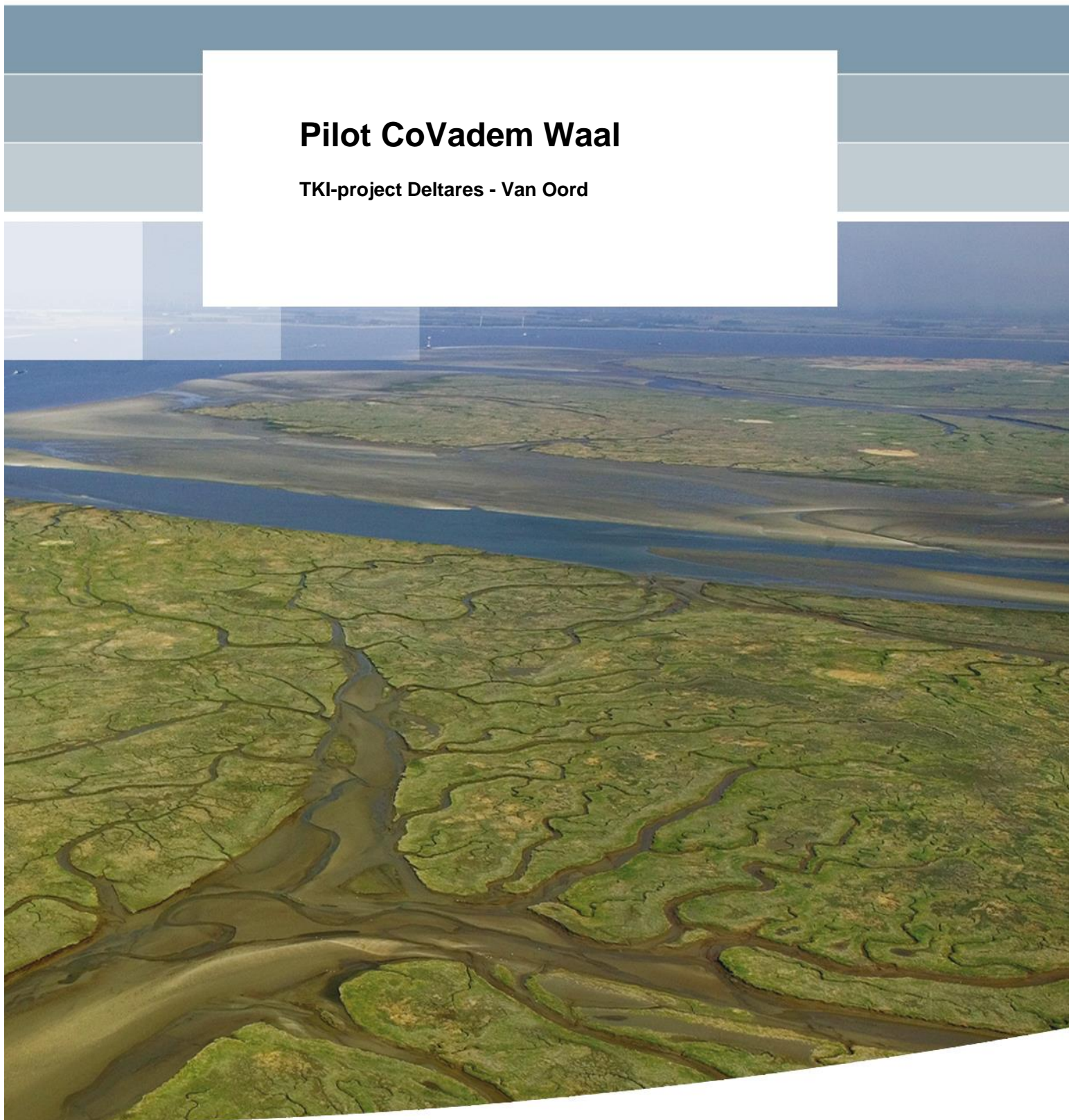


Pilot CoVadem Waal

TKI-project Deltares - Van Oord



Pilot CoVadem Waal

TKI-project Deltares - Van Oord

Rolien van der Mark

1230723-000

Titel
Pilot CoVadem Waal

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
TKI Deltatechnologie	1230723-000	1230723-000-ZWS-0003	37

Trefwoorden

Onderhoudsbaggerwerk, CoVadem, morfologische modellering, data-analyse, multibeampeilingen




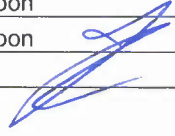
Samenvatting

Onderhoudscontracten van waterwegen gaan vaak gepaard met reactief baggerwerk dat wordt gestuurd door gebiedssurveys. Wanneer uit een survey blijkt dat de bodem lokaal boven een bepaalde contractwaarde is gekomen, wordt de aannemer geacht binnen korte tijd een baggerschip te mobiliseren om de ondiepte op te ruimen. Het op korte termijn moeten mobiliseren van een baggerschip kan hoge kosten met zich meebrengen. Een waarschuwing of vroeg signaal van bodemveranderingen zou kunnen helpen om hetzij beter te anticiperen op overschrijding van triggerlevels, hetzij beter in te kunnen schatten wanneer een nieuwe bodemsurvey moet worden uitgevoerd. Hoge-frequentie-metingen met beperkte dekking, zoals de CoVadem-meetdata, kunnen bruikbaar zijn voor dit type vraagstukken. Naast waarschuwingssignalen gebaseerd op geïnterpreteerde trends van de metingen kunnen de data ook gebruikt worden voor modelvoorspellingen van bodemveranderingen en voor actualisatie van modelvoorspellingen in de operationele context. Hiermee kan aan het baggeren een meer effectieve en proactieve wijze invulling worden gegeven.

Baggerbedrijf Van Oord en de initiatiefnemers van CoVadem, MARIN en Deltares zijn overeengekomen een pilot te starten. Het doel van de pilot is om te onderzoeken in hoeverre CoVadem-data, al dan niet in combinatie met data-analyse en modellen, bruikbare informatie en toegevoegde waarde kan bieden om het vaargeulonderhoud verder te optimaliseren.

Hiertoe hebben we met behulp van CoVadem-meetdata en een numeriek morfologisch rekenmodel bodemliggingen bepaald en die vergeleken met de multibeam-surveys. Op basis van deze eerste verkenningen en uitgevoerde vergelijkingen constateren we dat zowel het morfologische rekenmodel als de CoVadem-data toegevoegde waarde kunnen hebben bij het efficiënt en effectief onderhouden van de vaargeul.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	nov. 2016	Rolien van der Mark		Kees Sloff		Johan Boon	
2	feb. 2017	Rolien van der Mark		Kees Sloff		Johan Boon	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel en aanpak	1
2 Surveys	3
3 Delft3D modelberekening	5
3.1 Modelopzet	5
3.2 Resultaten	7
4 CoVadem-data	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Validatie en kalibratie van de dataset	17
4.3 Voorspellen van ondieptes	19
5 Combinatie van model en metingen	27
6 Conclusies en aanbevelingen	31
7 Referenties	33
Bijlage(n)	
A Aanvullende figuren	A-1
B Samenvatting Van Oord	B-1

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Onderhoudscontracten van waterwegen gaan vaak gepaard met reactief baggerwerk dat wordt gestuurd door gebiedssurveys. Wanneer uit een survey blijkt dat de bodem lokaal boven een bepaalde contractwaarde is gekomen, wordt de aannemer geacht binnen korte tijd een baggerschip te mobiliseren om de ondiepte op te ruimen. Het op korte termijn moeten mobiliseren van een baggerschip kan hoge kosten met zich meebrengen. Een waarschuwing of vroeg signaal van bodemveranderingen zou kunnen helpen om hetzij beter te anticiperen op overschrijding van triggerlevels (wanneer surveys op een vast moment plaatsvinden), hetzij beter in te kunnen schatten wanneer een nieuwe bodemsurvey moet worden uitgevoerd (wanneer een reductie van survey frequentie mogelijk is). Hoge-frequentie-metingen met beperkte dekking, zoals de CoVadem-data, kunnen bruikbaar zijn voor dit type vraagstukken. Naast waarschuwingssignalen gebaseerd op geïnterpreteerde trends van de metingen kunnen de data ook gebruikt worden voor modelvoorspellingen van bodemveranderingen (bijvoorbeeld het identificeren van bodemvormen die gevoelig zijn voor groei, bijv. onder een hoogwaterafvoergolf) en voor actualisatie van modelvoorspellingen in de operationele context. Hiermee kan aan het baggeren een meer effectieve en proactieve wijze invulling worden gegeven.

Baggerbedrijf Van Oord en de initiatiefnemers van CoVadem, MARIN en Deltares, zijn overeengekomen een pilot te starten. Het doel van de pilot is om te onderzoeken in hoeverre CoVadem-data, al dan niet in combinatie met data-analyse en modellen, bruikbare informatie en toegevoegde waarde kan bieden om het vaargeulonderhoud verder te optimaliseren. Hiertoe zullen we met behulp van meetdata en modelinformatie voorspellingen doen van een ruimtelijk dekkende bodemligging en waterdiepte op een tijdschaal van circa een maand.

1.2 Doel en aanpak

Het doel van de gezamenlijke pilot van Van Oord – MARIN – Deltares is om te verkennen in hoeverre CoVadem-data, al dan niet in combinatie met hulpmiddelen zoals data-analyse en modellen, tot bruikbare informatie kan leiden om het vaargeulonderhoud te optimaliseren.

Als onderdeel van het project heeft Van Oord 3 surveys van de bodemligging uitgevoerd in het riviervak km 998-1031 met een tussenperiode van enkele maanden (februari tot juli 2016). Daarnaast is gebruik gemaakt van de beheerspeilingen die Rijkswaterstaat beschikbaar heeft gesteld (januari tot april 2016). Met een morfologisch rekenmodel zijn voorspellingen gemaakt, en de modelresultaten zijn met de metingen vergeleken. Gedurende de periode tussen de surveys zijn CoVadem metingen beschikbaar (januari tot juli 2016).

De vraag die centraal staat: kunnen ondieptes worden gelokaliseerd (juiste locatie, juiste omvang) met het model, met de CoVadem-data, met de combinatie van model en data? Hiertoe vindt een vergelijking plaats met de multibeam surveys. Om deze vraag te beantwoorden zijn volgens een drietal methodieken voorspellingen van de bodemligging uitgevoerd:

- Simulatie bodemligging m.b.v. een Delft3D modelberekening (hoofdstuk 3),
- Simulatie bodemligging m.b.v. de CoVadem-data (hoofdstuk 4),
- Simulatie bodemligging door de Delft3D modeluitkomst en CoVadem metingen met elkaar te combineren (hoofdstuk 5).

Daarnaast heeft Van Oord een analyse van de data gedaan. Een samenvatting hiervan is opgenomen in Bijlage B.

2 Surveys

Van Oord heeft als onderdeel van de pilot een drietal surveys gedaan. Daarnaast maken we gebruik van beheerspeilingen die door baggeraars met regelmaat worden ingewonnen in opdracht van Rijkswaterstaat en als onderdeel van het prestatiecontract.

Tabel 2.1 Gebruikte surveys.

Van Oord	Datum	
Van Oord survey 1	24-02-2016	
Van Oord survey 2	10-05-2016	
Van Oord survey 3	22-06-2016	
Beheerspeiling	Datum start	Datum Eind
BM 127	28-12-15	09-01-16
BM 128	11-01-16	20-01-16
BM 129	25-01-16	01-02-16
BM 130	08-02-16	12-02-16
BM 131	22-02-16	26-02-16
BM 132	07-03-16	15-03-16
BM 133	21-03-16	31-03-16
BM 134	04-04-16	08-04-16
BM 135	18-04-16	22-04-16

Alle gebruikte multibeam data (Tabel 2.1) zijn geprojecteerd en beschikbaar op een 1 bij 1 m raster. De Van Oord peilingen beslaan het pilotgebied. Het pilotgebied is de Waal tussen de twee bruggen van de A50 (bij Ewijk) en N323 (bij Beneden-Leeuwen), zie Figuur 2.1. De beheerspeilingen beslaan de gehele Bovenrijn en Waal van de vaargeul; daarom is de periode van inwinnen meerdere dagen.



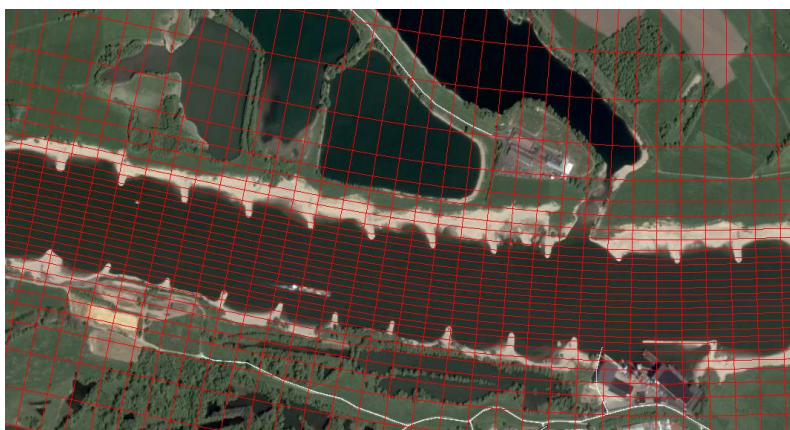
Figuur 2.1 Pilotgebied.

3 Delft3D modelberekening

3.1 Modelopzet

De bodemligging is voorspeld met behulp van een quasi-driedimensionaal morfologisch Delft3D model. In eerste instantie is gewerkt aan het opzetten van een Delft3D Flexible Mesh (FM) model (Koot & Bom, 2016), omdat hiermee lokale verfijningen toegepast kunnen worden vanwege het ongestructureerde rooster. Echter, Delft3D FM software is nog in ontwikkeling, de morfologische module inclusief “baggeren en storten en bodemvormen” is nog niet gereed, en een aantal zaken (zoals secundaire stroming, invloed rooster) is nog niet volledig getest. Tijdens het opzetten van het model werd duidelijk dat het te veel tijd en inspanning (vooral softwarematig) binnen deze pilot zou vergen om een FM model op te zetten en te valideren. Daarom is besloten om voort te bouwen op het bestaande morfologische DVR-model van de Waal (Ottevanger et al., 2015). De gesimuleerde periode loopt van 1 januari 2016 tot 30 juni 2016. Gedurende deze periode is CoVadem-data beschikbaar. Beheerspeiling (nr. 127) is ingewonnen in de eerste week van januari en is gebruikt als beginbodem in het model. Het model beslaat de Waal vanaf de Pannerdense Kop tot Vuren. Het model heeft wat morfologische inspeeltijd nodig. Dit betekent dat ongeveer de eerste 3 weken van de berekening inspeleeffecten vertonen.

