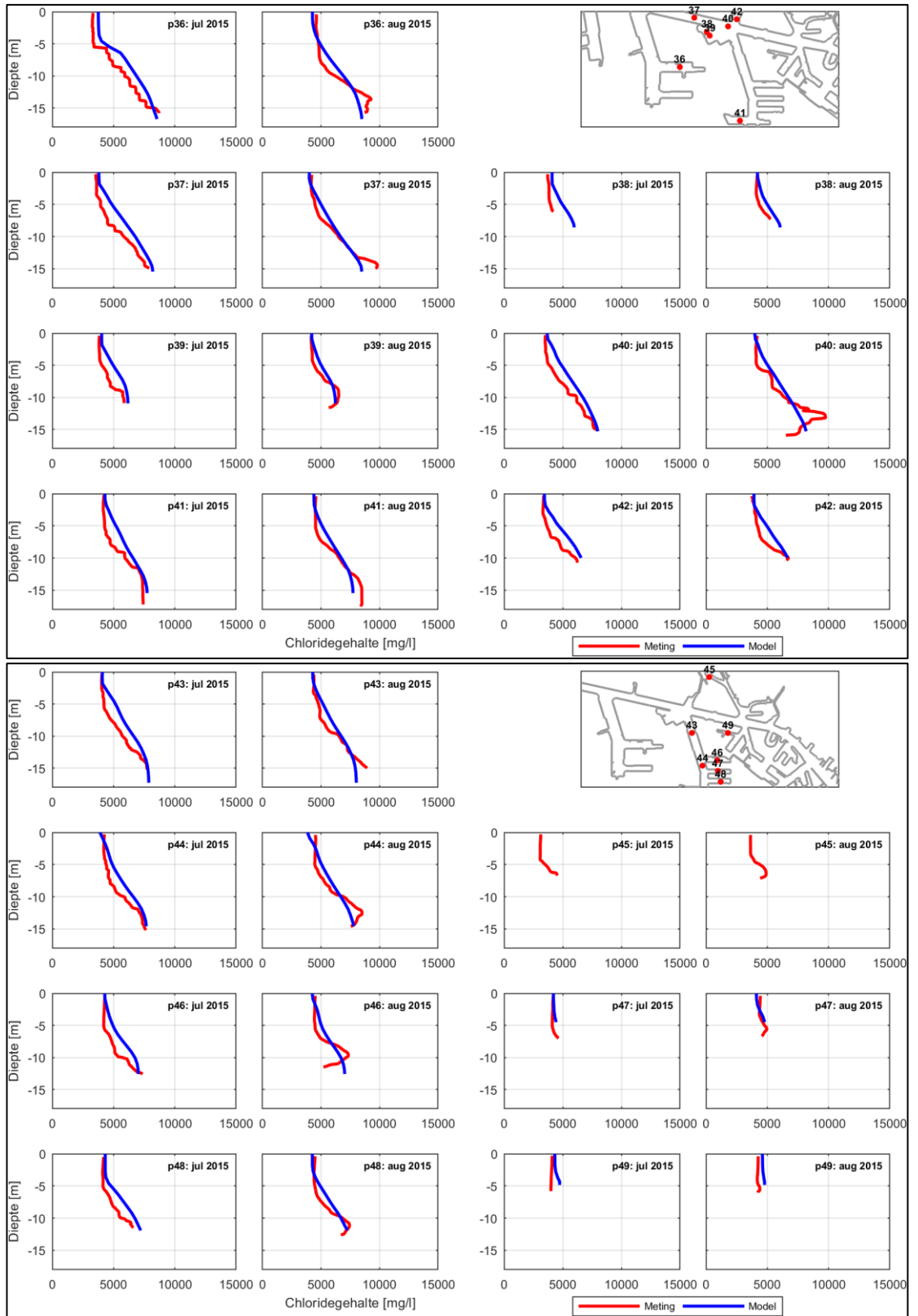
E.1 2015 (juli en augustus)

