

**OSR-simulaties voor
zoutindringing in de Rijn-
Maasmonding zomer 2003**

Onderdeel KPP Waterkwaliteitsmodelschematisaties 2015



OSR-simulaties voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding zomer 2003

Onderdeel KPP Waterkwaliteitsmodelschematisaties 2015

dr.ir. W.M. Kranenburg
R. Schueder MSc

1220070-000

Titel

OSR-simulaties voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding zomer 2003

| | | | |
|----------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Opdrachtgever | Project | Kenmerk | Pagina's |
| RWS-WVL | 1220070-000 | 1220070-000-ZKS-0029 | 65 |

Trefwoorden




Zoutindringing, externe verzilting, Rijn-Maasmonding, Nieuwe Waterweg, OSR, SIMONA, TRIWAQ, 3D.

Samenvatting

Rijkswaterstaat (RWS) heeft behoefte aan een proces-gebaseerd 3D-computermodel om onderzoek te kunnen doen naar effecten van ingrepen en beheermaatregelen in de Rijn-Maasmonding op zoutindringing. In dat kader heeft Deltares in opdracht van RWS in twee eerdere studies het door het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) ontwikkelde Operationeel Stromingsmodel Rotterdam (OSR-model) geëvalueerd met betrekking tot zoutindringing. Nu heeft RWS Deltares gevraagd om in aanvulling daarop een data-model-vergelijking uit te voeren met 'nieuwe' data, voor andere testperioden dan in de eerdere studies. Dit rapport beschrijft die aanvullende data-model-vergelijking voor de testperioden mei en augustus 2003.

Voor deze vergelijking zijn simulaties opgezet voor de genoemde perioden. De modelresultaten zijn vergeleken met gemeten saliniteitsprofielen en uit snelheidsmetingen berekende debieten nabij 3 splitsingspunten in de Rijn-Maasmonding. De belangrijkste observaties zijn de volgende: De modelresultaten voor de saliniteit bij het splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas laten een grote overeenkomst zien met de gemeten profielen. Dit betreft zowel de minimale en maximale saliniteit, maar ook de vorm van het profiel en de hoogte van de overgang van zoeter naar zouter water. Verderop in de Oude Maas bij de splitsing met het Hartelkanaal laat het model een overschatting van de saliniteit zien, in het bijzonder onder in het profiel. Ook overschat het model het getijvolume door de Oude Maas tot in het Spui.

Op grond van deze resultaten constateren we allereerst dat het met het huidige model mogelijk is goede gelaagdheid en saliniteit te produceren in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas nabij het splitsingspunt met de Oude Maas. Verder is onze interpretatie van de resultaten op de Oude Maas dat het teveel aan zout aldaar het gevolg is van de modeloverschatting van het getijdebiet. We denken dan ook dat de modelresultaten voor saliniteit in de Oude Maas verbeterd kunnen worden door verbetering van de debietverdeling in het model. Op grond van de observatie dat de debietoverschatting is terug te vinden tot in het Spui, bevelen we aan te onderzoeken of het modelgedrag verbeterd kan worden door aanpassing van de randvoorwaarde aan de zuidzijde van het Spui.

| Versie | Datum | Auteur | Paraaf | Review | Paraaf | Goedkeuring | Paraaf |
|--------|----------|---|---|-----------------------|--|--------------------------|---|
| | 21/12/15 | dr.ir. W.M.Kranenburg R.Schueder MSc |  | Drs. M. Schroevers |  | Drs. F.M.J. Hoozemans |  |

Status

definitief

Inhoud

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introductie | 1 |
| 1.1 | Organisatorisch kader | 1 |
| 1.2 | Achtergrond | 1 |
| 1.3 | Doel | 1 |
| 1.4 | Aanpak en rapportopzet | 1 |
| 2 | Informatie gebruikte OSR-modelversie en software | 3 |
| 2.1 | Modelschematisatie | 3 |
| 2.1.1 | Modeldomein & bathymetrie | 3 |
| 2.1.2 | Lozingen / onttrekkingen | 3 |
| 2.1.3 | Aanpassing ten behoeve van extra uitvoer | 3 |
| 2.2 | Modeleersoftware | 3 |
| 3 | Beschrijving geselecteerde testperiode | 5 |
| 3.1 | Hydrometeo condities | 5 |
| 3.2 | Data geselecteerd voor data-modelvergelijking | 7 |
| 3.2.1 | Saliniteit en snelheid varende metingen van 22 mei en 27 augustus | 7 |
| 3.2.2 | Opmerking over chloridemetingen vaste meetnet RWS | 10 |
| 4 | Beschrijving opzet modelsimulaties | 11 |
| 4.1 | Simulatieperioden | 11 |
| 4.2 | Input 2DH-model | 11 |
| 4.2.1 | Randvoorwaarden | 11 |
| 4.2.2 | Sluisbeheer Haringvlietsluizen | 12 |
| 4.3 | Input 3D-model | 12 |
| 4.3.1 | Randvoorwaarden | 12 |
| 4.3.2 | Lozingen / onttrekkingen | 12 |
| 5 | Data-model-vergelijking | 15 |
| 5.1 | Presentatie verticale saliniteitsprofielen | 15 |
| 5.2 | Presentatie debieten | 17 |
| 5.3 | Opmerkingen met betrekking tot de meetdata | 20 |
| 5.3.1 | Saliniteitsprofielen | 20 |
| 5.3.2 | Debieten | 21 |
| 5.4 | Observaties vanuit data-model-vergelijking | 22 |
| 5.4.1 | Saliniteitsprofielen | 22 |
| 5.4.2 | Debieten | 23 |
| 6 | Discussie | 25 |
| 6.1 | Interpretatie | 25 |
| 6.2 | Mogelijkheden voor uitbreiding / uitwerking | 26 |
| 6.3 | Overwegingen m.b.t. data-gebruik | 27 |
| 6.4 | Overwegingen m.b.t. testcondities | 28 |
| 7 | Conclusies en aanbevelingen | 30 |
| 7.1 | Conclusies | 30 |
| 7.2 | Aanbevelingen | 30 |

| | |
|--|------------|
| Referenties | 32 |
| Bijlagen | 33 |
| A Beschrijving resultaten snelheidsmetingen | A-1 |
| A.1 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (22 mei) | A-1 |
| A.2 Splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei) | A-2 |
| A.3 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (27 augustus) | A-2 |
| A.4 Splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 augustus) | A-3 |
| B Figuren data-model-vergelijking voor saliniteit | B-1 |
| B.1 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (22 mei) | B-1 |
| B.2 Splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei) | B-8 |
| B.3 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (27 augustus) | B-16 |
| B.4 Splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 augustus) | B-22 |

1 Introductie

1.1 Organisatorisch kader

Dit rapport is een product in het kader van het KPP-project BOO Waterkwaliteitsmodelschematisaties 2015, taak 6.1: 3D zoutindringing Rijn-Maasmonding. Het kan gezien worden als een vervolg op het rapport 'Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (II)', Deltaresrapport 1220070-000-ZKS-0009, en 'Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (I)', Deltaresrapport 1209459-000-ZKS-0028.

In 'Evaluatie (I)', uitgevoerd in 2014, heeft Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) het door het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) ontwikkelde Operationeel Stromingsmodel Rotterdam (OSR-model) geëvalueerd met betrekking tot zoutindringing. Mede naar aanleiding daarvan heeft het HbR enige aanpassingen aan het model verricht en is het model door het HbR opnieuw gekalibreerd. In 'Evaluatie (II)' is ook dit opnieuw gekalibreerde OSR-model in opdracht van RWS door Deltares geëvalueerd.

In al deze stappen speelde data-model vergelijking voor de periode 29 november tot 8 december 2011 een belangrijke rol. Dit vanwege het feit dat voor deze periode metingen beschikbaar zijn van verticale saliniteitsprofielen in de Nieuwe Maas, Oude Maas en Nieuwe Waterweg. Recent zijn saliniteitsprofielmetingen van RWS uit mei en augustus 2003 herontdekt. Naar aanleiding hiervan heeft RWS Deltares opdracht gegeven in aanvulling op de eerdere simulaties ook de zoutindringing voor deze perioden, met ander hydrometeo omstandigheden en andere meetlocaties, met het OSR-model te simuleren en de resultaten daarvan te vergelijken met de 'nieuwe' metingen. Dit rapport beschrijft deze aanvullende data-model vergelijking.

1.2 Achtergrond

De achtergrond van dit traject van kalibratie en evaluatie is de behoefte van RWS aan een proces-gebaseerd 3D-computermodel waarmee de effecten van ingrepen en beheermaatregelen in het Rijn-Maas-mond gebied kunnen worden bestudeerd en gekwantificeerd. Dit is onder andere van belang voor trajecten van vergunningaanvraag en -verlening.

1.3 Doel

Het doel van deze studie is een data-model vergelijking uit te voeren voor mei en augustus 2003, om zodoende inzicht te verwerven in de modelperformance voor zoutindringing voor een andere test-case dan gebruikt in de evaluatie-studies.

1.4 Aanpak en rapportopzet

Voor de uitvoering van de data-model vergelijking zijn de data bestudeerd en simulaties opgezet voor de genoemde testperioden. Voor dat laatste zijn gegevens verzameld over waterstanden, rivierafvoeren en chlorideconcentraties die als randvoorwaarden aan het model zijn meegegeven. Er is naar gestreefd de data-model vergelijking zo feitelijk mogelijk te presenteren.

Het rapport is als volgt opgebouwd: Hoofdstuk 2 geeft informatie over de gebruikte modelversie, modelparameters en modeleerssoftware. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de hydrometeo condities en de metingen in mei en augustus 2003. Hoofdstuk 4 beschrijft de

opzet van de modelsimulaties en de gebruikte input. De daadwerkelijke data-modelvergelijking wordt beschreven in hoofdstuk 5. Een eerste aanzet voor een interpretatie is gegeven in hoofdstuk 6. De conclusies worden samengevat in hoofdstuk 7.

2 Informatie gebruikte OSR-modelversie en software

2.1 Modelschematisatie

De in deze studie gebruikte modelschematisatie komt nagenoeg volledig overeen met de OSR-modelversie bestudeerd en toegepast in 'Evaluatie (II)' (v702). Belangrijkste onderscheidende kenmerken van deze modelversie ten opzichte van die toegepast in 'Evaluatie (I)' zijn: 1) toepassing van ruimtelijk uniforme wind; 2) toepassing van stroomopwaarts oplopende coëfficiënten voor horizontale dispersie. Voor een beschrijving van de modeldomeinen, modelstructuur en modelparameters verwijzen we naar het rapport van 'Evaluatie (II)'. Hieronder beschrijven we de aanpassingen ten behoeve van deze studie.

2.1.1 Modeldomein & bathymetrie

De schematisatie van de bathymetrie en het modeldomein bevatten kleine wijzigingen ten opzichte van het model uit 'Evaluatie (II)'. Omdat een data-modelvergelijking wordt uitgevoerd voor 2003, is gebruik gemaakt van een rooster en bathymetrie waarin de Tweede Maasvlakte nog niet aanwezig was. Input-files voor rooster en bathymetrie zijn aangeleverd door HbR.

2.1.2 Lozingen / onttrekkingen

Voor lozing en onttrekking van water bij Gouda is ter plaatse van de Julianasluizen bij Gouda een open rand geactiveerd. Deze was al in het model aanwezig, maar niet actief. Ter plaatse van de inlaat van de Bernisse vanuit het Spui is een onttrekking aangebracht.

2.1.3 Aanpassing ten behoeve van extra uitvoer

Op de roostercellen meest nabij de locaties van de varende metingen in mei en augustus 2003 zijn observatiepunten en crosssecties toegevoegd ten behoeve van extra uitvoer van modelresultaten.

2.2 Modeleersoftware

In deze studie is gebruik gemaakt van de meest recente versie van de SIMONA software. Dit betreft SIMONA 2015, revision 6079. De sommen zijn uitgevoerd op het H6-cluster van Deltares.

De gebruikte software-versie is niet exact dezelfde versie als in 'Evaluatie (II)'. Toen is gebruik gemaakt van SIMONA 2014, revision 5478. Tussen de twee versies bestaan geen verschillen in procesformuleringen. De enige verschillen die er zijn, zijn van informatica-aard. De aanleiding om gebruik te maken van SIMONA 2015 is dat deze goed werkt op het recente geïnstalleerde H6-cluster. Dat was voor SIMONA 2014 op het moment van starten van de sommen nog niet het geval.

3 Beschrijving geselecteerde testperiode

De data-model vergelijking is uitgevoerd voor de perioden mei en augustus 2003, om precies te zijn 22 mei en 27 augustus 2003. Deze perioden zijn geselecteerd omdat op deze data saliniteits- en snelheidsprofielen zijn gemeten nabij een aantal belangrijke splitsingspunten in de Rijn-Maasmonding. In dit hoofdstuk beschrijven we de hydrometeo condities rond de evaluatieperioden en beschrijven we de beschikbare data.

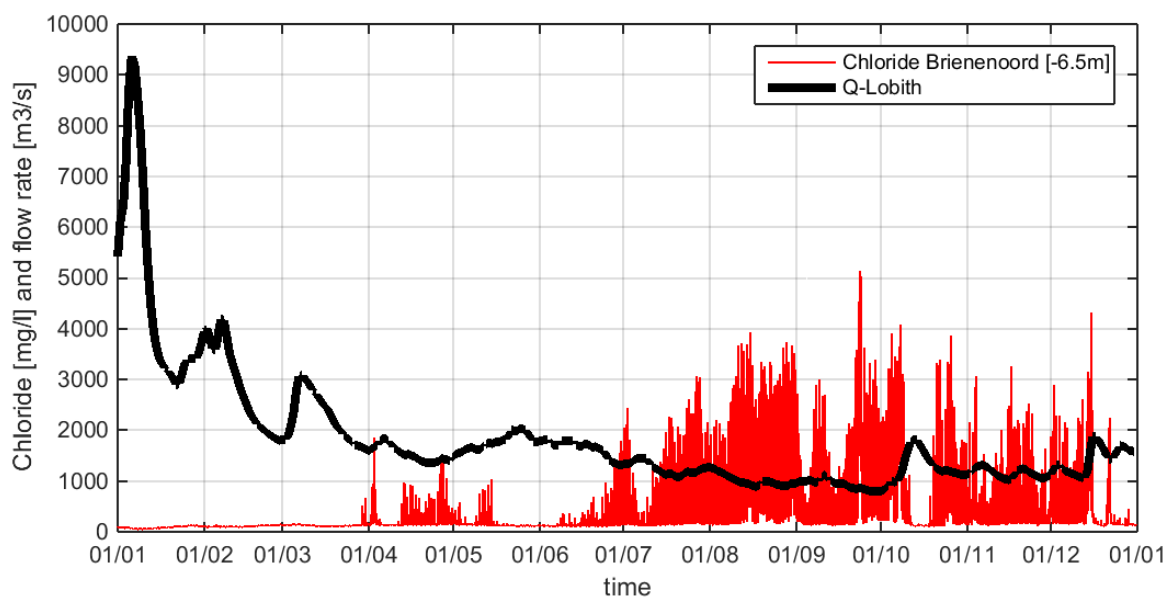
3.1 Hydrometeo condities

Figuur 3.1 toont de chlorideconcentratie bij meetpunt Brienoord op -6.50 m NAP (rode lijn), samen met het debiet in de Rijn bij Lobith (zwarte lijn) voor januari tot en met december 2003. Chlorideconcentraties bij Brienoord significant groter dan de achtergrondconcentratie wijzen op een verziltingsevent. Aan de grafiek is te zien dat er begin mei sprake is van een rivierdebiet onder de 1500 m³/s en dat er tegelijk chlorideconcentraties zijn gemeten van boven de 1000 mg/l. In de loop van mei neemt het debiet juist weer enigszins toe, waardoor er eind mei geen sprake (meer) is van een verziltingsevent. Eind augustus is de rivierafvoer gedaald tot ongeveer 1000 m³/s en is er sprake van een duidelijk event van indringing van zout het systeem in. De debieten in de Rijn bij Lobith op de meetdagen en de dagen daaraan voorafgaand zijn weergegeven in Tabel 3.1.

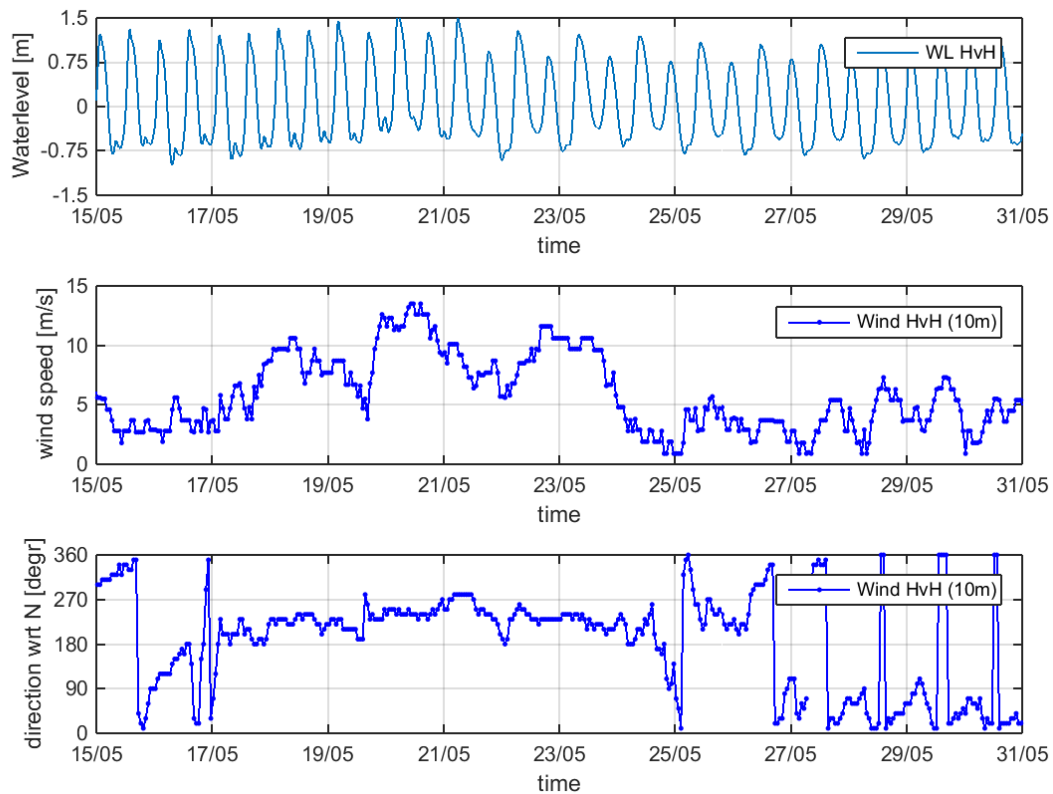
Tabel 3.1 Debieten bij Lobith (bron: Waterkrant)

| | Datum | Debiet (m ³ /s) |
|---------------|--------------|----------------------------|
| Mei 2003 | 20 / 21 / 22 | 1777 / 1828 / 1953 |
| Augustus 2003 | 25 / 26 / 27 | 924 / 913 / 902 |

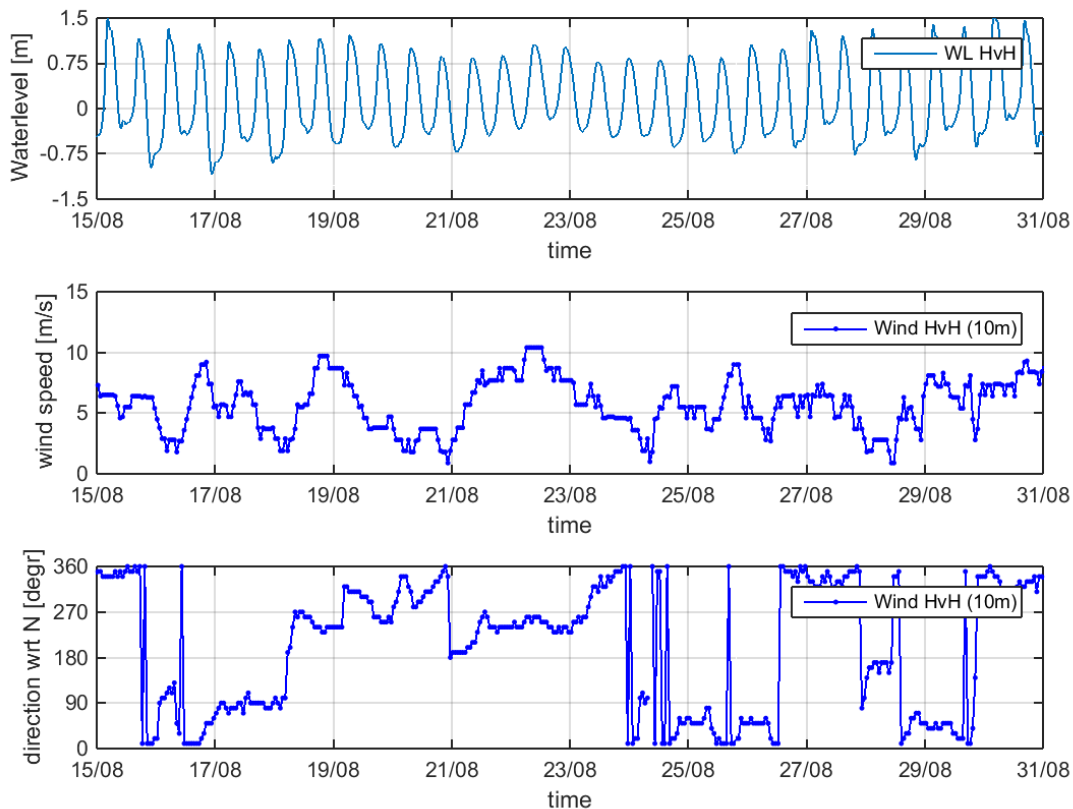
Bij deze gegevens merken we op dat in augustus 2003 sprake was van inzet van de KWA. Verder is het opvallend dat er begin en half september sprake is van een sterke afname van de verzilting zonder een duidelijke toename van de rivierafvoer.



Figuur 3.1 Debiet bij Lobith (zwart) en chlorideconcentratie bij meetpunt Brienoord op -6.50 m NAP (rood) voor 2003.



Figuur 3.2 (Boven) waterstanden, (midden) windsterkte, (onder) windrichting bij Hoek van Holland, 15-31 mei 2003



Figuur 3.3 (Boven) waterstanden, (midden) windsterkte, (onder) windrichting bij Hoek van Holland, 15-31 aug2003

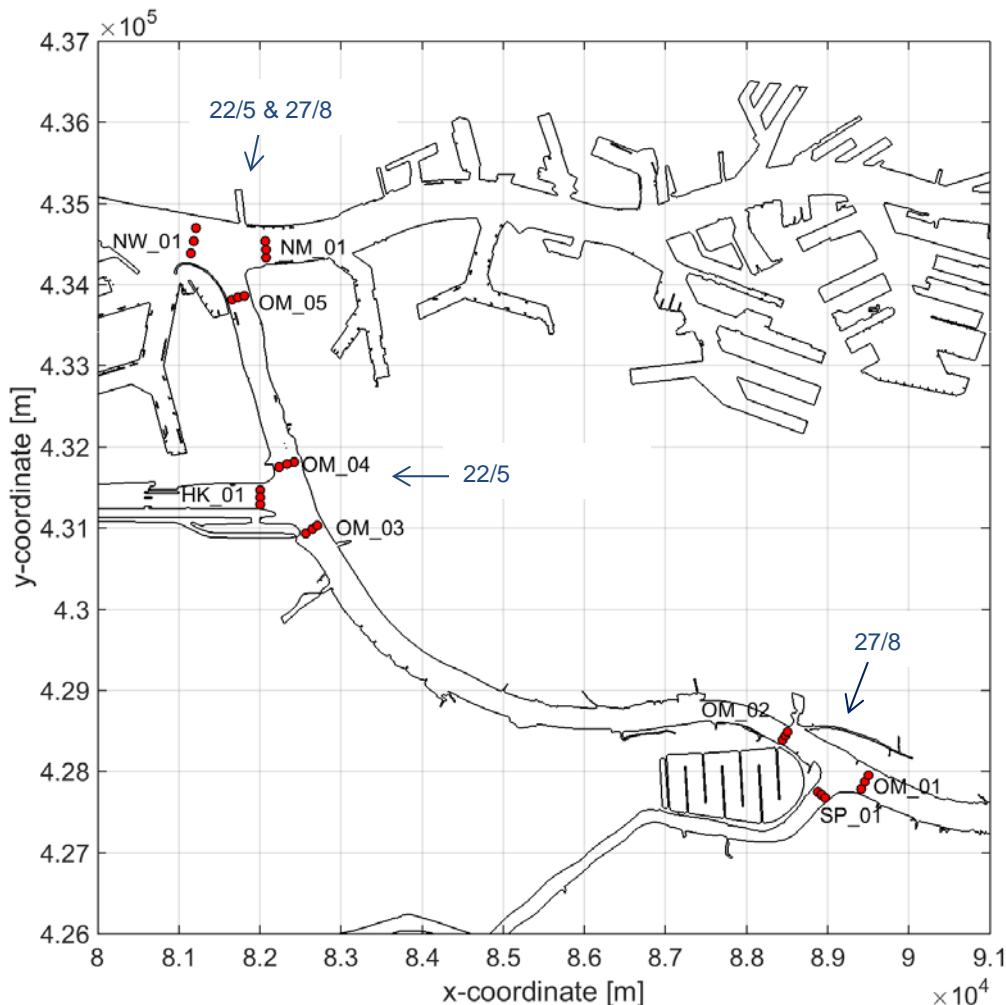
Figuur 3.2 en Figuur 3.3 tonen de sterkte en richting van de (potentiële) wind bij Hoek van Holland samen met de waterstand. Figuur 3.2 heeft betrekking op 15-31 mei, Figuur 3.3 op 15-31 augustus 2003.

In Figuur 3.2 is te zien dat op 22 mei en in de dagen daaraan voorafgaand sprake is van een vrij krachtige tot krachtige wind vanuit het zuidwesten tot westen, rond de 10 m/s. In de waterstanden is rond die periode ook enige verhoging waar te nemen. Deze wijst op wind opzet, want ook het laagwater niveau komt hoger te liggen. Rond 27 augustus is er minder wind en komt de wind uit noordelijke richtingen. Er lijkt geen sprake te zijn van opzet ten gevolge van wind, of het moet zijn ten tijde van het eerste laagwater van 27 augustus, waar de waterstand niet zover daalt en de wind ook juist naar noordwestelijke richting is gedraaid.