De gridcellen in het zomerbed zijn 20-25 m breed en grofweg 60-80 m lang (Figuur 3.1). Het model rekent de zogenaamde “bodenvormgemiddelde bodemligging” uit; bovenop de berekende bodemligging komen dus nog duinen voor waardoor de bodemligging lokaal hoger of lager ligt. In de surveys zijn de bodemvormen wel aanwezig, hiermee dient rekening te worden gehouden bij de vergelijking tussen model en meting.

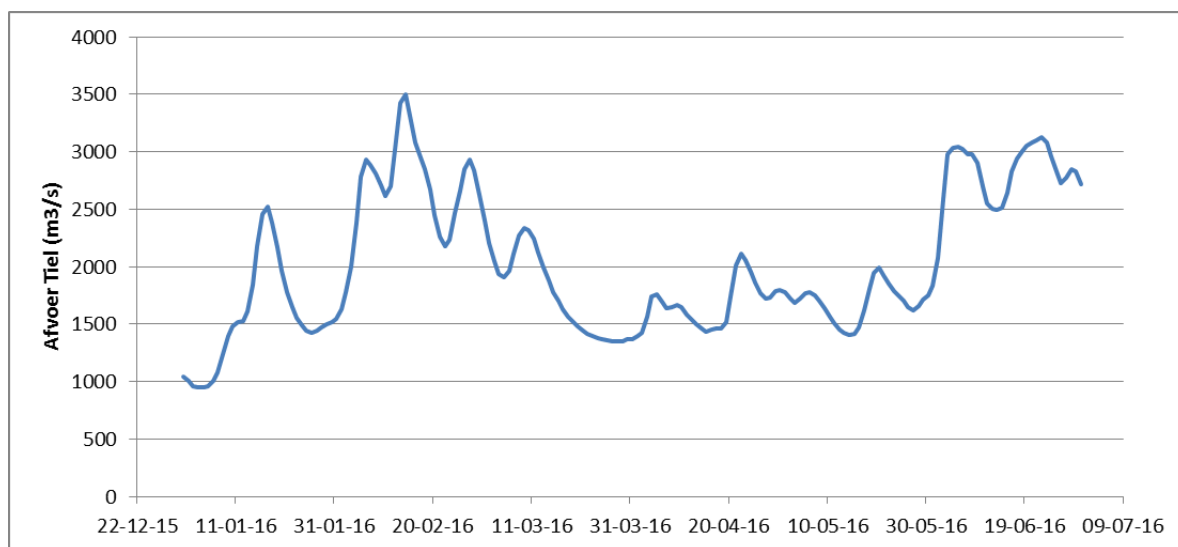


Figuur 3.1 Deel van het rekenrooster.

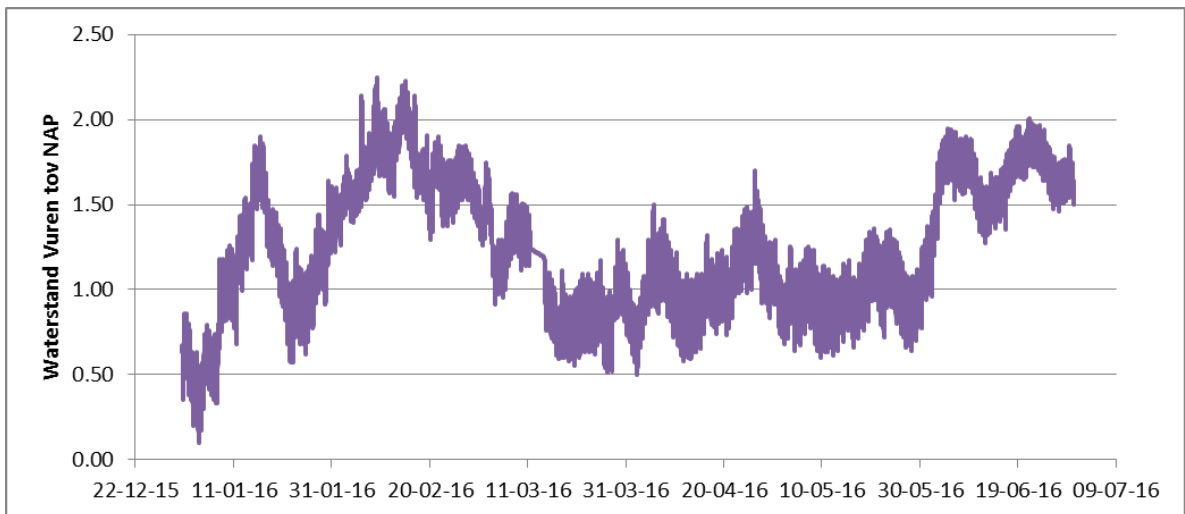
De gebruikelijke wijze waarop langjarige morfologische berekeningen met het DVR instrumentarium worden uitgevoerd is door het opleggen van een getrapte afvoerhydrograaf, en toepassing van een morfologische factor die effectief de morfologische veranderingen versnelt zodat met een kortere rekentijd gerekend kan worden. Er wordt dan een serie van stationaire sommen uitgevoerd met verschillende afvoeren, waarbij de getrapte afvoerhydrograaf seizoensvariaties gedurende het jaar representeert. Iedere morfologische som start met een ingespeeld stroomveld en met de bodemligging waarmee de vorige som eindigde. Wanneer een korte periode van weken of maanden wordt doorgerekend is deze aanpak niet noodzakelijk.

Het heeft de voorkeur om de werkelijk opgetreden (of verwachte) afvoeren (bovenstrooms) en waterstanden (benedenstrooms) op te leggen. De morfologische factor moet dan ook klein zijn. In de gepresenteerde som hebben we een morfologische factor van 1 opgelegd, dit was acceptabel qua rekentijd. De opgelegde randvoorwaarden boven- en benedenstrooms staan weergegeven in Figuur 3.2 en Figuur 3.3.

Bij het doen van voorspellingen in de toekomst zijn afvoeren en waterstanden ten behoeve van de randvoorwaarden onbekend, en dienen deze geschat te worden. Rijkswaterstaat publiceert waterstanden en afvoeren voor 10 dagen vooruit; deze worden met een operationeel systeem geschat. In de pilot modelleren we een periode waarvoor de werkelijk opgetreden waterstanden en afvoeren reeds bekend zijn. Deze gemeten waarden zijn opgelegd als randvoorwaarden voor het model (Figuur 3.2 en Figuur 3.3). Het verschil in bodemligging tussen model en meting is dan te wijten aan de gekozen modelinstellingen, implementatie en schematisatie en eventueel meetfouten. Als het model voorspellend wordt ingezet is een deel van het verschil in bodemligging tussen model en meting toe te schrijven aan een fout in de randvoorwaarden. Om te onderzoeken of een rekenmodel een nuttig instrument is bij het voorspellen van ondieptes, is het in de eerste plaats nodig om te verkennen of het model ondieptes goed kan voorspellen. Daarom is er voor gekozen om werkelijk opgetreden randvoorwaarden toe te passen in plaats van voorspelde randvoorwaarden. Dit laatste zal moeten worden gedaan als het model daadwerkelijk in de praktijk als hulpmiddel gebruikt gaat worden bij het optimaliseren van de baggerstrategie.



Figuur 3.2 Bovenstroomse randvoorwaarde voor het model.



Figuur 3.3 Benedenstroomse randvoorwaarde voor het model.

3.2 Resultaten

In Figuur 3.4 (bovenaanzichten) en Figuur 3.5-Figuur 3.7 (langsprofielen) worden de modelresultaten vergeleken met de multibeam metingen (Van Oord en beheerspelings). De kleurschaal en limieten in de bovenaanzichten zijn zo gekozen dat in één oogopslag ondieptes (locatie en mate van uitgestrektheid) zichtbaar worden. De kleurschaal beslaat dus niet de gehele range aan bodemliggingen. Ten behoeve van een goede vergelijking zijn de metingen gefilterd door te projecteren op het rekenrooster, aangezien de modelbodempligging geen rivierduinen bevat. Wanneer de data niet wordt gefilterd, wordt het beeld verkregen zoals in Appendix A, waaruit lastig conclusies kunnen worden getrokken vanwege de rivierduinen.

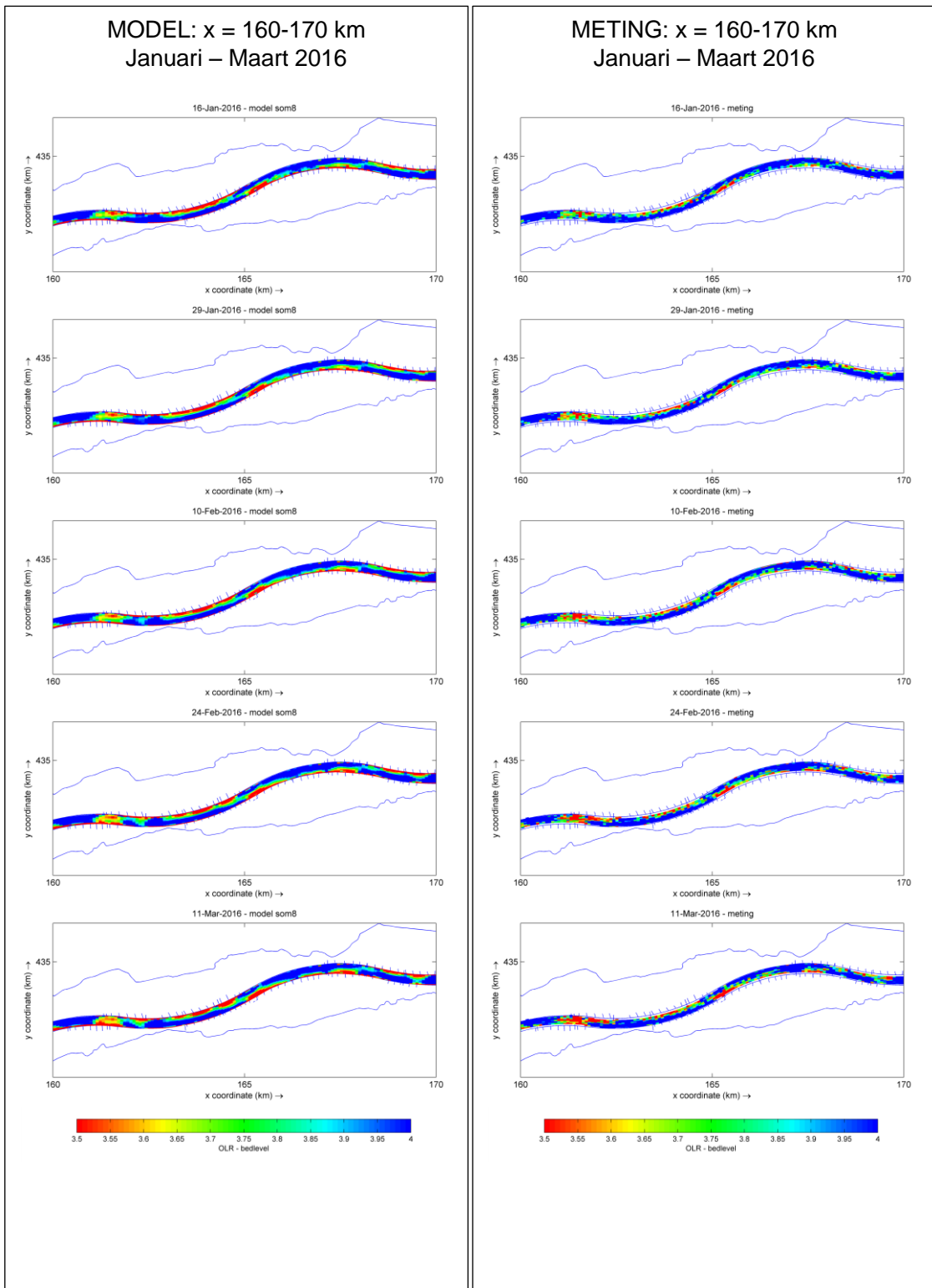
De bodempligging is weergegeven ten opzichte van OLR (er wordt dus een diepte geplotted). Volgens het meest recente beoordelingskader is in de Waal een diepte van 2.8 m t.o.v. OLR gegarandeerd. Bij de resultaten worden de volgende opmerkingen geplaatst:

- Uit de metingen blijkt dat de morfologische activiteit gering is. Er heeft ook geen groot hoogwater plaatsgevonden. Door de geringe morfologische activiteit is het lastig om te beoordelen of het model de processen van aanzanding en erosie door afvoervariaties goed vangt. Anderzijds is het ook zo dat het model eveneens geringe activiteit vertoont, wat een goed resultaat is.
- In de Waal wordt geregeld gebaggerd. Het is onbekend waar en hoeveel er gedurende de beschouwde periode is gebaggerd in het pilotgebied. In het model wordt niet gebaggerd. Het is onbekend of er vlak voor of vlak na een survey gebaggerd is. Dit kan invloed hebben op de vergelijking (bijvoorbeeld, het model laat een ondiepte zien, terwijl die in de praktijk net is weggehaald en daardoor ook niet zichtbaar is in de peiling).

