

Oplegnotitie

Aan
TKI-Deltatechnologie, SmartPort, Havenbedrijf Rotterdam

Datum	Kenmerk	Aantal pagina's
19 februari 2018	11201209-000-ZWS-0004	2
Van	Doorkiesnummer	E-mail
Rolien van der Mark	+31(0)88 335 7646	Rolien.vanderMark@deltares.nl

Onderwerp
Verkenning CoVadem voor het Havenbedrijf Rotterdam

1.1 Achtergrond

De slimste en beste haven ter wereld. Dat wil Rotterdam in 2030 zijn. Europa's belangrijkste haven- en industrieel complex, koploper op het gebied van effectiviteit, kwaliteit en duurzaamheid. SmartPort heeft op basis van deze ambitie een programma opgezet waar samen met bedrijven, kennisinstellingen en het havenbedrijf Rotterdam verschillende onderzoeksprojecten worden opgestart. SmartPort treedt hierbij op als aanjager, organisator en financier van kennisontwikkeling en kennisdisseminatie in het havengebied in Rotterdam.

Vanuit deze achtergrond zijn er met het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) / Smartport gesprekken gevoerd om te bezien of de CoVadem data van meerwaarde kunnen zijn om deze ambitie verdere invulling te geven. CoVadem (Coöperatieve Vaardiepte- en performance Meting) is een gezamenlijk initiatief vanuit MARIN, Deltares, BTB en Autena Marine voor een betrouwbare en moderne data- & informatiedienst voor alle vaarwegbeheerders en -gebruikers. In 2014 is het project CoVadem geïnitieerd met de inwinning en benutting van scheepsgegevens vanuit de binnenvaart. De informatie is gebaseerd op een netwerk van schepen die continue kielspeling en performance meten door echolood, beladingsmeter en GPS automatisch met elkaar te verbinden. Een beperkt gedeelte van de vloot is uitgerust met brandstofverbruikssensoren.

Afgelopen jaren is de geschiktheid van deze CoVadem meetgegevens getoetst aan multibeam metingen voor een beter inzicht in de morfologische ontwikkeling in het rivierengebied (Van der Mark et al., 2015). Recentelijk is een pilot uitgevoerd samen met Van Oord N.V. om te verkennen of de CoVadem metingen in combinatie met een morfologisch riviermodel toegevoegde waarde heeft bij het efficiënt en effectief onderhouden van de vaargeul in de rivier (Van der Mark, 2017). De resultaten waren positief.

1.2 CoVadem en Havenbedrijf Rotterdam

Een logische vervolgstap is nu om te bezien in hoeverre de CoVadem metingen voor het HbR toegevoegde waarde hebben. Daartoe is een gezamenlijk project (DEL059) opgezet met TKI-Deltatechnologie financiering, een cash bijdrage van SmartPort en een in-kind bijdrage van het HbR, waarin de volgende doelstelling is geformuleerd:

Doel is het bepalen van de bruikbaarheid en het perspectief van de CoVadem data voor het Havenbedrijf Rotterdam met betrekking tot bodemligging en luchtemissie, met het oog op effectief asset management, betere benutting van de infrastructuur, en de ambitie op het gebied van duurzaamheid.

1.3 Activiteiten

In gezamenlijk overleg tussen de TKI-partners Deltares, MARIN, HbR en SmartPort, zijn de volgende activiteiten gedefinieerd:

- 1 Verkennend onderzoek naar de bruikbaarheid (dekkingsgraad, nauwkeurigheid) van de uit scheepsgegevens afgeleide bodemligging ter ondersteuning van reguliere bodempeilingen en de bepaling van de onderhoudsbehoefte in de havenbekkens (trekker Deltares);
- 2 Verkenning naar verband tussen hydro-meteo condities en havenaanslibbing (trekker Deltares);
- 3 Uitrusten van een aantal HbR patrouilleschepen (RPA's) met een CoVadem-box, zodat de frequentie en dichtheid van de scheepsgegevens in het havengebied verder toenemen (trekker MARIN);
- 4 Onderzoek naar welke bijdrage de CoVadem data kan leveren aan het onderbouwen van aannames in het te ontwikkelen luchtmissiemodel voor de binnenvaart door HbR (trekker MARIN).

1.4 Rapportages

Elke activiteit heeft geresulteerd in een rapportage. De volgende rapportages zijn gemaakt:

- 1 Niesten, I. & R. van der Mark (2018). Verkenning naar de bruikbaarheid van CoVadem meetgegevens voor Havenbedrijf Rotterdam. Deltares-rapport met kenmerk 11201209-001-ZWS-0002.
- 2 Meshkati Shahmirzadi, M.E. & T. van Kessel (2018). Sedimentation in Achtste Petroleumhaven, Botlekhaven and Waalhaven within the first 6 months of 2017. Deltares-memo met kenmerk 11201209-003-ZWS-001.
- 3 Wirdum Van, M. & R. van der Mark (2018). Uitrusten van HbR patrouilleschepen met een CoVadem-box. Memo met kenmerk 11201209-002-ZWS-0001.
- 4 Cotteleer, A. (2017). CoVadem Eindrapport Onderdeel Emissies TKI HbR. MARIN-rapport.

Voorliggend document betreft activiteit / rapportage 1.

**Verkenning naar de
bruikbaarheid van CoVadem
meetgegevens voor
Havenbedrijf Rotterdam**



Verkenning naar de bruikbaarheid van CoVadem meetgegevens voor Havenbedrijf Rotterdam

Iris Niesten
Rollen van der Mark

11201209-001

Titel

Verkenning naar de bruikbaarheid van CoVadem meetgegevens voor Havenbedrijf Rotterdam

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
TKI-Deltatechnologie SmartPort Havenbedrijf Rotterdam	11201209-001	11201209-001-ZWS-0002	86

Trefwoorden

CoVadem, Havenbedrijf Rotterdam, vaardieptemetingen, data-analyse, aanslibbing, onderhoudsbaggerwerk

Samenvatting

In 2014 is het initiatief CoVadem gestart met de inwinning en het gebruik van vaardieptemetingen vanuit de binnenvaart op de Nederlandse rivieren. In dit project wordt verkend in hoeverre de CoVadem metingen voor het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) toegevoegde waarde hebben en in hoeverre deze de huidige multibeam metingen kunnen aanvullen of vervangen. Dit rapport beschrijft een eerste verkenning naar de bruikbaarheid van CoVadem meetgegevens met betrekking tot ruimtelijke dekking en nauwkeurigheid.

De ruimtelijke dekking en meetfrequentie blijken voldoende om de multibeam metingen op termijn aan te vullen of zelfs gedeeltelijk te vervangen. Doordat de CoVadem metingen worden voortgezet tijdens het aanmeren, zijn er vanuit CoVadem tevens dieptegegevens beschikbaar bij de kades, waar multibeam metingen vaak niet kunnen worden uitgevoerd. Om deze metingen te kunnen gebruiken dient de locatiebepaling van de CoVadem metingen tijdens aanmeren wel te worden verbeterd.