3.2 Data geselecteerd voor data-modelvergelijking

3.2.1 Saliniteit en snelheid varende metingen van 22 mei en 27 augustus

De data-model vergelijking spitst zich toe op de varende metingen van 22 mei en 27 augustus 2003. Tijdens deze varende metingen zijn dwarsraaien gevaren nabij een aantal splittingspunten in de Rijn-Maasmonding. Hierbij zijn snelheidsprofielen gemeten met ADCP's. Ook zijn op een drietal locaties in elke dwarsraai saliniteitsprofielen gemeten met CTD's.

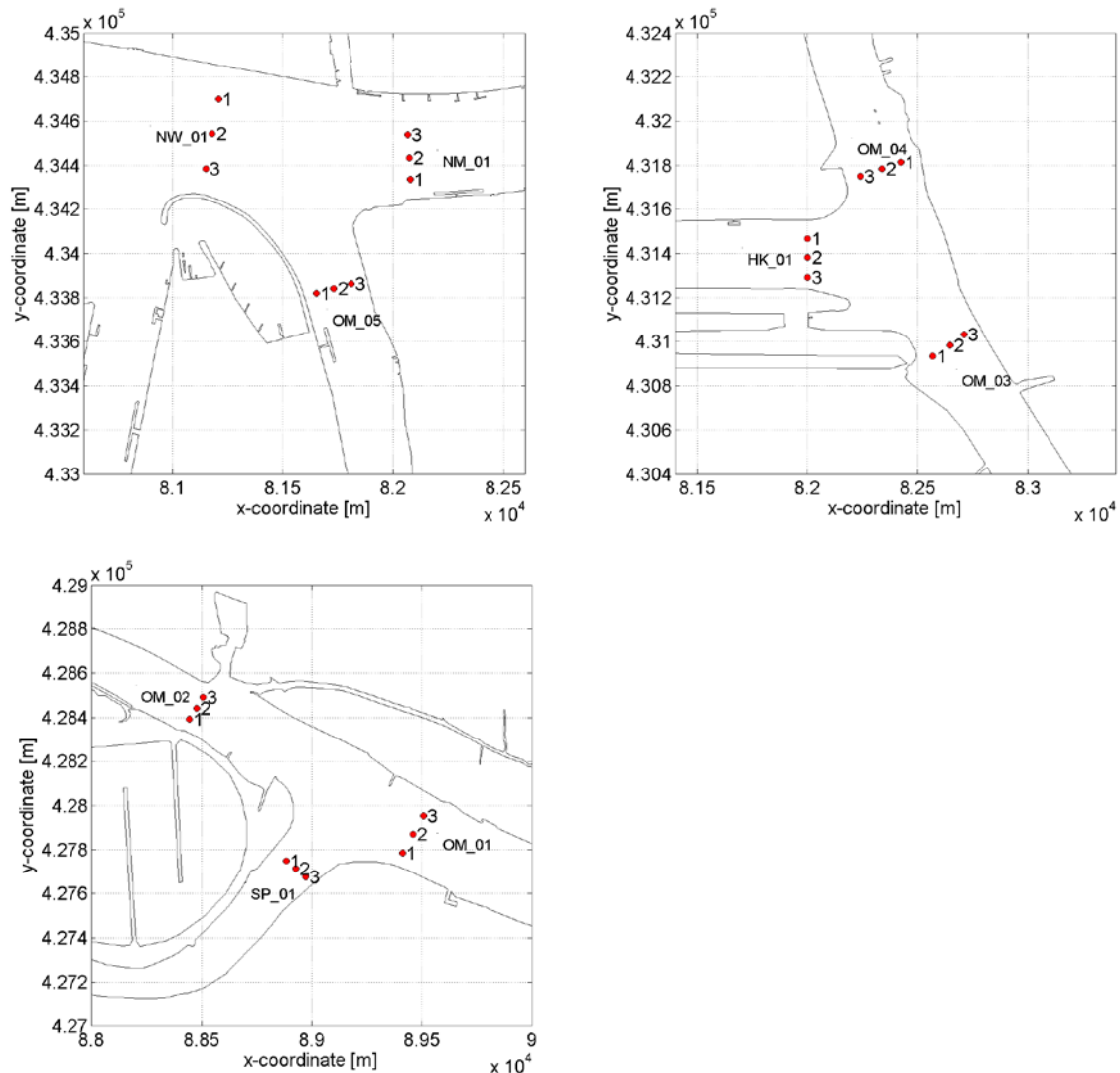


Figuur 3.4 De locaties van de varende metingen, met de namen toegekend aan de dwarsraaien. Zie ook Tabel 3.2.

Op 22 mei is dit gebeurd bij de splitsingen Oude Maas – Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg en Oude Maas – Hartelkanaal. De metingen op 27 augustus zijn uitgevoerd bij de splitsingen Oude Maas – Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg en Oude Maas – Spui. De locaties van de saliniteitsmetingen zijn aangegeven in Figuur 3.4. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de coördinaten en de in de data-bestanden gebruikte namen. Men kan zich afvragen of alle metingen voor een bepaald meetpunt op de twee verschillende dagen en elke keer dat het meetschip langskomt op exact dezelfde locatie zijn uitgevoerd. Mogelijk zijn kleine verschillen hierin in eerder postprocessing achterwege gelaten en zijn de metingen toegekend aan de meetlocaties in Tabel 3.2. Figuur 3.5 toont meer gedetailleerde figuren van de splitsingspunten, waarin ook de nummers van de meetlocaties zijn aangegeven.

Tabel 3.2 De locaties van de saliniteitsprofielmetingen, met m,n-coördinaten van het meest nabij gelegen roostercelcentrum.

| Nr. | Naam | X-coord [m] | Y-coord [m] | m | n |
|-----|---------|-------------|-------------|------|-----|
| 1 | HK01_01 | 82000 | 431467 | 891 | 291 |
| 2 | HK01_02 | 82000 | 431382 | 891 | 299 |
| 3 | HK01_03 | 82000 | 431292 | 892 | 307 |
| 4 | OM03_01 | 82569 | 430934 | 947 | 309 |
| 5 | OM03_02 | 82646 | 430985 | 948 | 302 |
| 6 | OM03_03 | 82710 | 431033 | 948 | 296 |
| 7 | OM04_01 | 82422 | 431816 | 914 | 257 |
| 8 | OM04_02 | 82335 | 431786 | 909 | 258 |
| 9 | OM04_03 | 82238 | 431753 | 903 | 260 |
| 10 | NM01_01 | 82078 | 434338 | 925 | 144 |
| 11 | NM01_02 | 82073 | 434434 | 925 | 141 |
| 12 | NM01_03 | 82066 | 434538 | 924 | 137 |
| 13 | OM05_01 | 81653 | 433821 | 902 | 169 |
| 14 | OM05_02 | 81731 | 433842 | 907 | 169 |
| 15 | OM05_03 | 81811 | 433863 | 912 | 169 |
| 16 | NW01_01 | 81211 | 434701 | 873 | 135 |
| 17 | NW01_02 | 81181 | 434543 | 873 | 141 |
| 18 | NW01_03 | 81152 | 434385 | 873 | 147 |
| 19 | OM01_01 | 89412 | 427785 | 1187 | 310 |
| 20 | OM01_02 | 89459 | 427872 | 1187 | 304 |
| 21 | OM01_03 | 89507 | 427954 | 1187 | 297 |
| 22 | OM02_01 | 88444 | 428393 | 1134 | 308 |
| 23 | OM02_02 | 88476 | 428443 | 1134 | 303 |
| 24 | OM02_03 | 88505 | 428491 | 1134 | 299 |
| 25 | SP01_01 | 88883 | 427751 | 1165 | 328 |
| 26 | SP01_02 | 88926 | 427714 | 1169 | 328 |
| 27 | SP01_03 | 88971 | 427676 | 1173 | 328 |



Figuur 3.5 Detailkaartjes splitsingspunten met namen van dwarsraaien en nummers van meetpunten.

De kern van de vergelijking is de vergelijking van gemeten en berekende saliniteitsprofielen. Daarnaast worden ook de snelheidsmetingen in de vergelijking betrokken. Dit doen we via een vergelijking van de eerder door RWS uit deze metingen berekende debieten met de door het model berekende debieten.

Het is ook mogelijk de data-modelvergelijking uit te voeren voor de stroomsnelheden zelf in plaats van de hieruit berekende debieten. In deze studie zullen we ons echter beperken tot een vergelijking voor de debieten, om zo op geaggregeerd niveau naar data en model te kunnen kijken. Eventueel kunnen in een latere verdieping nog gemeten en berekende snelheidsprofielen direct vergeleken worden.

In de bijlagen is een beschrijving in woorden opgenomen van de snelheidsmetingen, afkomstig uit de meetrapporten. Daaruit valt op te maken dat de metingen op 22 mei

begonnen zijn om 5:00 uur. Kort daarna is stroming in de vloedrichting waargenomen: in de Nieuwe Maas vanaf 5:14, in de Nieuwe Waterweg eerst aan de zuidzijde, en later ook aan de Noordzijde en over het hele dwarsprofiel vanaf 5:40, en in de Oude Maas vanaf 6:23. De volgende vloed is zichtbaar in de Nieuwe Maas om 18:13, in de Nieuwe Waterweg vanaf 18:37 en in de Oude Maas vanaf 19:53. Verderop in de Oude Maas direct ten noorden van het Hartelkanaal is het begin van vloedstroom waargenomen om 6:31 en om 19:39. Ten zuiden van de splitsing is dit om 6:24 en 19:29 (wat vanwege asynchroon meten niet hoeft te betekenen dat de vloed daar eerder begint). In het Hartelkanaal is er al voor die tijd een lichte vloedstroom aan de zuidzijde. Om om 6:34 en 19:29 wordt vloedstroom gemeten in het hele profiel.

Op 27 augustus beginnen de metingen om 5:28 uur. Op dat moment stroomt de vloed aan de Nieuwe Waterweg kant van de splitsing OM-NM-NWW nog binnen aan de zuidzijde, terwijl aan de noordzijde de eb al is begonnen. Vanaf 5:47 wordt ebstroming waargenomen over het hele dwarsprofiel. In de Nieuwe Maas wordt al om 5:35 ebstroom waargenomen, in de Oude Maas over het hele profiel vanaf 7:01. In de Oude Maas net zeewaarts van het Spui is de eerste ebwaarneming om 7:14, aan de andere zijde om 7:08 en in het Spui om rond dezelfde tijd.

Uit bovenstaande valt af te leiden dat de metingen op 22 mei beginnen kort voor begin vloedstroming, de metingen op 27 augustus enige tijd voor begin ebstroming.

3.2.2 Opmerking over chloridemetingen vaste meetnet RWS

Er zijn ook metingen beschikbaar van chlorideconcentraties gemeten op de vaste meetpunten van Rijkswaterstaat. In Evaluatie I en II zijn tijdserie-tijdserie vergelijkingen uitgevoerd met deze data, en zijn data en model ook vergeleken middels Goodness-of-Fit diagrammen. In overleg met RWS is besloten in deze studie te focussen op de varende metingen. Dit op grond van de verwachting dat een dergelijke data-model vergelijking voor de nieuwe testperioden niet veel nieuwe inzichten op zal leveren in het gedrag van het systeem of model.

4 Beschrijving opzet modelsimulaties

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de modelsimulaties, dat wil zeggen de gekozen simulatieperioden en de randvoorwaarden opgelegd aan de 2DH- en 3D-modelberekeningen.

4.1 Simulatieperioden

Met het 2DH-modeldeel is een simulatie uitgevoerd voor 1 langere periode die de beide momenten voor de data-modelvergelijking en inspeeltijd omvat. Voor de 3D berekeningen zijn twee kortere perioden gesimuleerd. Zie Tabel 4.1. De startmomenten zijn zo gekozen dat de start van de simulaties ongeveer samenvalt met hoogwater.

Tabel 4.1 Overzicht simulatieperioden

| | Aanvang | Einde |
|----------------------------|---------------------|----------|
| 2DH-OSR-Haven | 1/3/2003; 14:00 uur | 1/9/2003 |
| 3D-OSR-NSC (mei-case) | 1/4/2003; 15:00 uur | 1/6/2003 |
| 3D-OSR-NSC (augustus-case) | 1/7/2003; 16:00 uur | 1/9/2003 |

4.2 Input 2DH-model

4.2.1 Randvoorwaarden

In OSR-model moeten voor het oplossen van de modelvergelijking Riemann-randvoorwaarden en saliniteit worden voorgeschreven op de zeeranden en debieten en saliniteit op de rivieranden, zie 'Evalautie (I)'.

4.2.1.1 Zeerand

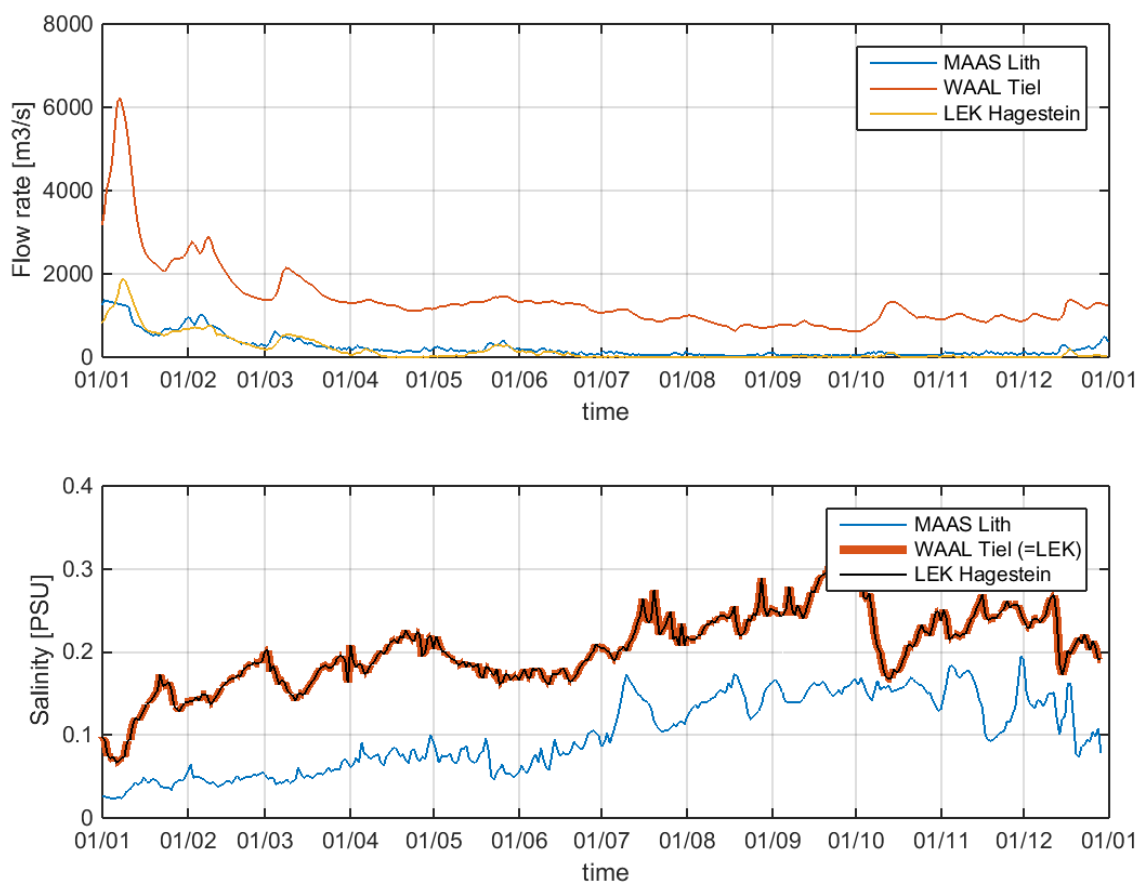
Voor de randvoorwaarden op zee maken we gebruik van de harmonische componenten voor de Riemann-randen (getij) en de beschrijving van de zoutverdeling langs de zeeranden die in het model aanwezig zijn. De waterstanden in de referentiepunten benodigd voor de data-assimilatie hebben we betrokken van DONAR via live.waterbase.nl.

4.2.1.2 Rivieranden

De rivierandvoorwaarden zijn dezelfde die eerder op deze randlocaties zijn toegepast in SOBEK jaarsommen voor 2003 uitgevoerd door Deltares in opdracht van RWS. De gebruikte tijdseries zijn weergegeven in Figuur 4.1. De tijdseries voor de rivierdebieten zijn middels een vergelijking met waterbase gecontroleerd. Aan de tijdseries voor saliniteit in Figuur 4.1 is zichtbaar dat de gebruikte achtergrondsaliniteit voor Waal en Lek gelijk is. Via waterbase is niet te achterhalen bij welke van de twee rivierarmen de gebruikte waarden daadwerkelijk horen. We achten het echter, gezien hun gemeenschappelijke herkomst, geen probleem te veronderstellen dat deze twee rivierarmen een gelijke achtergrondsaliniteit hebben. Op de data-modelvergelijking zal de nog resterende fout waarschijnlijk slechts verwaarloosbare invloed hebben. Dit omdat we kijken naar metingen aan de westzijde van het domein en/of tijdens een verziltingsevent. In die gevallen wordt de saliniteit sterk gedomineerd door zoutindringing vanuit zee.

4.2.1.3 Oppervlak

Er is ook een windschuifspanning opgelegd aan het wateroppervlak. Hiervoor is gebruik gemaakt van de tijdsreeksen voor wind zoals besproken in sectie 3.1, zie Figuur 3.2 en Figuur 3.3.



Figuur 4.1 (Boven): debieten; (onder): achtergrondsaliniteit zoals opgelegd op de drie rivierranden van het 2DH-modeldeel.

4.2.2 Sluisbeheer Haringvlietsluizen

Voor de sturing van de Haringvlietsluizen is gebruik gemaakt van tijdseries van daadwerkelijke sluisstanden. Ook deze series zijn afkomstig uit de genoemde SOBEK jaarsommen en voor deze studie omgezet naar SIMONA input. Oorspronkelijk zijn deze series afkomstig van RWS.

4.3 Input 3D-model

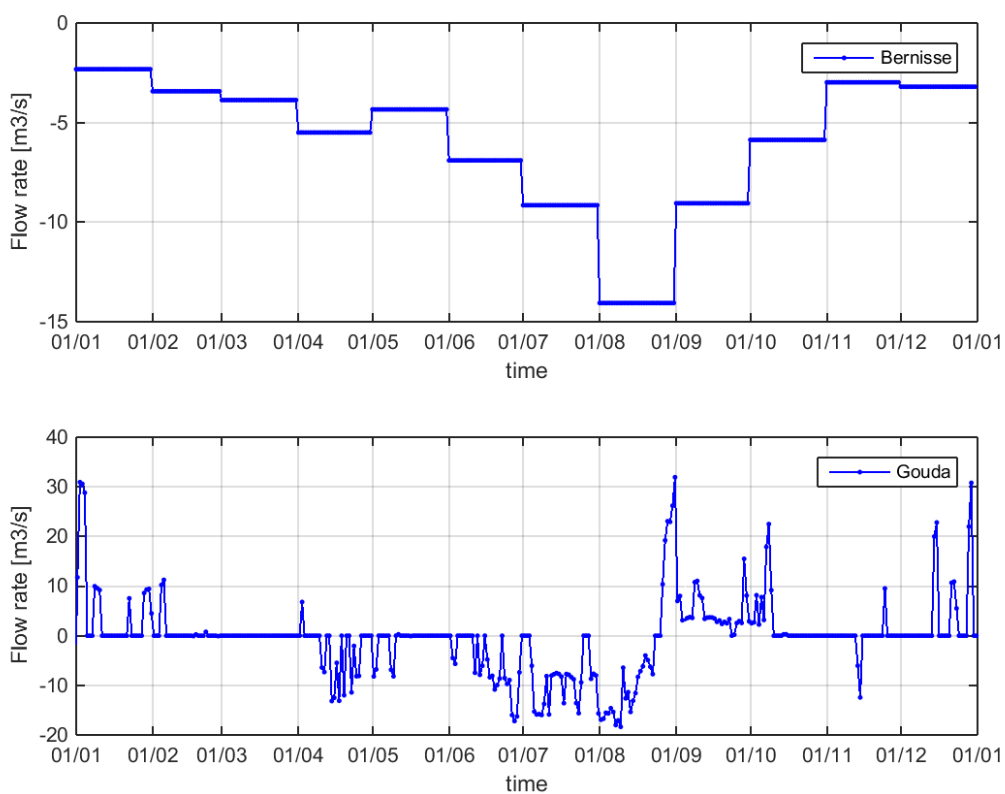
4.3.1 Randvoorwaarden

Alle benodigde informatie voor de zee- en rivierrandvoorwaarden van de 3D-simulaties is betrokken uit de resultaten van de 2DH-modelrun. Voor de windschuifspanning is dezelfde windinformatie gebruikt als in de 2DH-modelruns.

4.3.2 Lozingen / onttrekkingen

Ook voor informatie over lozingen/onttrekkingen hebben we gebruik gemaakt van tijdseries gebruikt in de SOBEK jaarsommen voor 2003. Zoals vermeld in 2.1.2, worden de lozingen/onttrekkingen bij Gouda opgelegd via een open rand. Dat betekent dat het debiet gespreid wordt over een groter aantal cellen. Bij de Bernisse is de onttrekking gespreid over de verticaal. De tijdseries zijn getoond in Figuur 4.2.

We merken op dat het belang van deze input voor de kwaliteit van de modelresultaten die in hoofdstuk 5 centraal zullen staan, waarschijnlijk zeer gering is. Ze zijn hier meegenomen voor de volledigheid en om eventuele data-modelvergelijking voor andere locaties in een later stadium op grond van deze simulaties mogelijk te maken.



Figuur 4.2 Tijdsverloop van de lozingen/onttrekkingen bij de Bernisse en bij Gouda zoals opgelegd aan het 3D-model (in de figuur geldt: positief is lozing).

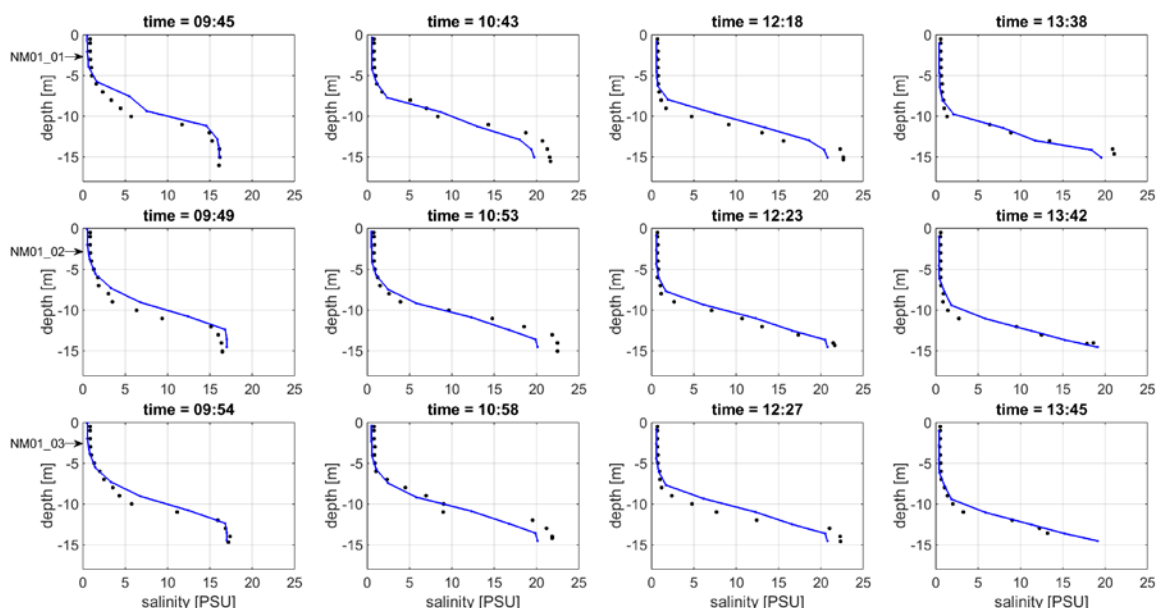
5 Data-model-vergelijking

5.1 Presentatie verticale saliniteitsprofielen

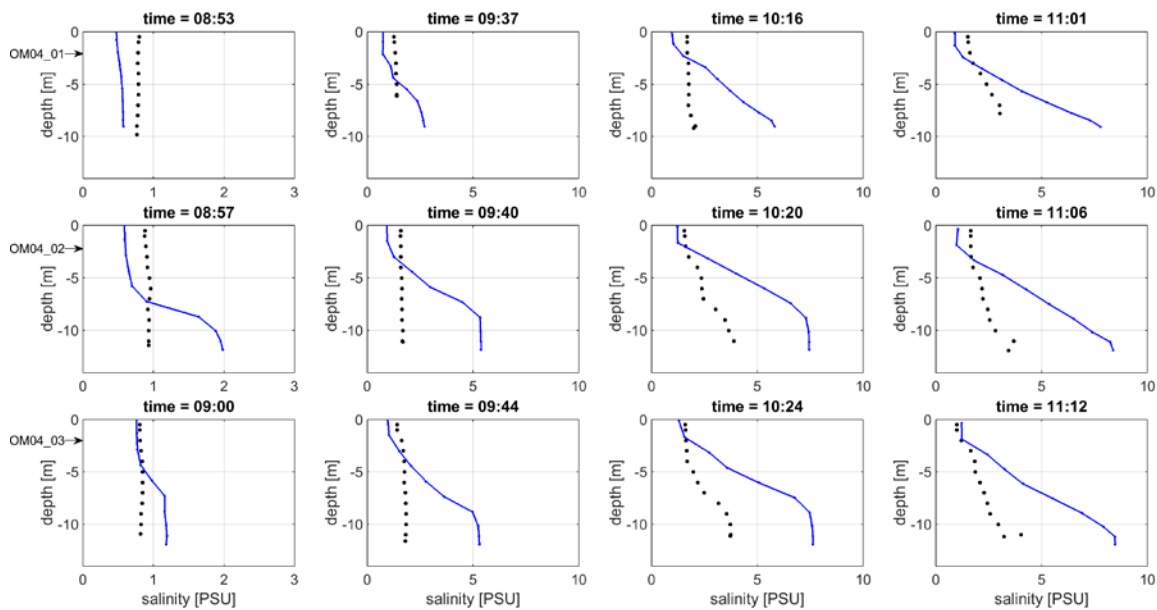
Figuur 5.1 toont een voorbeeld van de vergelijking van data en modelresultaten voor verticale saliniteitsprofielen. In de figuur zijn de metingen weergegeven met zwarte puntjes, de modelresultaten met een blauwe lijn. Op de horizontale as staat de saliniteit (PSU), op de verticale as de diepte. Alle subfiguren in de figuur behoren bij dezelfde dwarsraai: de eerste rij subfiguren bij meetpunt 01 in de betreffende raai, de tweede rij bij meetpunt 02, de derde bij meetpunt 03, zie Figuur 3.4. Boven de subfiguren staat de tijd waarop de data zijn gemeten. De afgebeelde modelresultaten behoren bij het meest nabije tijdstip waarvoor uitvoer is weggeschreven, wat elke volle tien minuten is gebeurd. Bij deze wijze van weergegeven geeft een rij dus een ontwikkeling in de tijd aan voor een enkele locatie, terwijl een kolom de variatie over de breedte laat zien door weergave van drie kort na elkaar gemeten profielen in dezelfde oversteek.