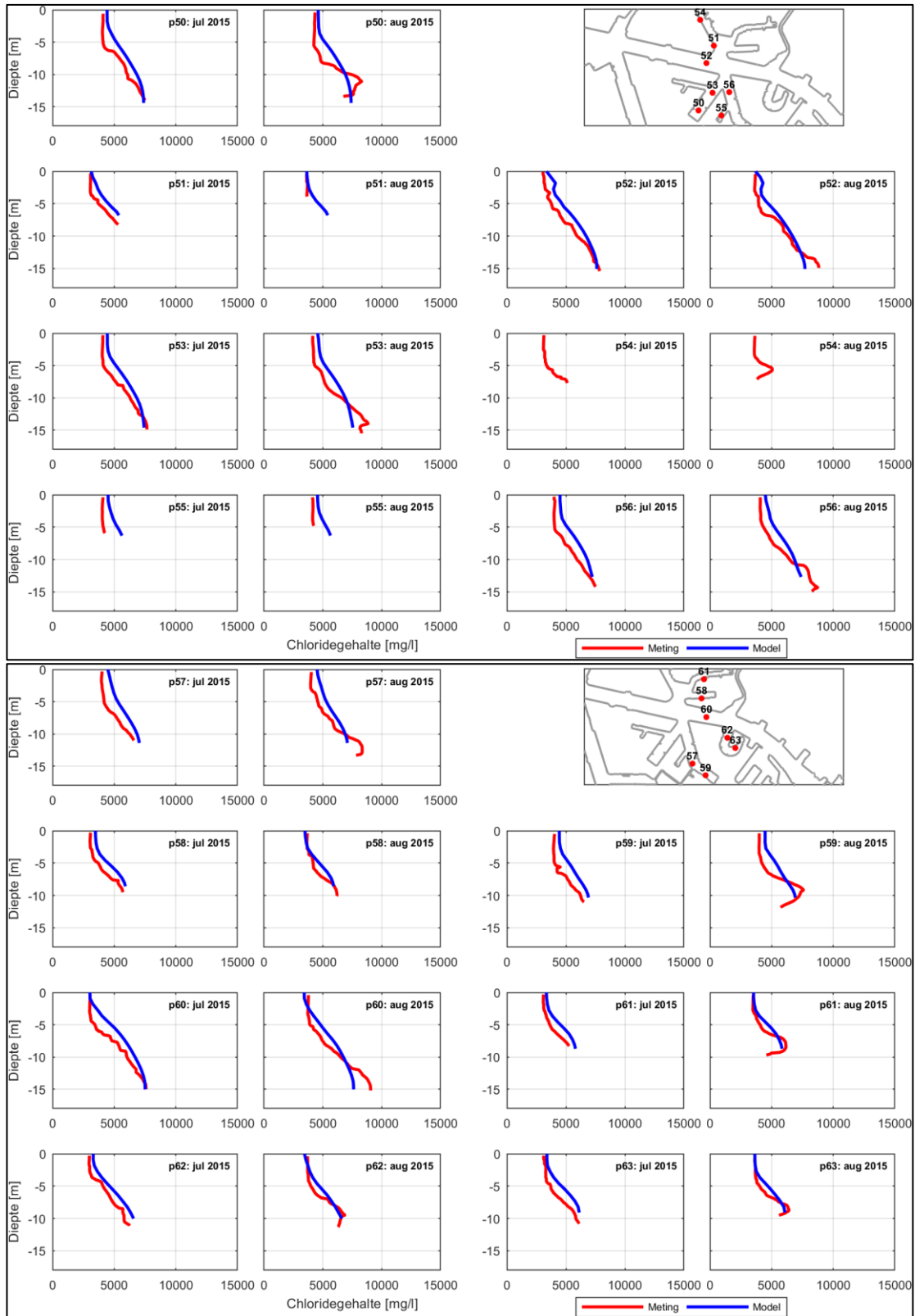
E.1.1 Chloride

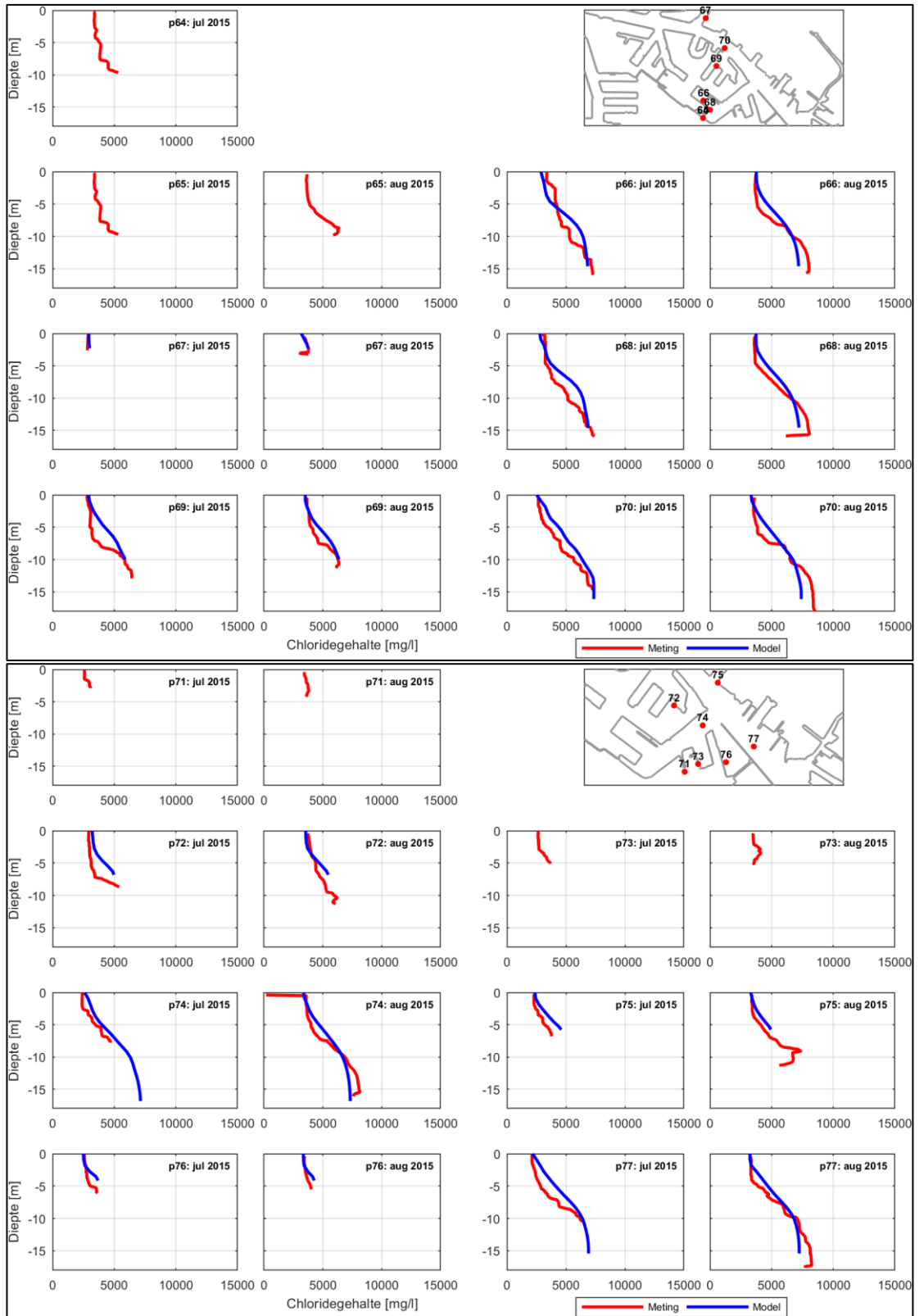


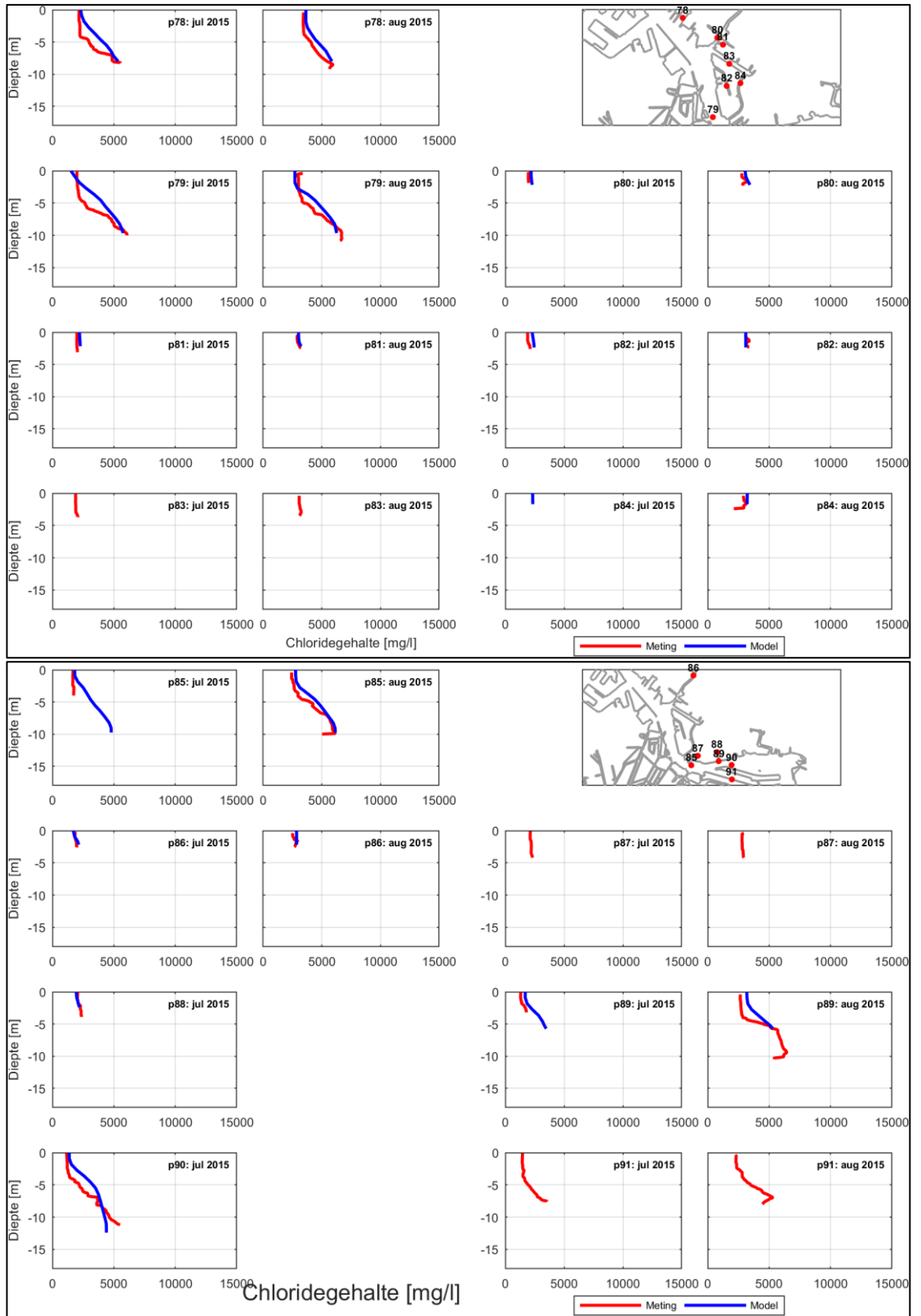