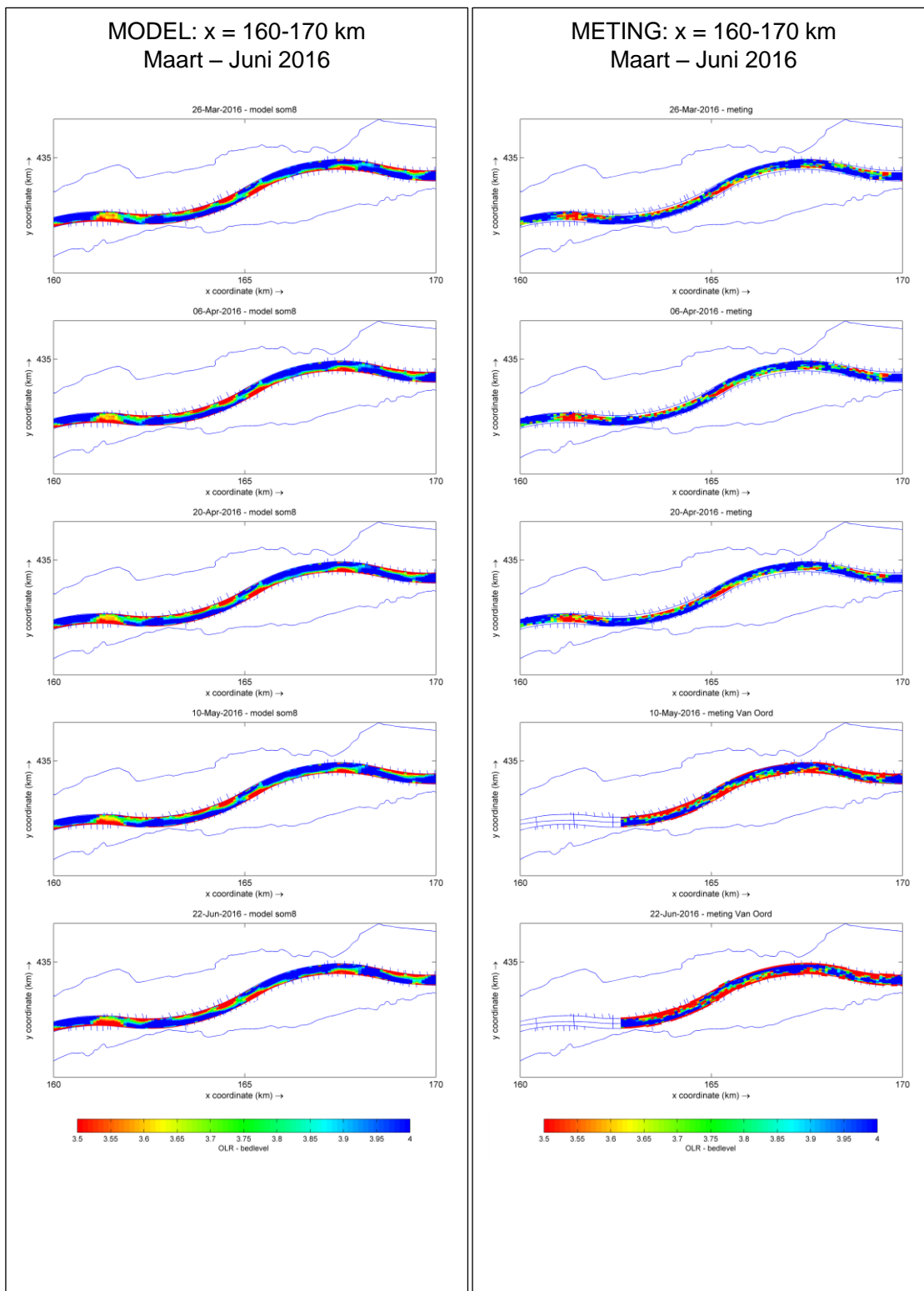
Aan de hand van de figuren kan het volgende worden geconstateerd:

- Zowel in het model als in de metingen is een geringe morfologische activiteit te zien, waarschijnlijk doordat er geen noemenswaardig hoogwater heeft plaatsgevonden. Zoals gezegd is het hierdoor lastig om te concluderen of het model de processen voldoende gedetailleerd simuleert. Anderzijds constateren we ook dat andere modelinstellingen tot andere resultaten leiden; het is dus niet zo dat er niets gebeurt in het model. Dat er een overeenkomst is met de metingen, geeft vertrouwen in het model.
- De patronen van dieptes en ondieptes in het model en de metingen zijn vergelijkbaar.

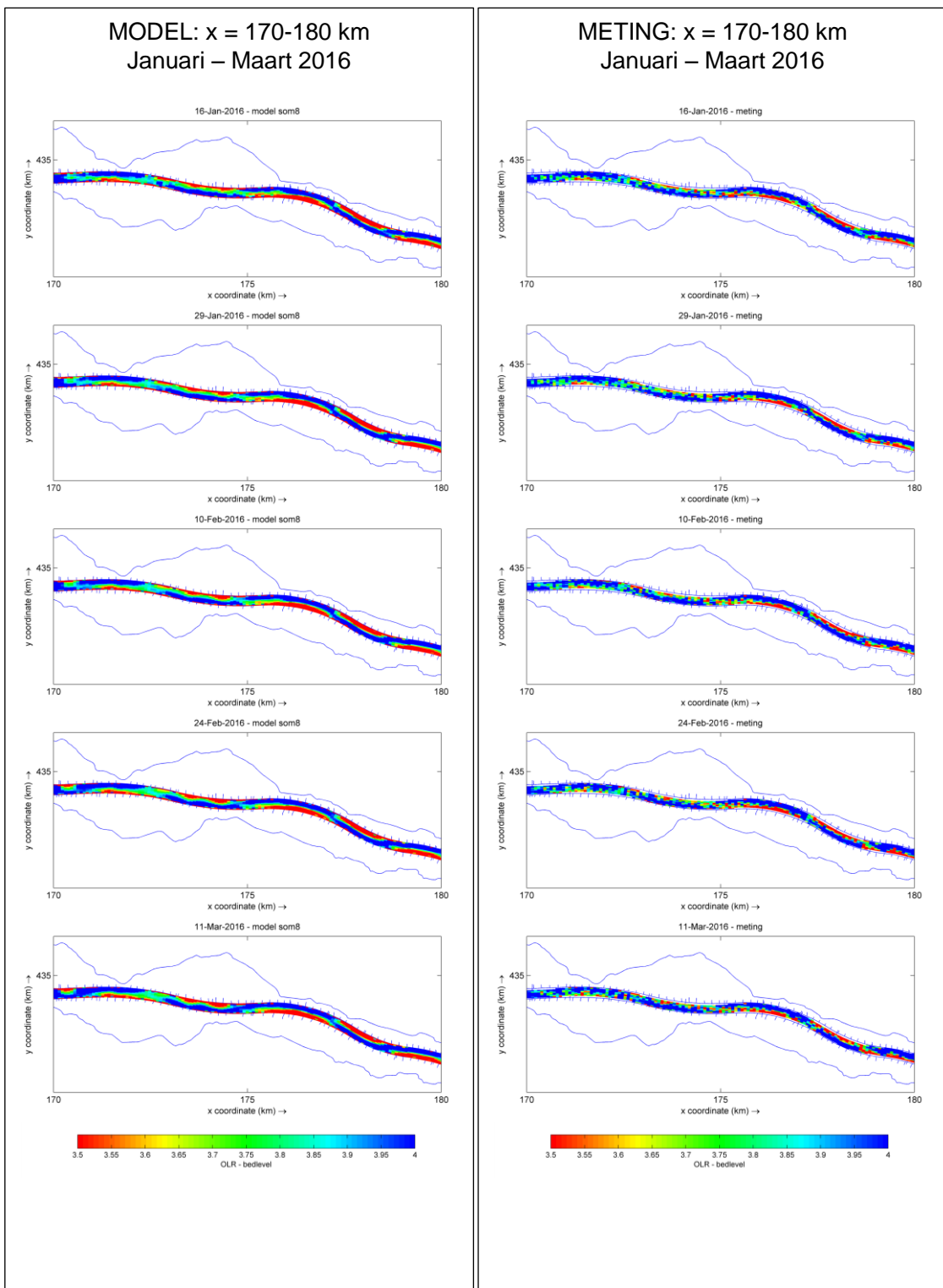
- Om te bekijken of het model de fysische processen goed representeert, wordt een ruimteschaal van enkele honderden meters beschouwd. Zo is in de modelresultaten te zien dat de ondiepte nabij $x = 162$ km zich aan de rechteroever bevindt en zich daarna verplaatst naar de linkeroever. Dit zien we ook terug in de metingen. Van dergelijke overeenkomsten zijn er meer; net benedenstrooms van $x = 170$ km ontstaat een ondiepte in model en meting. De langsprofielen laten zien dat er (on)diepe delen zijn die in de tijd naar benedenstrooms verplaatsen en/of (on)dieper worden. Bijvoorbeeld aan de linkerzijde bij $s = 20$ km wordt de rivier dieper, zowel in het model als in de meting.
- Op basis van voorafgaande, hierbij in aanmerking nemende dat de ruis door rivierduinen het beeld wat vertroebelt ook na filteren van de data, concluderen we dat de beperkte aanzanding, erosie, en verplaatsing van (on)dieptes zoals berekend met het model een realistische weergave van de werkelijkheid is.



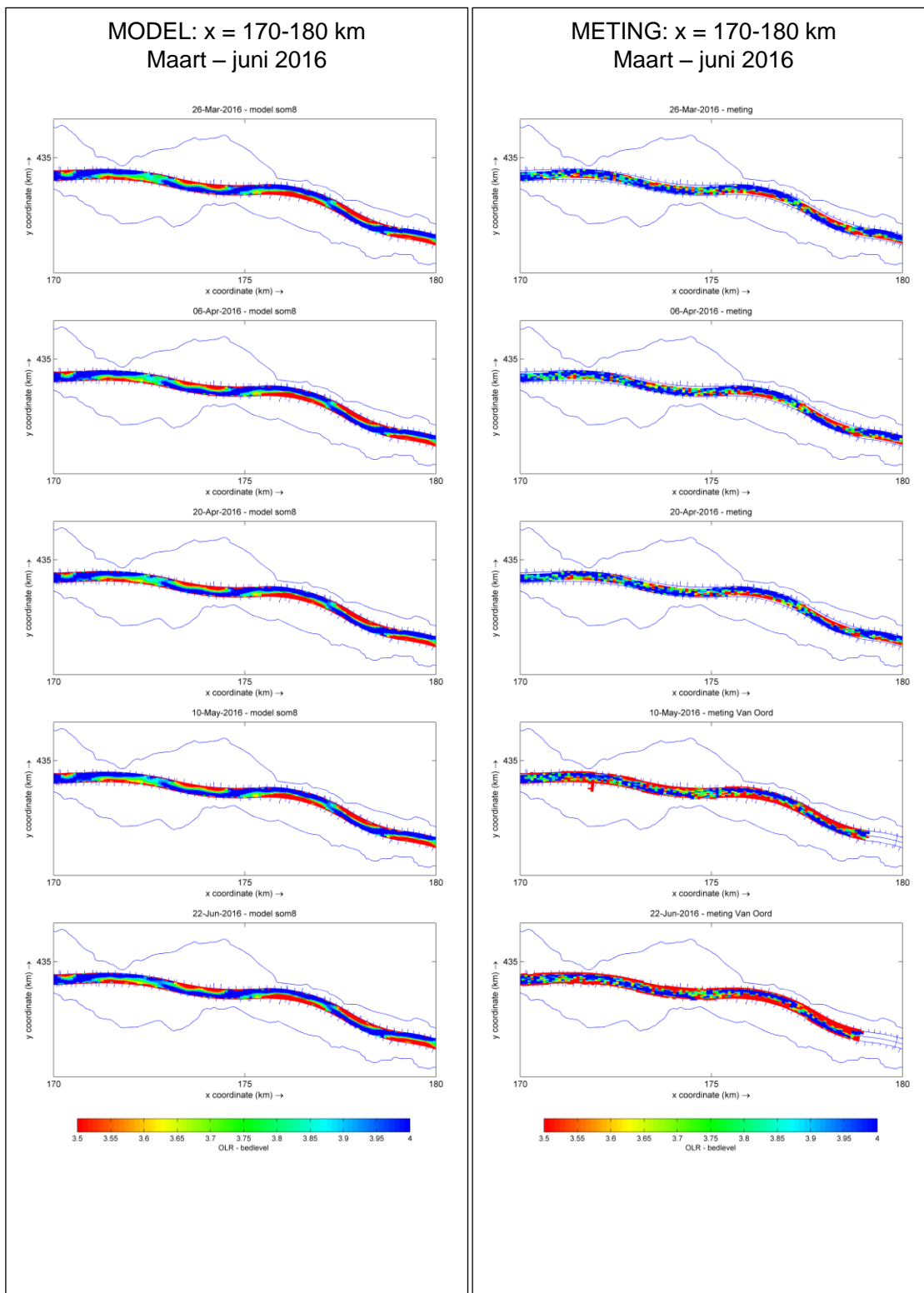
Figuur 3.4 (1/4) Diepte ten opzichte van OLR voor een aantal tijdstippen, links berekend met het model, rechts gemeten.