Er zijn twee keer twee splitsingen bemeten. Bij elke splitsing horen drie dwarsraaien. De verschillende dwarsraaien zijn tussen de twaalf en twintig keer overgevaren en bemeten. Een figuur geeft (maximaal) vier oversteeken weer. Al met al levert dat twaalf series van drie tot vijf figuren op. Bijlage B toont de volledig verzameling figuren. Hier tonen we er enkele.

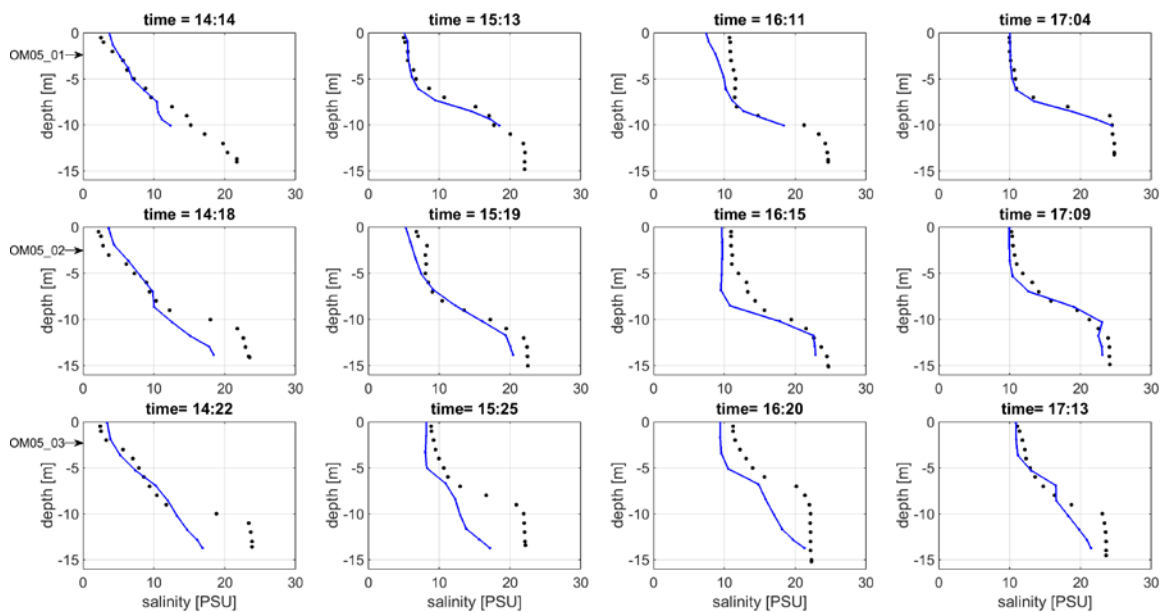
Figuur 5.1 toont verticale saliniteitsprofielen in de Nieuwe Maas voor 22 mei tegen het einde van de vloed. Figuur 5.2 toont profielen in de Oude Maas nabij het Hartelkanaal voor 22 mei rond het hoogtepunt van de vloedstroming. Figuur 5.3 toont profielen in de Oude Maas, bij Nieuwe Maas en Nieuwe Waterweg voor 27 augustus ongeveer tijdens de eerste helft van de vloedstroming. Figuur 5.4 tot slot laat profielen zien voor het Spui op 27 augustus ten tijde van de tweede helft van de vloedstroom.



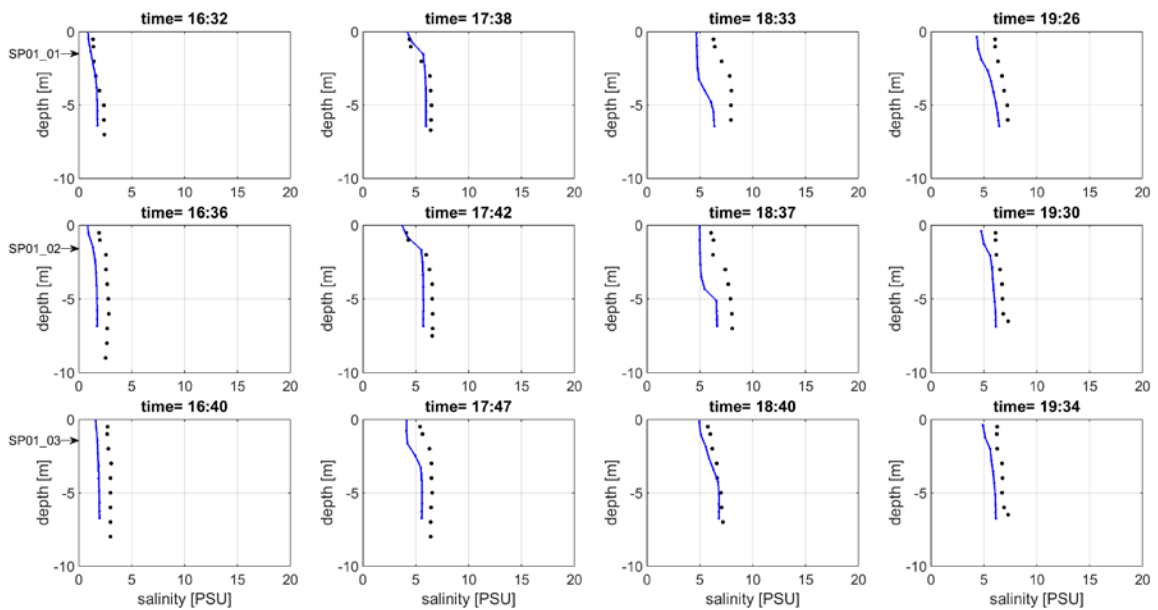
Figuur 5.1 Data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen. Zwarte puntjes: data; Blauwe lijn: modelresultaten.
Datum: 22 mei 2003; locaties: NM01-01 tot 03.



Figuur 5.2 Data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen. Zwarte puntjes: data; Blauwe lijn: modelresultaten.
Datum: 22 mei 2003; locaties: OM04_01-03 (splitsing Oude Maas – Hartelkanaal, Oude Maas aan noordkant).



Figuur 5.3 Data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen. Zwarte puntjes: data; Blauwe lijn: modelresultaten.
Datum: 27 augustus 2003; locaties: OM05_01 tot 03 (splitsing Oude Maas – Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg).



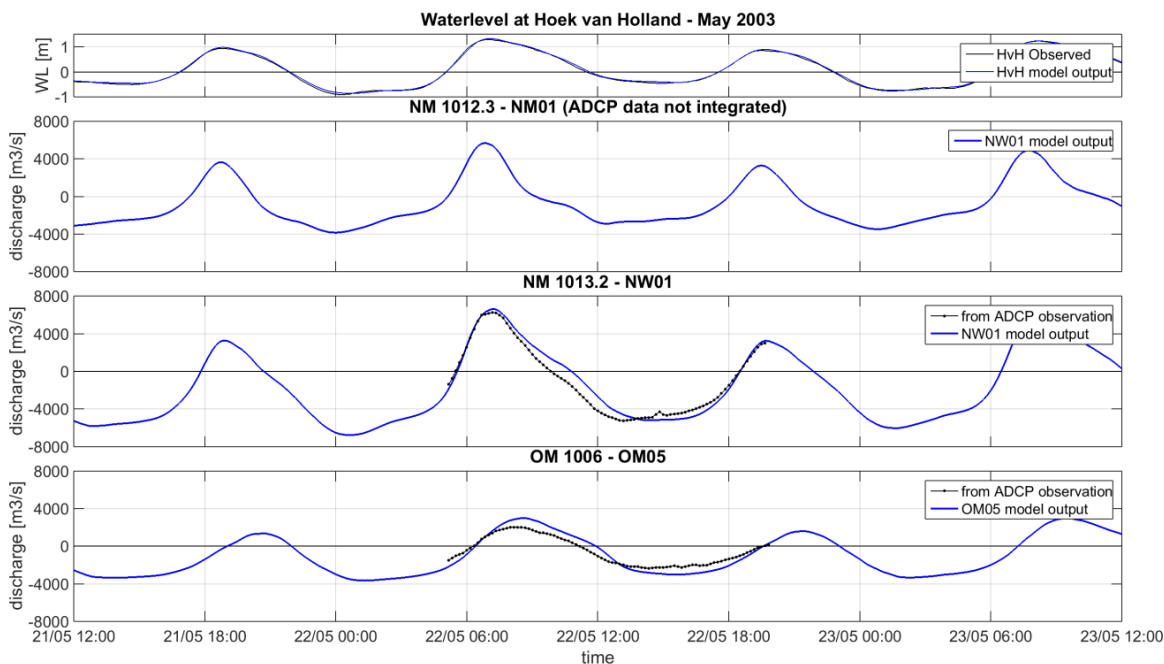
Figuur 5.4 Data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen. Zwarte puntjes: data; Blauwe lijn: modelresultaten.
Datum: 27 augustus 2003; locaties: SP01_01 tot 03.

5.2 Presentatie debieten

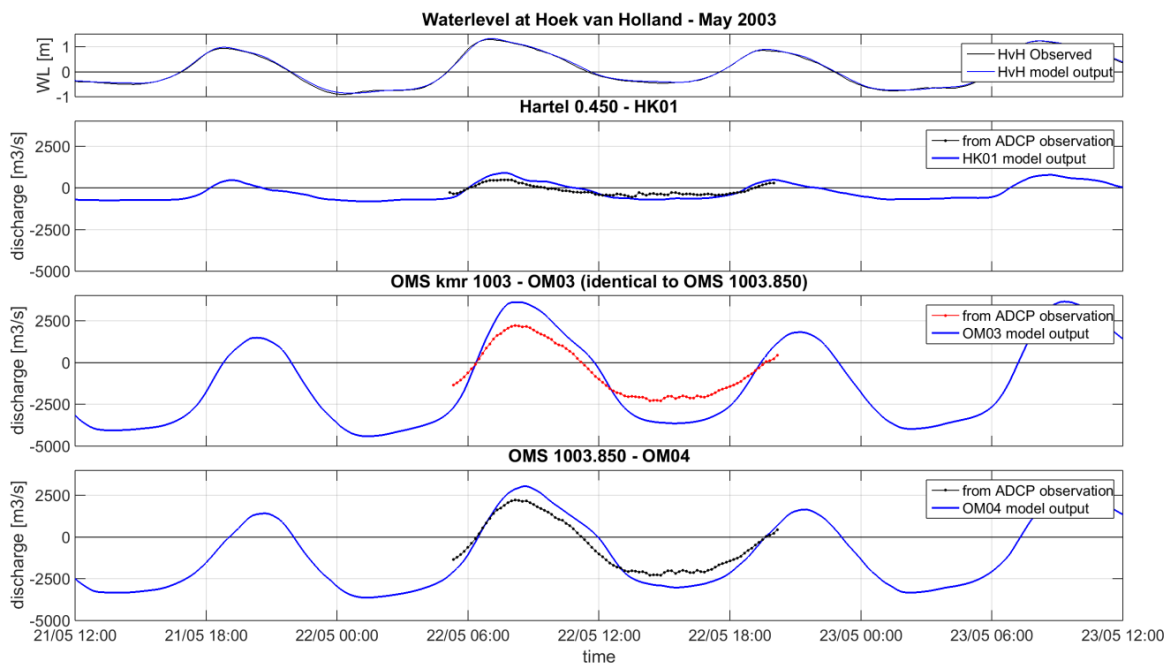
Figuur 5.5 tot en met Figuur 5.8 tonen de data-model-vergelijking voor debieten. Dit is dus een vergelijking van eerder uit de snelheidsmetingen berekende debieten met debieten die in deze studie berekend zijn met het OSR-model. De figuren horen als volgt bij de bemeten splitsingspunten:

- Figuur 5.5: splitsingspunt Nieuwe Watweg – Nieuwe Maas – Oude Maas (22 mei)
- Figuur 5.6: splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei)
- Figuur 5.7: splitsingspunt Nieuwe Watweg – Nieuwe Maas – Oude Maas (27 aug)
- Figuur 5.8: splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 aug)

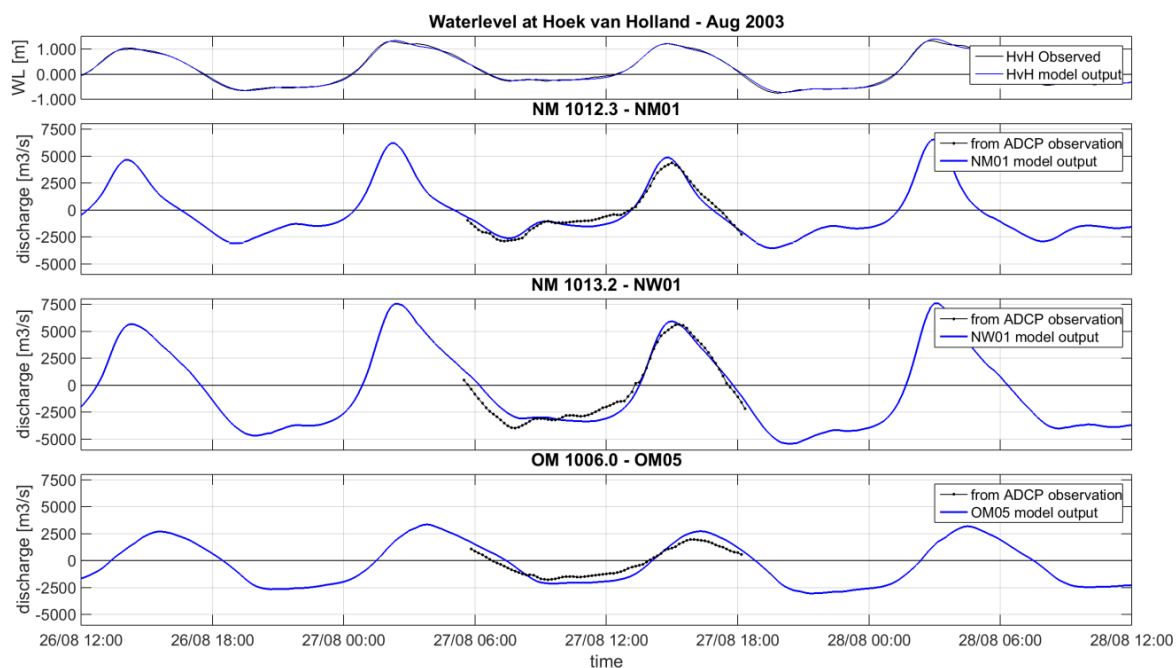
De figuren bevatten elk vier subfiguren. Het eerste subfiguur toont voor referentiedoeleinden de gemeten en berekende waterstand bij Hoek van Holland. De andere subfiguren vergelijken de debieten vanuit meting (zwarte puntjes) en model (blauwe lijn) voor de drie armen rond het betreffende splitsingspunt. Per splitsingspunt is een en dezelfde schaal toegepast voor de debieten.



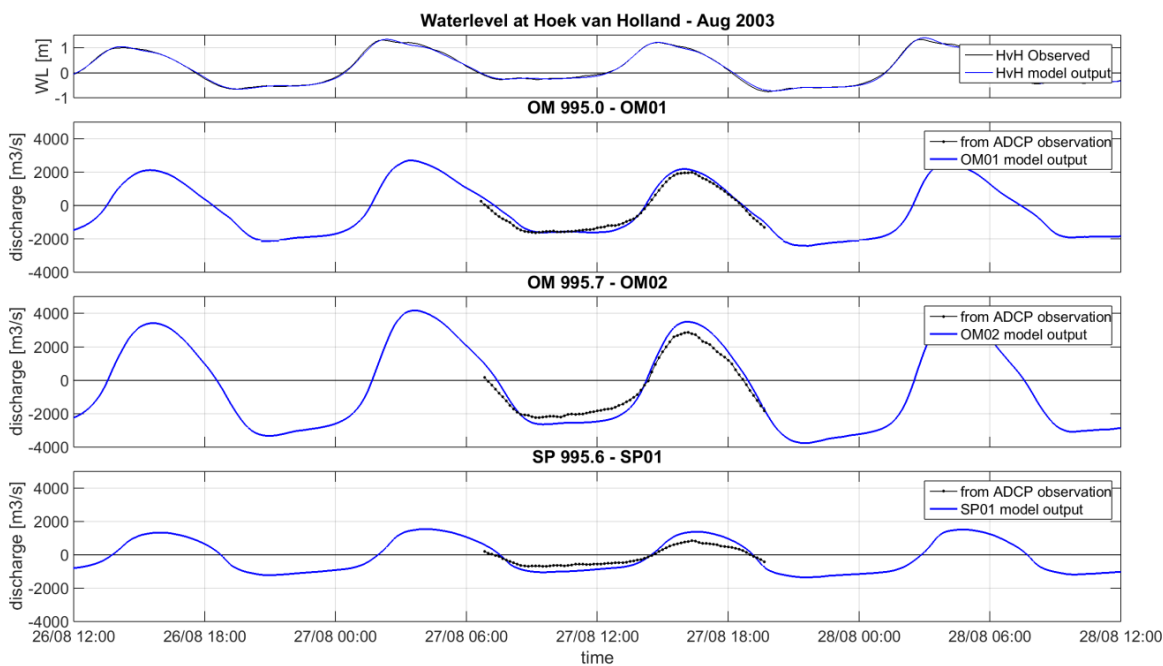
Figuur 5.5 Data-model vergelijking voor debieten bij splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas, 22 mei 2003.



Figuur 5.6 Data-model vergelijking voor debieten bij splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal, 22 mei 2003. Opmerking: de data bevatten voor de debieten in de Oude Maas ten noorden en ten zuiden van de splitsing dezelfde tijdsreeks. Op grond van inspectie van de snelheidsprofieldata achten we het waarschijnlijk dat de gegeven reeks behoort bij OM04.



Figuur 5.7 Data-model vergelijking voor debieten bij splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas, 27 augustus 2003.



Figuur 5.8 Data-model vergelijking voor debieten bij splitsingspunt Oude Maas – Spui, 27 augustus 2003.

5.3 Opmerkingen met betrekking tot de meetdata

5.3.1 Saliniteitsprofielen

Alvorens de aandacht te richten op de vergelijking van data en modelresultaten richten we onze aandacht op de data alleen. Bij de visualisatie van de data ten behoeve van de vergelijking zijn namelijk enkele zaken opgevallen.

5.3.1.1 Ontbrekende chloriniteitswaarden (aangevuld)

Bij aanvang van deze studie is de te gebruiken saliniteits-data aangeleverd door RWS in de vorm van excel-files. Deze files hebben als namen meegekregen: "Zoutform_<naam dwarsraai>_<nummer meetpunt>.xls", dus bijvoorbeeld Zoutform_NM01_01.xls. De excelfiles bestaan elk uit een verzameling van blokken data, een blok voor elke keer dat het meetschip een profielmeting verrichtte bij het betreffende meetpunt. Elk blok bevat kolommen met profielen voor de temperatuur, geleidendheid, chloriniteit, saliniteit en dichtheid. Ook is voor elk punt in het profiel het tijdstip van meten en de diepte gegeven. Verder staat in elk blok informatie over de naam, datum, x-coördinaat en y-coördinaat van de meting.

In deze studie is voor het maken van de figuren gebruik gemaakt van de in de excel-files gegeven chloriniteit. Deze is ingelezen en ten behoeve van de vergelijking met de modelresultaten omgezet in saliniteit gebruik makend van de conversie saliniteit [psu] = chloriniteit [g/l] / 1.807. Hierbij kwam aan het licht dat een aantal sheets, met name die sheets die betrekking hebben op de metingen in het Spui, geen informatie bevatten over chloriniteit. Dit bleek te komen omdat in deze sheets informatie ontbrak die nodig is voor de berekening van de chloriniteit uit de gemeten waarde voor temperatuur en geleidendheid. In onze post-processing is deze informatie aangevuld vanuit de andere sheets, waardoor dit probleem kon worden opgelost.

5.3.1.2 Verdachte data (aangemerkt)

Vanuit de visualisatie is opgevallen dat 'Zoutform_NW01_01.xls' en 'Zoutform_NW01_03.xls' voor de meting op 22 mei weliswaar een verschillende naam hebben, maar verder exact dezelfde informatie bevatten, in elk geval voor wat betreft naam, coördinaten, tijdstippen en chloriniteit. Hierdoor zijn de geplotte data (zie bijlage B.1.2) in de eerste en derde rij van de figuren behorend bij deze dwarsdoorsnede aan elkaar gelijk. De naamgeving, vermelde coördinaten en tijdstippen in de excel-files doen vermoeden dat de meetgegevens behoren bij het meetpunt NW01_03. Dat betekent dat de gegevens voor meetpunt NW01_01 ontbreken en mogelijk bij de eerdere data processing verloren zijn gegaan. Een zelfde probleem is geconstateerd voor de files 'Zoutform_OM05_01.xls' en 'Zoutform_OM05_03.xls' voor de metingen van 22 mei, geplot in bijlage B.1.3. Ook hier concluderen we op grond van de in de file aanwezige informatie dat de gegevens horen bij meetpunt OM05_03. In de figuren zijn de waarden gegeven voor NW01_01 en OM05_01 wel geplot, maar rood gemaakt om uitdrukking te geven aan onze twijfel.

Voor de metingen van 27 augustus in de Nieuwe Maas valt op dat volgens de excel-files het saliniteitsprofiel voor locatie NM01_03 om 12:51 nagenoeg recht is (zie bijlage B.3.1). Dit past niet in het beeld van de nabije metingen in tijd en plaats. Om die reden vermoeden we dat hier een fout aanwezig is in de data. Een zelfde probleem is aanwezig in deze serie voor OM05_01 om 8:52 (zie bijlage B.3.3).

Voor de saliniteitsprofielen voor NW01_01 op 27 augustus om 14:51 en 17:41 (zie bijlage B.3.2) valt op dat deze tot grotere diepte reiken dan de overige profielen voor deze locatie. Mogelijk zijn dit profielen die eigenlijk horen bij NW01_02. Het zou ook mogelijk zijn dat de

metingen niet elke keer op exact dezelfde locatie hebben plaatsgevonden, maar in een enkel geval net een stukje meer naar het midden van de vaargeul.

Voor de metingen op 22 mei in de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas (bijlage B.1.1) is opgevallen dat de saliniteit vanaf de eerste meting (respectievelijk om 5:20 en 5:45) eerst laag is, dan 1 dwarsraaimeting een weinig hoger en de volgende keer dat het schip de dwarsraai bemeet weer lager. Pas daarna is er een doorgaande toename waarneembaar die past bij het binnenkomen van de vloedstroom. Merk op dat dit in de figuren heeft geleid tot een andere schaal op de x-as. Dit omdat bij het plotten als criterium is gebruikt: als de maximum saliniteit ergens in de dwarsraai groter is 3, plot dan alle figure voor de dwarsraai met een hoger maximum. Fysisch gezien is de korte, kleine toename van saliniteit niet onmogelijk, maar wel wat onwaarschijnlijk. Dit roept de vraag op of hier geen verwisseling van meetblokken of iets dergelijks heeft plaatsgevonden.

Verder lijken de data voor SP01_02 en SP01_03 om 19:30 respectievelijk 19:34 (bijlage B.4.1) zoveel op elkaar dat ook hier het vermoeden ontstond dat dezelfde gegevens worden weergegeven. Inspectie van de excelfiles heeft echter geleerd dat hier wel kleine verschillen in de weergegeven waarden aanwezig zijn. Hun grote overeenkomst moet (en kan) blijkbaar verklaard worden uit de kleine afstand tussen de punten en de geringe laterale saliniteitsverschillen in het Spui.

5.3.1.3 *Opvallende meethoogten*

Ook is opgevallen dat de excel-files profielen geven met data op elke hele meter, behalve aan de bodem en nabij het wateroppervlak. Het is niet duidelijk of de metingen exact op de gegeven dieptes zijn uitgevoerd. Mogelijk is ter vergemakkelijking van onderlinge vergelijking van de profielen vanuit meetprofielen met andere meethoogten naar hele meters geïnterpoleerd of gemiddeld.

5.3.2 *Debieten*

5.3.2.1 *Interpolatie vanuit metingen*

Voor de uit de snelheidsmetingen berekende debieten valt op dat informatie hierover in de aangeleverde data voor een aantal dwarsraaien beschikbaar is in de vorm van ascii-files met tijdseries, terwijl deze voor andere gevallen alleen beschikbaar is als tabel in een tif-file (een plaatje dus). Deze tabellen zijn overgetyped om de data voor alle dwarsraaien in dezelfde vorm beschikbaar te hebben. Wel bevatten beide vormen debietwaarden voor gelijke tijdsintervallen, namelijk voor elke volle tien minuten. Uit de files behorende bij de ADCP-metingen blijkt dat het meetschip ongeveer 20 minuten nodig heeft om alle drie de dwarsraaien bij een splitsingspunt te bemeten. Dit betekent dat de beschikbare waarden niet direct uit de snelheidsmeting berekend zijn, maar dat er sprake is van interpolatie.

5.3.2.2 *Ontbrekende en verdachte data*

Verder valt op dat voor 22 mei informatie ontbreekt over het debiet door de Nieuwe Maas (Figuur 5.5), en dat de files dezelfde tijdsreeks bevatten voor de debieten in de Oude Maas ten noorden en ten zuiden van de splitsing met het Hartelkanaal (Figuur 5.6). Op grond van inspectie van de snelheidsprofieldata achten we het waarschijnlijk dat de gegeven reeks behoort bij dwarsraai OM04. De die reden zijn de gegeven debieten voor OM03 in de figuur rood gemaakt.