De kwaliteit van de CoVadem dieptebevestiging is getoetst aan multibeam peilingen van het HbR. Hoewel de kwaliteit van de CoVadem dieptebevestiging op de rivieren veelbelovend is, blijken de CoVadem metingen in het havengebied nog niet bruikbaar in de huidige vorm. In veel gevallen is een afwijking in de CoVadem metingen zichtbaar ten opzichte van de multibeam metingen. Deze afwijking is verschillend per track, maar niet schip-afhankelijk. Voor deze afwijking zijn verschillende mogelijke oorzaken geïdentificeerd, waaronder de invloed van wisselende stroomsnelheid en -richting in het havengebied, zoutgehalte, en de aanwezigheid van een sliblaag. Deze factoren zijn allemaal getij-afhankelijk. Andere mogelijke oorzaken zijn gebruik van een afwijkende waterstand en een verschillende meettechniek ten opzichte van de multibeam metingen.

Omdat in veel gevallen de ruimtelijke variatie van de bodem wel goed wordt gemeten door CoVadem, is de verwachting dat de CoVadem metingen op termijn bruikbaar zijn ter vervanging van of aanvulling op de multibeam metingen, mits er gecorrigeerd wordt voor de genoemde factoren. Aanbevolen wordt om de bijdrage van al deze oorzaken aan de meetafwijking apart te onderzoeken. Hiervoor dienen locaties geselecteerd te worden waar de stroomsnelheid, zoutgehalte of dikte van de sliblaag bekend dan wel afwezig is. Hierbij wordt gedacht aan een selectie van meer bovenstroomse locaties, met de voorwaarde dat er referentiemetingen beschikbaar zijn. Ook het opstellen van een ruimtelijk snelheidsveld voor verschillende getijfasen kan helpen met het vaststellen van de invloed van stroomsnelheid en -richting op de meetafwijking.

Tot slot, een aantal meetschepen van het HbR is uitgerust met CoVadem meetapparatuur, zodat CoVadem metingen en referentiemetingen gelijktijdig en op dezelfde locatie kunnen worden uitgevoerd. De verwachting is dat deze gezamenlijke metingen bijdragen aan het vaststellen van de oorzaken van de meetafwijking.

Titel

Verkenning naar de bruikbaarheid van CoVadem meetgegevens voor Havenbedrijf Rotterdam

Opdrachtgever TKI-Deltatechnologie SmartPort Havenbedrijf Rotterdam	Project 11201209-001	Kenmerk 11201209-001-ZWS-0002	Pagina's 86
---	--------------------------------	---	-----------------------

Ook wordt er binnen MARIN en CoVadem BV continue gewerkt aan het verbeteren van de CoVadem dieptebepaling, wat de nauwkeurigheid en daarmee bruikbaarheid van de CoVadem metingen op termijn zal verbeteren.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mrt. 2018	Rolien van der Mark		Thijs van Kessel		Johan Boon	

Status
definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	CoVadem en Havenbedrijf Rotterdam	1
1.2	Doel en aanpak	2
1.3	Organisatie	2
2	Beschrijving beschikbare data en data-analyse	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Beschrijving beschikbare data	3
2.3	Dekkingsgraad CoVadem-data	5
2.4	Nauwkeurigheid CoVadem-data	8
3	Benodigde verbeteringen aan CoVadem data	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Filteren van de CoVadem meetgegevens	13
3.3	Correcties op de CoVadem data vanuit de fysica	14
3.3.1	Inleiding	14
3.3.2	Invloed stroomsnelheid	17
3.3.3	Invloed zoutgehalte	18
3.3.4	Invloed slib	18
4	Verkenning naar temporele bodemtrends	19
5	Conclusies en aanbevelingen	21
5.1	Conclusies	21
5.2	Aanbevelingen	21
5.3	Vooruitzichten	22
	Bijlage(n)	
A	Ruimtelijke dekking CoVadem-metingen	A-1
A.1	CoVadem-tracks in een periode van drie weken in de Achtste Petroleumhaven, Botlekhaven en Waalhaven	A-1
A.2	Bodemverandering in de periode tussen de multibeampeilingen in de Achtste Petroleumhaven, Botlekhaven en Waalhaven	A-4
B	Correlatieplots CoVadem- en multibeam-bodemligging	B-1
B.1	Achtste Petroleumhaven: 7 februari 2017 tot 27 februari 2017	B-1
B.2	Botlekhaven: 29 maart 2017 tot 18 april 2017	B-6
B.3	Waalhaven: 17 februari 2017 tot 9 maart 2017	B-12
C	Correlatie meetfout met stroming en zoutgehalte	C-1
C.1	Stroomsnelheid en –richting	C-1
C.2	Zoutgehalte	C-3
D	Zichtbaarheid temporele bodemtrends	D-5
D.1	Definitie polygonen	D-5

D.2 Afgeleide bodemtrends

D-5

E Afzonderlijke CoVadem-tracks in mei en juni 2016

E-1

1 Inleiding

1.1 CoVadem en Havenbedrijf Rotterdam

CoVadem (Coöperatieve Vaardiepte- en performance meting) is een gezamenlijk initiatief vanuit MARIN, Deltares, BTB en Autena Marine voor een betrouwbare en moderne data- & informatiedienst voor alle vaarwegbeheerders en -gebruikers. Na een verkenning op de Waal en Bovenrijn met positieve resultaten is een logische vervolgstap om te bezien in hoeverre de CoVadem metingen voor het HbR in het benedenrivierengebied toegevoegde waarde hebben. Er is een gezamenlijk TKI-Deltatechnologie project (DEL059) opgezet met een cash bijdrage van SmartPort en in-kind bijdrage van het HbR, waarin de volgende doelstelling is geformuleerd:

Doel is het bepalen van de bruikbaarheid en het perspectief van de CoVadem data voor het Havenbedrijf Rotterdam met betrekking tot bodemligging en luchtmissie, met het oog op effectief asset management, betere benutting van de infrastructuur, en de ambitie op het gebied van duurzaamheid.

In gezamenlijk overleg tussen de TKI-partners Deltares, MARIN, HbR en SmartPort, zijn de volgende activiteiten gedefinieerd:

- 1 Verkennend onderzoek naar de bruikbaarheid (dekkingsgraad, nauwkeurigheid) van de uit scheepsgegevens afgeleide bodemligging ter ondersteuning van reguliere bodempeilingen en de bepaling van de onderhoudsbehoefte in de havenbekkens (trekker Deltares);
- 2 Verkenning naar verband tussen hydro-meteo condities en havenaanslibbing (trekker Deltares);
- 3 Uitrusten van een aantal HbR patrouilleschepen (RPA's) met een CoVadem-box zodat de frequentie en dichtheid van de scheepsgegevens in het havengebied verder toenemen (trekker MARIN);
- 4 Onderzoek naar welke bijdrage de CoVadem data kan leveren aan het onderbouwen van aannames in het te ontwikkelen luchtmissiemodel voor de binnenvaart door HbR (trekker MARIN).

Bodemligging

De CoVadem gegevens kunnen worden gebruikt om de bodemveranderingen in de tijd t.g.v. sedimentatie en erosie in het Rotterdamse havengebied te monitoren. Als blijkt dat deze gegevens voldoende gebiedsdekkend, frequent en nauwkeurig zijn, zijn ze een waardevolle aanvulling op de reguliere bodemsurveys die vanuit het havenbedrijf plaatsvinden.