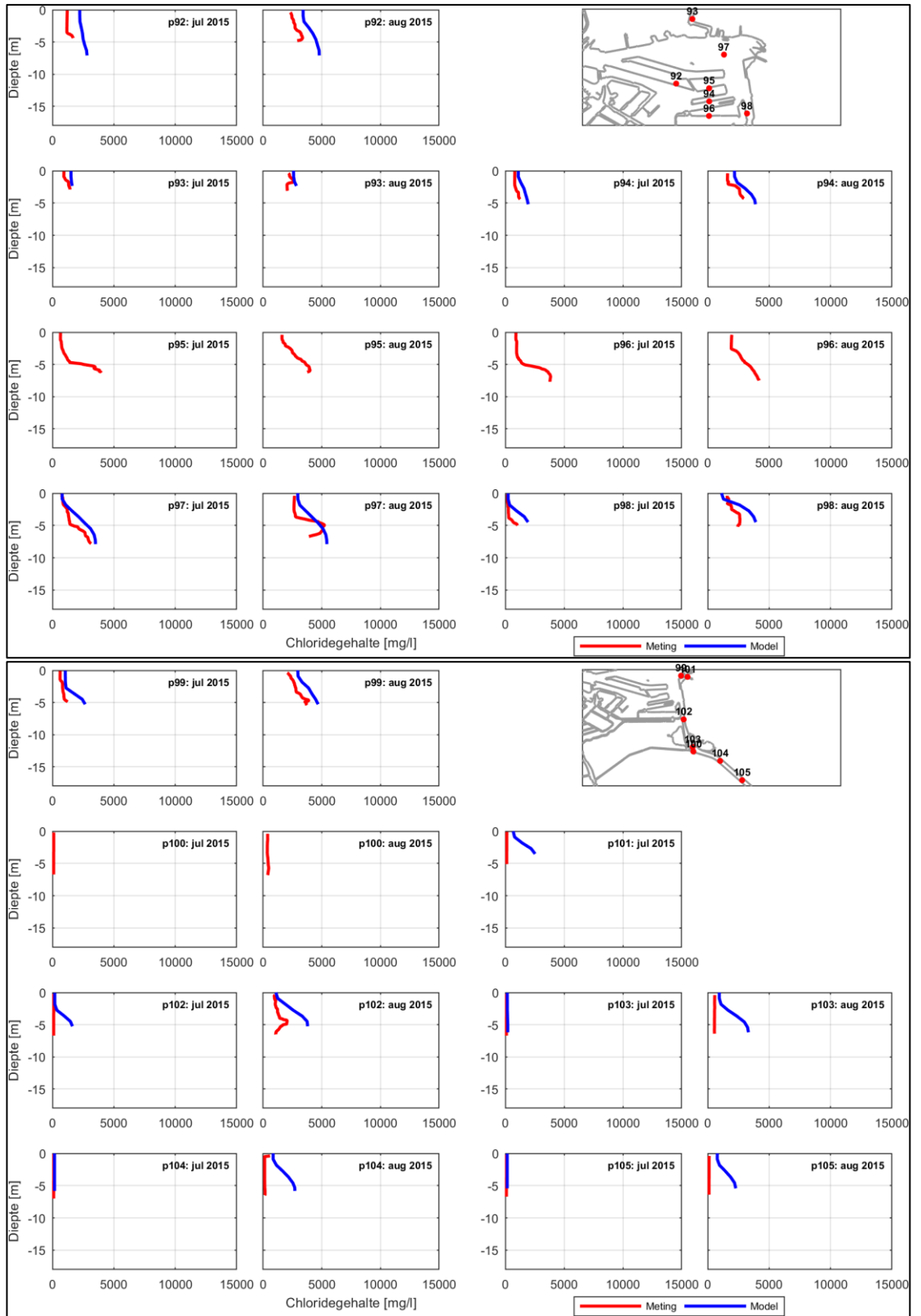


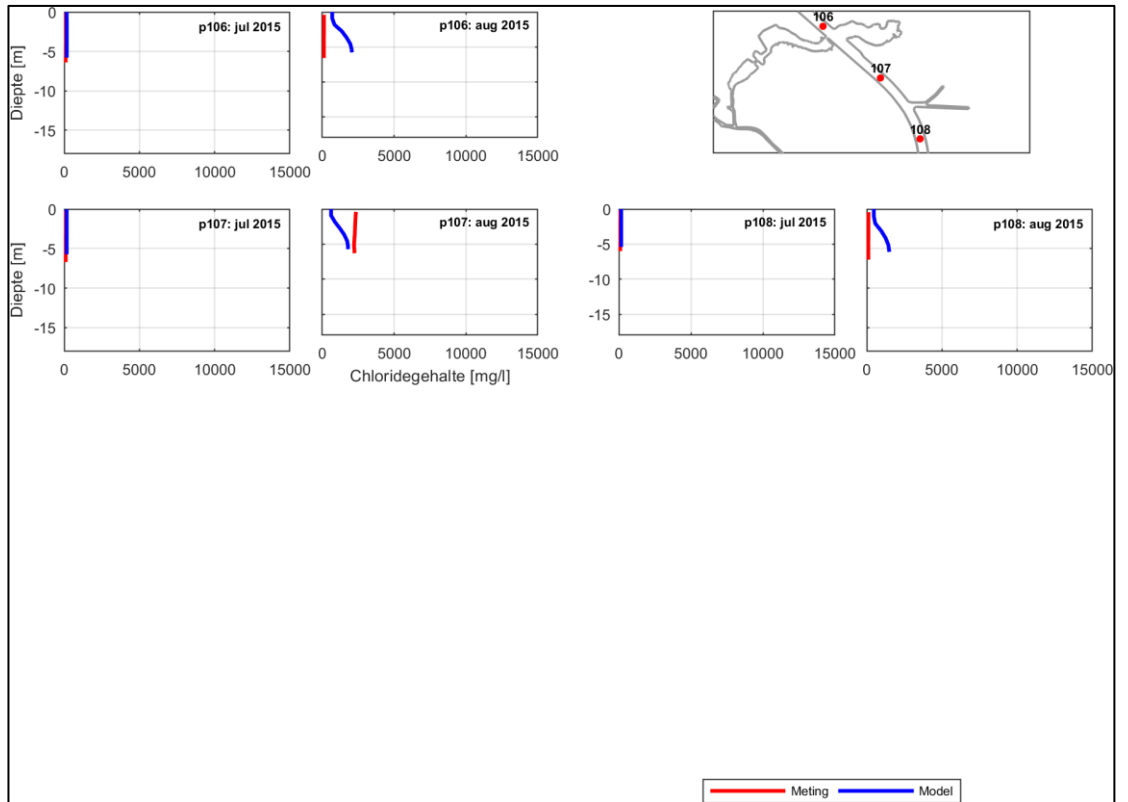






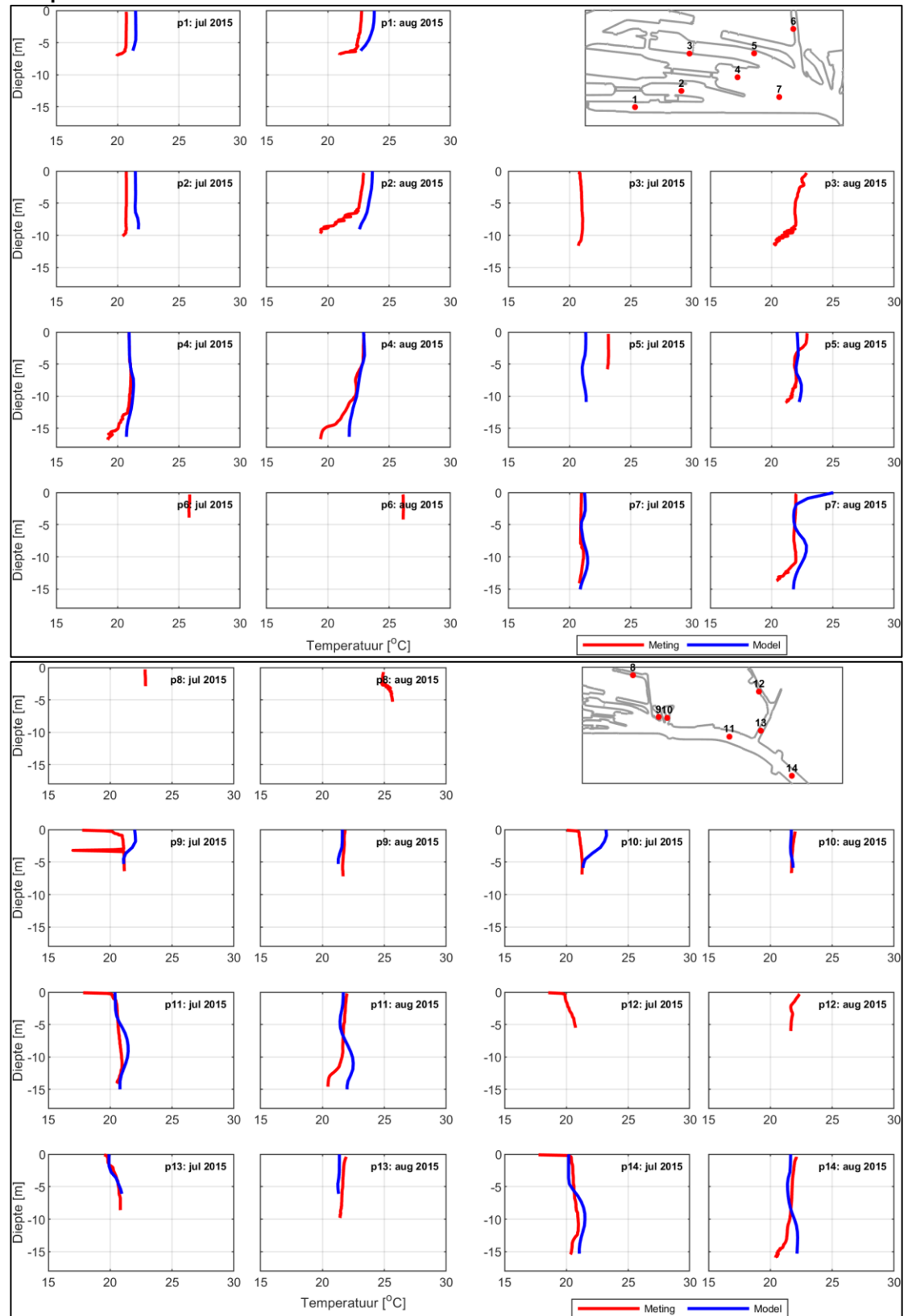