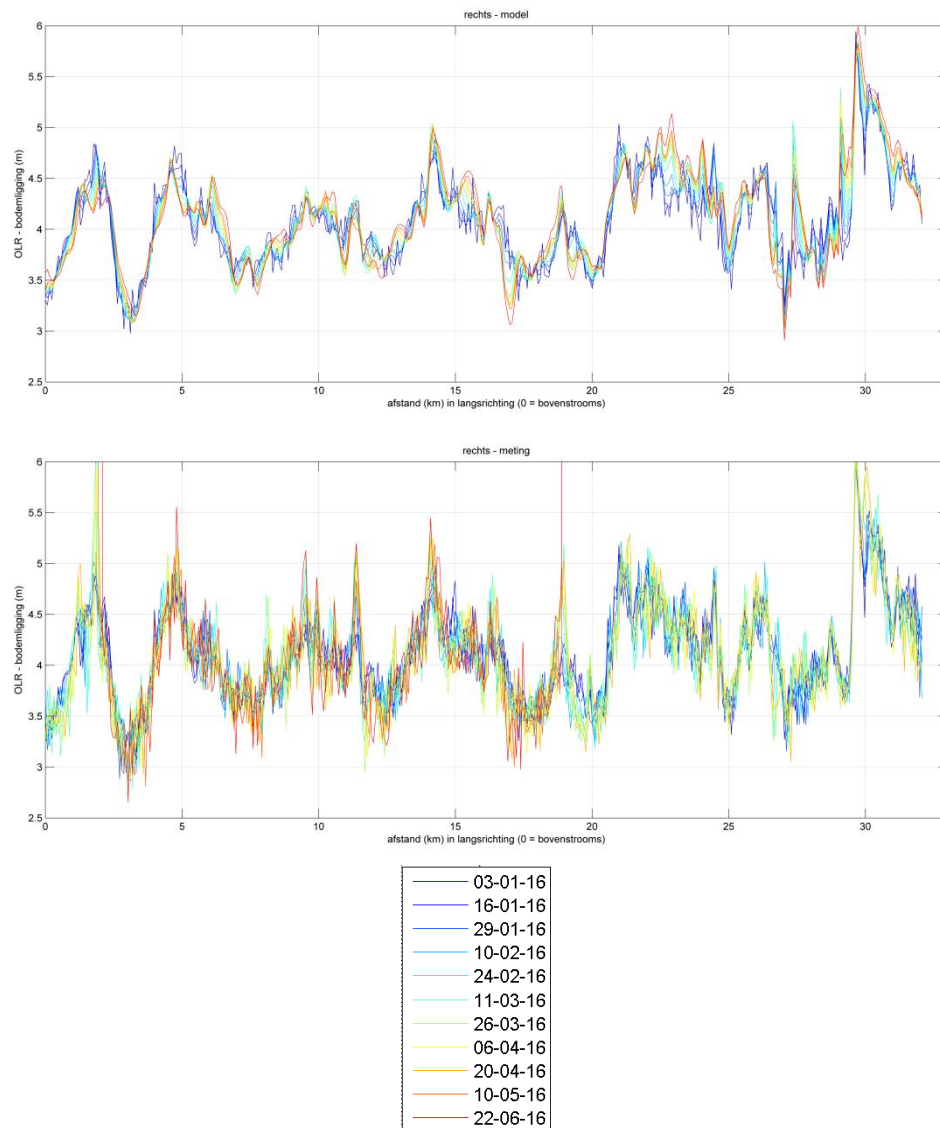
Figuur 3.4 (2/4) Diepte ten opzichte van OLR voor een aantal tijdstippen, links berekend met het model, rechts gemeten.



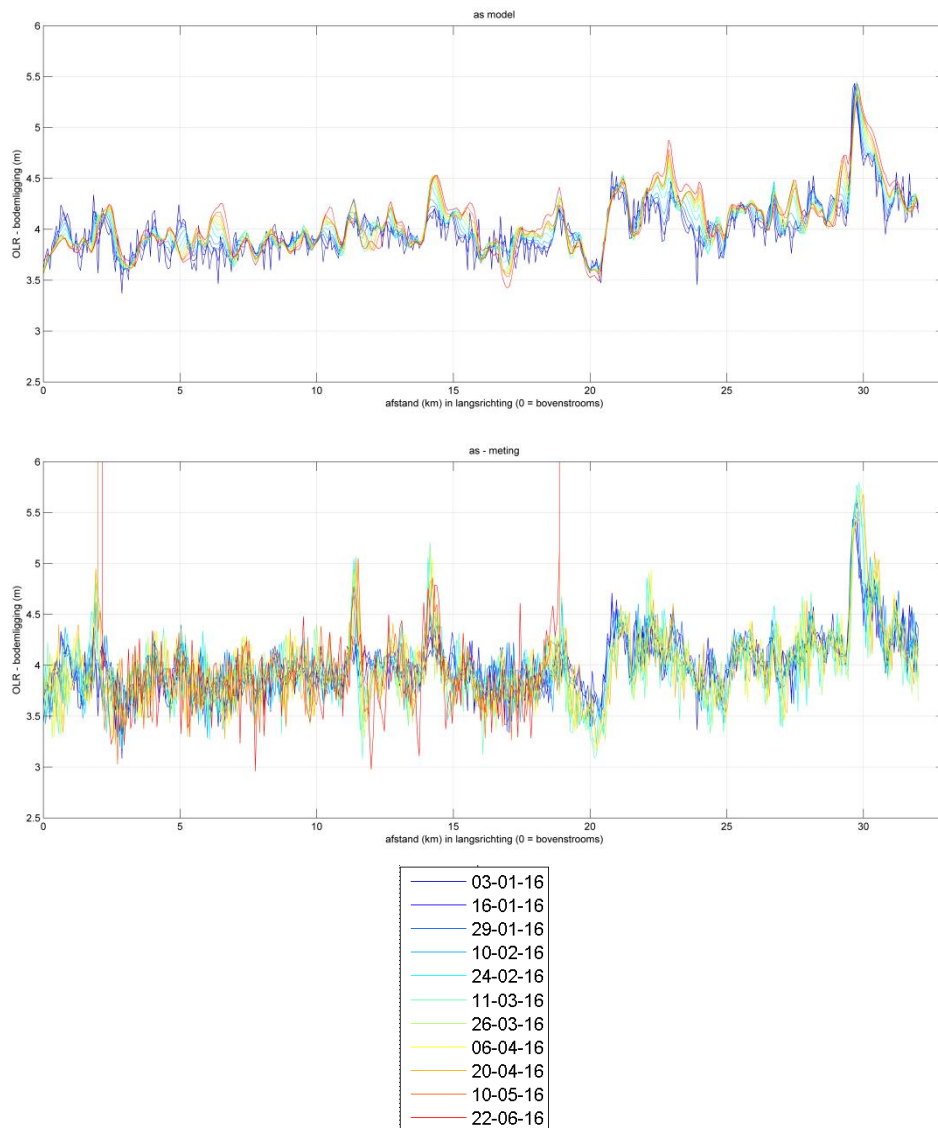
Figuur 3.4 (3/4) Diepte ten opzichte van OLR voor een aantal tijdstippen, links berekend met het model, rechts gemeten.



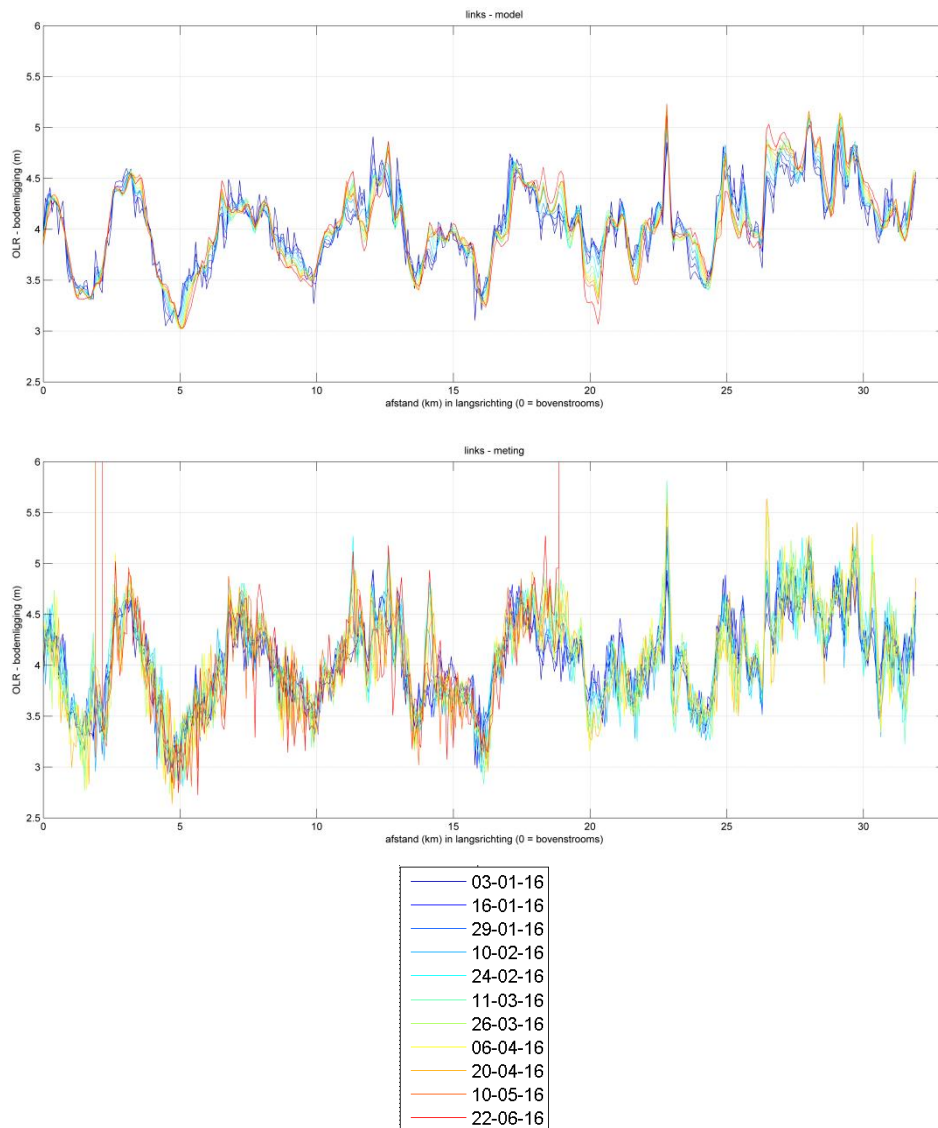
Figuur 3.4 (4/4) Diepte ten opzichte van OLR voor een aantal tijdstippen, links berekend met het model, rechts gemeten.



Figuur 3.5 Langsprofiel van de diepte ten opzichte van OLR, rechts van de rivieras. Boven: model, beneden: meting.



Figuur 3.6 Langsprofiel van de diepte ten opzichte van OLR, in de rivieras. Boven: model, beneden: meting.



Figuur 3.7 Langsprofel van de diepte ten opzichte van OLR, links van de rivieras. Boven: model, beneden: meting.

4 CoVadem-data

4.1 Inleiding

Om trends uit de CoVadem-data af te leiden en deze door te vertalen naar de toekomst, dient eerst te worden beschouwd hoe goed de data zijn, en welk percentage bruikbaar is. Hiertoe is in eerste instantie een vergelijking uitgevoerd tussen de CoVadem-data en de multibeam peilingen. Dit is gedaan op vergelijkbare wijze als is beschreven in Van der Mark et al. (2015) en Van der Mark & Vijverberg (2015). Vervolgens zijn de data gefilterd en gekalibreerd (paragraaf 4.2). Vervolgens is in paragraaf 4.3 bekeken of het in de tijd geleidelijk ontstaan van ondieptes kan worden afgeleid uit de CoVadem-data.

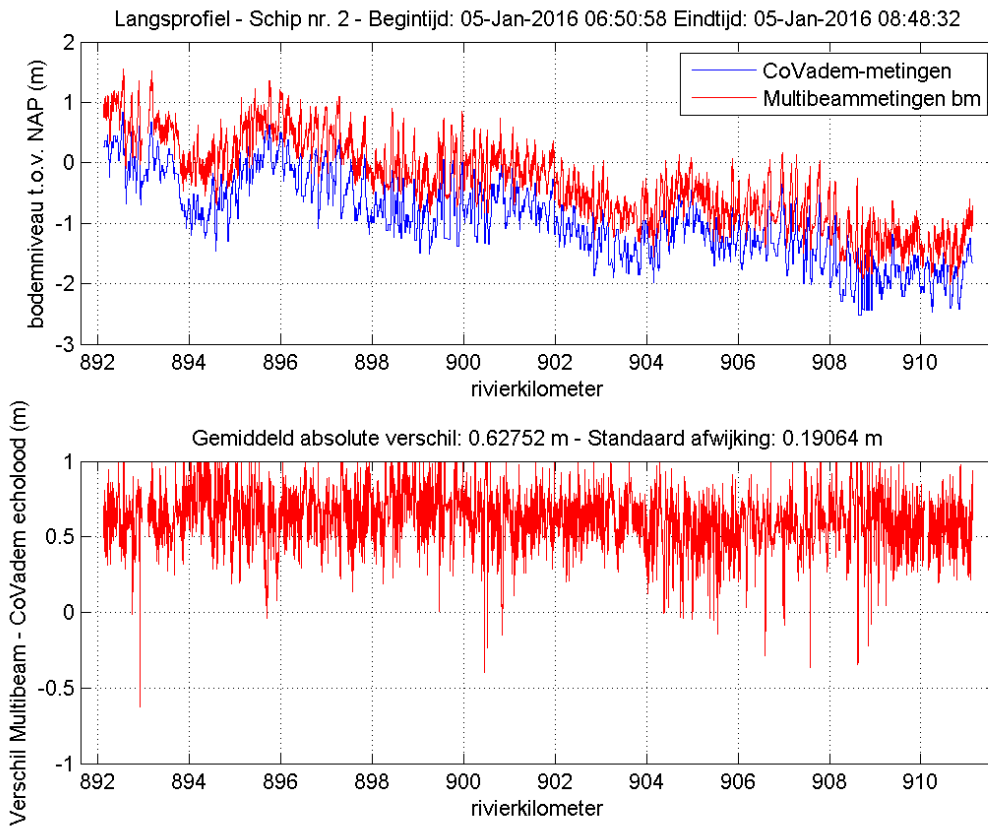
In dit geval zijn peilingen gebruikt om de data te verbeteren. Uiteindelijk is het op de langere termijn wenselijk dat de CoVadem-data op andere wijze wordt gevalideerd/gekalibreerd, omdat peilingen niet altijd beschikbaar zijn (bijvoorbeeld omdat minder peilingen nodig zijn als de CoVadem-data kan worden benut). De procedure die we voor ogen hebben is om de CoVadem-data (automatisch) te kalibreren aan de hand van locaties waarvan de diepteligging exact bekend is en waar de schepen regulier langs varen, zoals bij harde lagen of sluisen.