5.4 Observaties vanuit data-model-vergelijking

5.4.1 Saliniteitsprofielen

De data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen, integraal weergegeven in Bijlage B, laat het volgende zien:

Voor splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas (22 mei en 27 aug, respectievelijk bijlage B.1 en B.3):

- 1) Een (te?) kort saliniteitsprofiel in de modelresultaten voor locatie OM05_01 op 27/8 en NWW01_01 en OM05_01 op 22/5, terwijl de data hier profielen tot grotere diepte laten zien. Voor 22/5 geldt echter dat de data hier profielen tonen die hoogstwaarschijnlijk horen bij locatie 03 in de betreffende dwarsraai. Voor 27/8 blijft dit issue staan. Hierbij moet bedacht worden dat de modeluitvoer niet exact afkomstig is van de locatie van de meting, maar van het meest nabije roosterpunt. Mogelijk is hierdoor uitvoer verkregen op een locatie met geringere diepte.
- 2) Modelresultaten voor het saliniteitsprofiel die **grote overeenkomsten** vertonen met **de gemeten profielen**. Dit geldt in het bijzonder voor de resultaten voor 22/5, vanaf een uur of negen (iets na hoogtepunt vloedstroom). Overeenkomsten zijn te zien in zowel de minimale als de maximale waarde van de saliniteit in het profiel, maar ook in de vorm van het profiel en de hoogte van de overgang van zoeter naar zouter water. Ook de profielen voor 27/8 tonen op deze punten een grote overeenkomst met de data. Dit geldt het meest voor de Nieuwe Maas en de Nieuwe Waterweg. Wel wordt hier de maximale saliniteit soms iets onderschat. Ook valt op dat de modelresultaten, met name voor de Nieuwe Waterweg, vrij veel hoeken en knikken bevatten, wat fysisch niet correct lijkt.
- 3) Voor de modelresultaten van 22/5 valt op dat het zout in het model, m.n. in de Oude Maas iets te vroeg lijkt binnen te stromen. Bij het uitstromen valt op dat het profiel te weinig stratificatie laat zien en dat het zout wellicht iets te lang blijft hangen. De **onderschatting van de stratificatie bij het uitstromen** is ook zichtbaar in de **Oude Maas-profielen** voor 27/8 (hoogtepunt ebstroom rond 11:00). Voor OM05_03 om 10:38 bijvoorbeeld loopt de gemeten saliniteit op van 8 tot 20, terwijl de modelresultaten oplopen van 10 tot 12. Overigens is in deze profielen te zien dat de Oude Maas op 27/8 (met Rijnafvoer van 900 m³/s) niet geheel zoetspoelt. Op 22/5 (Rijnafvoer 1900 m³/s) gebeurt dit wel. Dit gedrag is zichtbaar zowel in de modelresultaten als in de data.

Voor splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei, bijlage B.2):

- 4) Een **significant grotere saliniteit in de modelresultaten dan in de data**, eigenlijk in alle drie de dwarsraaien, tussen ongeveer 9:00 en 13:30. Als we kijken naar de profielen voor OM03 en OM04, is te zien dat in het bovenste gedeelte van de profielen de overeenkomst soms nog wel redelijk is, maar dat op grotere diepte de afwijking steeds verder toeneemt. In de modelresultaten is sprake van serieuze verzilting en gelaagdheid, in de data aanzienlijk minder. De verschillen lopen op tot zo'n 5-7 PSU en een factor 3.
- 5) In het Hartelkanaal valt op dat er **laterale verschillen** te zien zijn in de modelresultaten, maar niet in de data (m.n. bijlage B.2.1, 15:11 e.v. NB: schaal van 0

tot 3). Het is onduidelijk waar dit zout vandaan komt: 15:00 is ongeveer het hoogtepunt van de ebstroom, maar de profielen in dwarsraai OM03 en OM04 (respectievelijk zuidzijde en noordzijde splitsingspunt) zijn dan al volledig teruggekeerd naar de achtergrondconcentratie. Een extra controle heeft bevestigd dat de hier getoonde resultaten wel echt de modeluitkomsten voor deze locatie laten zien.

Voor splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 aug, bijlage B.4):

- 6) Voor het Spui valt op dat in de modelresultaten het zout bij uitstroming iets te lang blijft hangen. (De ebstroom begint ongeveer om 7:00). Vervolgens daalt daarna de saliniteit diepte-uniform tot lagere waarden dan in de data. Met name dat laatste is ook terug te zien in de profielen voor OM01 en OM02. Blijkbaar heeft de nesting van het 3D submodel in het 2DH submodel nog iets te lage achtergrondconcentraties opgeleverd.
- 7) Voor OM01 en met name OM02 valt op dat voor deze doorsneden aan het begin en het einde van de meting (is ongeveer begin ebstroom) de **gelaagdheid in de modelresultaten kleiner is dan in de data**. In de data is duidelijk het binnendringen van een tong zeewater waar te nemen, zie bijvoorbeeld OM02_02 om 7:35. Dit is niet zo terug te vinden in de modelresultaten.
- 8) Ook valt op dat er sprake is van **enige laterale verschillen in de Oude Maas**, en dat wat meer in de data dan in de modelresultaten. De laterale verschillen lijken vooral samen te hangen met verschillen in diepte op de verschillende meetlocaties. In dwarsdoorsnede OM02 aan de westzijde van het splitsingspunt is de diepte bij het middelste meetpunt meer dan 22m, terwijl deze bij meetpunt 3 minder dan 15m is. Aan de oostkant hebben we het over een diepteverschil van zo'n 6m. Ongetwijfeld heeft dit te maken met aanwezigheid van een vaargeul en eventueel de ontgrondingskuilen in de Oude Maas nabij Beerenplaat. In elk geval is op sommige momenten op deze grotere dieptes duidelijk zouter water aanwezig. Voor meetpunt OM01_01 aan de zijkant valt juist op dat de modelresultaten profielen tot grotere diepte laten zien dan de data. Mogelijk is dit weer een gevolg van de uitvoer op een roosterpunt nabij de meetlocatie in plaats van op de meetlocatie zelf.

5.4.2 Debieten

Uit de data-model-vergelijking voor debieten, weergegeven in Figuur 5.5 tot Figuur 5.8, valt het volgende op te maken:

- 9) Zowel in de modelresultaten als in de data gaat het **grootste deel van het getijddebiet vanuit de Nieuwe Waterweg naar de Nieuwe Maas**, en een kleiner deel naar de Oude Maas. (Verhouding maxima in data 17/8: OM:NM \approx 1:2). De piek van het vloeddebiet valt in de Oude Maas iets later dan in Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas. Hierdoor heeft de afleiding naar de Oude Maas ook effect op de vorm van het getij, of in ieder geval de grafiek voor het debiet, in de Nieuwe Maas. (Overigens ligt de volumeverdeling OM:NM hierdoor wel dichter bij elkaar dan de verhouding van de maximale debieten).
- 10) De **modelresultaten laten een groter getijvolume in de Oude Maas zien dan de data** (tot zo'n 25%). Dit is niet alleen terug te vinden bij de splitsing Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas (zowel op 22/5 als op 27 augustus, respectievelijk Figuur 5.5 en Figuur 5.7), maar ook bij de splitsing Oude Maas – Hartelkanaal

(meting 22/5, Figuur 5.6) en de splitsing Oude Maas – Spui (meting 27/8, Figuur 5.8). In die laatste valt op dat de overschatting nauwelijks is terug te vinden in de dwarsraai OM01 aan de oostzijde van de splitsing, maar wel in de debietkromme voor het Spui.

- 11) Er lijkt in de modelresultaten netto (i.e. gemiddeld over het getij) wat minder water naar buiten te stromen via de Oude Maas dan in de data, vooral op 22/5. We komen tot dit vermoeden op grond van een visuele vergelijking van de oppervlakten tussen de lijnen van data en modelresultaten. Nadere onderbouwing hiervan vraagt berekening van het eb- en vloedvolume in data en model, en eigenlijk meer dan 13-uurs metingen.
- 12) Zowel model als data laten zien dat bij vloed ook het Hartelkanaal bijdraagt aan het getijvolume in de Oude Maas ten zuiden van het splitsingspunt Hartelkanaal – Oude Maas. Voor de modelresultaten is dit het beste te zien aan de piekdebieten in de Oude Maas. Die zijn ten zuiden van de splitsing met het Hartelkanaal (dwarsraai OM03) groter dan ten noorden (OM04, Figuur 5.6). Deze bijdrage is in het model wel groter dan in de data (zie dwarsraai HK01, Figuur 5.6).

6 Discussie

Het doel van deze studie is een objectieve data-model-vergelijking uit te voeren voor een andere periode dan gebruikt in de eerdere kalibraties en evaluaties van het OSR-model. De insteek hierbij was deze zo feitelijk mogelijk te rapporteren, en de vergelijking in te brengen in gezamenlijk overleg van RWS, Havenbedrijf Rotterdam en Deltares, om gezamenlijk tot een interpretatie van de feiten te kunnen komen. In de hoofdstukken 2 tot 5 is geprobeerd zo feitelijk mogelijk te rapporteren. Dit hoofdstuk geeft een aanzet voor interpretatie van de observaties bedoeld voor discussiedoeleinden. Deze eerste interpretatie is overigens, net als de observaties, gedeeltelijk gebaseerd op discussies in eerdere gezamenlijke besprekingen.

De belangrijkste observaties uit hoofdstuk 5 lijken te zijn:

- Observatie nr. 2: Grote overeenkomsten in minimale en maximale saliniteit, gelaagdheid en profielvorm tussen gemeten en gemodelleerde profielen bij het splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas
- Observatie nr. 4: Significante overschatting door het model van de saliniteit in de Oude Maas nabij de splitsing met het Hartelkanaal, tot 5-7 PSU en factor 3.
- Observatie nr. 10: Een overschatting door het model, tot zo'n 25%, van het getijvolume door de Oude Maas tot in het Spui.

6.1 Interpretatie

Met het oog op interpretatie dient het volgende te worden opgemerkt:

- 1) In 'Evaluatie (I)' en 'Evaluatie (II)' is waargenomen dat het model in de data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen voor november / december 2011 in de Nieuwe Waterweg en aansluitende gedeelten van Nieuwe Maas en Oude Maas voor een groot deel van de profielen een onderschatting van de gelaagdheid en van de saliniteit bij de bodem liet zien. Deze onderschatting is niet aanwezig in de huidige modelresultaten voor het splitsingspunt NWW-NM-OM. De resultaten van de verschillende studies zijn (nog) niet uitgebreid met elkaar vergeleken. Er is ook nog geen volledige verklaring voor dit opvallende verschil. Maar mogelijk speelt het verschil in omstandigheden, met name in de windcondities, een rol (zie kader volgende bladzijde). Hoe precies, dat zou verder onderzocht moeten worden. Belangrijkste om op te merken is dat deze resultaten laten zien dat het met het huidige model mogelijk is goede gelaagdheid en saliniteit te produceren in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas nabij het splitsingspunt.
- 2) We achten het waarschijnlijk dat de verklaring voor de significante modeloverschatting van de saliniteit in de Oude Maas nabij de splitsing met het Hartelkanaal is te vinden in de modeloverschatting van het getijvolume door de Oude Maas (. Als er in het model teveel of te makkelijk water vanuit de Nieuwe Waterweg de Oude Maas instroomt, is het niet verwonderlijk dat ook het zout te ver doordringt. Mogelijk speelt ook de vermoede modelonderschatting van het netto debiet hierin een rol.

Data-model-vergelijking in 'Evaluatie I' en 'Evaluatie II':

In de eerdere evaluatiestudies is een data-model-vergelijking uitgevoerd voor saliniteitsprofielen gemeten in langsraai in m.n. de Nieuwe Waterweg voor de periode 29/11-7/12/2011. In 'Evaluatie I' is ook een vergelijking uitgevoerd voor debieten gemeten bij splitsingspunten in mei 2011. Voor beide perioden is ook vergeleken met metingen van chlorideconcentraties op vaste meetpunten.

Testperiode nov/dec 2011 is een periode met een rivierafvoer bij Lobith tot onder de 900 m³/s, wind die een groot deel van de tijd met meer dan 10 m/s uit het zuidwesten waait (uitschieters tot 16 m/s), en een opzet tot boven de 1 m. In testperiode mei 2011 schommelde het debiet rond de 1000 m³/s en was er aanzienlijk minder wind en opzet.

Zie de eerdere rapporten voor bijbehorende figuren.

- 3) Als de overschatting van het getijvolume de belangrijkste verklaring is voor de overschatting van de saliniteit, kan het model verbeterd worden door verbetering van de voorspelling van de debietverdeling. De debietverdeling wordt beïnvloed door de modelschematisatie op het splitsingspunt. Ook de ruwheid in de Oude Maas heeft hier invloed op. Dit zijn dus mogelijk knoppen om het model te verbeteren. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat deze zaken ook invloed hebben op de amplitude en in het laatste geval ook op de fase van het verticale getij. In een aanpassing of gevoeligheidsanalyse is het dus van belang in de gaten te houden dat de resultaten hiervoor niet verslechteren. Maar het is ook belangrijk om op te merken dat de modeloverschatting van het getijvolume te vinden is tot in het Spui. De 3D-modelresultaten voor de stroming in het Spui worden gedeeltelijk bepaald door de randvoorwaarde opgelegd aan het zuidelijke uiteinde van het Spui. Die informatie is afkomstig uit het 2D-submodel. Mogelijk is te heftige forcering op deze rand de verklaring voor de overschatting van het getijdebiet in het 3D-model. Als dit zo is, moet eigenlijk de debietverdeling in het 2D-submodel verbeterd worden om de voorspelling van de saliniteit in de Oude Maas door het 3D-submodel te verbeteren.

6.2 Mogelijkheden voor uitbreiding / uitwerking

Met het oog op eventuele uitwerking of uitbreiding van de analyse in deze studie merken we op (in willekeurige volgorde):

- 1) De bestudering van de data heeft laten zien dat er in eerdere post-processing van de saliniteitsmetingen wel enige fouten zijn geslopen. Met behulp van de originele meetgegevens zouden deze mogelijk gecorrigeerd kunnen worden. Dit zou vooral meer inzicht op kunnen leveren in eventuele laterale verschillen in de Nieuwe Waterweg en Oude Maas. Het verslag van de snelheidsmetingen (bijlage A) bevat namelijk wel aanwijzingen dat er faseverschillen optreden over de breedte. Voor nader begrip van de water- en zoutverdeling op splitsingspunten zou het nuttig kunnen zijn te onderzoeken of deze faseverschillen zich ook manifesteren in de saliniteitsprofielen.
- 2) De analyse zou ook nog kunnen worden uitgebreid door een data-model-vergelijking voor snelheden toe te voegen. De daarvoor benodigde ADCP-meetinformatie is beschikbaar. Deze zou dan moeten worden ingelezen, gevisualiseerd en geanalyseerd. De modeluitvoer voor snelheden is ook gedeeltelijk beschikbaar (t.w.

op de locaties van de saliniteitsmetingen). Het resterende deel (meer punten over de dwarsraai) zou verkregen kunnen worden middels een restart. De vraag is: wat zou zo'n analyse op kunnen leveren? Er zou vooral veel te leren zijn over verschillen over de dwarsraaien (y- en z-richting) en de kwaliteit van de reproductie daarvan door het model. Ook dit kan leiden tot meer begrip van de water- en zoutverdeling op de splitsingspunten. Dit lijkt vooral informatief te kunnen zijn voor de splitsingspunten NWW-NM-OM en OM-HK, waar indicaties zijn voor laterale verschillen, maar hun betekenis voor de zoutindringing nog niet heel duidelijk is. We verwachten echter dat het algemene beeld van de modelperformance door zo'n analyse niet zal veranderen. Zonder twijfel zullen we enige overschatting van de snelheden in de Oude Maas vinden. Maar dat levert naar verwachting niet direct aanvullende aanknopingspunten voor modelverbeteringen. Merk op dat HbR op dagelijkse basis data-modelvergelijkingen uitvoert voor snelheden met metingen op vaste snelheidsmeetlocaties.

- 3) Voor de nadere interpretatie van de getijstroming zou het nuttig kunnen zijn een map-filmpje te maken van de stroomsnelheden en richtingen, en bijvoorbeeld van de saliniteit zelf. Dit zou vooral behulpzaam kunnen zijn bij het beantwoorden van de vraag: waar komt het zout feitelijk vandaan? Vooral rond de splitsing bij het Hartelkanaal is dit interessant. Het Hartelkanaal blijkt bij te dragen aan het getijvolume door de Oude Maas ten zuiden van de splitsing. Draag het ook bij aan de zoutlast, en zo ja, op welk moment arriveert dit zout in de Oude Maas?

6.3 Overwegingen m.b.t. data-gebruik

Terugblikkend op het data-gebruik merken we op:

- 1) In deze studie hebben we gebruik gemaakt van dwarsraaimetingen bij splitsingspunten. De data-model-vergelijking in deze studie blijkt zeer informatief. Dit komt ten eerste doordat de dwarsraaimetingen van saliniteit een goed beeld geven van de ontwikkeling van de saliniteitsprofielen over de duur van het getij, en dus ook over de kwaliteit van de modelresultaten daarvoor. Dit is vooral te danken is aan de hoge(re) meetfrequentie in deze metingen. Daarnaast speelt de combinatie van saliniteits- en snelheidsmetingen een belangrijke rol: de combinatie met tot debieten te ingrepen snelheidsmetingen is zeer behulpzaam geweest om een breed beeld te krijgen van het systeemgedrag en de reproductie daarvan door het modelgedrag.

Terugkijkend op de eerdere data-model-vergelijkingen merken we op dat de eerder gebruikte langsraaimetingen niet zo'n hoge frequentie lieten zien. Het is met laag-frequentere metingen wel mogelijk vast te stellen wat de verschillen en overeenkomsten tussen data en modelresultaten zijn, maar minder goed vast te stellen of dit persistente verschillen zijn, of bijvoorbeeld verschillen door een faseverschil tussen data en model. We constateren dat voor een goede beoordeling een voldoende dekking over een getijcyclus noodzakelijk is.

In de eerdere data-model-vergelijking was het ook zo dat voor de ene evaluatieperiode werd vergeleken met saliniteitsprofielen, en voor de andere met debieten. Ook toen zijn verschillen gevonden tussen debieten volgens de data en volgens het model. Het was toen echter moeilijk vast te stellen wat de betekenis hiervan was en of dit tot nadere vergelijking of modelaanpassingen moest leiden. Dat lag overigens ook goeddeels aan de gebrekkige kwaliteit van de uit (wellicht wel

kwalitatief goede) snelheidsmetingen berekende debieten. Maar we constateren dat de combinatie van debiet- en zoutmetingen noodzakelijk is voor een goede interpretatie, terwijl een onvolledig beeld ontstaat als er alleen debiet- of alleen zoutmetingen worden bekeken.

Bovenstaande overwegingen vanuit de data-model-vergelijking zijn mogelijk relevant bij het opzetten van nieuwe meetcampagnes. Ongetwijfeld zijn er nog andere overwegingen over voor- en nadelen en (on)mogelijkheden van bepaalde manieren van meten. We beperken ons daarom hier tot het bovenstaande en laten de vertaling in advies voor de opzet van meetcampagnes aan andere studies.

Wat de debiet-zout combinatie betreft valt er wellicht nog wel meer te leren uit de data voor mei 2011. De kwaliteit van de debieten zou verbeterd kunnen worden door de post-processing vanuit de snelheidsmetingen te verbeteren. Daarnaast zijn er voor een deelverzameling splitsingspunten ook zoutmetingen uitgevoerd. Wat de kwaliteit van deze data is, is niet bekend.

- 2) We hebben geconstateerd dat er in de eerdere post-processing van zowel de debietmetingen als de saliniteitsmetingen wel enige fouten zijn geslopen en ook data niet mee zijn genomen. Ook de meta-data is niet altijd volledig correct of niet altijd compleet. Vanuit dat gezichtspunt constateren we dat het aanbevelenswaardig is metingen snel na uitvoering te (laten) analyseren, zodat eventuele fouten nog kunnen worden gecorrigeerd en omissies kunnen worden achterhaald en vastgelegd.
- 3) In deze studie hebben we gebruik gemaakt van 13-uurs reeksen voor debieten. We constateren dat we met dergelijke reeksen vrij goed inzicht kunnen krijgen in maximale debieten, de vorm van de debietgrafiek en ook de verdeling van het getijdebiet over rivierarmen, en de kwaliteit van de modelresultaten daarvoor. Dat levert belangrijk systeem- en modelinzicht. In aanvulling daarop zou kennis van getijgemiddelde debieten en de kwaliteit van de modelvoorspellingen daarvoor het inzicht verder kunnen vergroten. We constateren dat de huidige metingen die kennis niet kunnen leveren. Daarvoor zijn langere meetreeksen nodig, mogelijk van meetschepen die een aantal dagen achter elkaar continu meten, of van meer permanente snelheidsmetingen vanaf vaste locaties.

6.4 Overwegingen m.b.t. testcondities

Met het oog op de range van omstandigheden voor modelvalidatie merken we op:

- 1) Met de in deze studie en de voorgaande evaluaties gebruikte data zijn nu omstandigheden bemeten / onderzocht als grofweg weergegeven in Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Debieten bij Lobith (bron: Waterkrant)

| | Debiet (m ³ /s) | Windsnelheid (m/s) | Windrichting |
|----------------------|----------------------------|--------------------|--------------|
| 2003 / 05 (22) | 1900 | +/- 8 | ZW |
| 2003 / 08 (27) | 900 | +/- 6 | NNW |
| 2011 / 05 (2e helft) | 1000 | +/- 7 | ZW |
| 2011 / 12 (3-7) | 900 | 11-16 | W |

Met name de laatste conditie ging gepaard met opzet op zee.

De ervaring van eerdere verziltingsevents is dat bij rivierafvoeren van om en nabij de 1200 m³/s het vooral bepaald wordt door het wel of niet optreden van opzet of zee of zout ook doordringt in de Oude Maas en er ook verzilting van het Spui op kan treden (achterwaartse verzilting). Bij zeer lage (1000 m³/s) tot extreem lage (800 m³/s) afvoeren is dit minder opzet-afhankelijk (zie metingen augustus 2003). Juist het goed kunnen voorspellen van de overgang van net niet naar net wel optreden van verzilting is van belang voor toepassing van een model voor effectonderzoek. Vanuit dat oogpunt is het goed in toekomstig onderzoek extra aandacht te besteden aan verzilting op de Oude Maas onder condities met afvoeren rond de 1200 m³/s en met en zonder opzet op zee / significante wind. Deze condities ontbreken nog in de voor de recente analyses gebruikte data. Condities met wind zijn ook relevant vanwege het feit dat nu goede reproducties zijn gevonden bij splitsingspunt NWW-NM-OM voor condities met vrij weinig wind, maar eerder geen goede reproducties gevonden werden voor de langsraaimetingen in de NWW in december 2011 met krachtige wind.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In deze studie hebben we simulaties opgezet voor berekening van zoutindringing in de Rijn-Maasmonding met het OSR-model voor mei en augustus 2003. De resultaten van deze simulaties hebben we vergeleken met gemeten saliniteitsprofielen en uit snelheidsmetingen berekende debieten nabij splitsingspunten. De gebruikte modelversie is dezelfde als in 'Evaluatie (II)'. Het nieuwe element is de vergelijking voor andere testperioden, met enigszins andere hydrometeo condities en meetpunten, dan in de eerdere studies.

De belangrijkste waarneming uit de data-model-vergelijking voor saliniteitsprofielen is dat de modelresultaten bij het splitsingspunt Nieuwe Waterweg – Nieuwe Maas – Oude Maas over het algemeen een grote overeenkomst laten zien met de gemeten profielen. Dit betreft zowel de minimale en maximale saliniteit, maar ook de vorm van het profiel en de hoogte van de overgang van zoeter naar zouter water. Verderop in de Oude Maas bij de splitsing met het Hartelkanaal laat het model een overschatting van de saliniteit zien, in het bijzonder onder in het profiel. De belangrijkste waarneming uit de vergelijking van de debieten is dat het model een overschatting laat zien van het getijvolume door de Oude Maas. Deze overschatting is terug te vinden tot in het Spui.

Op grond van deze resultaten constateren we allereerst dat het met het huidige model mogelijk is goede gelaagdheid en saliniteit te produceren in de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas nabij het splitsingspunt met de Oude Maas. Onze interpretatie van de resultaten op de Oude Maas is dat het teveel aan zout aldaar het gevolg is van de modeloverschatting van het getijdebiet. We denken dan ook dat de modelresultaten voor saliniteit in de Oude Maas verbeterd kunnen worden door verbetering van de debietverdeling in het model. De waarneming dat de debietoverschatting is terug te vinden tot in het Spui is mogelijk een indicatie dat de overschatting is terug te voeren op de randvoorwaarde opgelegd aan de zuidzijde van het Spui.

7.2 Aanbevelingen

Op grond van het bovenstaande bevelen we aan voor verdere modelverbetering en vergroting van het inzicht in het modelgedrag, het effect te onderzoeken van aangepaste randvoorwaarden op het Spui en eventueel van verandering van bodemruwheid in de Oude Maas.

In deze studie is ook enige aandacht besteed aan eventuele laterale verschillen in saliniteit. Door onvolkomenheden in de data was een goede analyse hiervan echter nog niet mogelijk. Ook zijn de beschikbare snelheidsmetingen nog niet bestudeerd en met het model vergeleken. Mocht de rol van laterale verschillen in water- en zoutverdeling op splitsingspunten nader onderzocht gaan worden, dan bevelen we aan daarin ook de originele data van de 2003-metingen te betrekken en deze studie uit te breiden met een data-model-vergelijking voor snelheden.

In hoofdstuk 6 zijn diverse overwegingen en constatering gegeven met betrekking tot data en testcondities en hun waarde voor systeeminzicht en modelvalidatie. Dit betreft onder andere de constatering dat de combinatie van debiet- en saliniteitsmetingen, en ook een voldoende aantal metingen over de duur van het getij hiervoor zeer waardevol is. Verder ook de constatering dat onder de tot nu toe bemeaten / onderzochte condities nog condities ontbreken op de grens van het net niet of net wel verzilten van de Oude Maas. We bevelen

aan deze en de andere overwegingen uit hoofdstuk 6 mee te nemen bij het opzetten van nieuwe meetcampagnes.