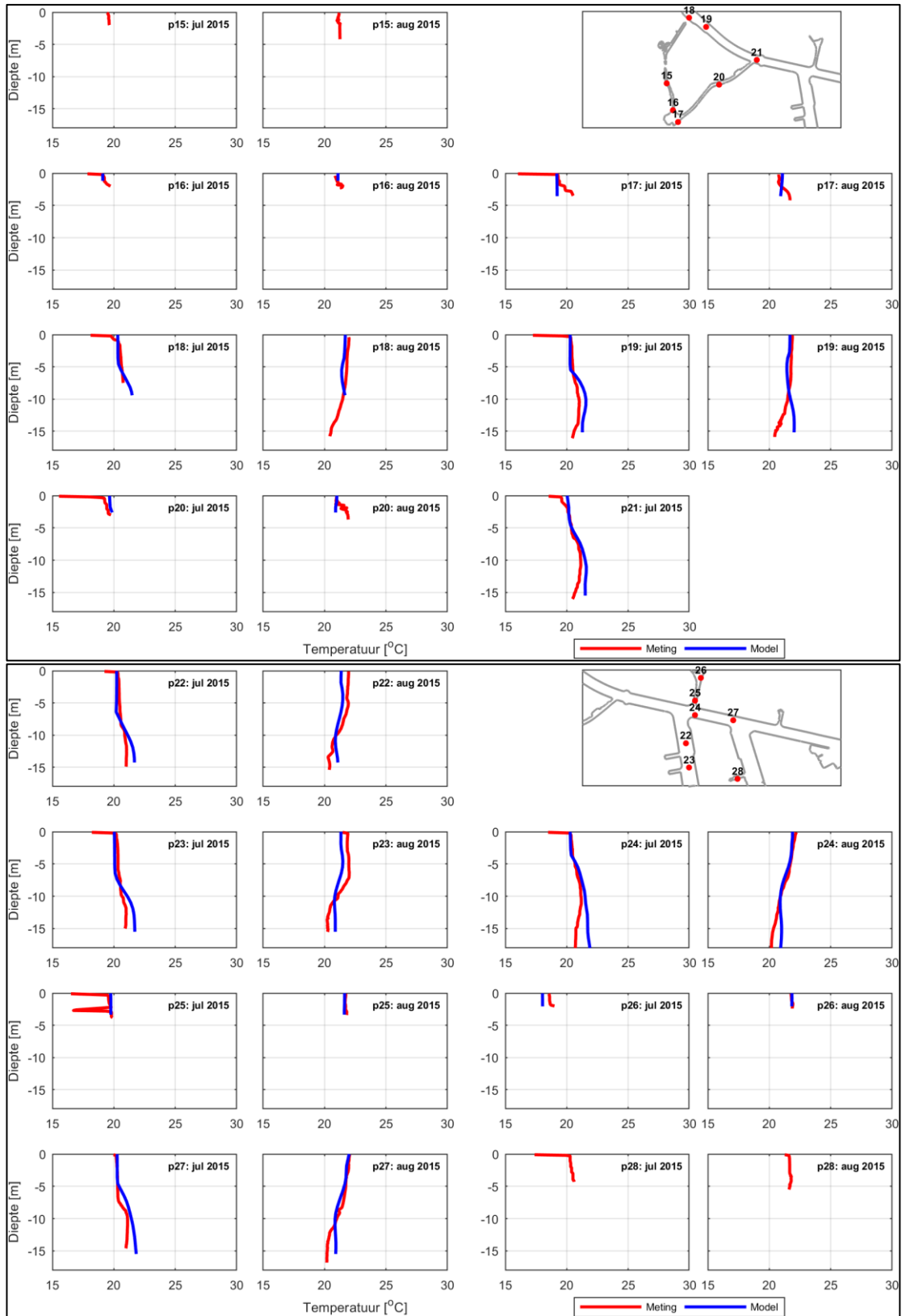


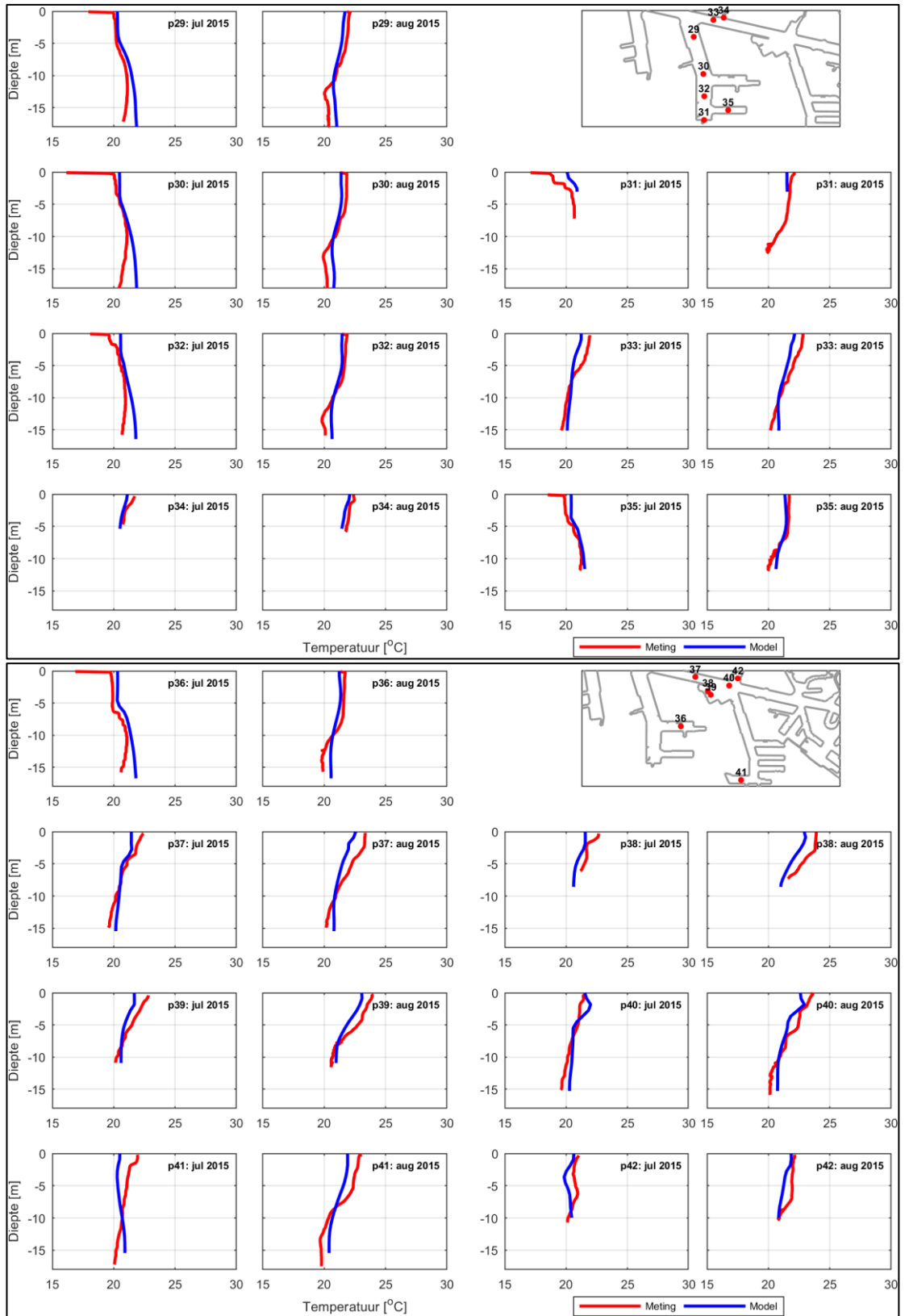


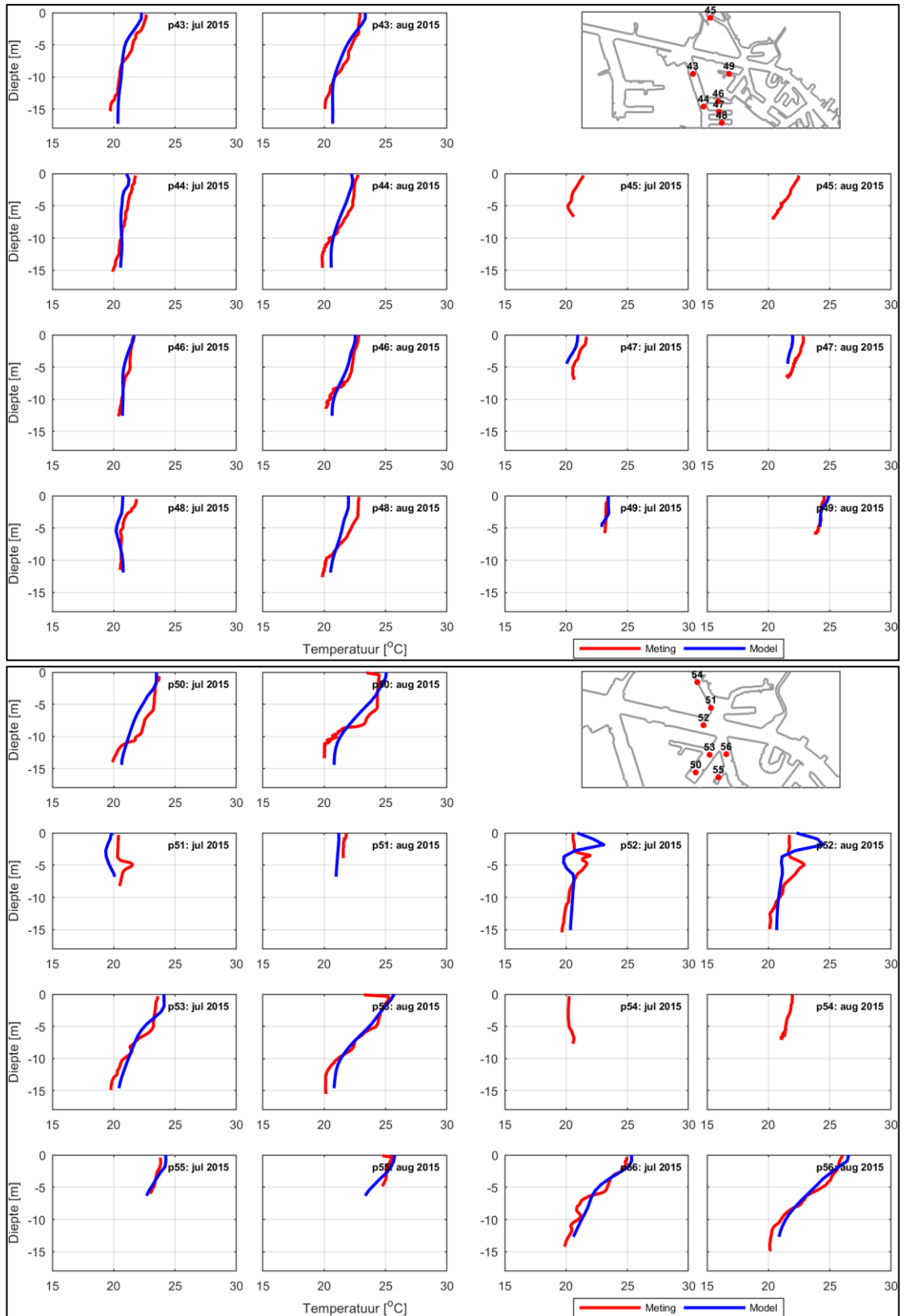