Op dit moment wordt regulier ingemeten (bijvoorbeeld iedere maand in de Botlek) op basis van ervaring en kennis binnen HbR. De potentiële meerwaarde van de CoVadem data is dat ze hoogfrequent zijn (meerdere schepen per dag varen de haven in en uit en doen iedere 1 of 2 seconde een meting). Daarmee kunnen de data van nut zijn bij het efficiënter inmeten van de havenbekkens, enerzijds via triggering bij overschrijding van een bodemligging (op dat moment kan besloten worden tot het doen van een survey en baggeractie), anderzijds via het verkrijgen van beter inzicht in aanslibbing, gekoppeld aan hydro-meteo events. De data kunnen inzicht leveren in waar, wanneer en hoe snel aanslibbingen ontstaan als gevolg van kortdurende gebeurtenissen zoals een storm of een hoogwater.

Dit inzicht kan niet worden verkregen met multibeam-metingen, die bijvoorbeeld eens in de zes weken worden ingewonnen.

Door CoVadem data continu te beschouwen en beoordelen, ook in combinatie met hydro-meteo gebeurtenissen, kan op termijn wellicht met minder multibeam-peilingen worden volstaan en/of kan gerichter worden gepeild.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van activiteit 1, de overige activiteiten zijn beschreven in afzonderlijke rapportages.

1.2 Doel en aanpak

De CoVadem data, omgerekend naar bodemligging, blijken een goede overeenkomst te vertonen met multibeam peilingen op de Bovenrijn en Waal (Van der Mark et al., 2015). Onder invloed van o.a. getij, deining, zoutgradiënten en bodemsamenstelling (zachte slibbodem) is de bepaling van de bodemligging in het havengebied echter aanzienlijk complexer dan in het (zandige) rivierengebied. De maximaal bereikbare nauwkeurigheid van de bodemligging na correctie voor de genoemde invloedsfactoren is een belangrijk aandachtspunt in dit onderzoek. Deze nauwkeurigheid bepaalt samen met de dekkinggraad in de ruimte en tijd de (toekomstige) meerwaarde van de CoVadem scheepsgegevens.

Het doel van deze verkenning is het verkrijgen van inzicht in de bruikbaarheid (dekkinggraad, nauwkeurigheid) van de uit scheepsgegevens afgeleide bodemligging ter ondersteuning van reguliere bodempeilingen en de bepaling van de onderhoudsbehoefte in de havenbekkens. In hoofdstuk 2 komen de dekkinggraad en nauwkeurigheid aan bod, in hoofdstuk 3 wordt aandacht besteed aan benodigde verbeteringen, en in hoofdstuk 4 wordt verkend of bodemtrends zichtbaar zijn.

Ter bepaling van de nauwkeurigheid zijn de CoVadem-metingen omgerekend naar bodemligging en vergeleken met door het HbR aangeleverde multibeam-peilingen.

1.3 Organisatie

De werkzaamheden binnen activiteit 1 zijn uitgevoerd door Deltares, MARIN en het Havenbedrijf Rotterdam. Het Deltares-team bestond uit Iris Niesten, Thijs van Kessel, Ebi Meshkati Shahmirzadi en Rolien van der Mark (PL). Vanuit het MARIN hebben de volgende personen een bijdrage geleverd: Anke Cotteleer, Meeuwis van Wirdum en Arno Bons. Vanuit het HbR waren Herman Meijer, Willem Snoek en Cindy Zwaan betrokken.

2 Beschrijving beschikbare data en data-analyse

2.1 Inleiding

Om de bruikbaarheid van de CoVadem-data in de haven van Rotterdam vast te stellen, is onderzoek gedaan naar de dekkingsgraad en nauwkeurigheid van de bodemligging, die door CoVadem-schepen is afgeleid. Dit hoofdstuk geeft allereerst een overzicht van de CoVadem data en data die geleverd zijn door het Havenbedrijf Rotterdam, en geeft daarna een analyse van de CoVadem-data.

2.2 Beschrijving beschikbare data

Om focus aan te brengen in het onderzoek, is er voor gekozen om het te richten op een beperkt deel van de gehele haven, te weten (a) een stabiele havenbekken (Waalhaven) en (b) een dynamische havenbekken (Botlek, 8^e Petroleumhaven). De locaties van deze onderzoeksgebieden zijn weergegeven in Figuur 2.1. De validatie van de CoVadem-data is gebaseerd op multibeam-peilingen geleverd door het havenbedrijf in deze drie havens. Het eerste half jaar van 2017 is beschouwd. *Tabel 2.1* geeft de gebruikte bodempeilingen weer. De frequentie waarmee de multibeam-bodempeilingen worden uitgevoerd, verschilt per havenbekken. Het is bekend dat de bodem van de Waalhaven weinig dynamisch is, hier wordt ongeveer iedere 6 weken gemeten. In de meer dynamische Botlekhaven is dit iedere maand.

Tabel 2.1 Beschikbare multibeam-bodempeilingen

Waalhaven	Botlekhaven	Achtste Petroleumhaven
01 nov 2016	27 dec 2017	21 dec 2016
21 jan 2017	30 jan 2017	7 feb 2017
17 feb 2017	1 mrt 2017	24 mrt 2017
31 mrt 2017	29 mrt 2017	16 mei 2017
17 mei 2017	03 mei 2017	29 jun 2017
15 jun 2017	21 mei 2017	
	30 jun 2017	



Figuur 2.1 Overzicht van de haven van Rotterdam en de locatie van A) de Achtste Petroleumhaven, B) de Botlekhaven en C) de Waalhaven.

Daarnaast heeft het Havenbedrijf een overzicht geleverd van alle baggeracties tussen januari en juli 2017. De precieze locatie van de baggeracties is hierin echter niet opgenomen; de locatie-aanduiding van alle acties bestaat uit de naam van de haven. Ook zijn de NGD-vakken aangeleverd (Nautisch gegarandeerde diepte). De diepte zal in werkelijkheid weinig afwijken van deze NGD, aangezien aanslibbingen zo snel mogelijk worden weggebaggerd, en er niet veel meer wordt weggebaggerd dan noodzakelijk.

Verder zijn er waterstandsmetingen geleverd van de meetstations Eemhaven, Europahaven, Tennesseehaven en Parkhaven. Daarnaast zijn data over temperatuur, chloride, wind en zicht geleverd.

Tot slot is de uitvoer van het OSR-model (Operationeel Stromingsmodel Rotterdam) geleverd voor de maanden mei en juni 2017. De uitvoer bevat gegevens over stroming en zoutgehalte voor iedere 10 minuten in de genoemde periode. De uitvoer-locaties van het model zijn verspreid over het hele havengebied; per havenbekken in *Tabel 2.1* zijn er vier uitvoerlocaties beschikbaar.

CoVadem data van de genoemde 3 havenbekkens en binnen de beschouwde periode van 1 januari tot 1 juli 2017 zijn opgevraagd via de zogenaamde API, die de CoVadem database bevraagt. De opgevraagde data bevatten voor iedere meting schip-ID, tijdstip van de meting, latitude, longitude, kielspeling en waterdiepte.