Referenties

Kranenburg, W.M.; *Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (I)*. 2015, Deltaresrapport 1209459-000-ZKS-0028

Kranenburg, W.M.; *Evaluatie OSR: mogelijkheden voor toepassing in beheervragen*. 2015, Memo onder 1209459

Kranenburg, W.M.; *Evaluatie van het OSR-model voor zoutindringing in de Rijn-Maasmonding (II)*. 2015, Deltaresrapport 1220070-000-ZKS-0009

Svasek Hydraulics; *Herkalibratie Operationeel Stromingsmodel Rotterdam, ten behoeve van toepassing voor onderzoek*, 9 april 2015, rapport 1712/U15076/D/BvL

Bijlagen

A Beschrijving resultaten snelheidsmetingen

Ondertaande is een beschrijving in woorden van de snelheidsmetingen op 22 mei op de splitsingspunten Nieuwe Waterweg-Oude Maas-Nieuwe Maas en Oude Maas-Hartelkanaal en op 27 augustus op de splitsingspunten Nieuwe Waterweg-Oude Maas-Nieuwe Maas en Oude Maas-Spui. De beschrijving is afkomstig uit de meetverslagen: OMS-NMS220503.doc, OMSHARTEL220503.doc, OMS-NMS270803.doc en OMSSPUI270803.doc. Daarin is ook informatie vermeld over de afvoer bij Lobith (bron: Waterkrant):

- 20 mei: 1777 m³/s
- 21 mei: 1828 m³/s
- 22 mei: 1953 m³/s
- 25 augustus: 924 m³/s
- 26 augustus: 913 m³/s
- 27 augustus: 902 m³/s

A.1 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (22 mei)

A.1.1 Nieuwe Maas kmr 1013.200 (Nieuwe Waterweg zijde)

Aan het begin van de meting, van 05.00 uur, worden in deze meetraai gemiddelde stroomsnelheden gemeten van 63 cm/s in de eb richting. Opmerkelijk is de vloed aan de zuidzijde van de rivier binnen stroomt terwijl aan de noordzijde de stroomrichting nog eb is. Vanaf 05.40 uur loopt in het hele profiel vloedstroom. De snelheden lopen op naar een maximum van 117 cm/s om 07.15 uur gemeten aan de zuidzijde van de meetraai. Om 08.13 uur is aan de noordzijde tussen 500 en 575 m een ebstroom waarneembaar. En rond 09.51 zet de eb langzaam in, de grootste snelheden worden bij de bodem gemeten. Tussen 11.10 en 17.26 uur worden snelheden gemeten > 60 cm/s in eb richting. De max. gemiddelde stroomsnelheid was 108 cm/s om 13.35 uur tijdens eb. De vloed begint om 18.37 uur zichtbaar te worden de snelheden lopen langzaam op en om 19.50 uur wordt het laatste verticaal in deze meetraai uitgevoerd.

A.1.2 Oude Maas kmr 1006.000

Aan het begin van de meting om 05.07 uur wordt een snelheid 74 cm/s gemeten in de eb richting. Hierna neemt de snelheid geleidelijk af. Om 06.23 uur wordt er vloed in het profiel gemeten, 28 cm/s. Ook hier duidelijk zichtbaar de grootste snelheden aan de oostzijde van de rivier gemeten worden tussen 200 en 250 m. Van 07.02 tot 08.23 uur is de snelheid >100 cm/s in de vloed richting. Hierna nemen de snelheden af en om 11.19 uur loopt er eb. Tussen 13.24 en 13.43 uur is de gemiddelde snelheid 100 cm/s in de eb richting. Om 19.53 uur is de laatste meting waarbij er een spoortje vloed te zien is.

A.1.3 Nieuwe Maas kmr 1012.300

Om 05.14 uur wordt het eerste verticaal genomen, snelheid 19 cm/s, richting 71 graden vloed. Over de vloed tussen 06.47 en 07.31 uur waren de gemeten gemiddelde snelheden > 100cm/s. Om 06.49 uur is de max stroomsnelheid van 116 cm/s in de vloed richting gemeten. Om 09.03 uur zet de eb in aan de noordzijde van de raai met als maximum gemeten waarde 89 cm/s om 11.44 uur. Tot 15.00 uur blijven de waarden boven de 60 cm/s. Om 18.13 uur is er kentering, de vloed zet aan de noordzijde in en om 19.57 uur is het laatste verticaal met snelheden van 62 cm/s in de vloed richting.

A.2 Splitsingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei)

A.2.1 Oude Maas kmr 1003.850

Het eerste verticaal wordt om 05.14 uur gemeten er loopt eb, de stroomsnelheid is 71 cm/s en neemt af. De eerste vloedrichting wordt om 06.31 uur waargenomen, $V= 23\text{cm/s}$. Om 11.19 uur is de kentering, $V= 38\text{cm/s}$ in eb richting. De maximum snelheid wordt om 14.35 uur gemeten en is 101 cm/s. Tot 15.30 uur blijven de snelheden rond de 100 cm/s liggen. Vloed begint om 19.39 uur met 22 cm/s. Laatste verticaal om 20.11 uur.

A.2.2 Hartelkanaal kmr 0.450

Bij het begin van de meting om 05.01 uur was de snelheid 54 cm/s in de eb richting. Wat direct opvalt is dat aan de noordzijde van het profiel ebstroom heerst en aan de zuidzijde er een lichte vloedstroom loopt. Vanaf 06.34 uur wordt in het verticaal vloed gemeten, 40cm/s. Tot 08.30 uur blijven de snelheden rond de 30 cm/s liggen. Hierna neemt de snelheid af. En om 09.39 uur worden de eerste snelheden in de eb richting gemeten, t.w. 14 cm/s. De gemeten snelheden blijven laag. Om 12.36 uur wordt de hoogste snelheid gemeten, 50 cm/s, hierna neemt de snelheid af en zien we aan de noordzijde nog steeds ebrichtingen maar aan de zuidzijde een lichte vloed. Om 14.08 uur is de maximaal gemeten gemiddelde snelheid 95 cm/s. Hierna nemen de snelheden af. Rond 19.29 uur wordt vloed in het profiel gemeten. 20.00 uur laatste meting.

A.2.3 Oude Maas kmr 1003.000

Om 05.07 uur is de 92 cm/s in de ebrichting en is afnemend. Om 06.24 uur worden de eerste vloedrichtingen in de raai gemeten, $V= 19\text{ cm/s}$. De gemiddelde snelheden liggen tussen 40 en de 90 cm/s. Om 11.14 uur is de stroomsnelheid 15 cm/s in de ebrichting. Vanaf 12.26 uur zijn de snelheden boven de 80 cm/s. maximum gemeten snelheid 115 cm/s om 13.40 uur. Tot 18.09 uur blijven de snelheden boven de 80 cm/s hierna neemt de stroom snelheid af. Om 19.33 uur wordt vloed gemeten en om 20.06 uur is het einde meting.

A.3 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (27 augustus)

A.3.1 Nieuwe Maas kmr 1013.200 (Nieuwe Waterweg zijde)

Aan het begin van de meting, om 05.28 uur, worden in deze meetraai gemiddelde stroomsnelheden gemeten van 25 cm/s in de vloed richting. Opmerkelijk is dat de vloed aan de zuidzijde van de rivier nog binnen stroomt terwijl aan de noordzijde de stroom al in de eb richting loopt. Vanaf 05.47 uur loopt in het hele profiel ebstroom. De snelheden lopen op naar een maximum van 89 cm/s om 08.02 uur, gemeten aan de noordzijde van de meetraai, en nemen hierna geleidelijk af. Vanaf 09.27 uur de grootste snelheden aan de zuidzijde waargenomen worden. Kentering valt om 13.29 uur. In het dwarsprofiel is duidelijk zichtbaar dat de vloed nabij de bodem naar binnen stroomt, zich verder uitbreidt door het profiel en aan de zuidzijde van de rivier blijft "hangen". De max. gemiddelde vloed stroomsnelheid was 115 cm/s om 15.32 uur. De eb begint om 17.48 uur zichtbaar te worden, de snelheden lopen langzaam op naar 50 cm/s en om 18.22 uur wordt het laatste verticaal in deze meetraai uitgevoerd.

A.3.2 Oude Maas kmr 1006.000

Aan het begin van de meting om 05.41 uur wordt een snelheid 49 cm/s gemeten in de vloedrichting. Hierna neemt de snelheid geleidelijk af. Om 07.01 uur wordt er vloed (eb? WK) in het profiel gemeten, 17 cm/s. Ook hier is tijdens de meting duidelijk zichtbaar dat de grootste snelheden aan de oostzijde van de rivier gemeten worden tussen 200 en 250 m. Om

09.21 uur is de snelheid 83 cm/s in de ebrichting. Hierna nemen de snelheden geleidelijk af en om 14.04 uur wordt in het hele profiel vloed gemeten. Tussen 15.25 en 16.47 uur is de gemiddelde snelheid > 70 cm/s in de vloed richting. Om 18.17 uur is de laatste meting waarbij er een spootje vloed waarneembaar is.

A.3.3 Nieuwe Maas kmr 1012.300

Om 05.35 uur wordt het eerste verticaal opgenomen, snelheid 31 cm/s, richting 276 graden in de eb richting. Tussen 06.56 en 08.11 uur worden gemiddelde snelheden gemeten > 70 cm/s. Na dit tijdstip neemt de snelheid geleidelijk af. Kentering is om 13.19 uur. Ook hier wordt vloed aan de bodem zichtbaar, bouwt zich op in het profiel en blijft het langst "hangen" aan de zuidzijde van het profiel. Max. gemiddelde snelheid om 14.59 uur, 105 cm/s. Om 17.17 uur is de kentering, de eb zet aan de noordzijde in en om 18.11 uur is het laatste verticaal met snelheden van 62 cm/s in de ebrichting.

A.4 Splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 augustus)

A.4.1 Oude Maas 995.7

Om 06.40 uur is de stroomsnelheid 26 cm/s in de vloed richting. Rond 07.14 uur wordt in de meetraai stroomsnelheid in de ebrichting gemeten t.w. gem. 35 cm/s. De max.gemiddelde stroomsnelheid is om 10.18 uur gemeten t.w. 102 cm/s en neemt hierna geleidelijk weer af. Om 14.23 uur verandert de richting van de snelheid weer in vloed, gemeten t.w. 25 cm/s en om 16.31 uur wordt een max. gemiddelde stroomsnelheid gemeten van 125 cm/s. Rond 18.43 uur wordt weer ebrichting gemeten 29 cm/s om 19.48 uur is het laatste verticaal.

A.4.2 Spui 995.6

Bij het begin van de meting om 06.30 uur was de snelheid 35 cm/s in de vloed richting. De min. gemiddelde snelheden, 20 cm/s, was tussen 07.04 – 07.19 uur. Om 09.25 uur is de max. gemiddelde snelheid, 79 cm/s tijdens de eb. Vanaf 14.42 uur loopt er vloed en zijn de snelheden oplopend van 29 cm/s met als max. snelheid 97 cm/s om 16.13 uur. Rond 18.48 uur wordt weer eb gemeten t.w. 32 cm/s. Laatste verticaal om 19.37 uur 69 cm/s eb.

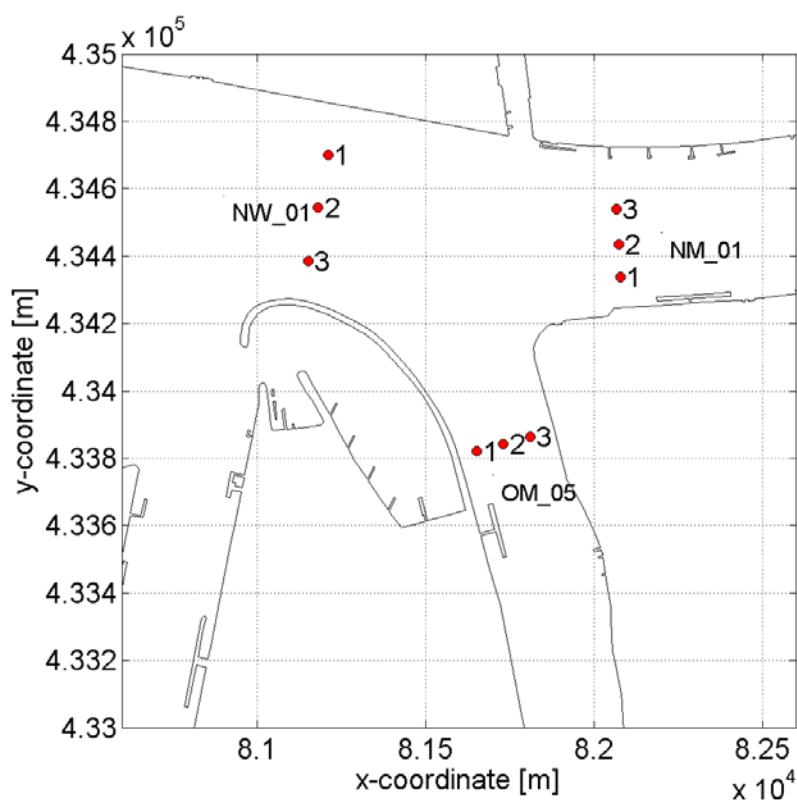
A.4.3 Oude Maas 995.0

Om 06.35 uur is de stroomsnelheid 32 cm/s in de vloed richting en afnemend. Rond 07.08 uur is de gemiddelde snelheid 53 cm/s in de ebrichting, de max. gemiddelde stroomsnelheid is 75 cm/s om 10.26 uur. Vanaf 14.31 uur zijn tijdens de vloed de snelheden 34 cm/s oplopend met als grootst gemeten snelheid 107 cm/s om 16.26 uur. Om 18.53 uur verandert de richting van de snelheid weer in eb, 48 cm/s en om 19.43 uur is het laatste verticaal.

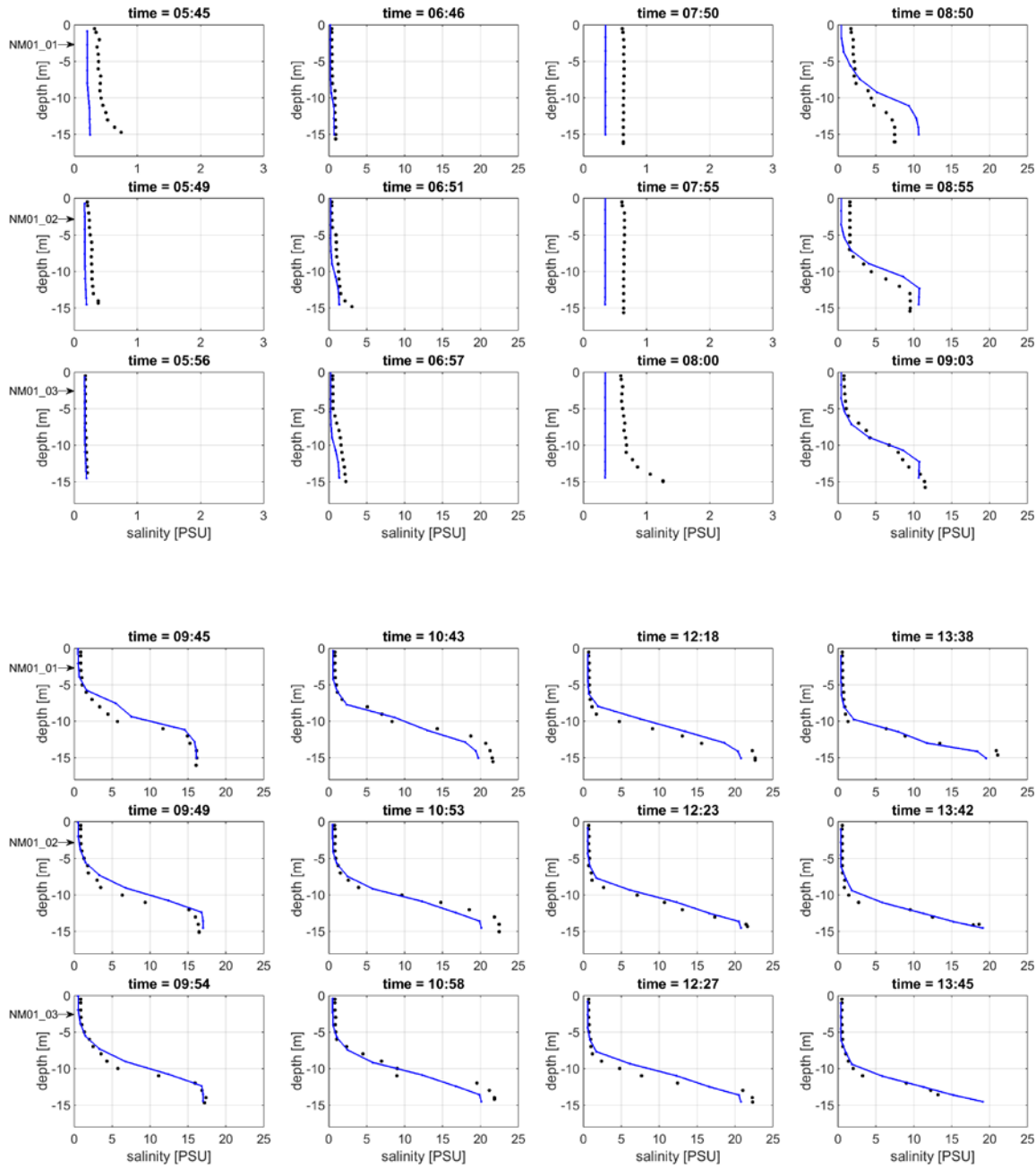
B Figuren data-model-vergelijking voor saliniteit

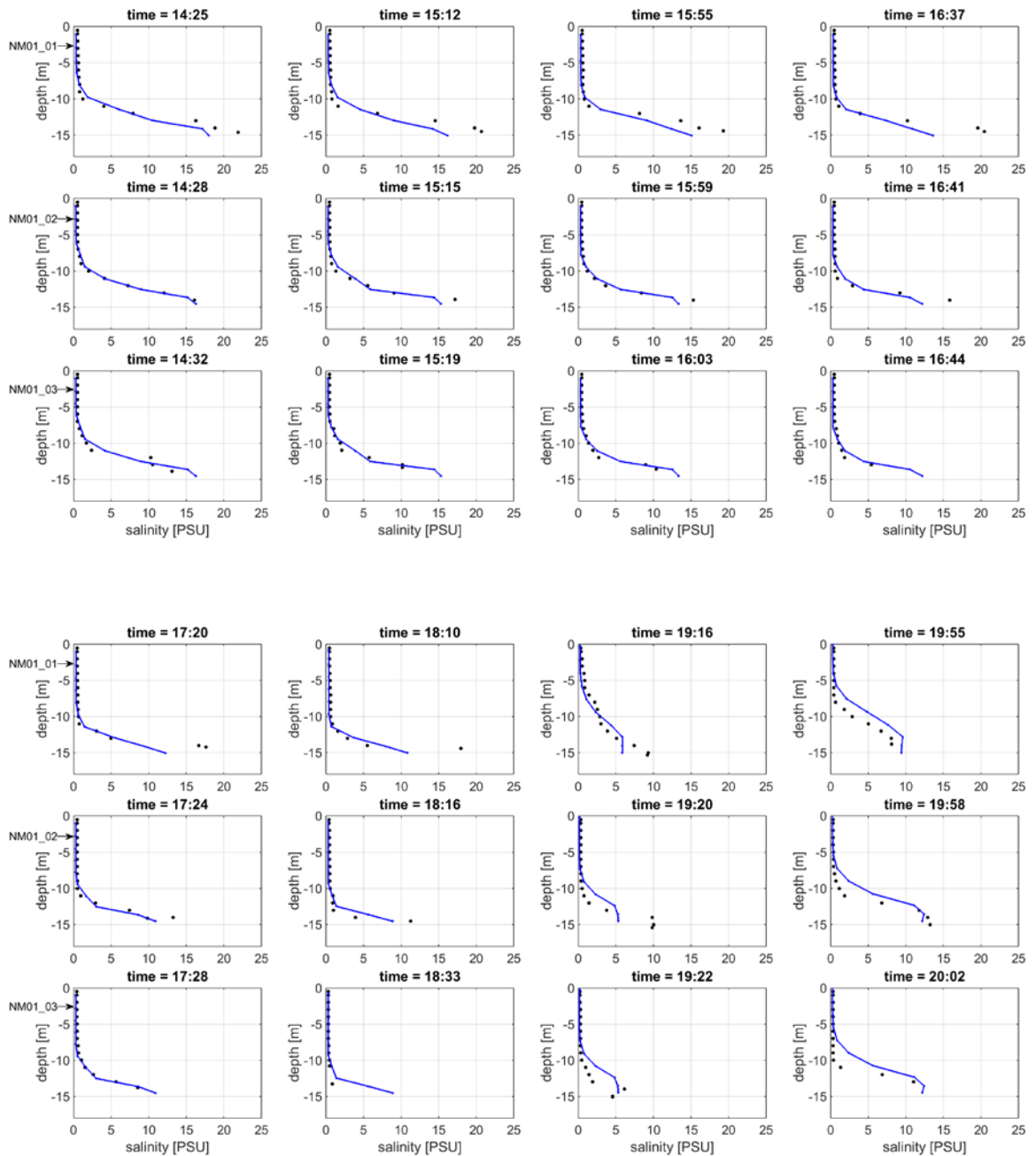
Onderstaande figuren tonen een vergelijking van data en modelresultaten voor verticale saliniteitsprofielen. De metingen zijn weergegeven met zwarte puntjes, de modelresultaten met een blauwe lijn. Op de horizontale as staat de saliniteit (PSU), op de verticale as de diepte. Alle subfiguren in de figuur behoren bij dezelfde dwarsraai: de eerste rij subfiguren bij meetpunt 01 in de betreffende raai, de tweede rij bij meetpunt 02, de derde bij meetpunt 03. Boven de subfiguren staat de tijd waarop de data zijn gemeten. De afgebeelde modelresultaten behoren bij het meest nabije tijdstip waarvoor uitvoer is weggeschreven, wat elke volle tien minuten is gebeurd.

B.1 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (22 mei)