E.1.2

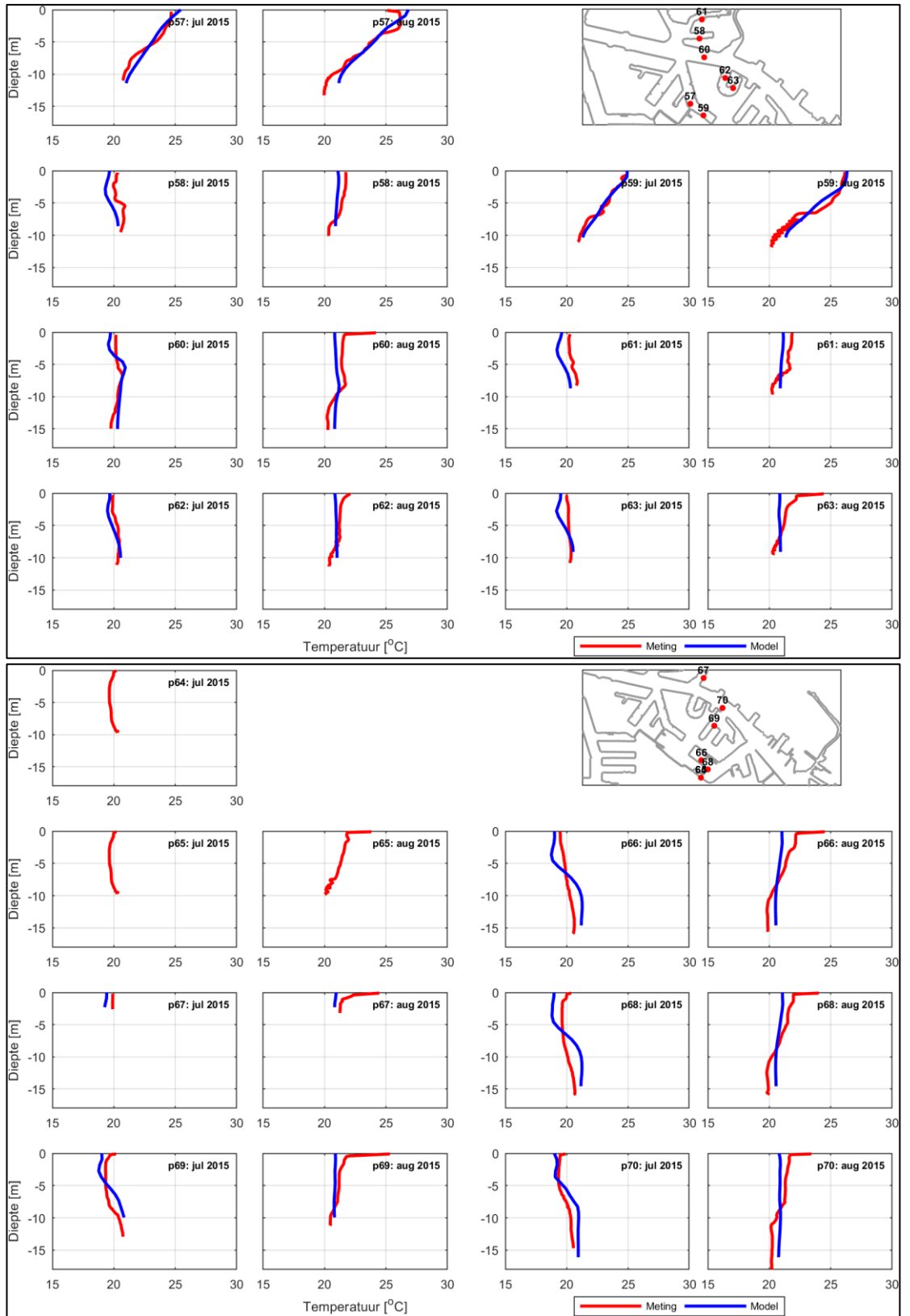
Temperatuur

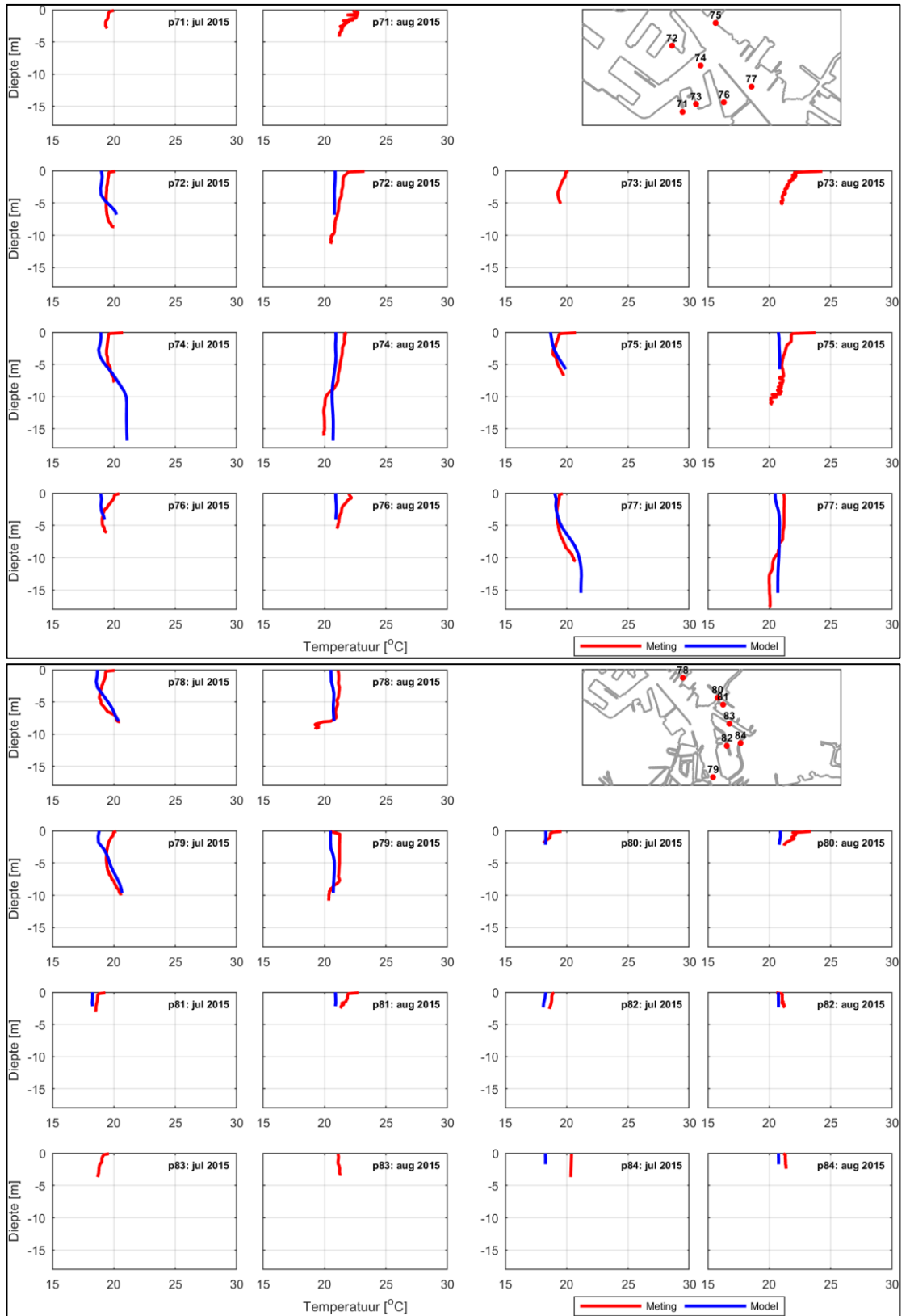