4.2 Validatie en kalibratie van de dataset

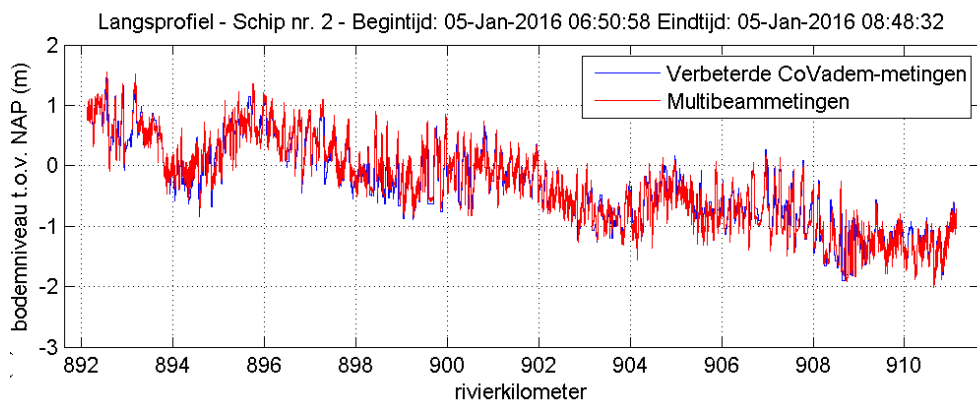
De CoVadem-data betreft onder andere metingen van de kielspeling. Door de kielspeling te combineren met diepgang en dynamische trim en inzinking rekent MARIN een waterdiepte uit. We gebruiken enkel de metingen waarbij de kielspeling kleiner is dan de waterdiepte en realistische waarden heeft (in onze analyse kielspeling $> 0,3$ m en < 20 m). Vervolgens hebben we de waterdiepte omgerekend naar een bodemligging door gebruikmaking van waterstandsmetingen. In Damsma & Van Koningsveld wordt een andere aanpak gehanteerd voor de vertaalslag van diepte naar bodemligging, waarbij de waterstandsmetingen niet meer nodig zijn. Er wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe goed deze methode is in vergelijking met de hier gevolgde aanpak.

Er zijn CoVadem-data gebruikt over de periode 1 januari 2016 tot 28 juni 2016. Er zijn trips gedefinieerd, waarbij we aannemen dat een schip een nieuwe trip start als hij 1 uur of langer niet heeft gevaren. Dit resulteert in 724 trips. Voor iedere trip is het onderstaande figuur gemaakt (Figuur 4.1). Er wordt een vergelijking gemaakt met de multibeam peiling die in de tijd het dichtst bij de CoVadem trip ligt. In het onderstaande voorbeeldfiguur is een verticale fout (vrij structureel over de gehele reis) van een halve meter te zien. Oorzaken kunnen zijn een fout in de beladingsmeter of squat-trim berekening. Omdat het een structurele fout is, kan de CoVadem-data vrij eenvoudig worden verbeterd door het gemiddelde verschil bij de CoVadem-data op te tellen. Figuur 4.2 toont voor de betreffende trip het resultaat. Dit is voor alle 724 trips gedaan. Overigens is er een groot aantal trips waarbij de verticale fout minder dan een halve meter bedraagt.

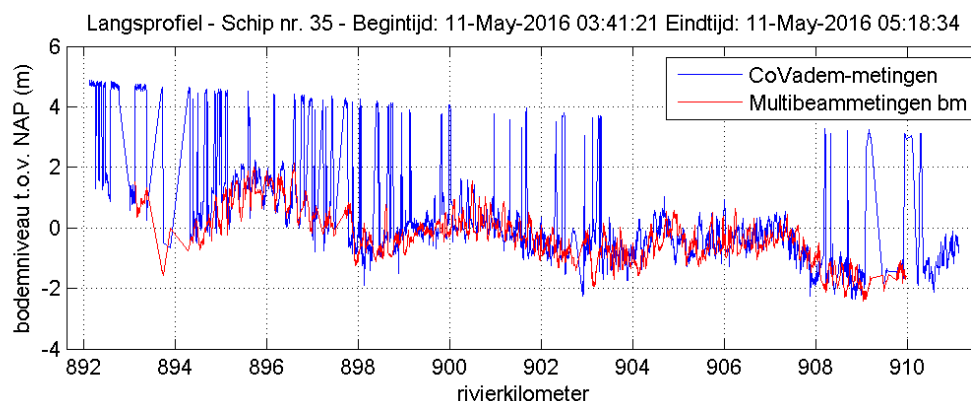
Tevens zijn trips die ook na een verticale verbetering een slechte overeenkomst vertonen, verder uitgesloten van de analyse. Figuur 4.3 geeft een voorbeeld van een dergelijke track. Na correcties blijven er 632 tracks over. Dat is meer dan 85% van het totaal aan trips.



Figuur 4.1 Voorbeeld van een trip (trip-id 2) met structurele verticale fout.



Figuur 4.2 Voorbeeld van een trip (trip-id 2) na toepassing van verticale correctie.



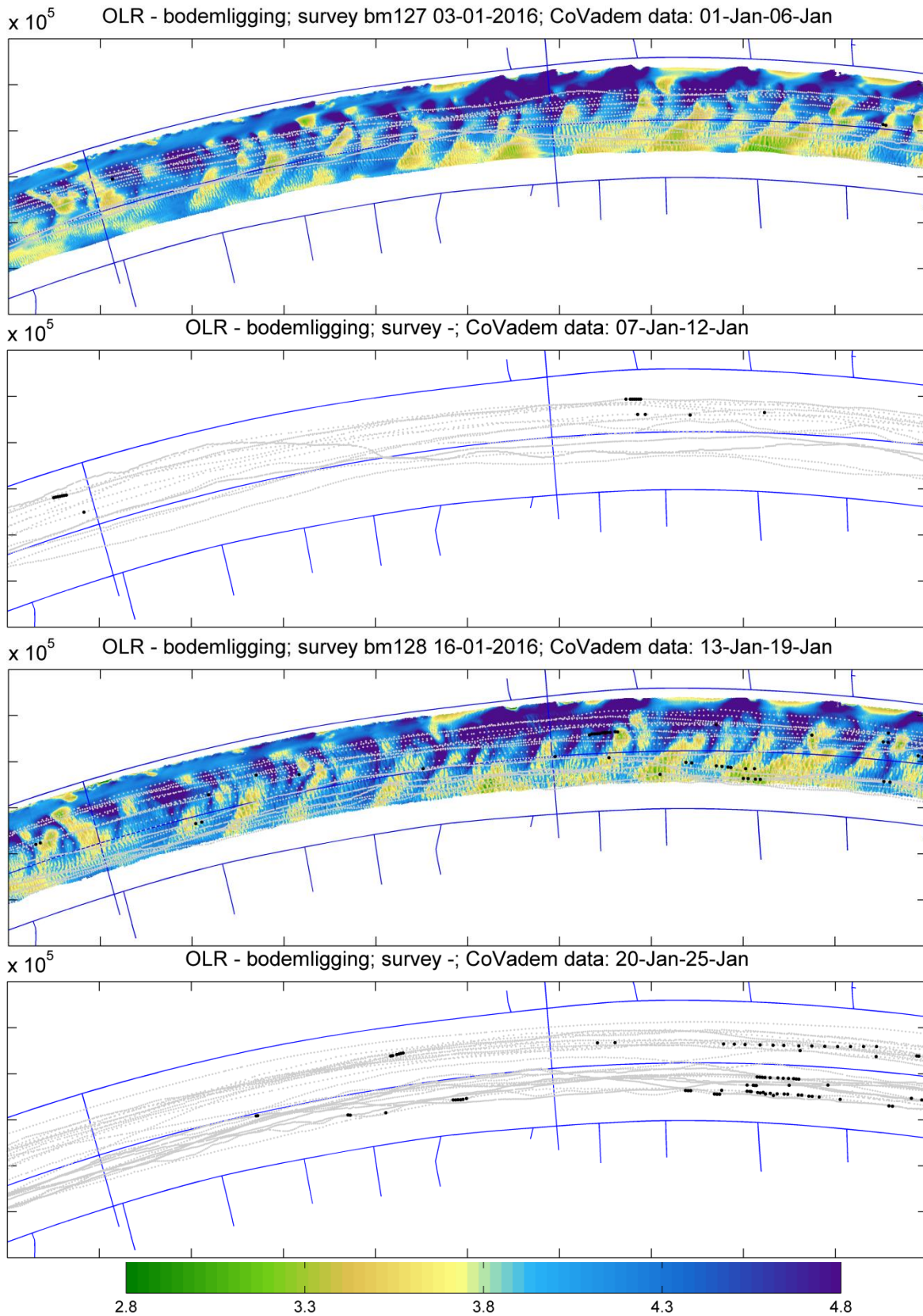
Figuur 4.3 Voorbeeld van een trip die uitgesloten is van de analyse.

4.3 Voorspellen van ondieptes

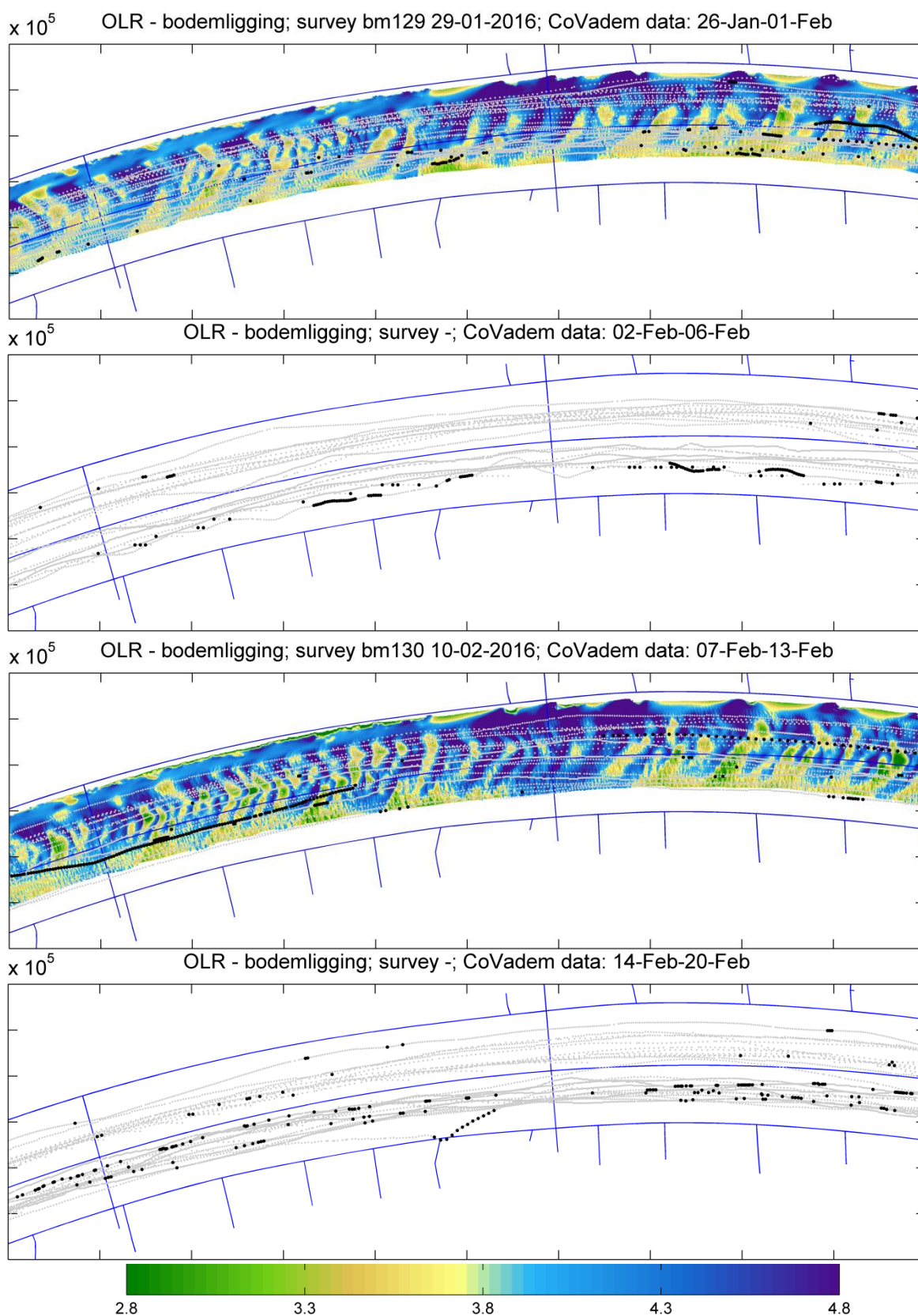
Op vergelijkbare wijze als Damsma en Van Koningsveld (2016) hebben gedaan voor de Nederrijn, hebben we de CoVadem-data geplot samen met de multibeam peilingen om te bezien of de CoVadem-data kan worden gebruikt om ondieptes te voorspellen.

De CoVadem-data zijn steeds geclusterd in periodes van circa een week. Dit levert voor een half jaar 27 periodes. Deze zijn weergegeven in Figuur 4.4. CoVadem-data zijn grijs geplot als de diepte ten opzichte van OLR groter is dan 2,8 m en zwart als de diepte kleiner is. Als er in zo'n periode ook een multibeam peiling is uitgevoerd, is deze ook geplot. De survey data is in dit geval niet gefilterd omdat de CoVadem-data wel rivierduinen bevatten. De CoVadem-data tonen overeenkomst met de multibeam peilingen. Dit werd ook al geconcludeerd in de vorige sectie, dit betekent dat over het algemeen de positie (x- en y-coördinaten) van de CoVadem-data in orde is. We hebben ingezoomd op een kleiner gebied binnen het pilotgebied. Voor de overige gebieden zien we hetzelfde beeld.