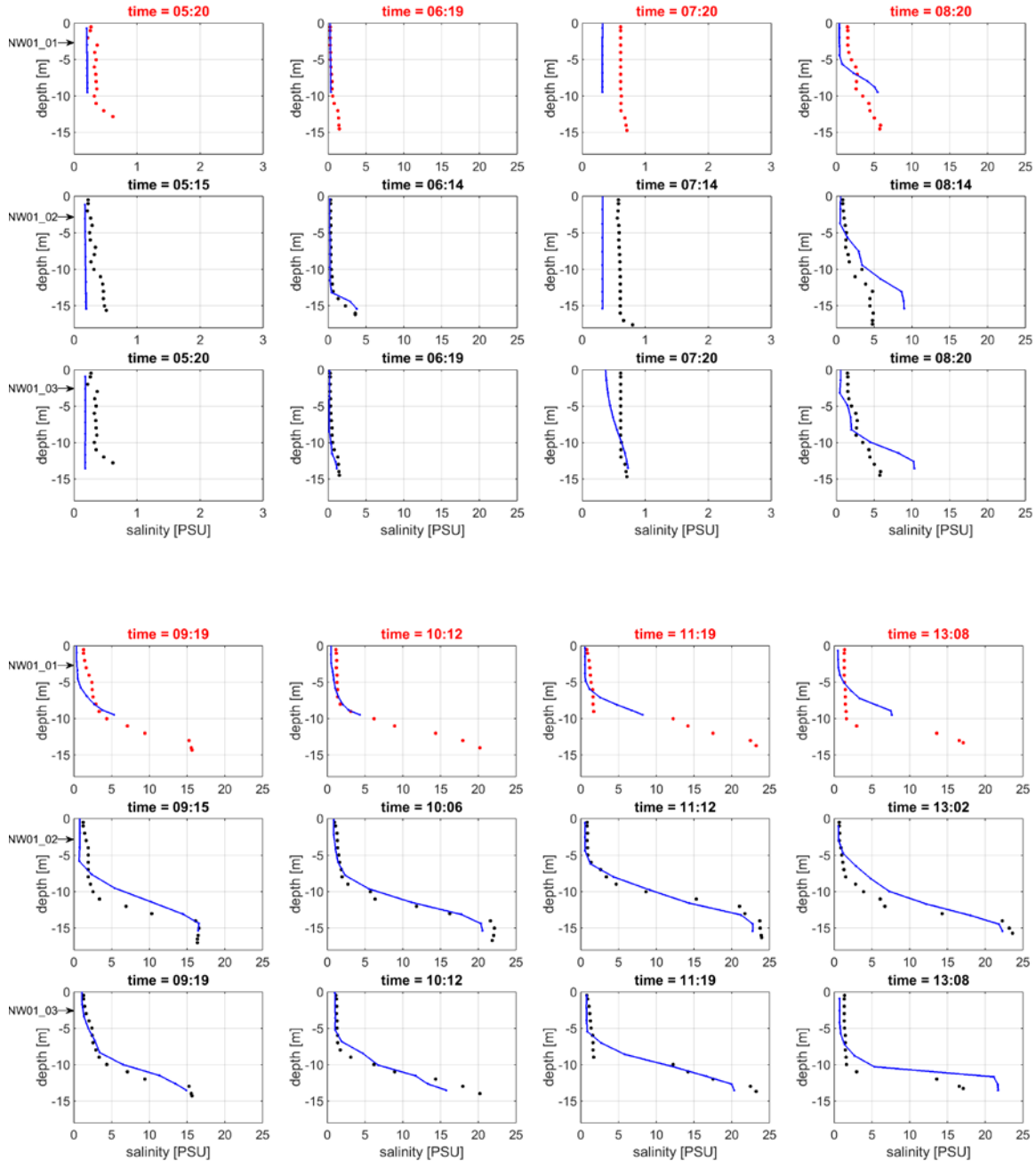
B.1.1 Nieuwe Maas

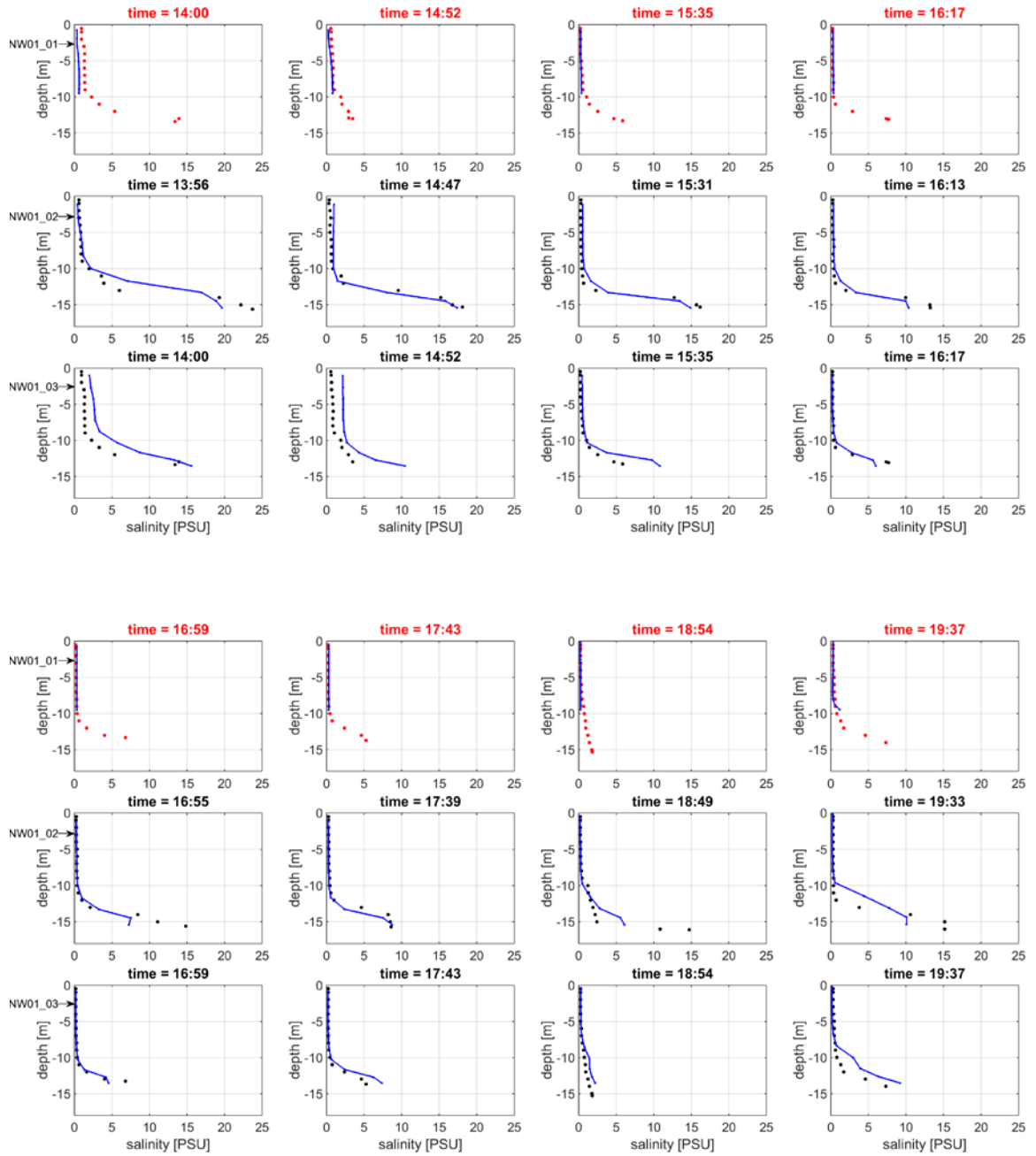




B.1.2 Nieuwe Waterweg

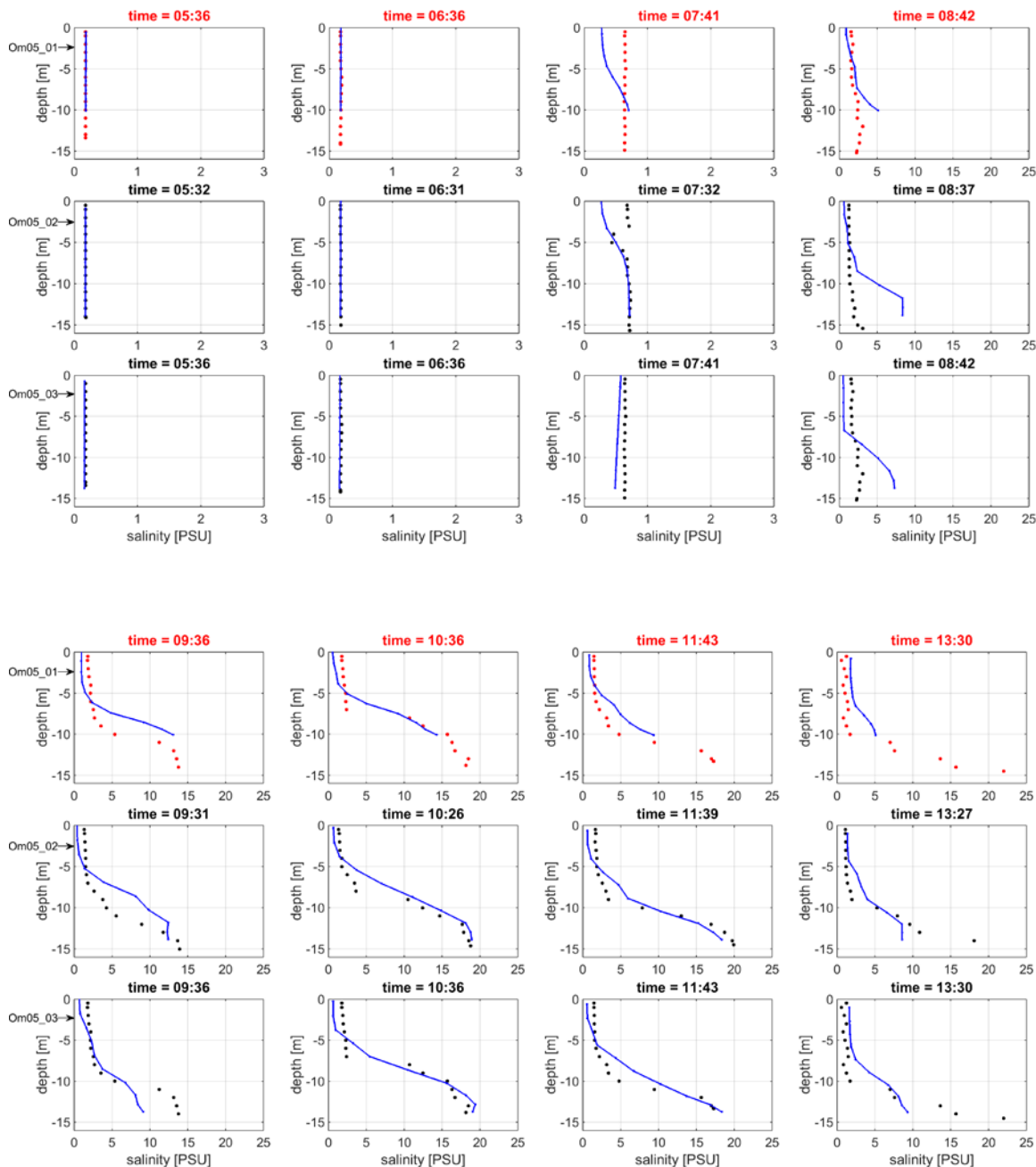
(Merk op: data NW01_01 is identiek aan data NW01_03, zie sectie 5.3.1)

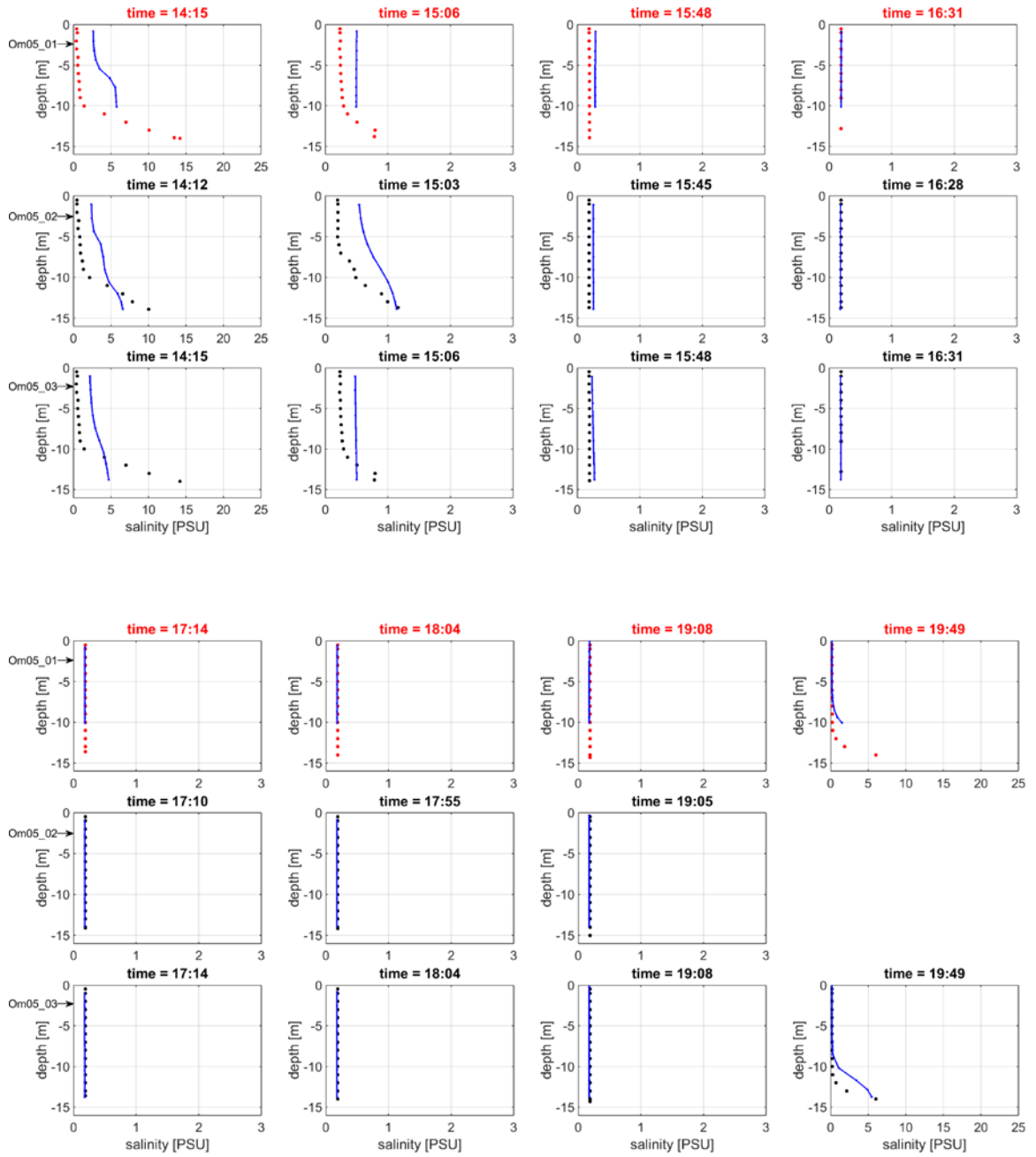




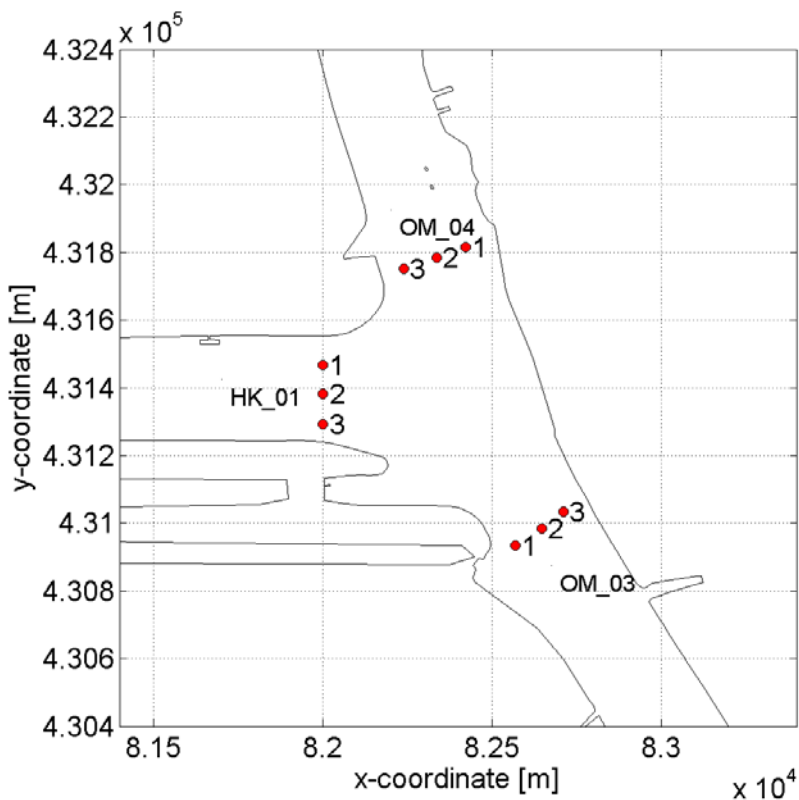
B.1.3 Oude Maas

(Merk op: data OM05_01 is identiek aan data OM05_03, zie sectie 5.3.1)

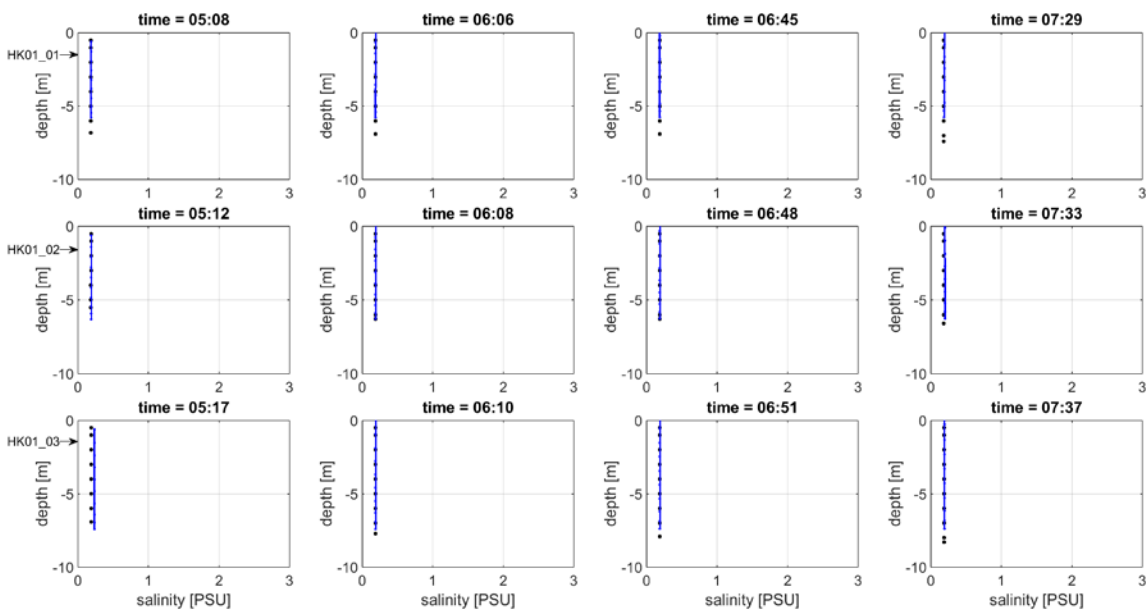


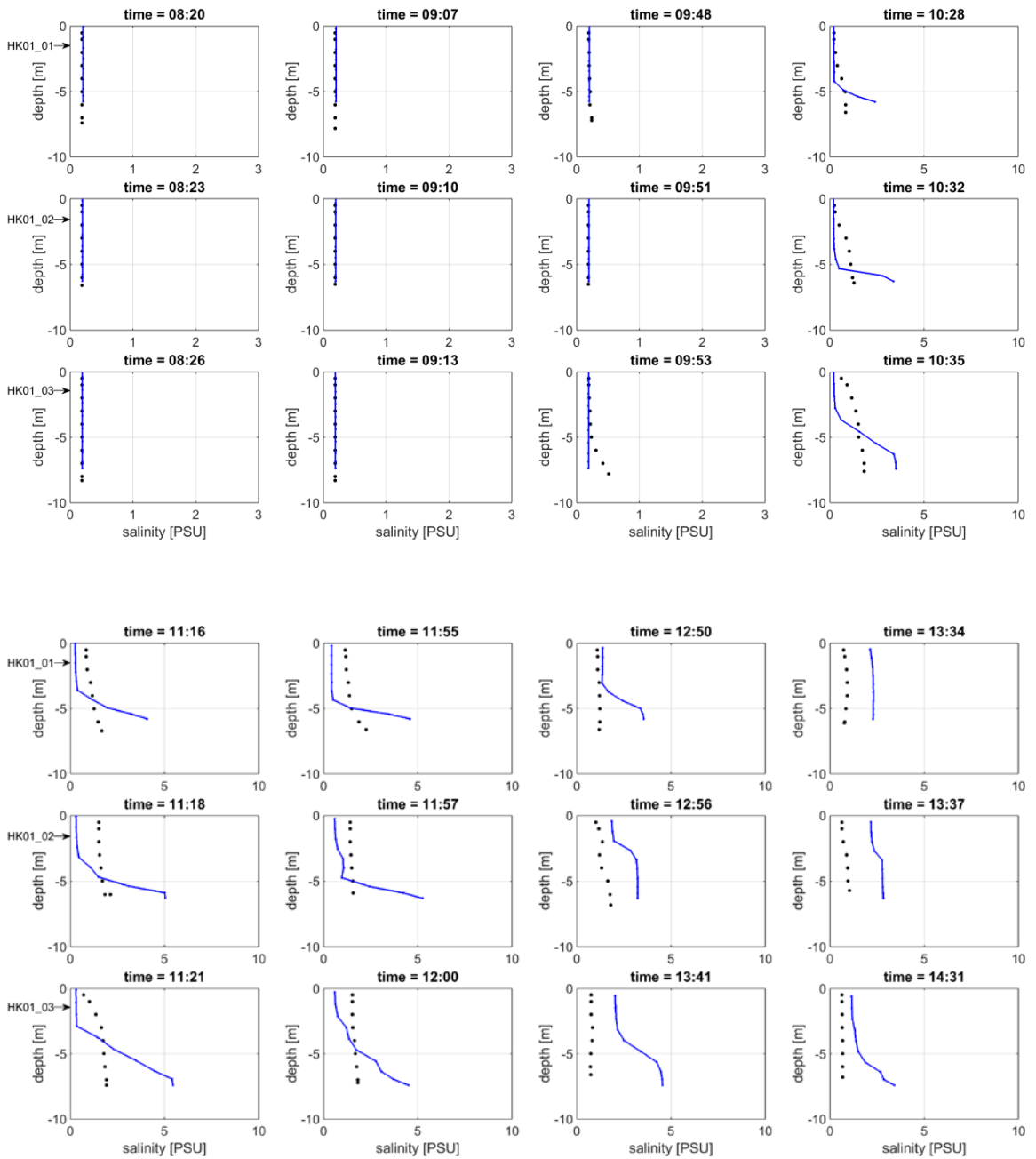


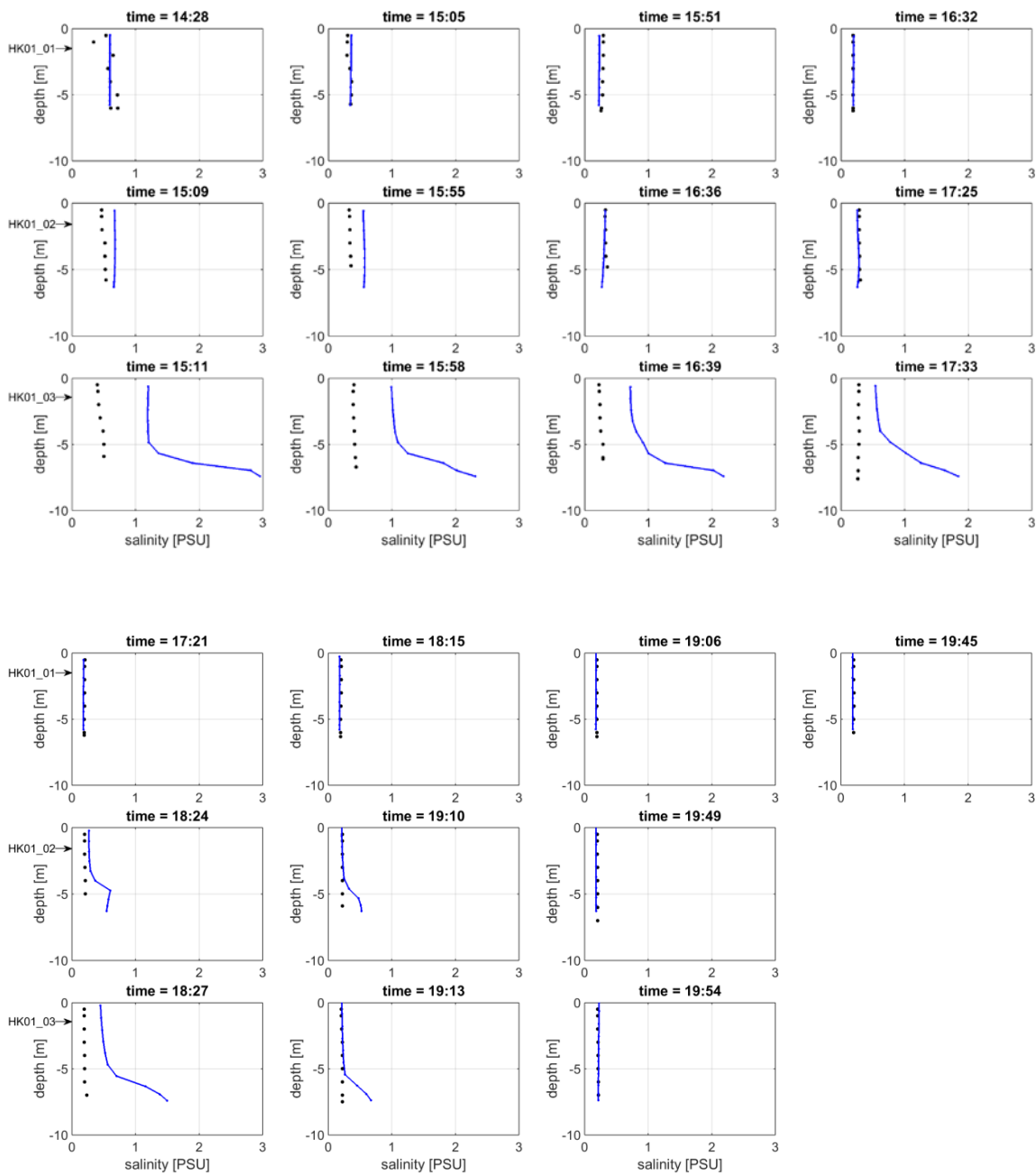
B.2 Splittingspunt Oude Maas – Hartelkanaal (22 mei)