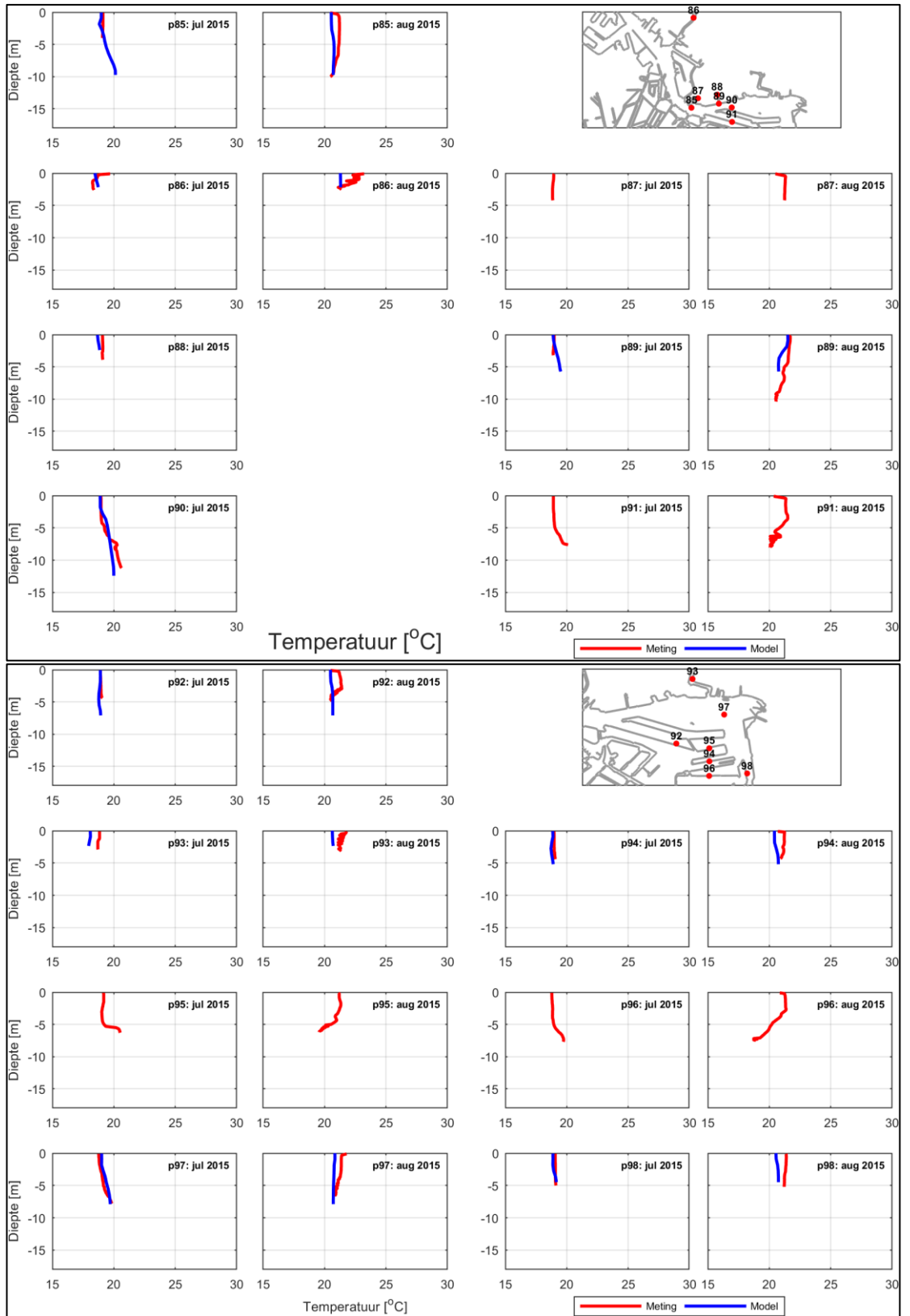


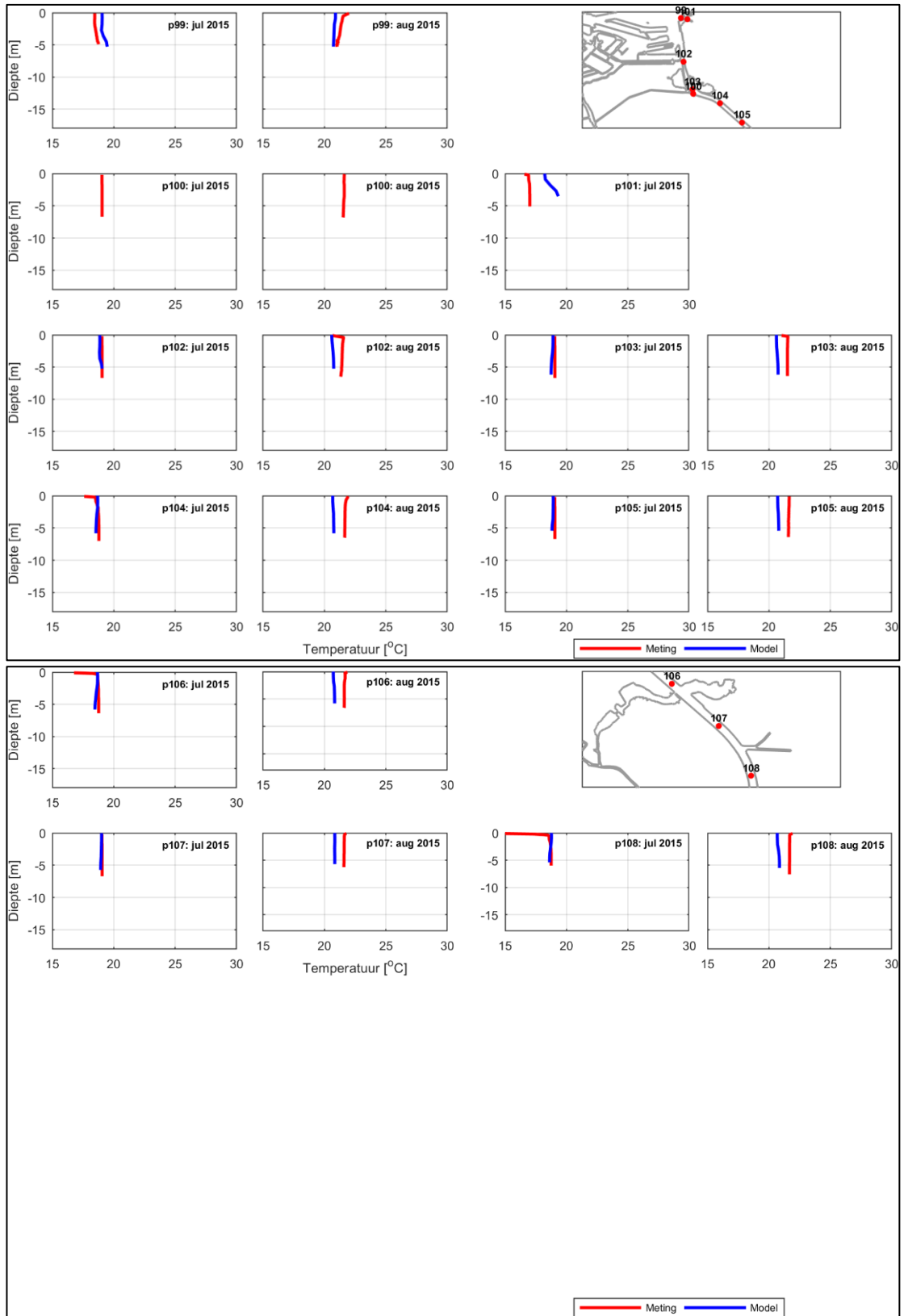






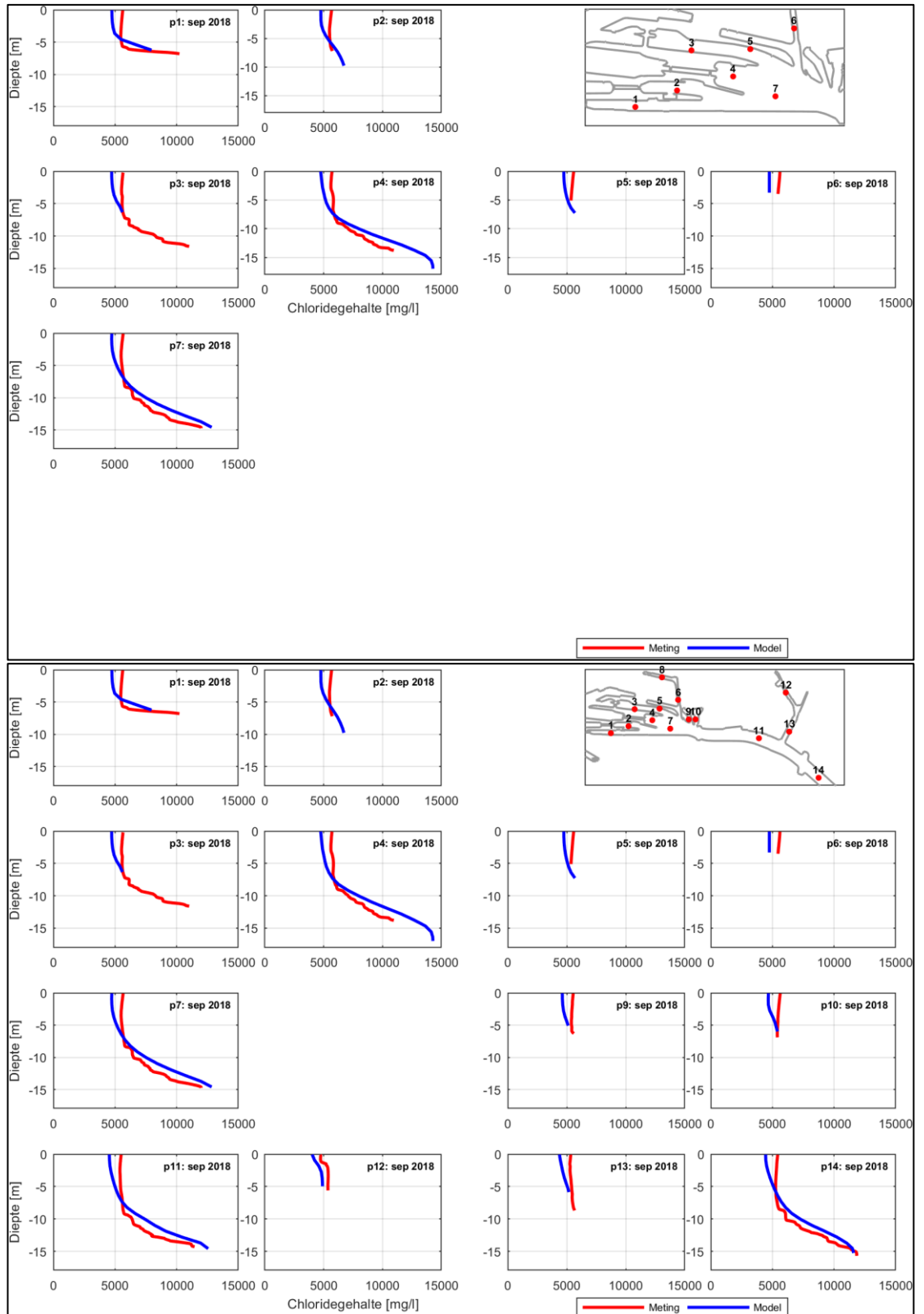