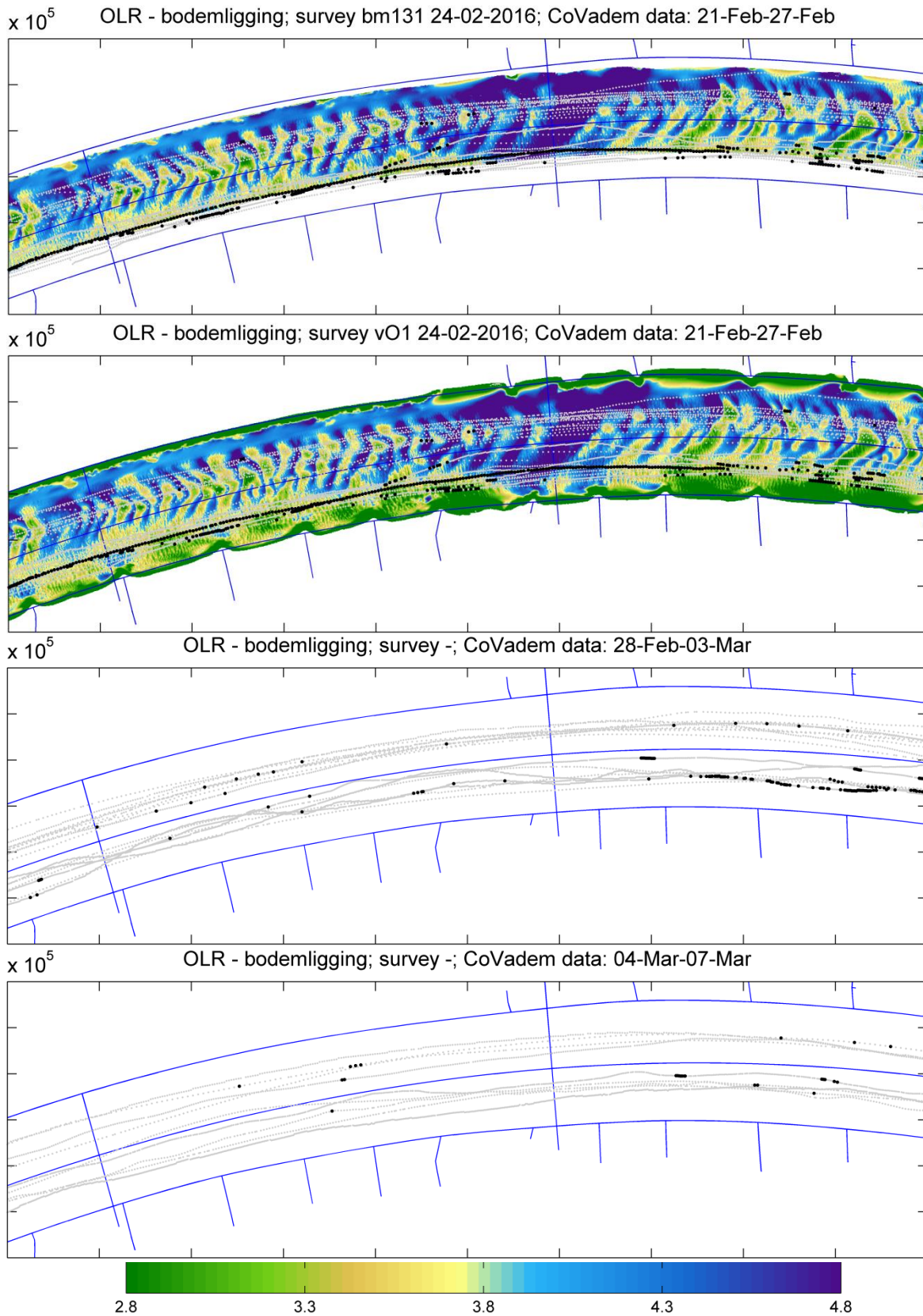
In het pilotgebied zijn het vooral de rivierduinen die ondieptes veroorzaken. Met de CoVadem-data kunnen we ondieptes zien aankomen. We zien bijvoorbeeld in mei dat de rivier overal qua diepte op orde is. Vervolgens zien we steeds meer zwarte puntjes ontstaan in de tijd. En in de survey van 22 juni is inderdaad te zien dat er te ondiepe delen zijn op die locaties. In de maand juni is de afvoer grofweg 2x zo hoog als in de maanden daarvoor, waardoor dit wordt veroorzaakt.



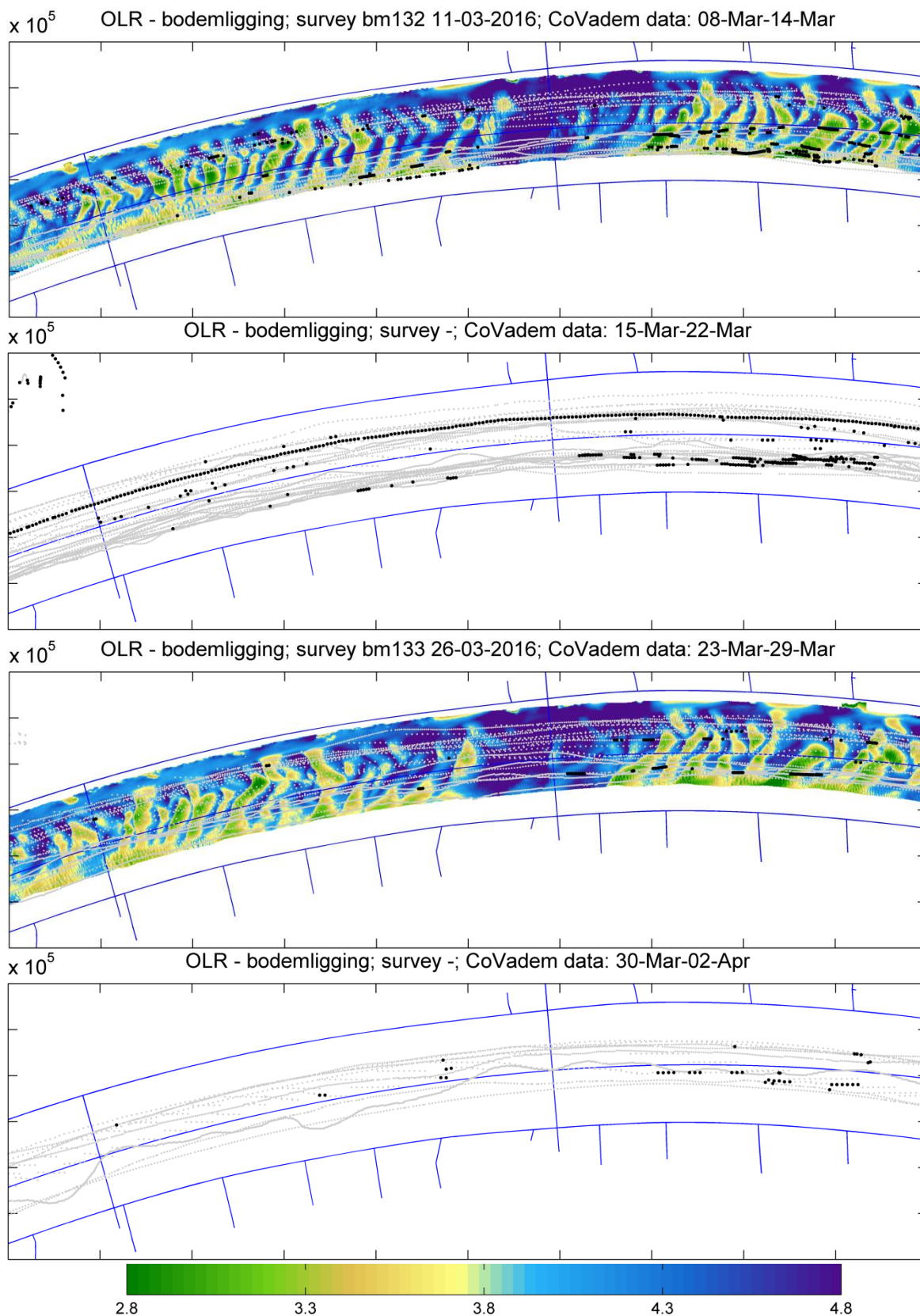
Figuur 4.4 (1/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplot als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte ≤ 2,8 m.



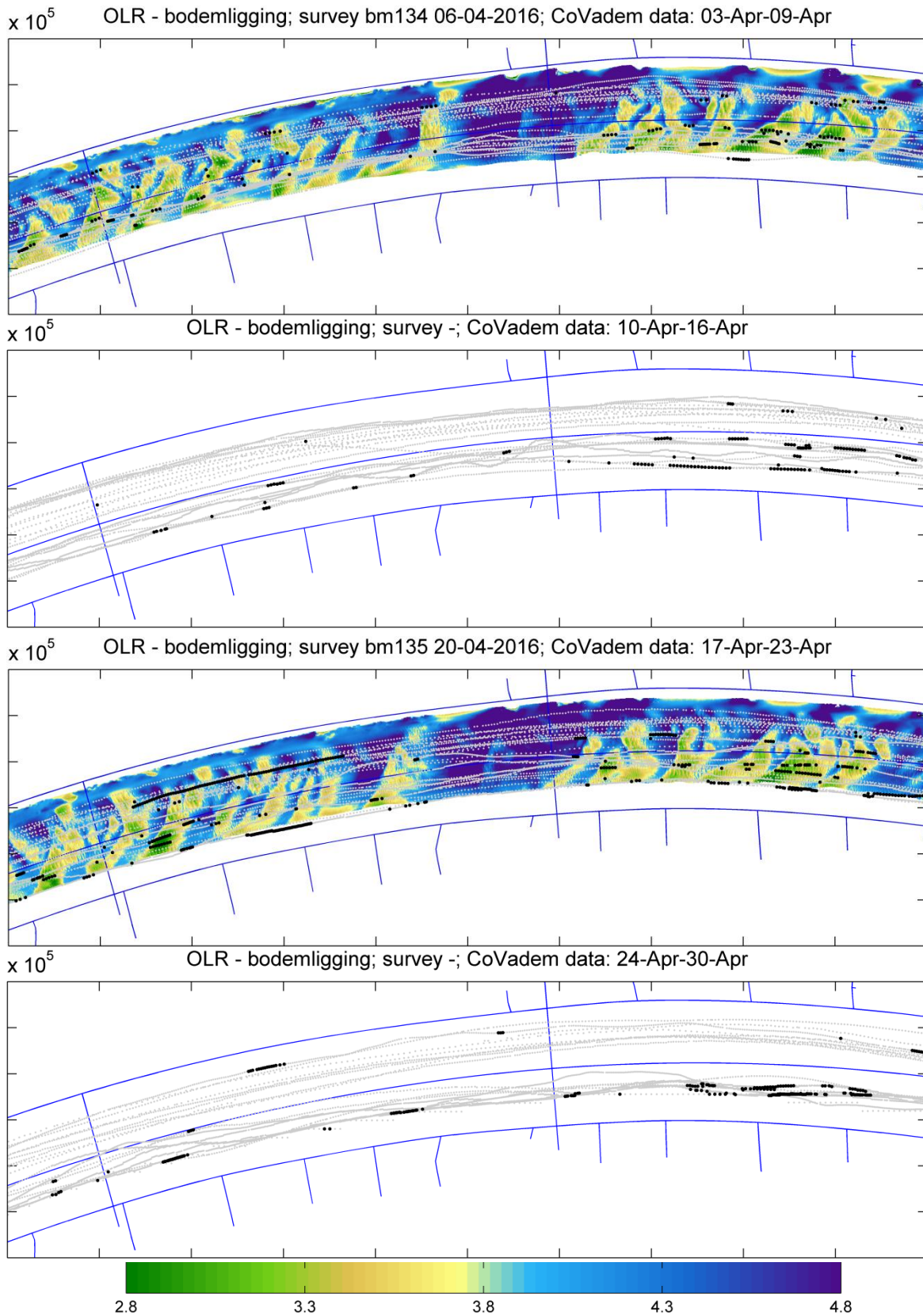
Figuur 4.4 (2/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplott als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte <= 2,8 m.



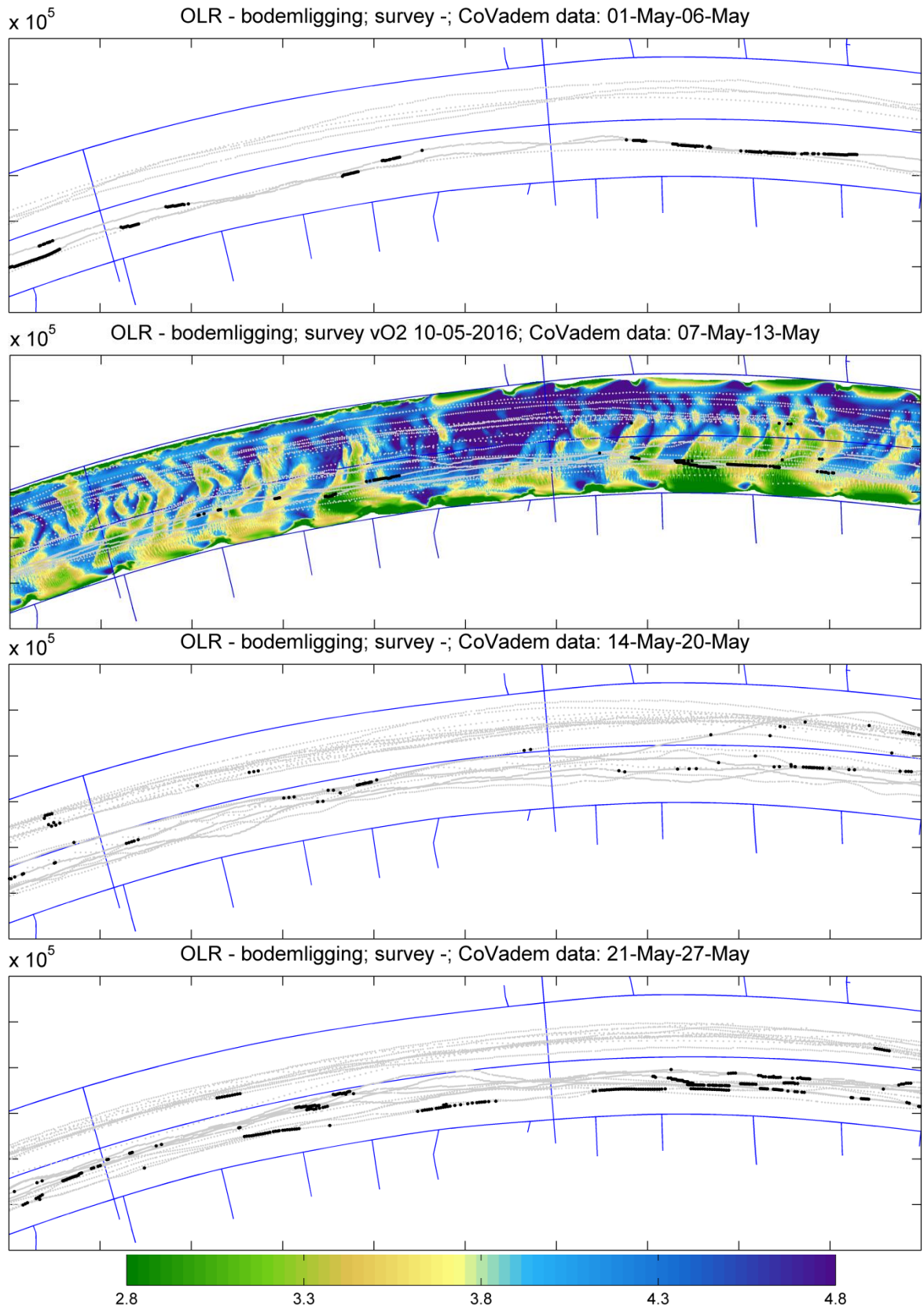
Figuur 4.4 (3/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplot als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte ≤ 2,8 m.