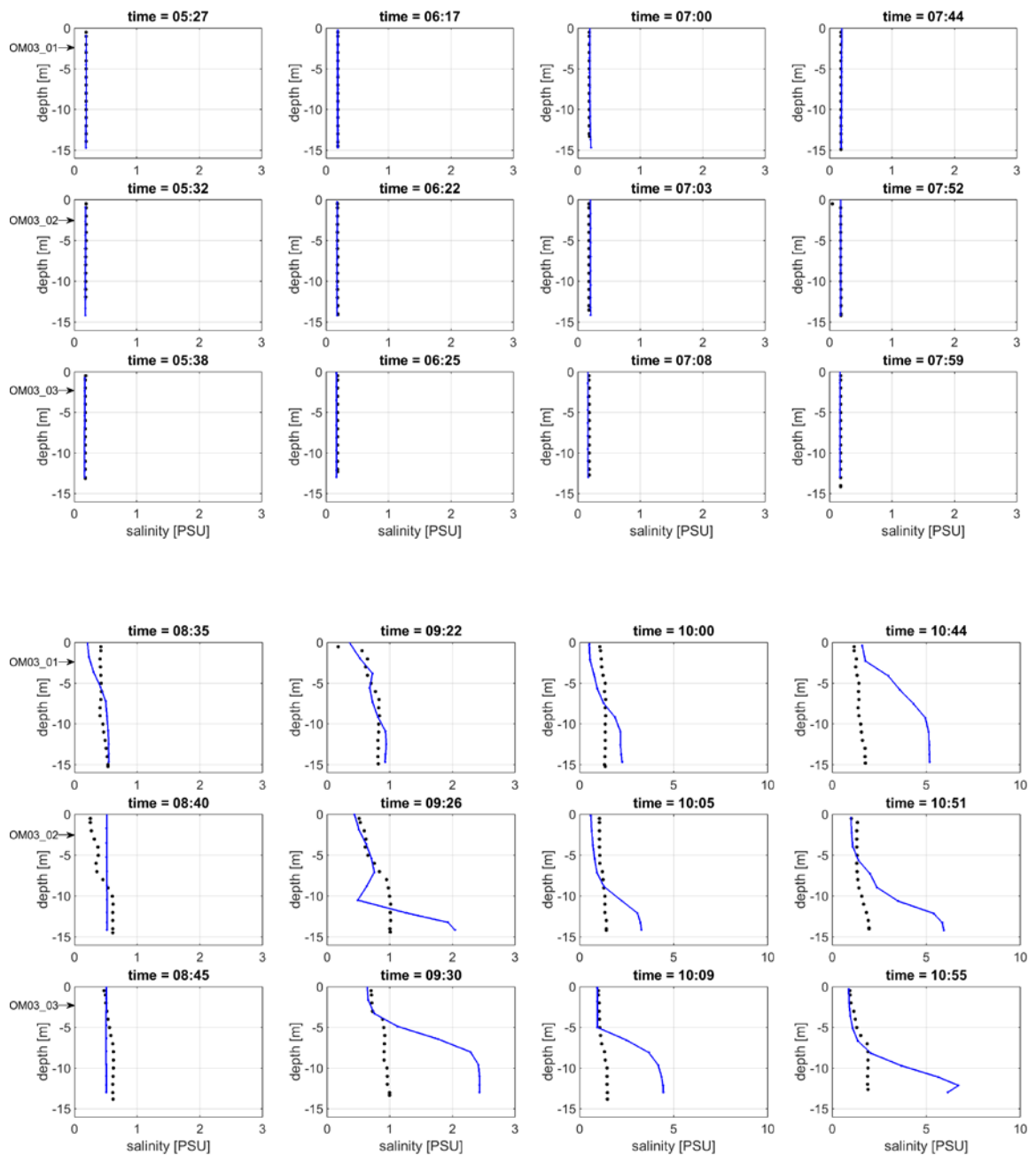
B.2.1 Hartelkanaal

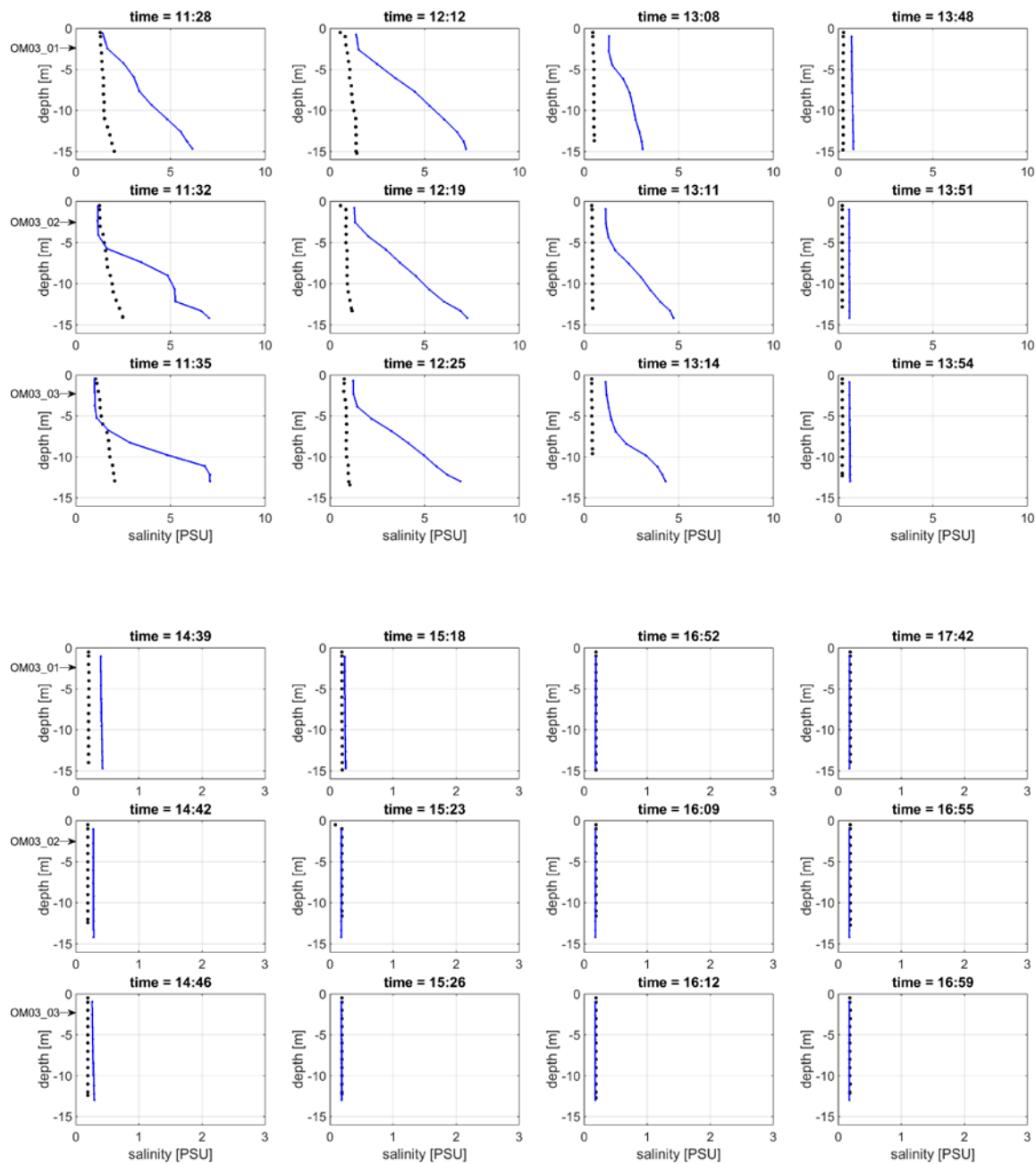


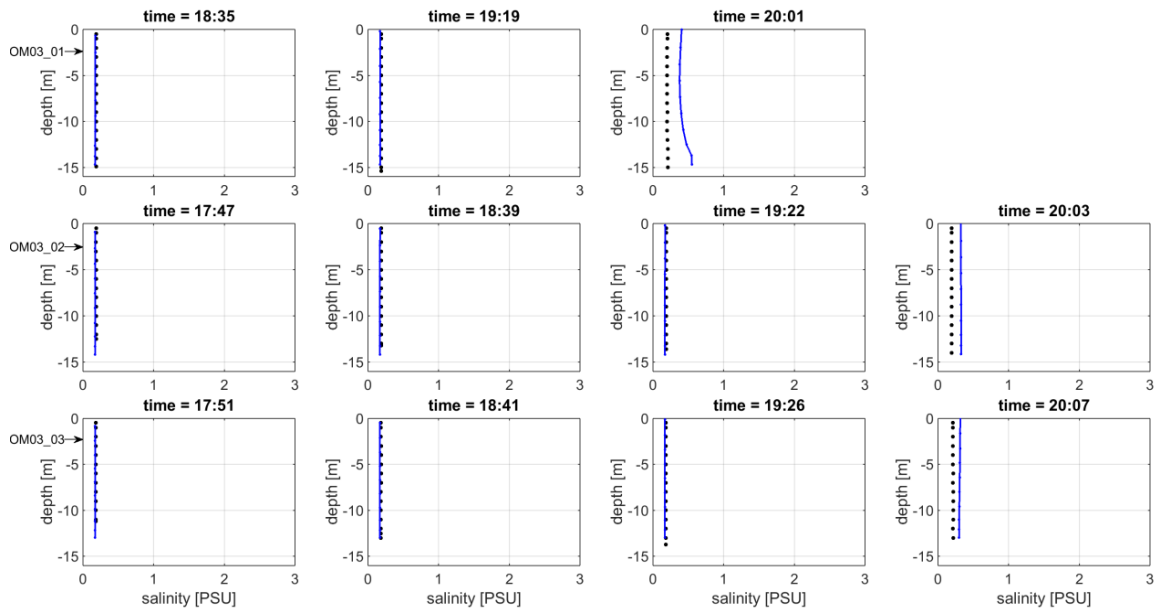




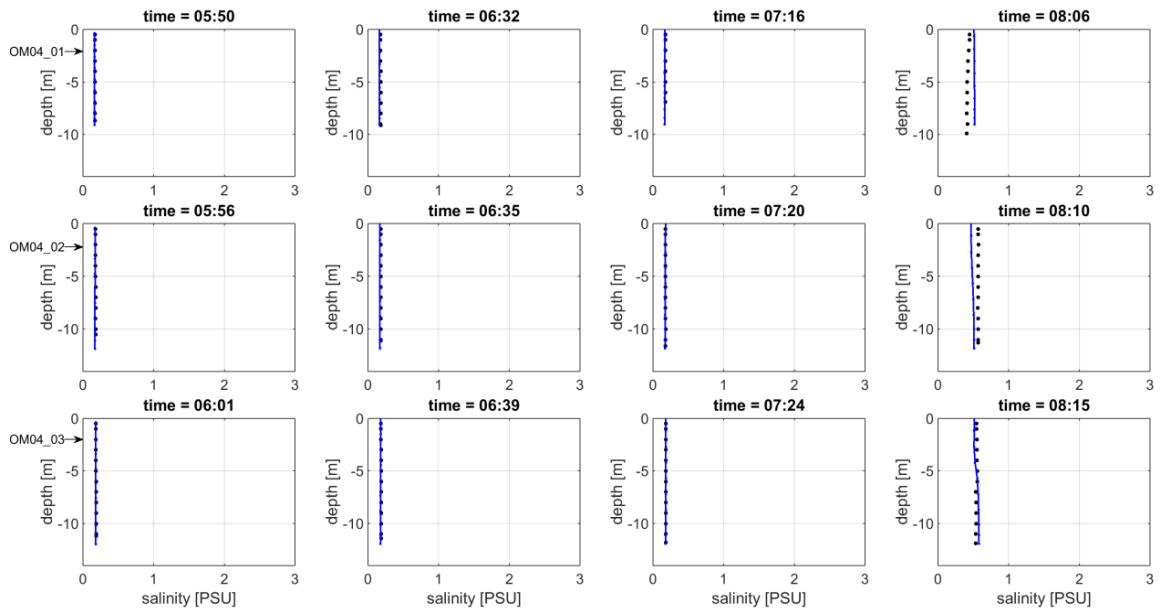
B.2.2 Oude Maas (zuidzijde, OM03)

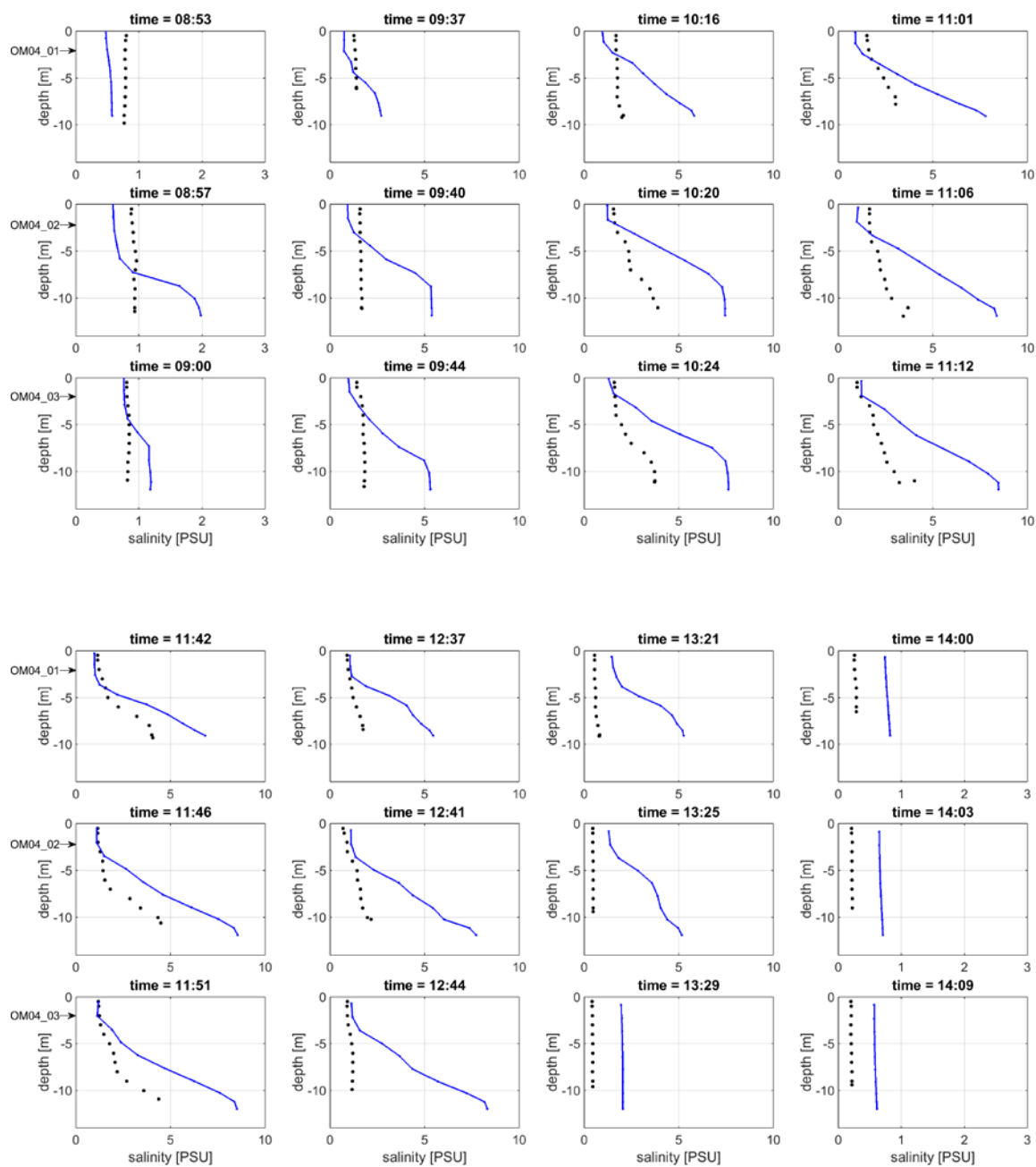


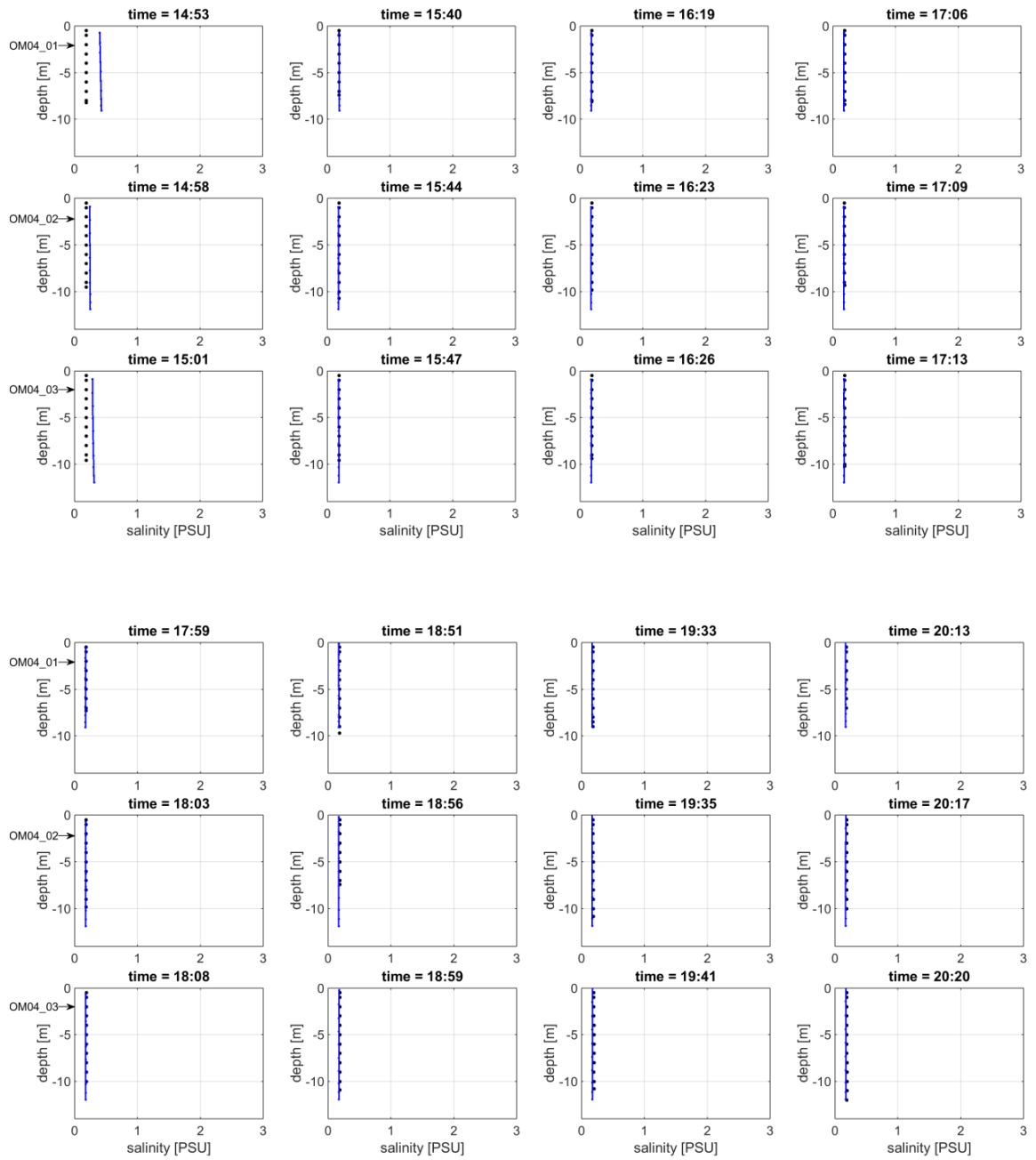




B.2.3 Oude Maas (Noordzijde, OM04)

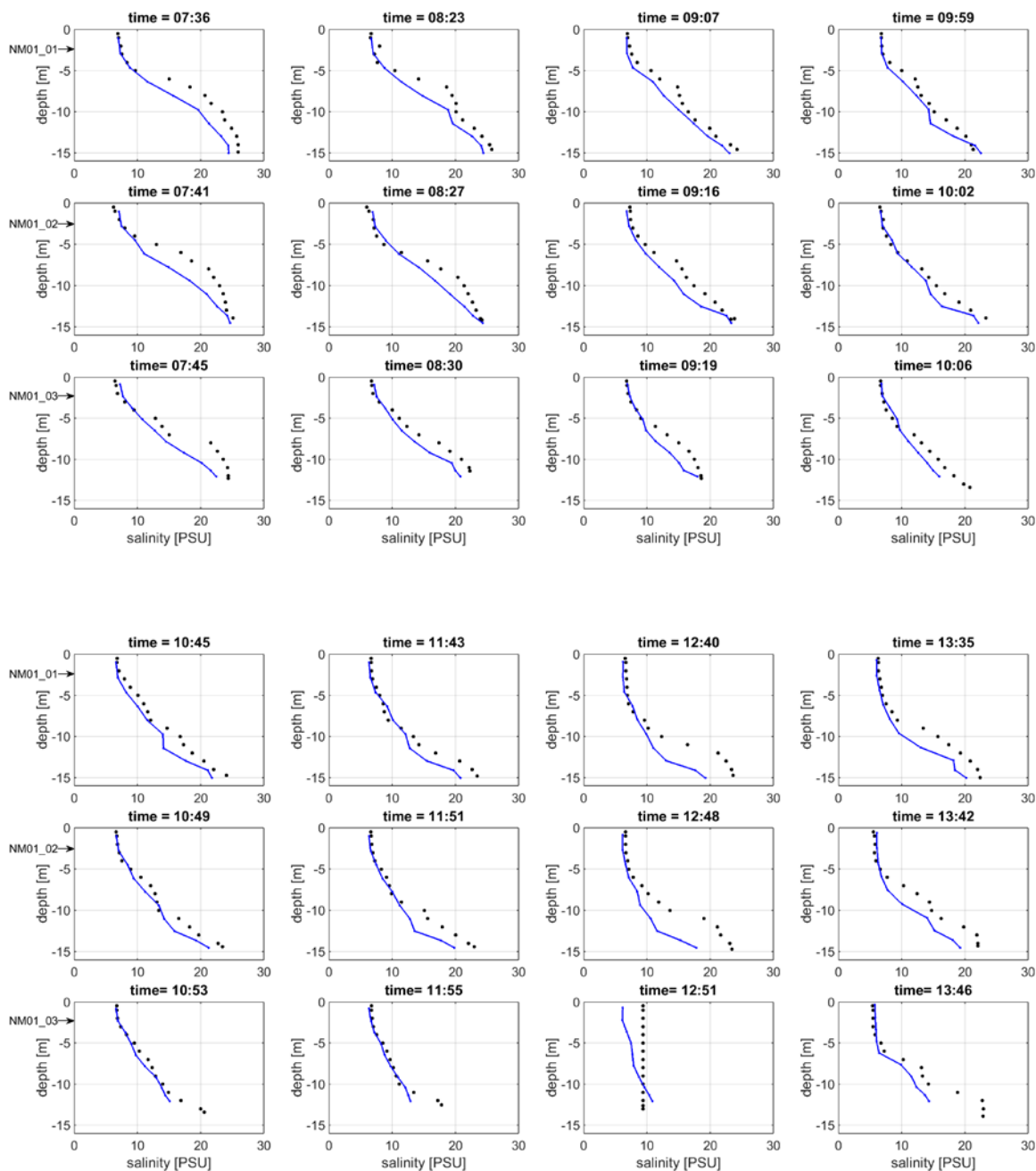




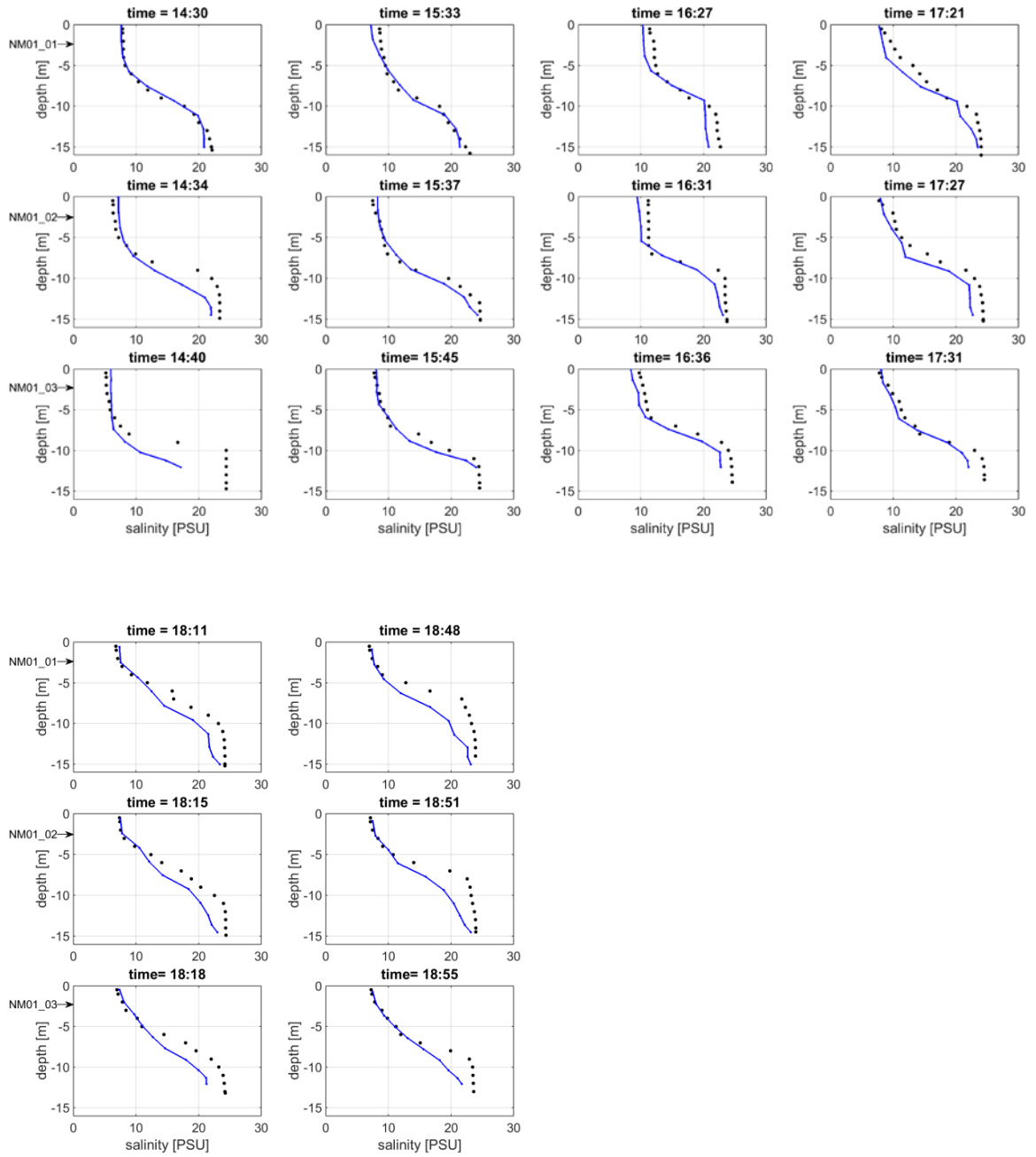


B.3 Splitsingspunt Nieuwe Maas – Nieuwe Waterweg – Oude Maas (27 augustus)

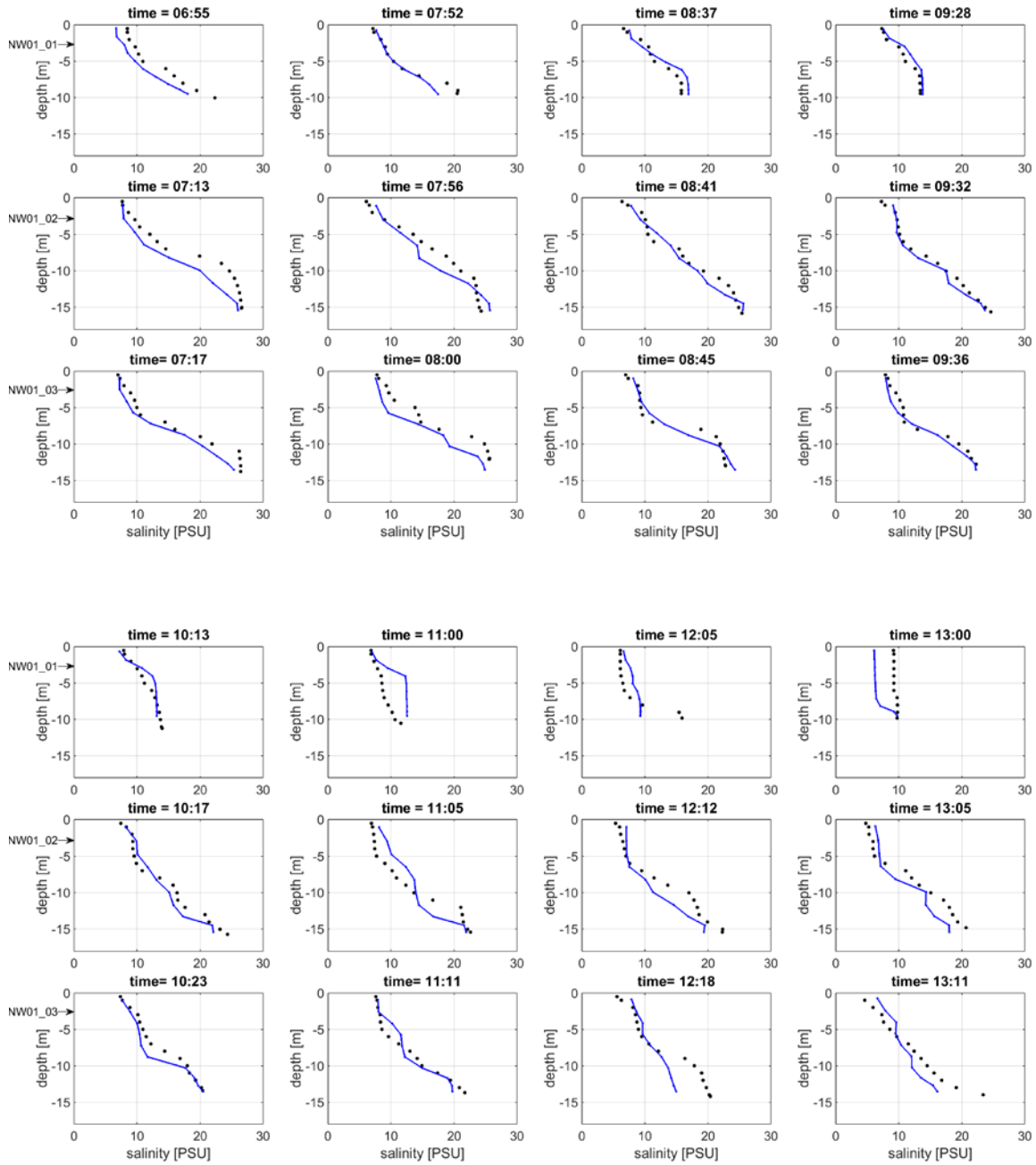
B.3.1 Nieuwe Maas

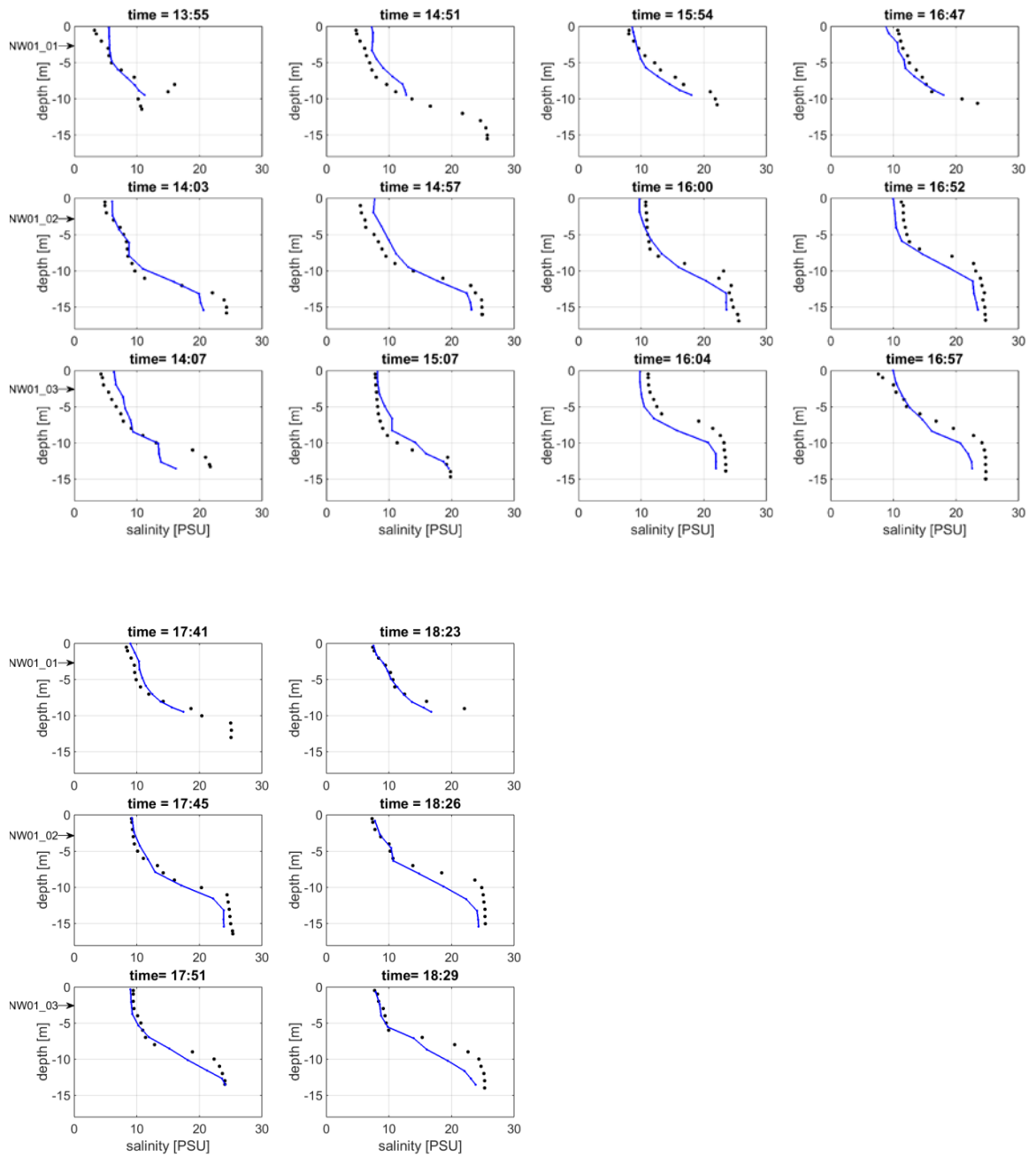


(Merk op: data voor NM01_03 om 12:51 lijkt onjuist).