2.3 Dekkingsgraad CoVadem-data

In verband met de beoogde meerwaarde is het van belang dat de uit CoVadem-metingen afgeleide bodemliggingen beschikbaar zijn met hogere frequentie dan de huidige multibeam-peilingen. Ook moeten ze een voldoende groot oppervlak van de havenbekkens beslaan om de bodemligging ten opzichte van de maximale bodemligging (interventieniveau) vast te stellen of om een trend in bodemligging uit af te kunnen leiden.

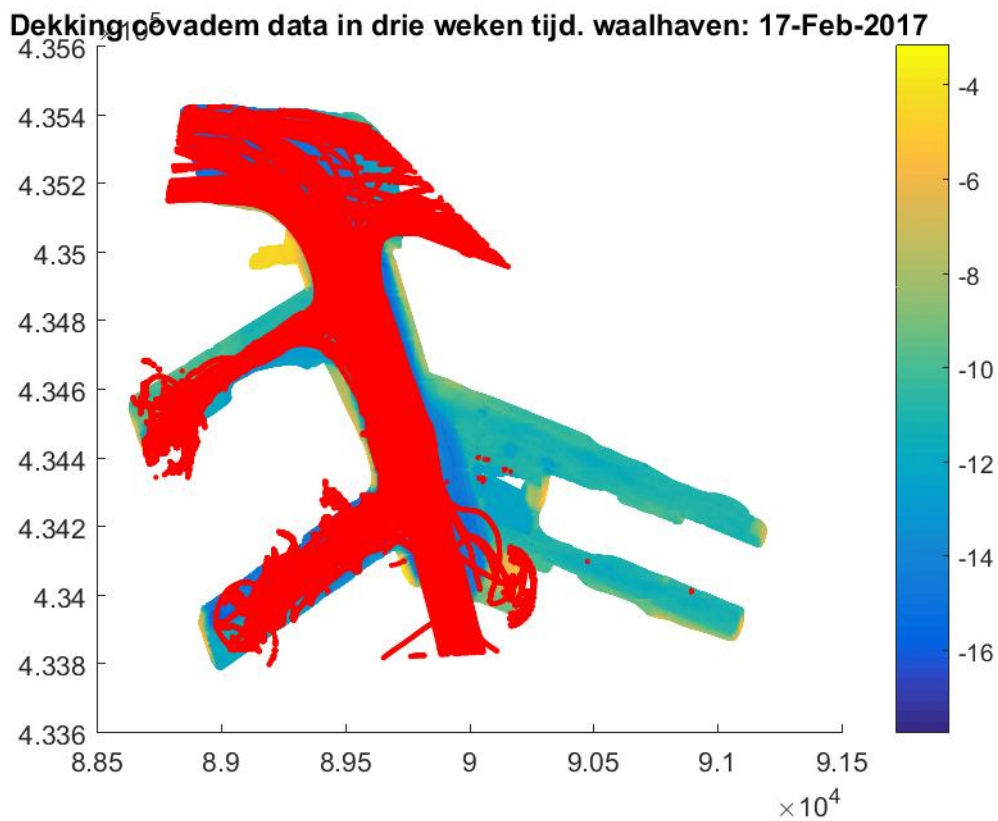
Figuur 2.2 en Figuur 2.3 geven de gevaren tracks door CoVadem-schepen aan in drie weken tijd in de Waalhaven. Vergelijkbare figuren voor een andere periode en voor de andere twee havenbekkens zijn opgenomen in Bijlage A.1. In de figuren is te zien dat, indien alle metingen bruikbaar zijn, de dekkingsgraad van CoVadem metingen in de Waalhaven ruim voldoende is om met hogere frequentie een bodemligging vast te stellen dan wanneer alleen gebruik wordt gemaakt van multibeam metingen. Deze haven wordt druk bezocht door binnenvaartschepen. De Botlekhaven (het deel van de haven waarvoor multibeam-peilingen zijn ontvangen) wordt bevaren door de CoVadem-vloot, zij het wat minder dan de Waalhaven. Bij de 8^e Petroleumhaven wordt niet aangelegd door binnenvaartschepen van de CoVadem vloot. Wel wordt er frequent langs gevaren, en zodoende wordt de aanvaarroute wel bemeten door CoVadem. Het verloop van de dekking over de tijd is wel wat wisselend. In de laatste week van het jaar voeren er bijvoorbeeld aanmerkelijk minder CoVadem schepen langs de Botlek.

De schepen hebben een duidelijke voorkeursroute, waardoor niet de gehele haven gedekt worden door de CoVadem vloot. Op de voorkeursroutes wordt met hoge frequentie gemeten. We kunnen constateren dat, in ieder geval op dit moment, de CoVadem data niet op alle locaties de multibeam peilingen volledig afdekt. Er wordt gewerkt aan verdere opschaling van de CoVadem-vloot, met een ambitie op te schalen tot circa 250 schepen. Hoe groter de vloot, des te groter wordt wellicht de dekking.

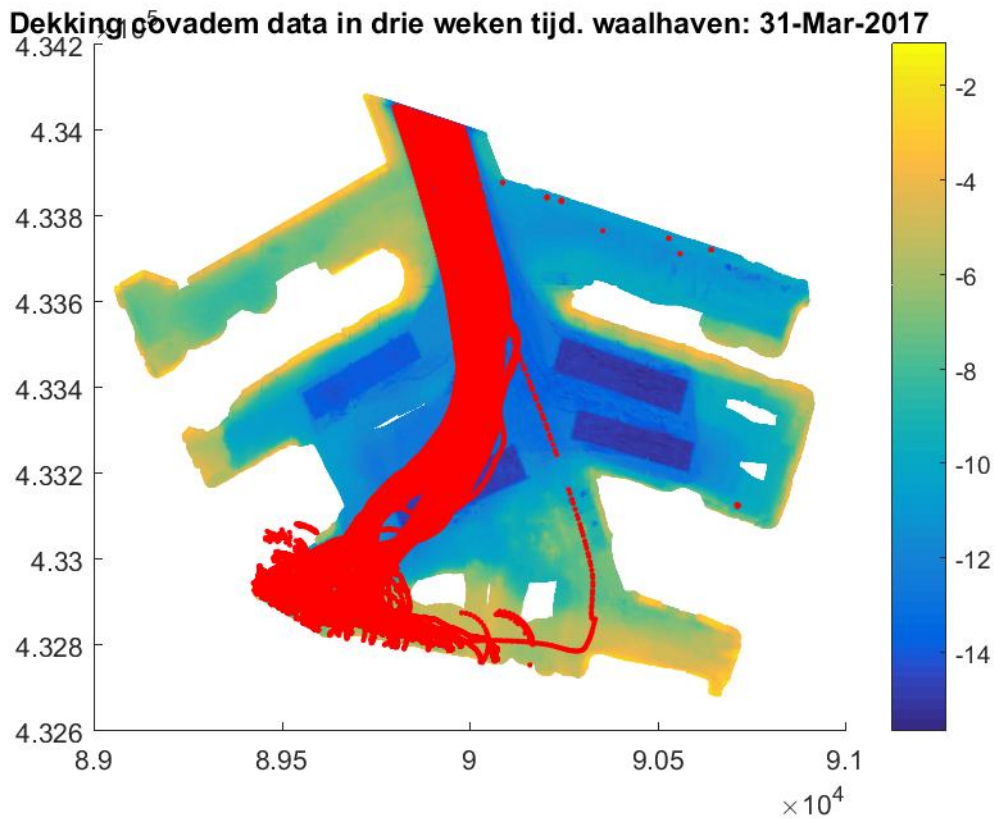
We hebben bekeken in hoeverre de tracks samenvallen met gebieden waar vaak baggerwerkzaamheden nodig zijn. In Bijlage A.2 zijn de bodemveranderingen voor de drie havenbekkens weergegeven. Deze bodemveranderingen zijn afgeleid van de multibeampeilingen (verschilplot). Hieruit kan worden opgemaakt dat de dichtheid van de CoVadem-metingen niet altijd overlapt met de locaties waar de bodem relatief sterk varieert door sedimentatie en baggeronderhoud, maar dat het dynamische deel van de Waalhaven wel goed bemeten wordt door CoVadem.