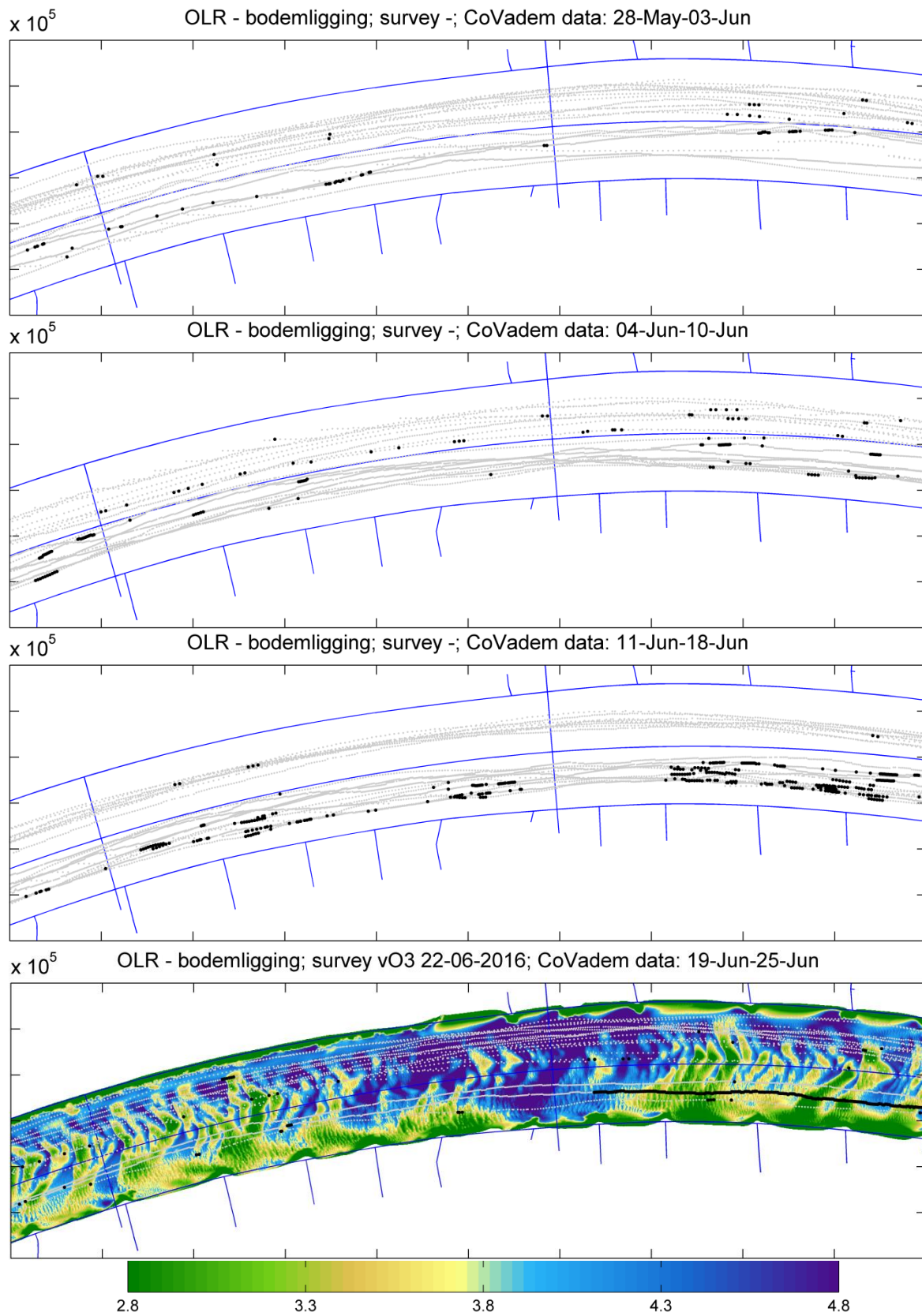
Figuur 4.4 (4/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplotted als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte <= 2,8 m.



Figuur 4.4 (5/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplot als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte ≤ 2,8 m.



Figuur 4.4 (6/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplot als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte <= 2,8 m.



Figuur 4.4 (7/7) Diepte ten opzichte van OLR voor 27 achtereenvolgende weken (van boven naar beneden). CoVadem-data zijn geplot als stipjes: grijs als diepte > 2,8 m, zwart als diepte <= 2,8 m.

5 Combinatie van model en metingen

Er is een eerste verkenning gedaan of modelresultaat en CoVadem-data gecombineerd leiden tot een betere overeenkomst met de multibeam surveys.

Het numerieke model berekent een bodenvormgemiddelde bodemligging (gepresenteerd in Hoofdstuk 3), en kan daarnaast duinhoogtes voorspellen met behulp van een empirische duinhoogtevoorspeller aan de hand van de heersende waterdiepte. Uit de CoVadem-data zijn ook duinhoogtes af te leiden. Een van de mogelijkheden om het model en de CoVadem metingen te combineren, is om het empirische model af te regelen op de duinhoogtes die uit de CoVadem-data volgen; vervolgens kunnen met dit afgeregeld model voorspellingen worden gedaan. Omwille van de tijd hebben we nu eerst het volgende gedaan:

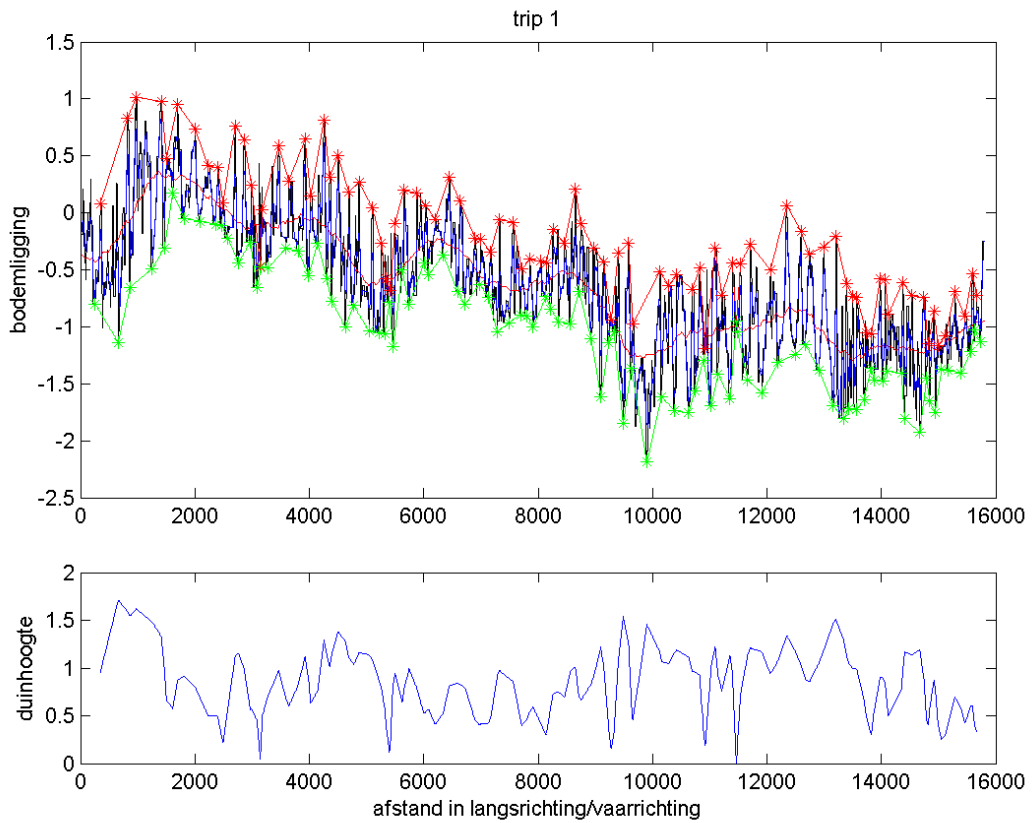
- Duinhoogtes uit de CoVadem-data afgeleid en gekeken of hiermee een gebiedsdekkend en realistisch beeld van duinhoogtes kan worden geconstrueerd door te vergelijken met de multibeam metingen.
- Vergelijken van de duinhoogtes uit het empirische model met de multibeam metingen.

De volgende aanpak is gehanteerd:

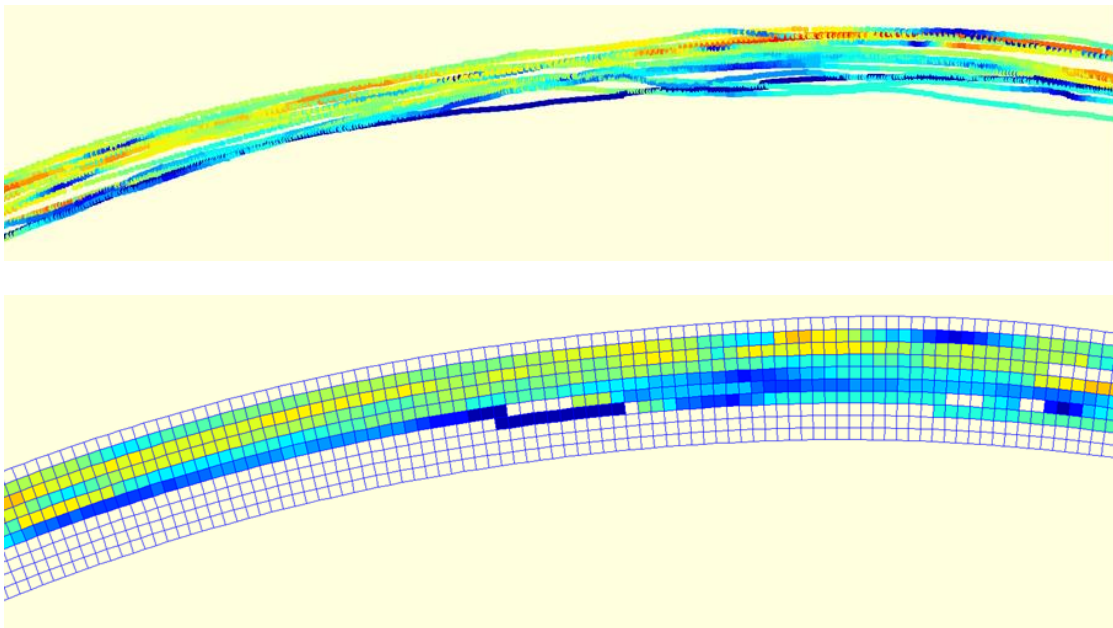
- Voor alle 632 tracks duinhoogtes in langsrichting afgeleid zoals weergegeven in Figuur 5.1.
- De trips zijn geclusterd in de 27 periodes van circa 1 week. Duinen zijn behoorlijk dynamisch, zodat een week later de duinhoogtes behoorlijk anders kunnen zijn. Samennemen van data gedurende 1 week is waarschijnlijk nog net acceptabel en levert voldoende dekking.
- De duinhoogtes in de trips binnen een week zijn geprojecteerd op een rooster zoals weergegeven in Figuur 5.2.
- Tot slot is een vergelijking gemaakt in de as van de rivier tussen (1) de survey en (2) de modelbodemligging plus en minus een halve CoVadem duinhoogte, en (3) de modelbodemligging plus en minus een halve duinhoogte volgens de empirische duinhoogtevoorspeller. Voor mei en juni is het resultaat weergegeven in Figuur 5.3.

Uit de figuren kan het volgende worden opgemaakt. Zowel de empirisch voorspelde duinhoogte als de duinhoogte afgeleid uit de CoVadem-data groeit van mei naar juni, wat verklaard wordt door de toename in afvoer. De gemodelleerde duinhoogte overschat de duinen wat; wel zijn er enkele uitschieters waarbij de duinen in de meting groter zijn dan de gemodelleerde duinhoogte. Een kalibratie van de empirische voorspeller is dus nodig.