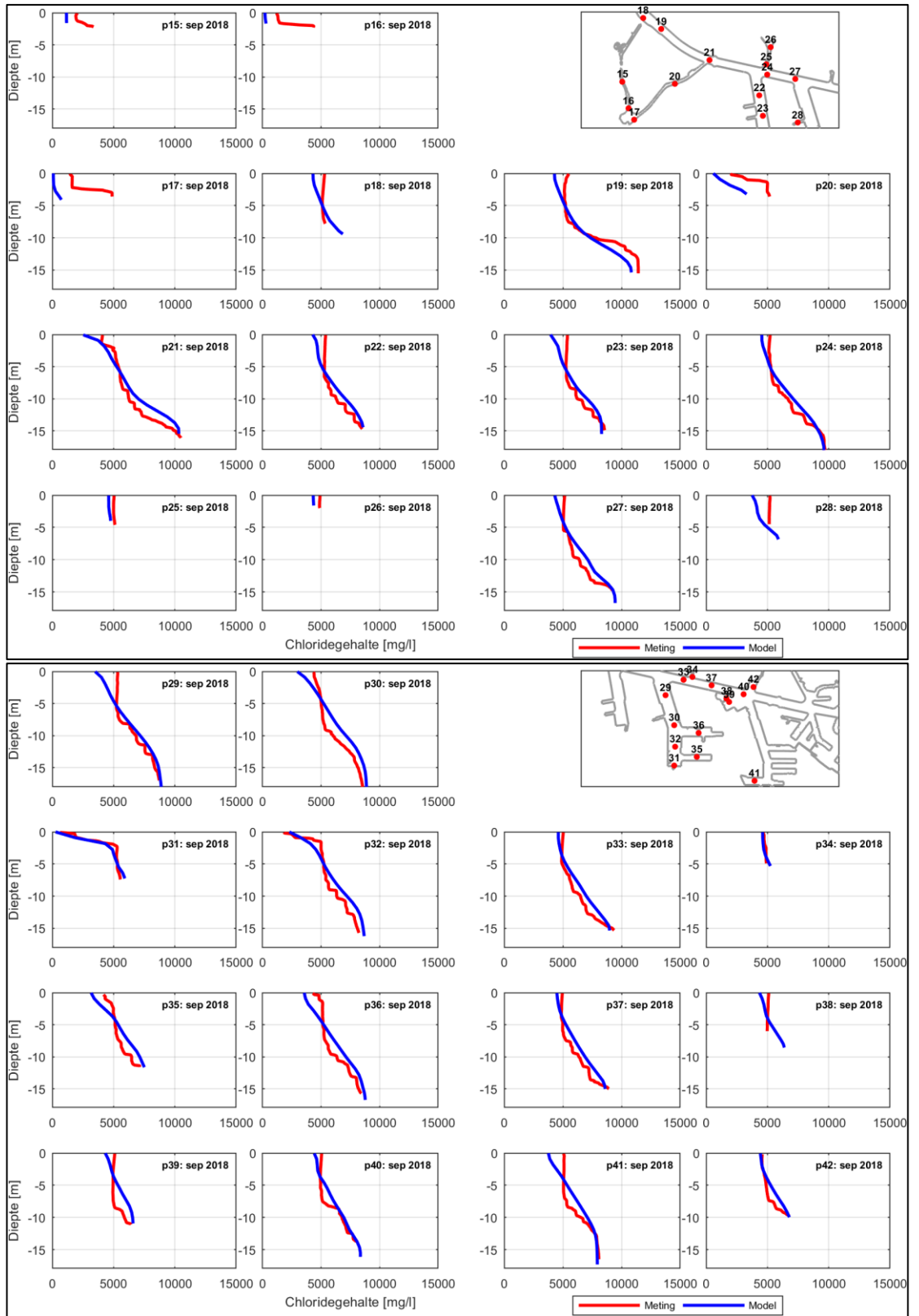


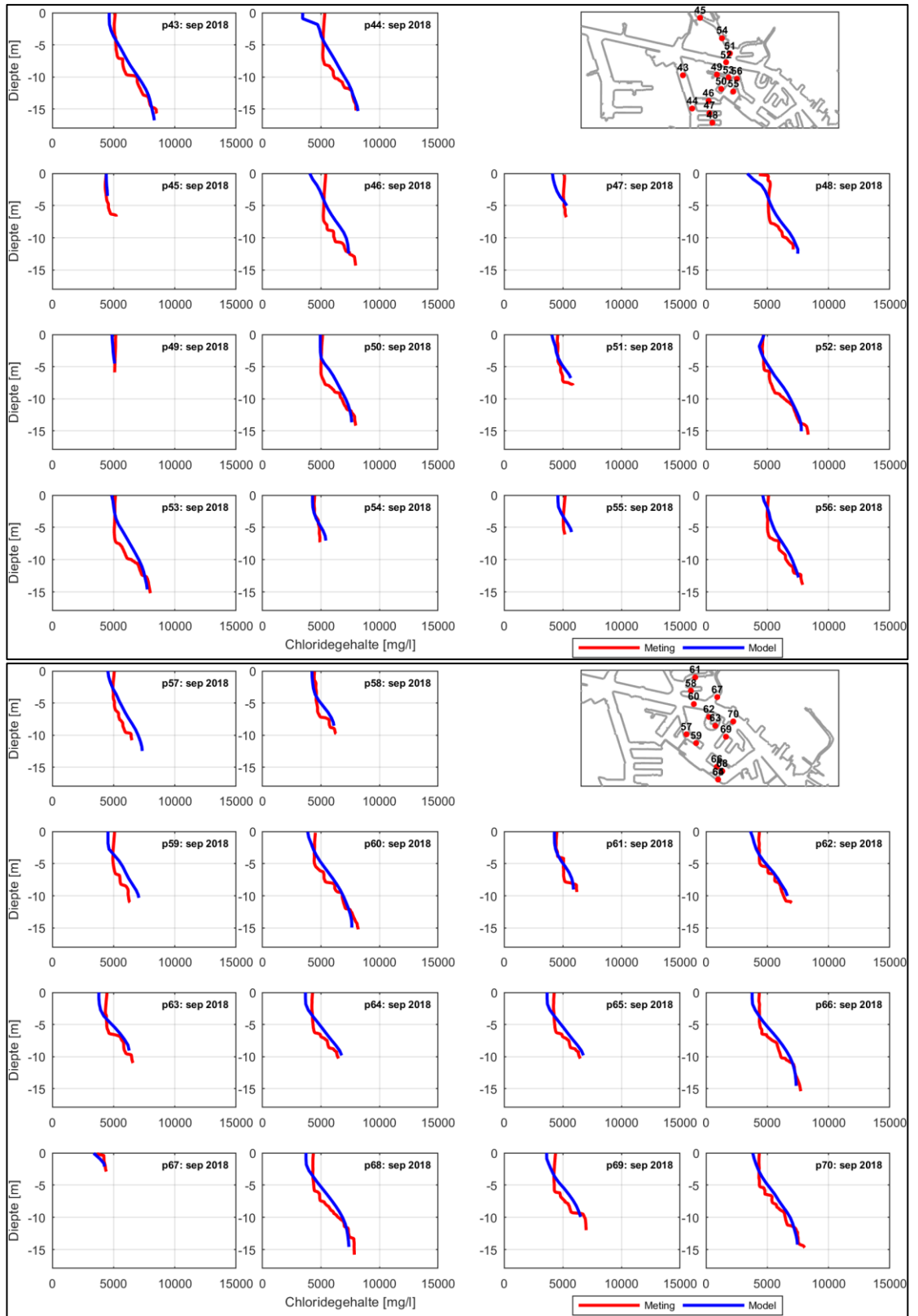


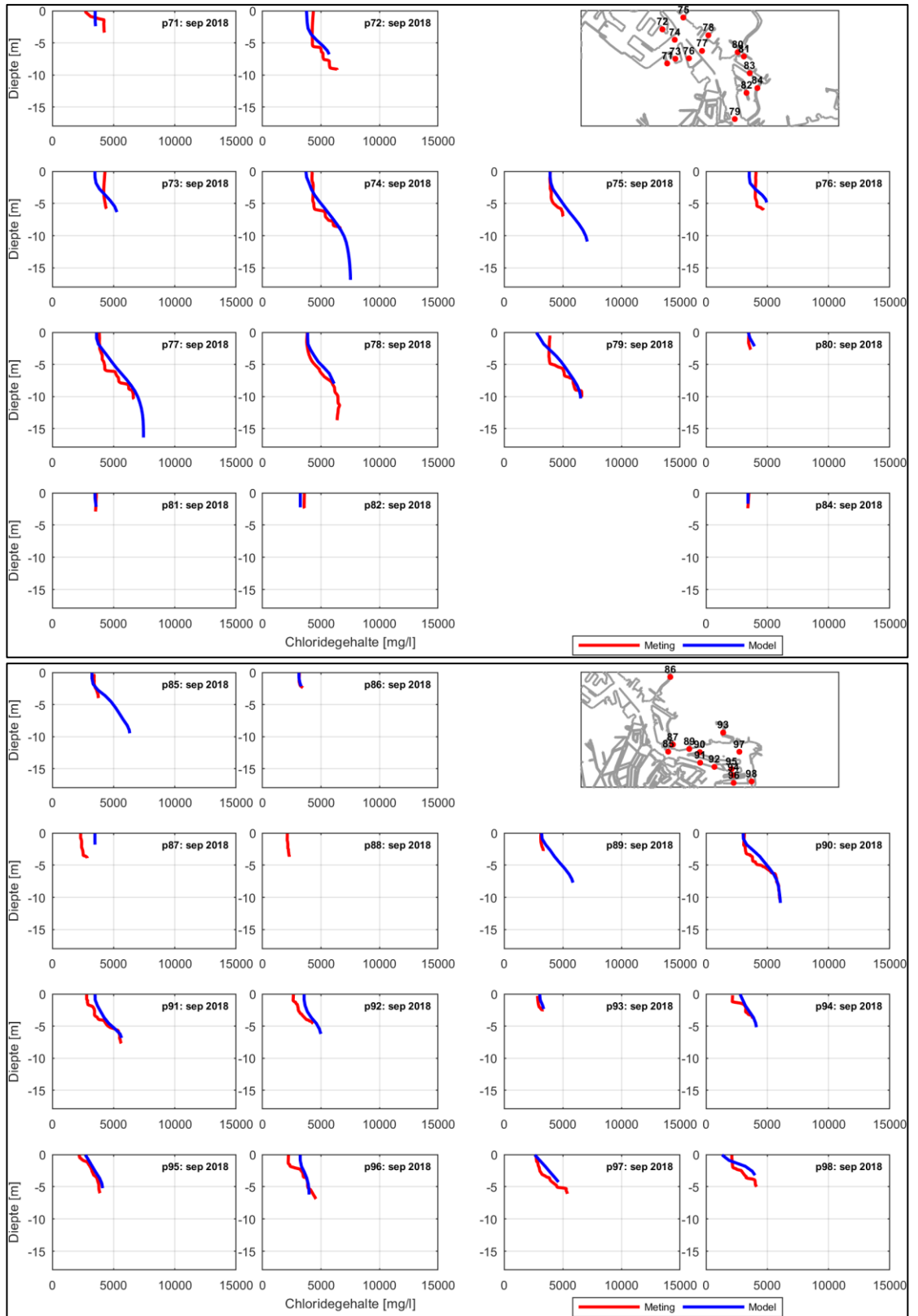
E.2 2018 (september)