Een voordeel van CoVadem is dat de metingen worden voortgezet tijdens het aan- en afmeren. Er wordt dus regelmatig gemeten dicht bij de kades (zie ook Figuur 2.2 en Figuur 2.3). De multibeam-schepen van het Havenbedrijf kunnen hier niet altijd komen, omdat er een schip ligt aangemeerd, of aan het vertrekken of aankomen is. De positiebepaling hier gaat echter nog niet altijd goed, getuige de bogen die deels op de kade liggen in Figuur 2.4. Zodra een schip gaat manoeuvreren, zien we dit gebeuren. Dit is een bij MARIN bekend probleem dat opgelost dient te worden.

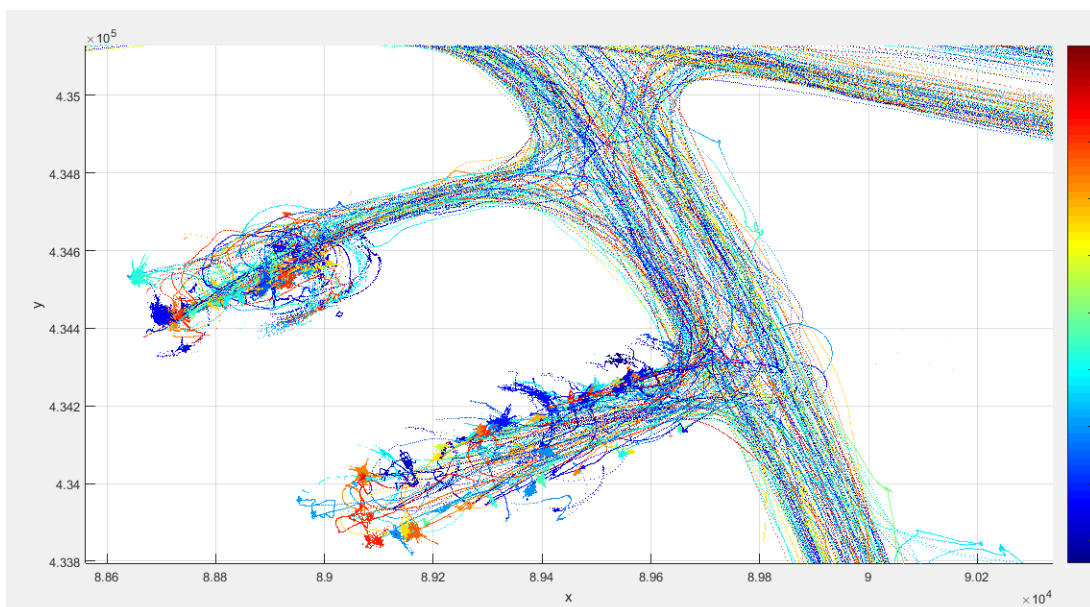
In de track figuren zijn alle CoVadem data weergegeven, die gedurende de tijdsspanne zijn gemeten. Dat wil zeggen, foutieve diepte-data zijn niet uitgefilterd. Deze figuren zijn bedoeld om te beschouwen in hoeverre de CoVadem binnenvaartvloot de havenbekkens aandoet, en dus wat de (toekomstige) potentie van de data is. Als de data nu nog niet van voldoende kwaliteit zijn, zijn ze dat wellicht in de toekomst wel, aangezien continu wordt gewerkt aan het verbeteren van de kwaliteit van de database.



Figuur 2.2 Gevaren tracks in drie weken tijd in de Waalhaven (Noord). De bodemligging op de achtergrond is afkomstig van de multibeam-peiling van 17 februari 2017.



Figuur 2.3 Gevaren tracks in drie weken tijd in de Waalhaven (Zuid). De bodemligging op de achtergrond is afkomstig van de multibeam-peiling van 31 maart 2017.



Figuur 2.4 Positiebepaling bij het aanmeren gaat niet altijd goed. Ingezoomd op een deel van de Waalhaven. De kleurenschaal geeft de tijd weer. Blauwe tracks zijn van 1 januari 2017, rode tracks van 30 juni 2017.

2.4 Nauwkeurigheid CoVadem-data

In deze sectie wordt een eerste nauwkeurighedsanalyse van beperkt gefilterde CoVadem-data beschreven. Aan de hand van deze eerste analyse konden daarna enkele aanvullende filtercriteria opgesteld worden (die worden beschreven in Sectie 3.2) en werd inzichtelijk welke fysische invloeden een belangrijke rol spelen en een correctie behoeven (Sectie 3.3).

De CoVadem vloot meet de diepte onder de kiel, er vindt daarom eerst nog een vertaalslag plaats van kielspeling naar waterdiepte, door gebruikmaking van een inzinkings- en vertrimmingsmodel en de gemeten diepgang van het schip tijdens stilliggen. Deze vertaalslag is ontwikkeld en geïmplementeerd door het MARIN, en wordt toegepast op alle inkomende metingen. Voor de hier gepresenteerde analyse is gebruik gemaakt van de CoVadem waterdieptes. Alvast vooruitlopend op de resultaten, er is gebleken dat deze vertaalslag nog verbetering behoeft, en de aanbeveling is dat MARIN en Deltares dit gezamenlijk oppakken.

De CoVadem waterdieptes die via de API zijn opgevraagd zijn beperkt gefilterd. Filters zijn enkel toegepast om onrealistische data te verwijderen. Dit houdt in:

- metingen met een kielspeling van >50 m en <0 m,
- metingen met een waterdiepte van -1 en -999 ,
- metingen waarbij de waterdiepte kleiner is dan de kielspeling.

Het is opgeslagen of en zo ja hoeveel data hiermee weggefilterd zijn.