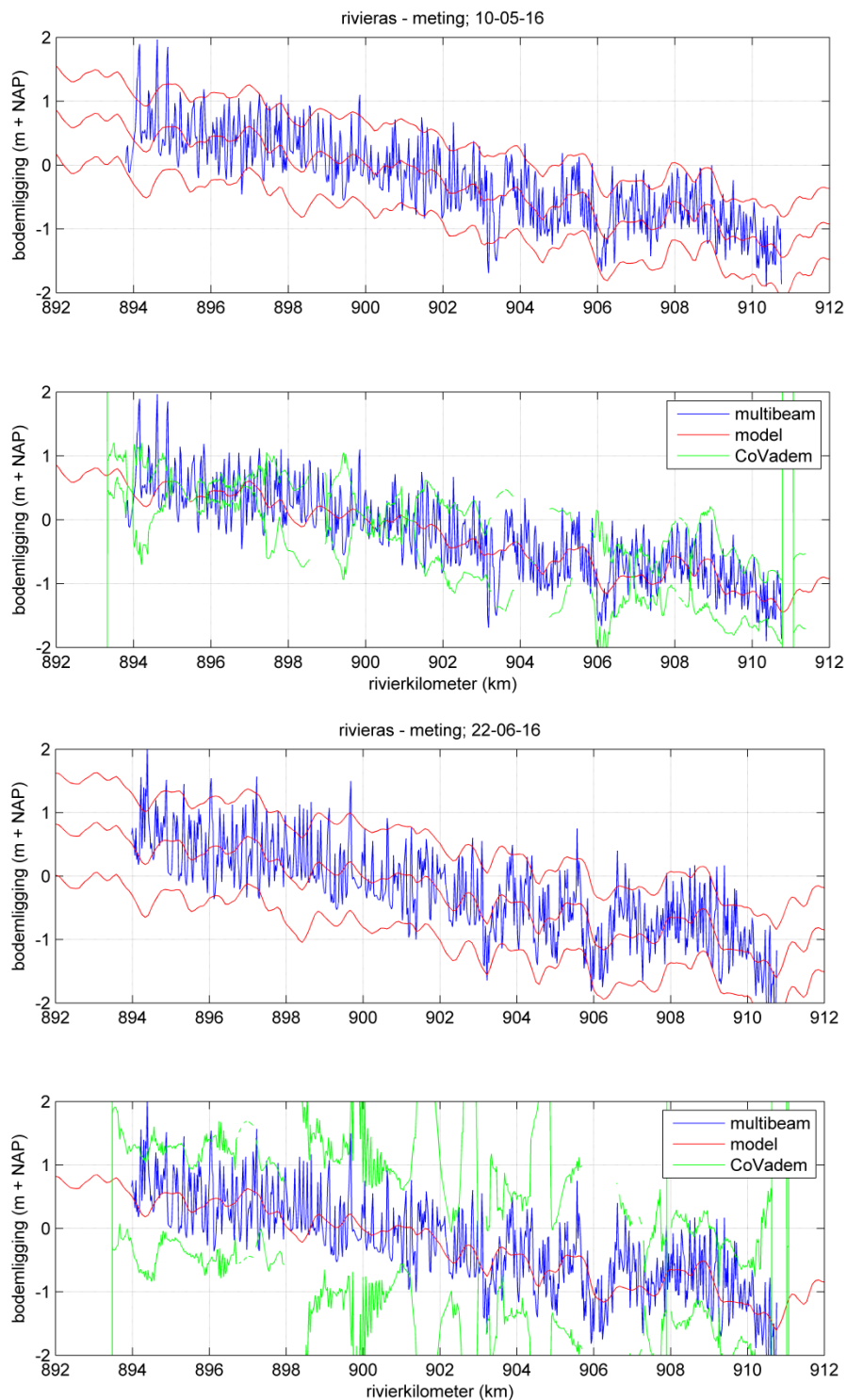
De duinhoogte afgeleid van de CoVadem-data vertoont een wat grillig verloop, wat te verklaren valt door de gehanteerde geautomatiseerde aanpak. De duinhoogtes in Figuur 5.1 zien er goed uit, er zijn echter ook trips (632 trips zijn via een script verwerkt) waar lokaal duinhoogtes van 10 m optreden. De procedure heeft nog een verbeteringspotentieel, dit was een eerste exercitie. Desalniettemin zijn de resultaten bemoedigend. De variaties in langsrichting worden goed gevangen, en het is dus mogelijk gebleken om op basis van een aantal tracks van schepen een rivierdekkend duinenveld te construeren.



Figuur 5.1 Afleiden van duinhoogte uit een trip. De duinhoogte is het verschil tussen de rode en groene lijn.



Figuur 5.2 Gebiedsdekkende kaart afleiden uit de duinhoogtes gemeten binnen circa 1 week.



Figuur 5.3 Gemeten bodemligging (blauw) en gemodelleerde bodemligging inclusief omhullende lijnen van gemodelleerde rivierduinen (rood) en omhullende lijnen van rivierduinen afgeleid van de CoVadem-data (groen). Bovenste 2 figuren: meting mei 2016, onderste 2 figuren: meting juni 2016.

6 Conclusies en aanbevelingen

- We hebben met een numeriek morfologisch rekenmodel de bodemligging berekend voor de eerste helft van 2016 en de resultaten vergeleken met metingen. Het model is hierbij aangestuurd met dagelijkse afvoervariaties in plaats van met een stapsgewijze afvoerhydrograaf. We zien zowel in het model als in de metingen geringe morfologische activiteit. Ontwikkeling en verplaatsing van ondieptes komen met elkaar overeen.
- Met het morfologische rekenmodel is het mogelijk om ondieptes te voorspellen. Wanneer dit instrument voorspellend wordt ingezet, verdient het aanbeveling om (1) de validatie te herhalen voor een periode met een significant hoogwater, en (2) te bepalen wat de voorspellende waarde van het model is als ook de randvoorwaarden voorspeld worden (die zijn dan onbekend, want liggen in de toekomst).
- De CoVadem-dataset bevat, zoals al bekend, goede en minder goede tracks waarbij vaak een systematische afwijking tussen CoVadem bodemligging en multibeam bodemligging optreedt. Voor deze structurele afwijking kan gecorrigeerd worden. Voorgesteld wordt om dit te doen met locaties waarvan de bodemligging vast is en waar de schepen regulier langs varen. Filteren en uitsluiten van minder goede gegevens binnen de CoVadem-dataset blijft een aandachtspunt.
- Indien een goede CoVadem-dataset beschikbaar is, is het mogelijk gebleken om hiermee de ontwikkeling van rivierduinen waar te nemen en hiermee ondieptes te zien aankomen. Zo is een goede overeenkomst tussen de data en de multibeam peilingen geconstateerd en is rivierduin ontwikkeling (ondiepte) waargenomen in de CoVadem-data die later op de peiling terug te zien was.
- In het pilotgebied zijn het vooral de rivierduinen die voor ondieptes zorgen. De rivierduinen voorspeld met een empirische voorspeller ingebouwd in het Delft3D model overschat de duinen enigszins. Kalibratie van de voorspeller met behulp van de CoVadem-data zal de voorspelling kunnen verbeteren. Een andere aanpak is om duinhoogtes af te leiden uit de CoVadem tracks. Deze eerste verkenning laat hoopgevende resultaten zien.
- Wij hebben in deze analyse de CoVadem kielspelingsgegevens vertaald naar bodemliggingen met behulp van gemeten waterstanden. Van Oord heeft deze vertaalslag gedaan zonder gebruikmaking van waterstandsmetingen, maar met gebruikmaking van een multibeampeiling. We bevelen aan om de waarde van deze laatste aanpak te onderzoeken, aangezien het uiteraard prettig is een methode te hebben die zo min mogelijk gebruik maakt van externe meetbronnen.
- Op basis van deze eerste verkenningen en uitgevoerde vergelijkingen constateren we dat zowel het morfologische rekenmodel als de CoVadem-data toegevoegde waarde kunnen hebben bij het efficiënt en effectief onderhouden van de vaargeul.

7 Referenties

Damsma, T. & M. van Koningsveld (2016). CoVadem voor rivieronderhoud – Bevindingen proof of concept traject. Memo Van Oord.

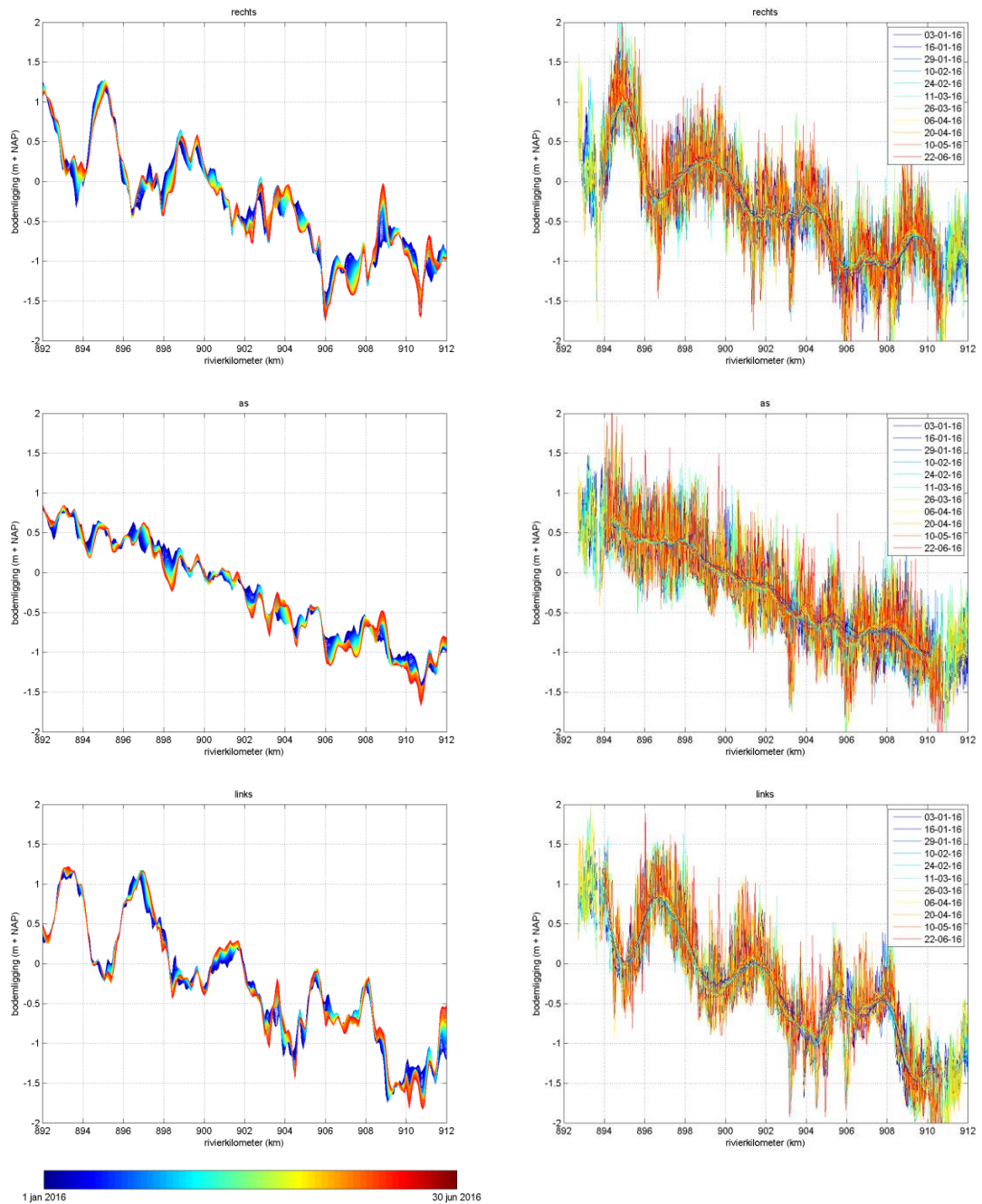
Koot, P. & S. Bom (2016). Combining CoVadem-data and Delft3D Flexible Mesh.

Ottevanger, W., S. Giri & K. Sloff (2015), Sustainable Fairway Rhinedelta II; Effects of yearly bed stabilisation nourishments, Delta Program measures and training walls. Deltares, rapport 1209175-000, Delft, April 2015.

Van der Mark, C.F., T. Vijverberg & W. Ottevanger (2015). Validation of Actual Depth Measurements by Inland Vessels, PIANC Smart Rivers 2015 Buenos Aires, Argentina.

Van der Mark, C.F. & T. Vijverberg (2015). Validatie: vergelijking tussen Covadem metingen en Rijkswaterstaat metingen. Deltares memo 1208679-000-ZWS-0008.

A Aanvullende figuren



B Samenvatting Van Oord

Memo

Van Oord

To Rolien van der Mark
Copy Meeuwis van Wirdum
From Dirk Hamer, Mark van Koningsveld
Subject **CoVadem voor rivieronderhoud - pilot**

Date 10 February 2017
Ref.1

Page 1 of 1

In 2016 heeft Van Oord samen met Marin en Deltares een pilot uitgevoerd om na te gaan of de data zoals die wordt ingewonnen in het CoVadem project benut zou kunnen worden voor het informeren van vaarwegbeheerders of aannemers die voor langere tijd verantwoordelijk zijn voor het vaarwegonderhoud.

Voor riviersecties op de Waal en op de Nederrijn heeft Van Oord survey data ingewonnen en die data gecombineerd met door CoVadem ingewonnen data. Eerste analyses richtten zich op het uit de dataset filteren van data die van onvoldoende kwaliteit was. De resterende data werd gebruikt in een vergelijking met de ingewonnen survey data.

Om met de resterende data deze vergelijking te kunnen maken werd de dieptedata, zoals die door de binnenvaartschepen wordt ingewonnen, allereerst vertaald naar schattingen van de bodemligging. Deze geschatte bodemliggingen konden vervolgens vergeleken worden met de gegevens uit de bodem surveys op dezelfde locatie.

Aangezien de dieptesensor aan boord van de schepen niet altijd op dezelfde plek zit als de GPS, is de locatie van de CoVadem dieptes in dit soort gevallen een berekende waarde. Het bleek dat deze berekende waarde niet in alle gevallen een realistische waarde opleverde (bij. soms resulterend in waarden op het land). Deze discrepantie bemoeilijkte de analyses en aanbevolen wordt om in de toekomst dit aspect van de dataset te verbeteren.

Voor die data waarvoor wel een betrouwbare locatie kon worden verkregen, leek de CoVadem data een redelijk goede indicatie te geven van de ligging van de bodem. Met deze data is vervolgens getest of de CoVadem data nuttige informatie zou kunnen leveren over bodemveranderingen in de tijd tussen twee gebiedsdekkende surveys.

Voor een rivierlocatie op de Nederrijn die door Van Oord wordt onderhouden kon aangetoond worden dat de CoVadem data inderdaad nuttig kan zijn voor het vroegtijdig signaleren van groeiende ondieptes. Op die manier kan de CoVadem data dus nuttig zijn als 'early warning' informatie op basis waarvan onderhoudsinspanningen mogelijk efficiënter kunnen worden gepland.

Belangrijke aanbevelingen om de bruikbaarheid van de techniek in de toekomst te vergroten hebben met name betrekking op het verbeteren van de CoVadem dataset zelf. Verder is door Deltares onderzoek gedaan naar de vraag of het gebruik van modellen kan helpen om de CoVadem dataset aan te vullen (in de ruimte, maar ook in de tijd).