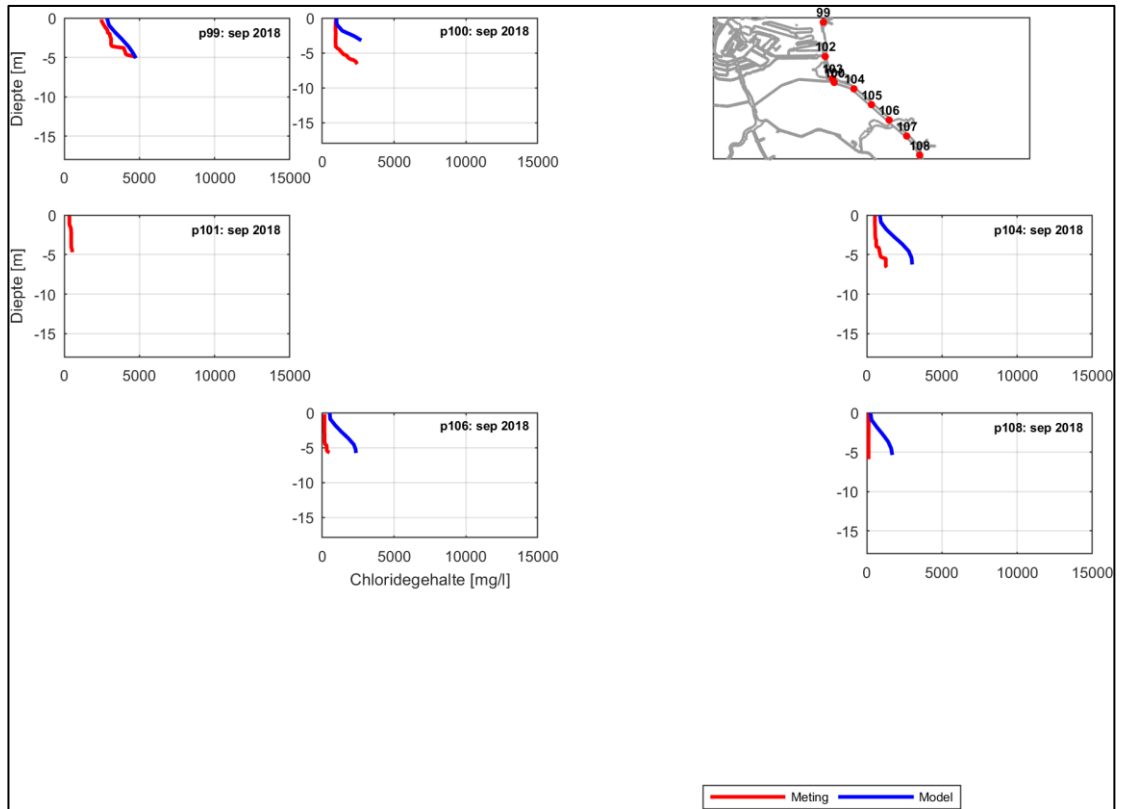
E.2.1 Zout





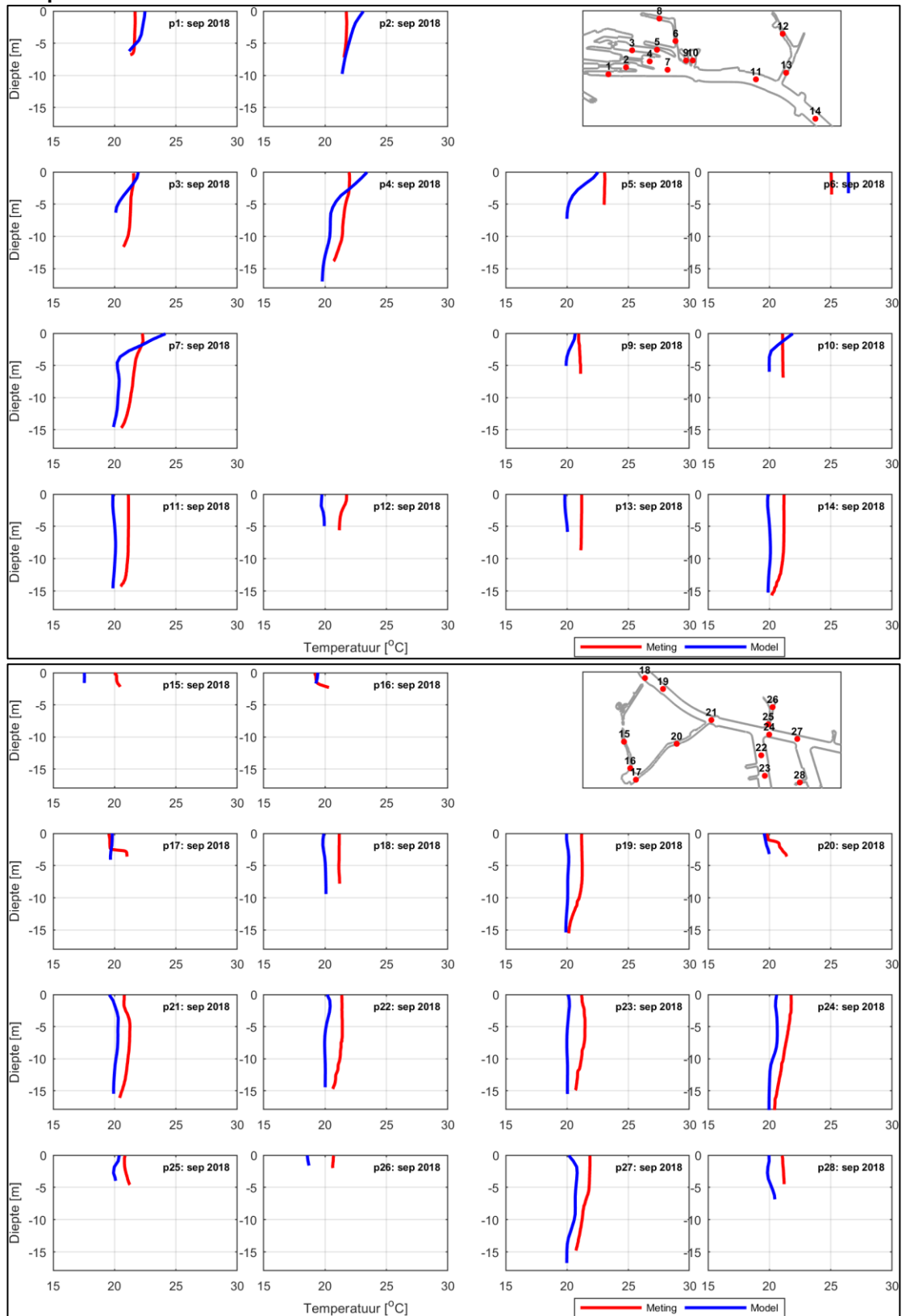


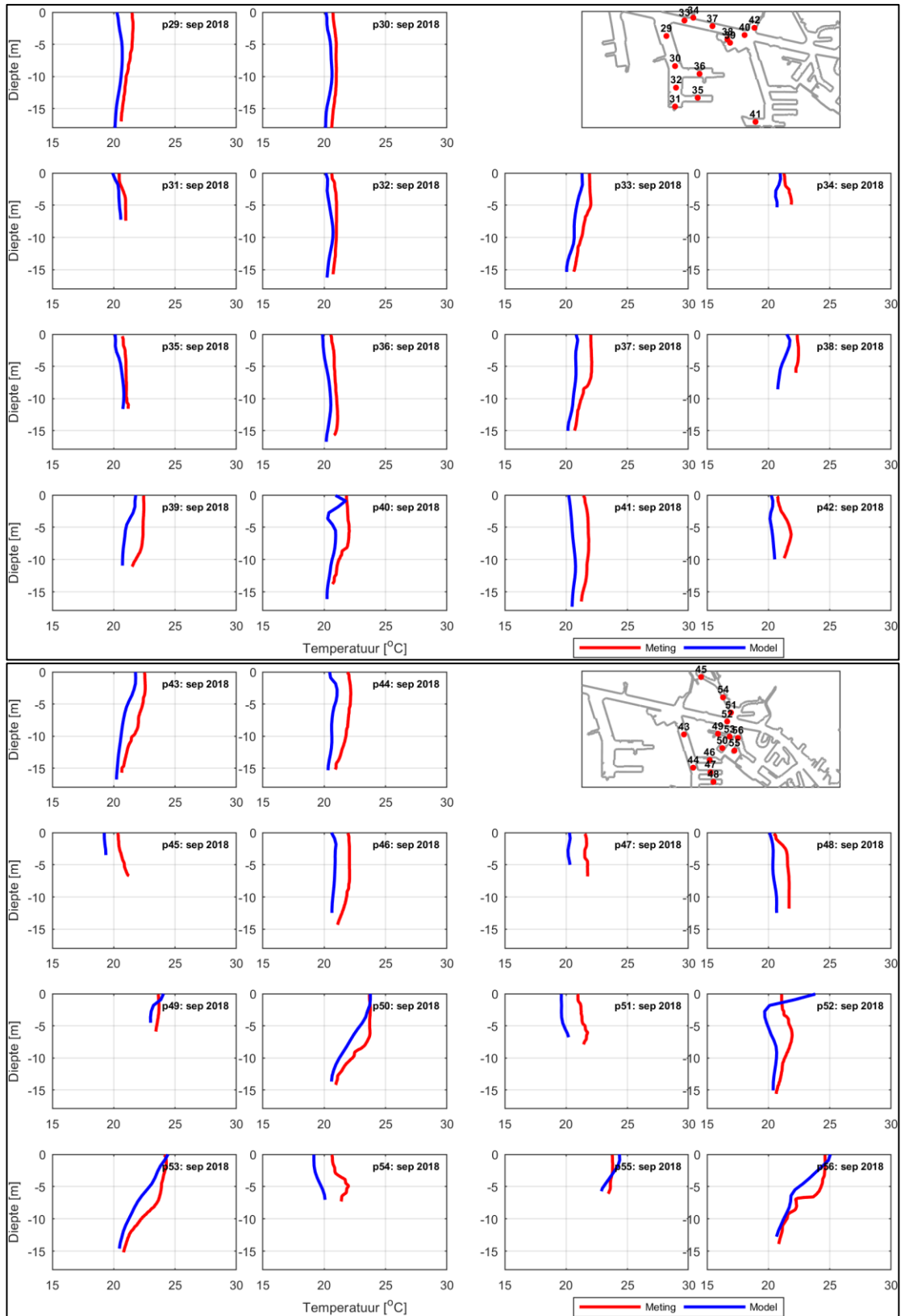


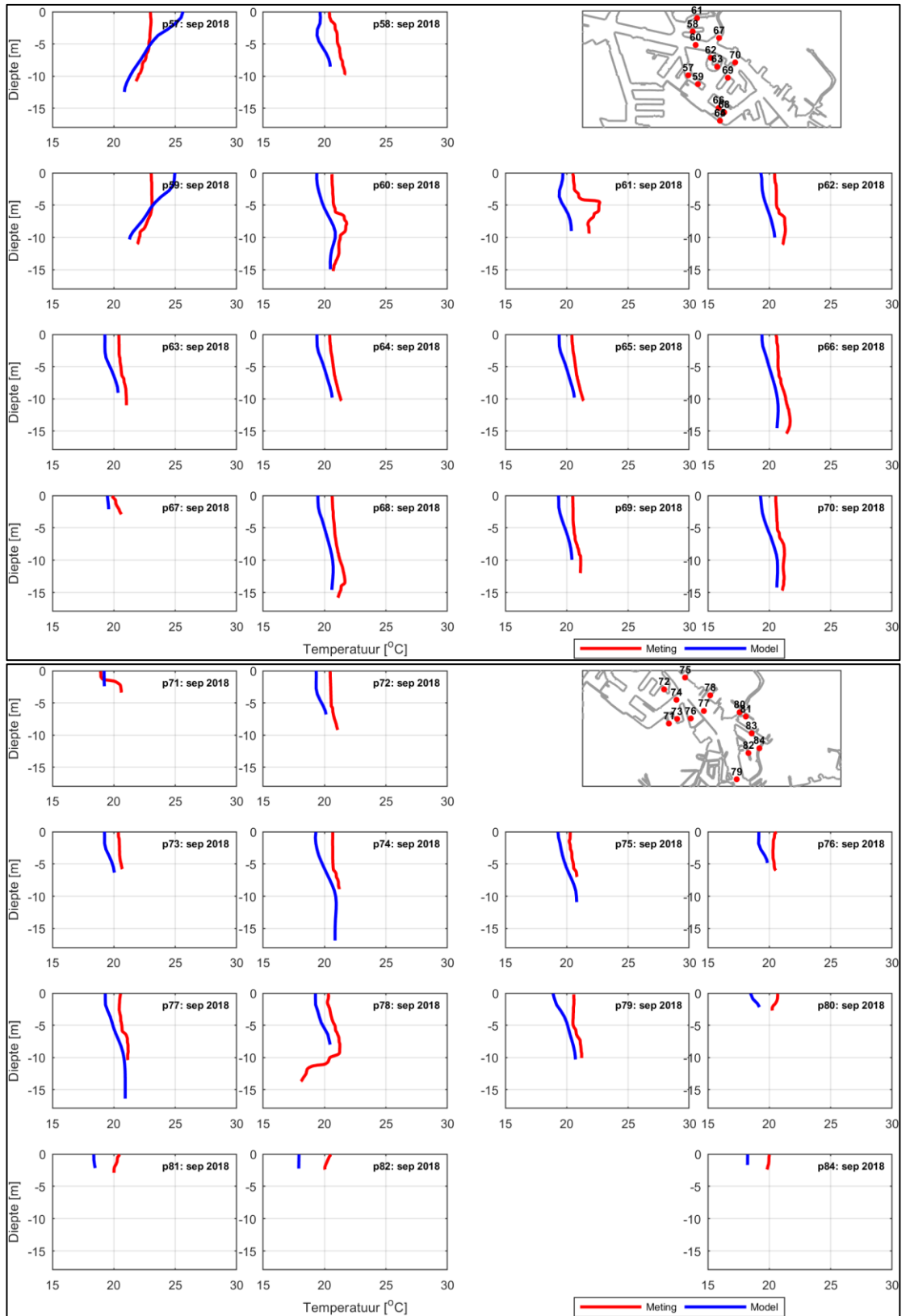


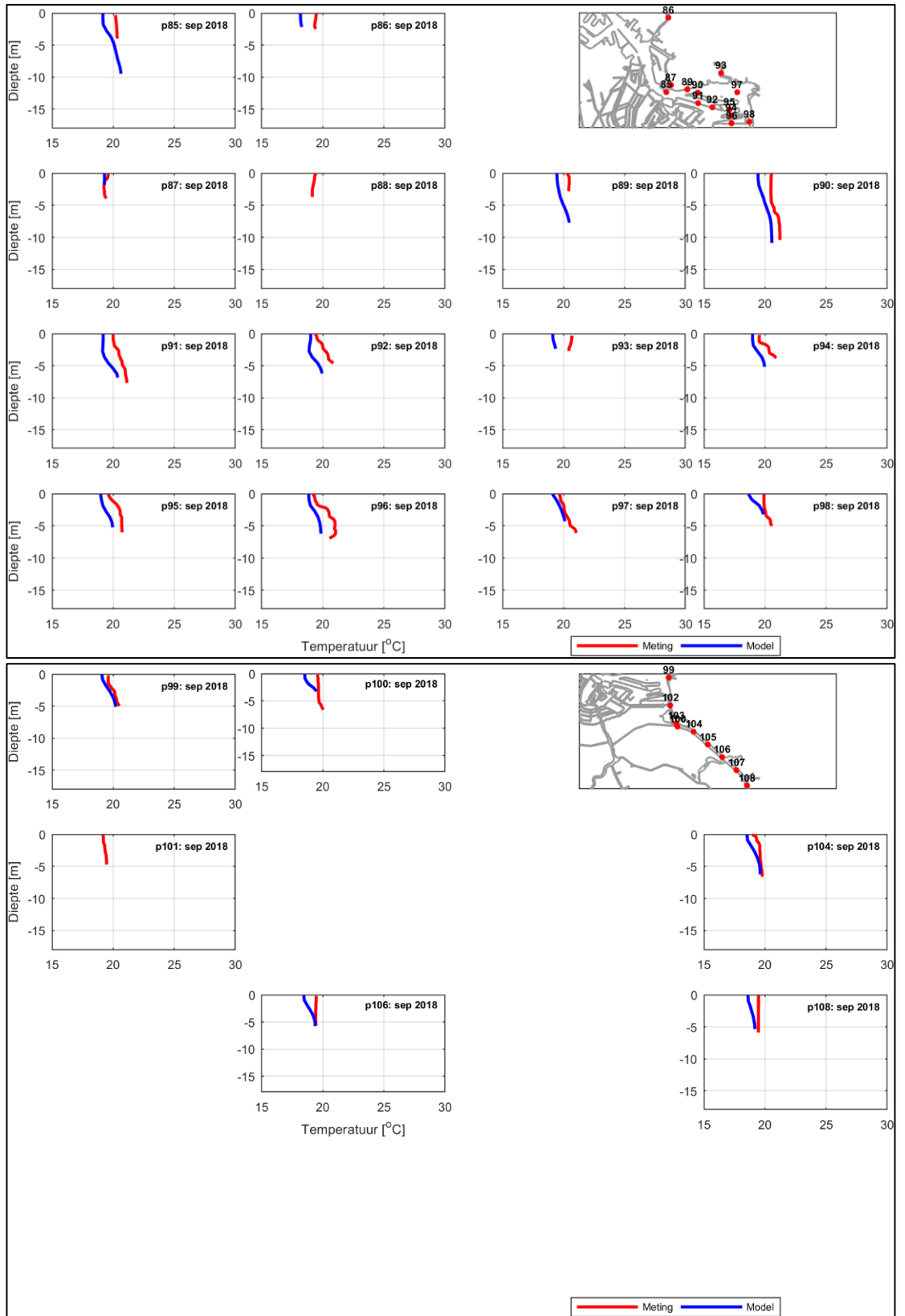
E.2.2

Temperatuur









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