Vervolgens zijn de CoVadem waterdieptes omgerekend naar bodemliggingen: bodemligging = waterstand minus waterdiepte. Hierbij is gebruik gemaakt van de aangeleverde gemeten waterstanden bij een aantal meetstations. Voor ieder CoVadem meetpunt is gezocht naar de waterstand op hetzelfde tijdstip (waterstand interpolatie in de tijd). De waterstandsstations die het dichtstbij de havenbekkens liggen zijn gebruikt. Er is geen variatie in de ruimte aangenomen. Het zou kunnen dat de waterstand in een bekken op een zeker tijdstip niet exact gelijk is aan de waterstand bij het meetstation. Wat het effect van deze aanname is, is niet goed bekend. Een tweedimensionaal model dat waterstandsvelden tot in de havenbekkens berekent en voor iedere minuut / paar minuten (om het waterstandsverloop goed te vatten) wegschrijft zou benodigd zijn om dit te toetsen.

Voor deze eerste analyse zijn CoVadem bodemliggingen vergeleken met de geleverde multibeam bodemliggingen. Er zijn scatterplots gemaakt waarin de CoVadem bodemligging is uitgezet tegen de multibeam bodemligging (zie Bijlage B). Hierbij zijn alleen CoVadem data gebruikt tussen 1 week voor, en 2 weken na de multibeam-peiling. Per CoVadem-meetpunt is de dichtstbijzijnde multibeam-meting gezocht.

Twee dingen vallen direct op:

1. De CoVadem-bodemligging volgt soms vrij goed de "line of perfect agreement" (juiste helling), maar daarnaast zijn veel meetpunten te zien die sterk afwijken. We zien (1) puntenwolken die ver af liggen van de "line of perfect agreement", (2) punten in een verticale lijn, (3) punten in een horizontale lijn. Verticale lijnen duiden op een CoVadem meting die "blijft hangen", de bodemligging op het gevaren traject is wel variabel maar CoVadem meet overal 1 waarde voor de kielspeling. Horizontale lijnen duiden op CoVadem meetpunten die "alle kanten op schieten", terwijl de bodem minder varieert of zelfs stabiel is. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een storing in de positiebepaling.

2. Daar waar de CoVadem-data de “line of perfect agreement” volgen, liggen de data meestal verschoven ten opzichte van de lijn.
Dat wil zeggen dat CoVadem de variatie in bodemligging goed volgt, maar een lagere of hogere bodemligging dan de multibeam meet. Het lijkt erop dat in de meeste gevallen de bodemligging uit CoVadem-data lager is dan de bodemligging uit multibeam-data.

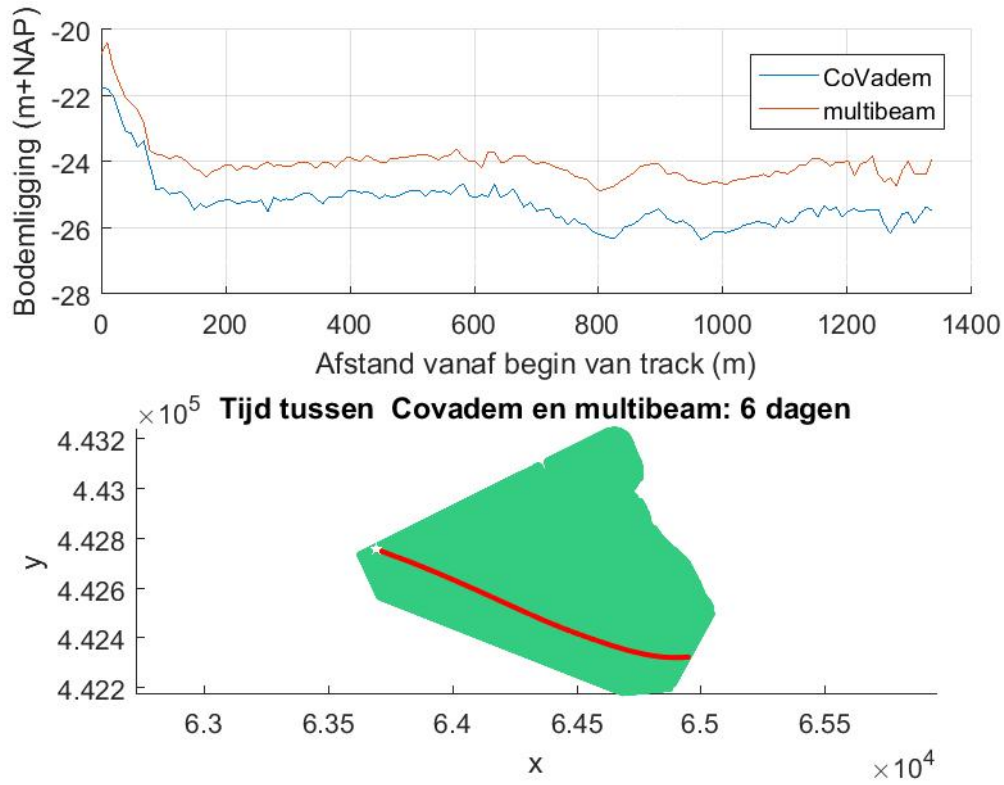
De lagere bodemligging uit CoVadem-data kan verschillende oorzaken hebben:

- Bij de omrekening van kielspeling naar waterdiepte wordt uitgegaan van zoet water (water met een dichtheid van 1000 kg/m^3). Door het hogere zoutgehalte ligt het schip in het havengebied minder diep in het water. Hierdoor is de diepgang bij de omrekening van kielspeling naar waterdiepte mogelijk te klein.
- Het kan zijn dat de frequentie van het echolood van CoVadem-schepen lager is dan die van de multibeam metingen. De CoVadem binnenvaartschepen meten met 200 kHz (bron: Anke Cotteleer), de RPA's meten met 200-400 kHz (bron: Willem Snoek). Bij een lagere frequentie dringt het signaal van een echolood dieper door in een eventuele sliblaag op de bodem.