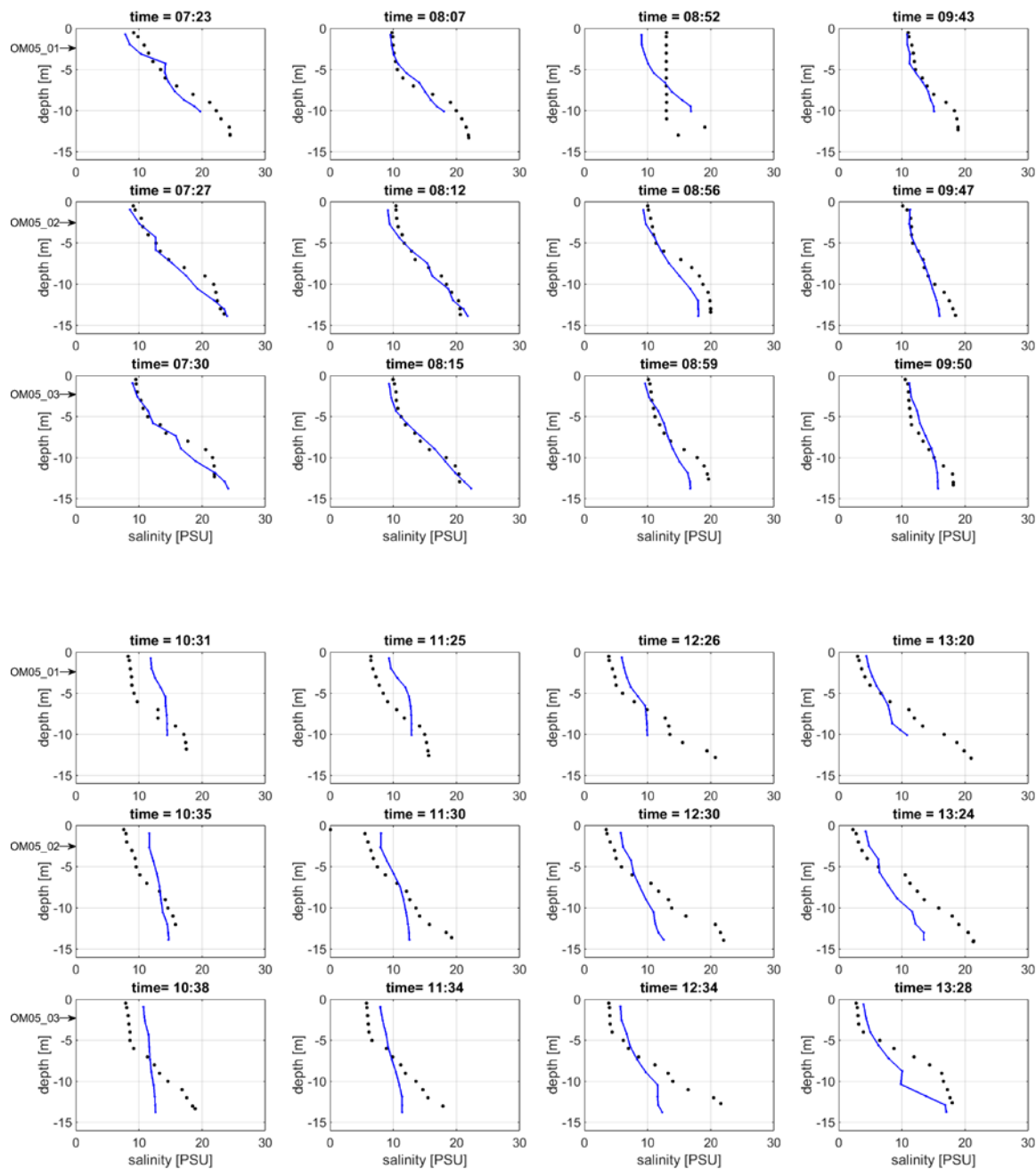


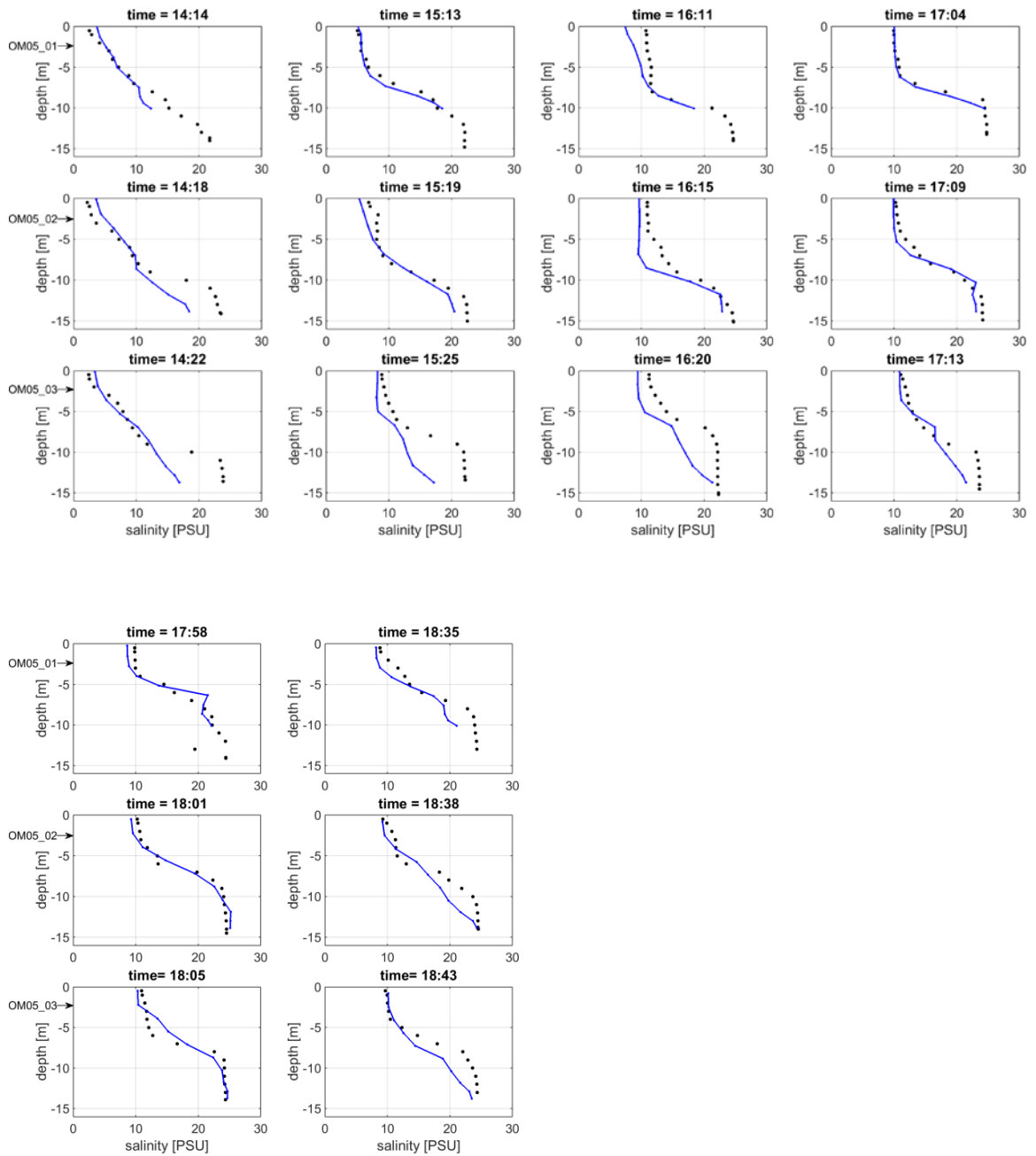
B.3.2 Nieuwe Waterweg



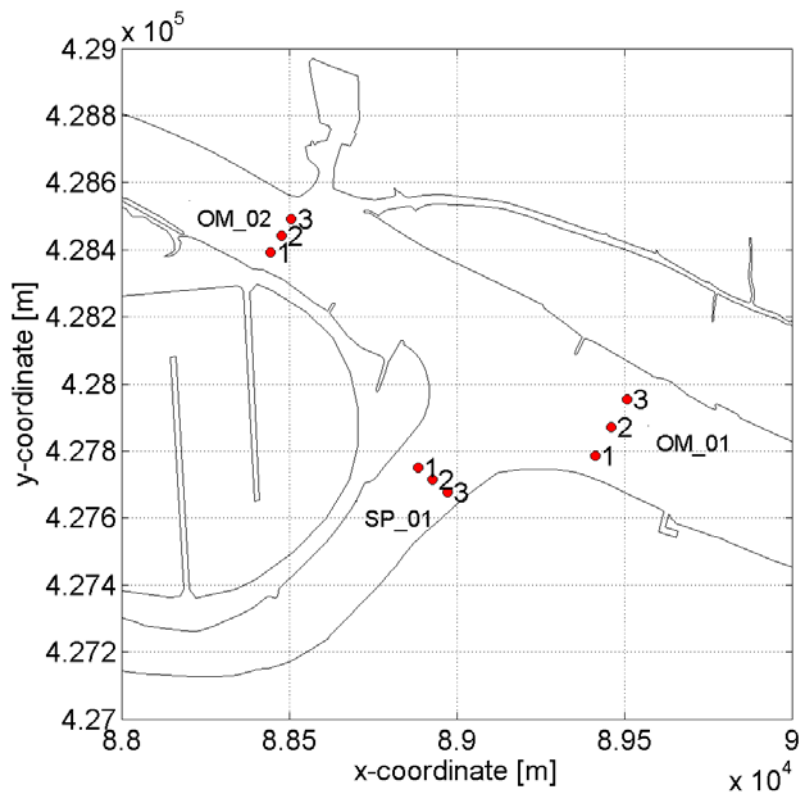


B.3.3 Oude Maas

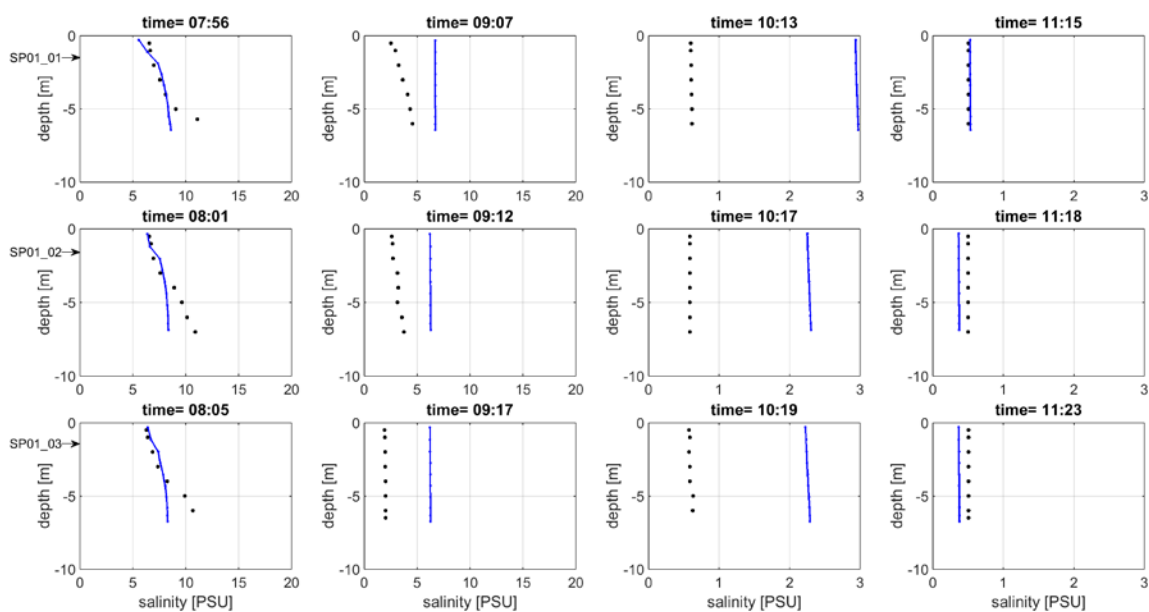


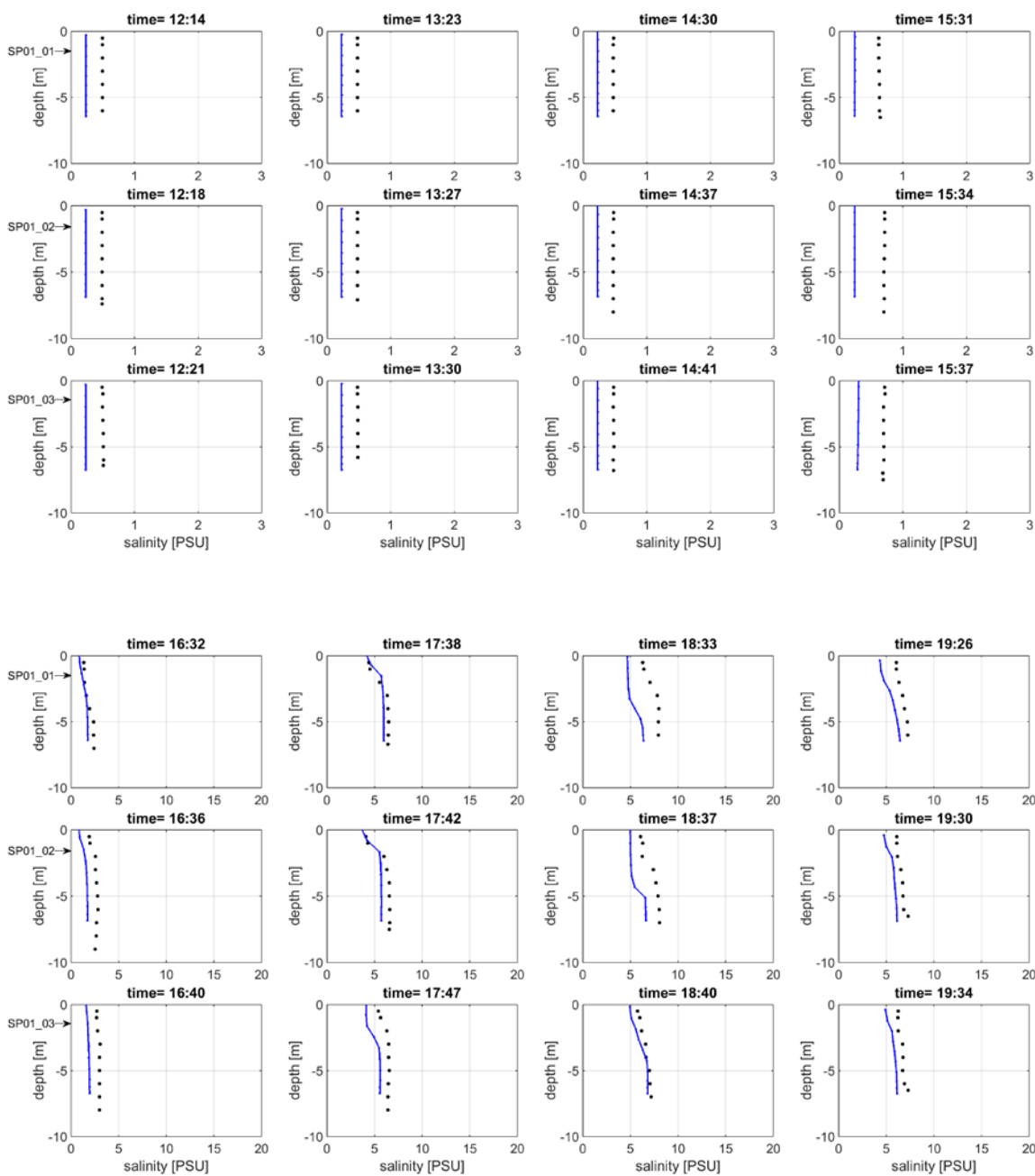


B.4 Splitsingspunt Oude Maas – Spui (27 augustus)

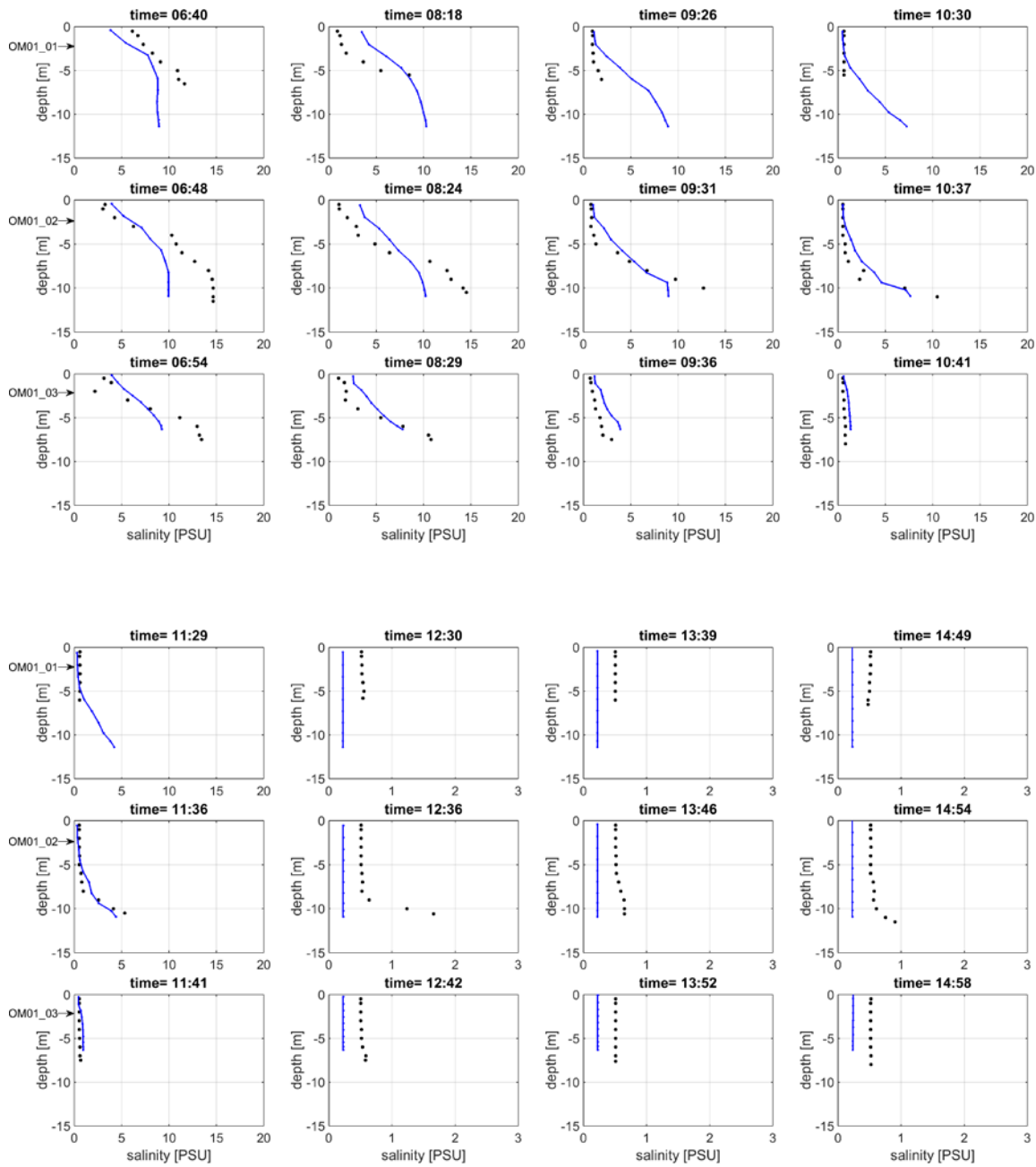


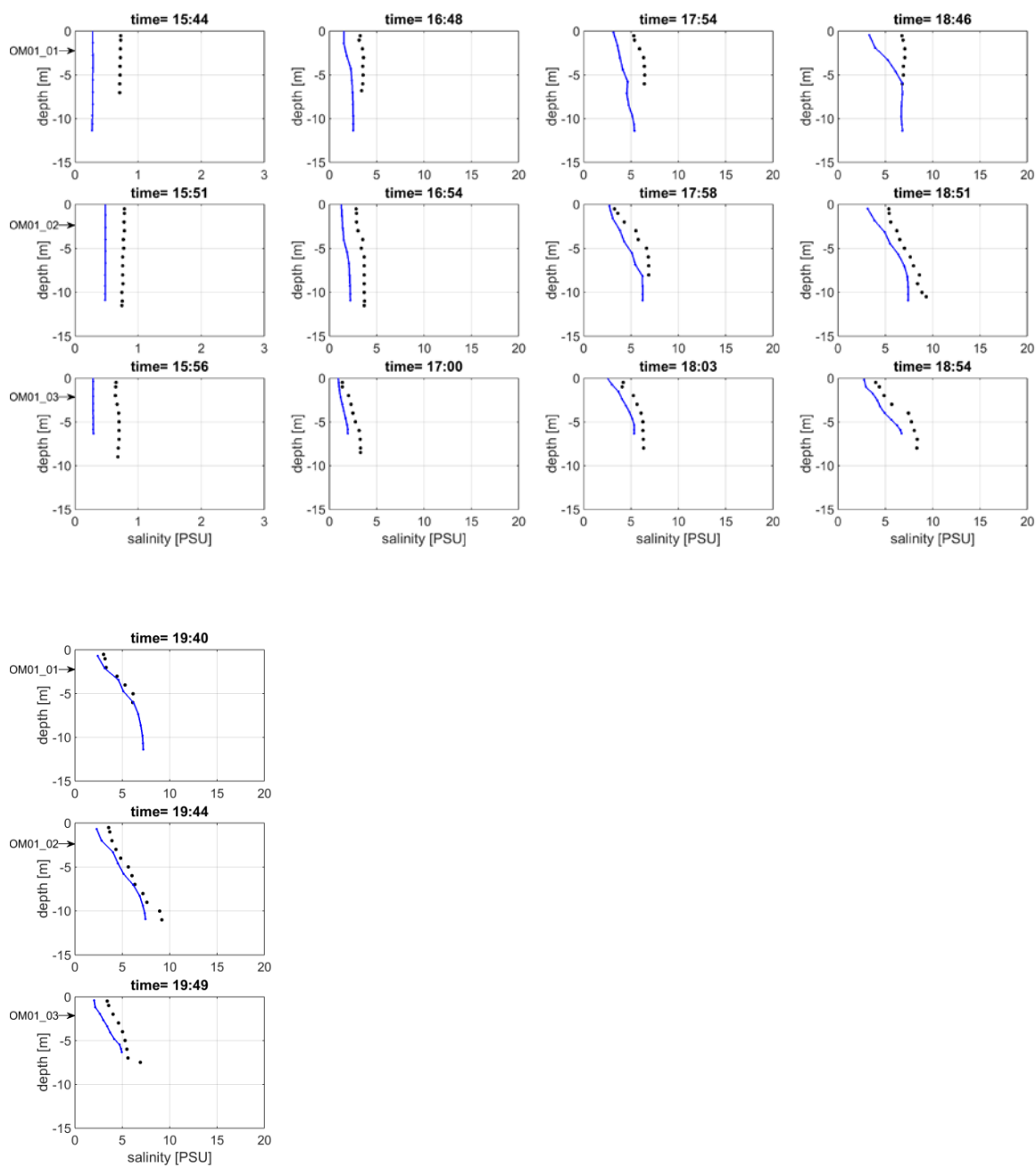
B.4.1 Spui





B.4.2 Oude Maas (oostzijde)





B.4.3 Oude Maas (westzijde)