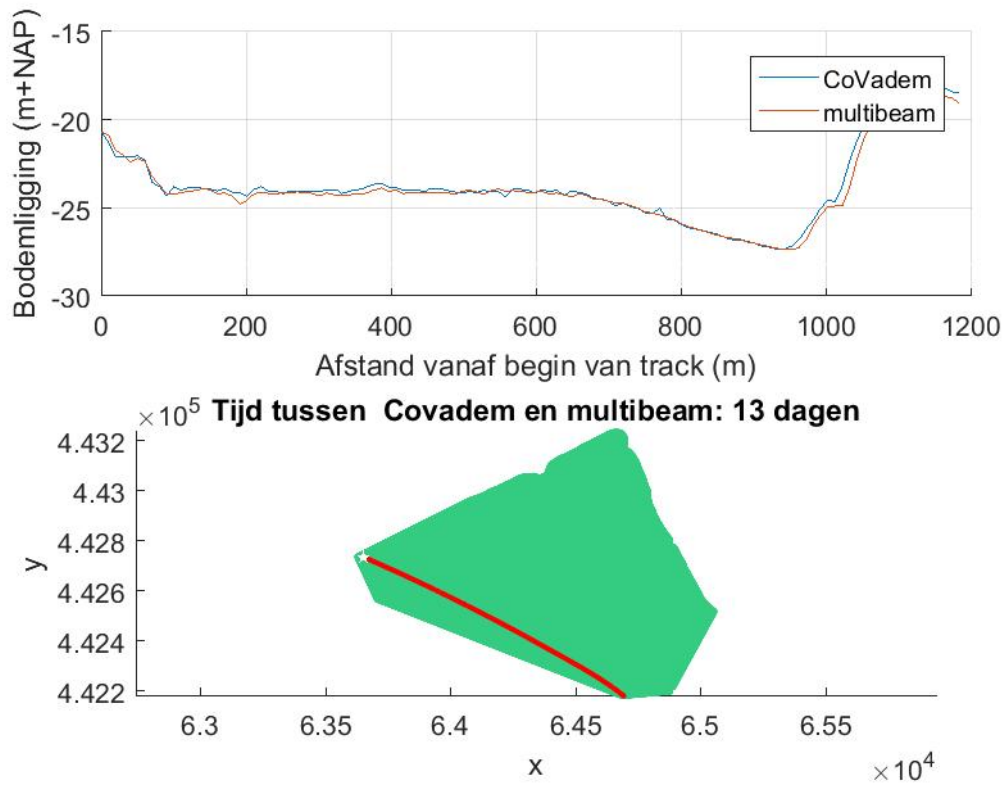
Deze oorzaken kunnen ertoe leiden dat CoVadem een lagere bodem meet. Tegelijkertijd kan een andere oorzaak echter het omgekeerde effect hebben. De geluidssnelheid ligt hoger in zout water dan in zoet water. Als de geluidssnelheid van een CoVadem echolood is ingesteld op de waarde voor zoet water, wordt er een kleinere diepte gemeten, in werkelijkheid is het dieper. Dit zou juist een hogere bodemligging tot gevolg hebben. Tot slot kan een klein verschil verklaard worden door bodemveranderingen in de periode tussen de CoVadem-meting en multibeam meting of kunnen verschillen in meettechniek tussen echolood en multibeam een bias veroorzaken.

De structurele afwijking of bias is niet schipafhankelijk, met andere woorden niet te verklaren doordat een schip structureel verkeerd zou meten. Dit laten we zien aan de hand van Figuur 2.5 en Figuur 2.6. Weergegeven zijn twee tracks in de Achtste Petroleumhaven, beide gevaren door hetzelfde schip. Hoewel de CoVadem-bodemligging het ruimtelijke patroon van de multibeam-bodemligging goed reproduceert, is in Figuur 2.5 is de CoVadem-bodemligging ongeveer 1 tot 1.5 m lager dan de multibeam-bodemligging. Deze bias is niet zichtbaar in Figuur 2.6, hoewel de diepte-data van hetzelfde schip komt. Hierbij dient wel genoemd te worden dat een afwijking in de dieptebepaling ook geïntroduceerd kan worden door een verkeerd ingestelde beladingsmeter.

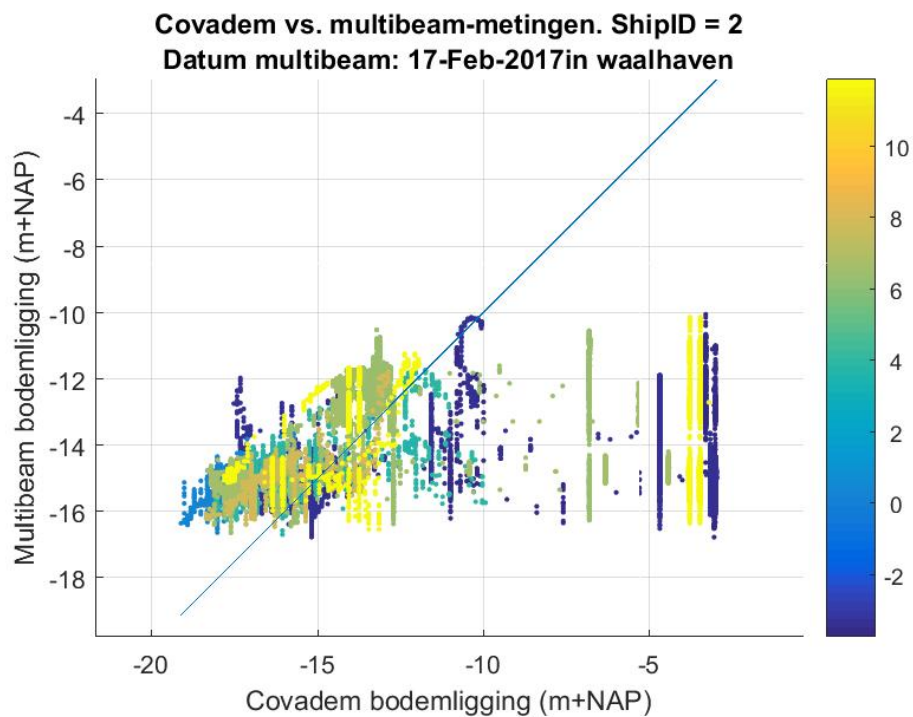
Naast de genoemde bias, zijn er ook andere fouten zichtbaar in de metingen (genoemd bij punt 1) die waarschijnlijk niet gerelateerd kunnen worden aan externe factoren, maar worden veroorzaakt door de meetapparatuur zelf (zoals signaal blijft hangen, GPS werkt niet goed). Een voorbeeld van dergelijke “foute data” is weergegeven in Figuur 2.7 (ook opgenomen in Bijlage B). In het volgende Hoofdstuk 3 wordt een aantal filters voorgesteld om deze data uit te filteren.



Figuur 2.5 Voorbeeld van de bias die vaak zichtbaar is in de CoVadem-data. De bodemligging volgens CoVadem ligt vaak dieper dan volgens de multibeam. De track in deze figuur is gevaren op 7 februari 2017. Zie Bijlage E voor meerdere tracks.



Figuur 2.6 Een andere track (21 december 2016), gevaren door hetzelfde schip als in figuur 2.3. In tegenstelling tot figuur 2.3 (let op het verschil in verticale schaal) ligt de CoVadem-bodemligging even hoog als de multibeam-bodemligging.



Figuur 2.7 Voorbeeld van een slecht metend schip.

3 Benodigde verbeteringen aan CoVadem data

3.1 Inleiding

Onder de noemer “meetfouten” kan onderscheid worden gemaakt tussen algemene meetfouten (zoals de “streperige” data), die zowel in het havengebied als op rivieren een rol kunnen spelen, en effecten die specifiek in het havengebied de CoVadem-dieptedata beïnvloeden. Voor deze effecten kan mogelijk gecorrigeerd worden. Meetfouten in de eerste categorie zijn meestal niet te corrigeren en worden daarom uitgefilterd. In dit hoofdstuk wordt een aantal filters voorgesteld om meetfouten van de eerste categorie uit de CoVadem-data te filteren (Sectie 3.2), en wordt ingegaan op de effecten die specifiek in het havengebied een rol spelen (Sectie 3.3).

3.2 Filteren van de CoVadem meetgegevens

De volgende algemene oorzaken van foutieve metingen zijn geïdentificeerd:

1. Het is bekend dat bij enkele schepen de GPS niet goed werkt en soms “blijft hangen”. De GPS geeft dan aan dat het schip stilligt, terwijl het in werkelijkheid vaart. Dit heeft tot gevolg dat er schijnbaar een verscheidenheid aan dieptes wordt gemeten voor één locatie (horizontale strepen in de “line of perfect agreement” figuren).
2. Het tegenovergestelde komt ook voor, veelal wanneer het schip aan het manoeuvreren is in de haven. Het schip ligt dan vrijwel stil, maar omdat de GPS-correctie niet werkt voor een andere heading dan 1, lijkt het in de geleverde coördinaten alsof het schip aan het varen is (verticale strepen in de “line of perfect agreement” figuren).
3. Afwijkende dieptes kunnen ook veroorzaakt worden door storingen in het echolood, luchtbellen van de eigen schroef of wanneer een schip dicht achter een ander schip vaart, of wanneer het schip dicht bij een kademuur ligt.

Naar aanleiding van de voornoemde oorzaken is een aantal filtercriteria opgesteld voor de CoVadem-data. De waardes die worden genoemd zijn tot stand gekomen via een iteratief proces:

1. Om fouten door een haperende GPS te verwijderen, worden CoVadem metingen bij een vaarsnelheid van minder dan 1 m/s uitgefilterd. We zouden ook kunnen bekijken of de waarde “hdop” gebruikt kan worden om een haperende GPS uit te sluiten.
2. Om metingen uit te filteren die zijn gedaan terwijl het schip stil ligt, is een lopende variantie (vergelijkbaar met een lopend gemiddelde) berekend over steeds 5 metingen. Metingen met een variantie tot 0.001 m zijn uitgefilterd.
3. Om onrealistische dieptes uit te filteren
 - a. kan worden gefilterd op waterdiepte. Er kan worden gefilterd op gemeten waterdiepte, bijvoorbeeld een waterdiepte van kleiner dan 2.8 m zal niet voorkomen. Ook kan worden gefilterd op contractdieptes. De bodemligging zal nooit ver afwijken van wat in het contract is vastgelegd; er kan een marge rondom de contractdiepte worden gekozen waarbinnen de data moet liggen. Zowel dieper als ondieper kan worden weggefilterd.
 - b. kan de correlatie tussen CoVadem bodemligging en multibeam bodemligging in de ruimte worden gebruikt als filter. Dit verdient de voorkeur boven het filteren op berekende verschillen.

Zoals eerder geconstateerd wijken CoVadem-metingen soms met enkele meters af van de multibeam-metingen, maar blijven bodemvariaties vergelijkbaar (de meting is alleen verticaal verschoven). Deze data zijn dus nog steeds waardevol, en met een filtercriterium dat gebaseerd is op absolute verschillen zouden deze metingen kunnen worden uitgefilterd.

Toepassing van bovenstaande filters leidt tot een afname van de hoeveelheid data met ongeveer 85 %. Hoewel dit leidt tot een sterke afname van de ruimtelijke dekking, wordt verwacht dat correctie van de data tot een grotere databeschikbaarheid leidt. Mogelijkheden tot het corrigeren van de overgebleven data worden besproken in de volgende sectie.

3.3 Correcties op de CoVadem data vanuit de fysica

3.3.1 Inleiding

Verwacht wordt dat de volgende factoren specifiek in het havengebied invloed hebben op de nauwkeurigheid van de CoVadem-data:

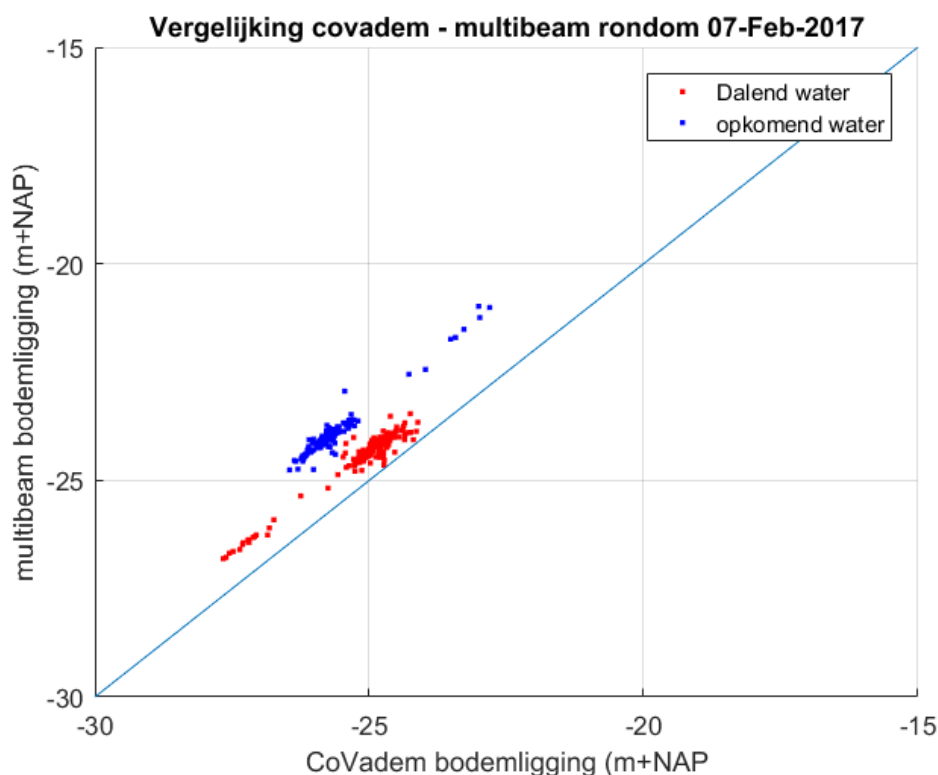
1. De stroomsnelheid. De stroomsnelheid wordt meegenomen in de berekening van de dynamische inzinking. Hiervoor wordt een constante stroomsnelheid en –richting aangenomen, wat op de Waal een redelijke eerste aanname is. De verwachting is echter dat deze aanname in het havengebied tot een verkeerde berekening van de waterdiepte leidt vanwege de aanwezigheid van getijstroming en andere oriëntatie van de takken.
2. Het zoutgehalte kan de diepte-bepaling door CoVadem-schepen op twee manieren beïnvloeden:
 - a. Door de hogere dichtheid van het zoute water, zullen schepen minder diep in het water liggen. Hiermee wordt geen rekening gehouden bij de omrekening van kielspeling naar waterdiepte.
 - b. In water met een hogere dichtheid plant geluid zich sneller voort. Hierdoor is het signaal van het echolood eerder terug bij de ontvanger, wat tot een onderschatting van de waterdiepte leidt.
3. De aanwezigheid van een sliblaag zorgt voor een “zachte” bodem. De multibeam-diepte-bepalingen van het Havenbedrijf meten de diepte van de bovenkant van de sliblaag, dus waar de “zachte” bodem begint. Binnenvaartschepen meten met een minder geavanceerd echolood en wellicht met een lagere frequentie, waardoor het signaal dieper doordringt in de bodem, en de overgangsdiepte tussen de zachte bodem en de harde zandlaag eronder wordt gemeten.

De invloed van variaties in watertemperatuur op de initiële diepgang, squat-berekening en het signaal van het echolood worden verwaarloosbaar verondersteld (pers. comm Anke Cotteleer, MARIN).

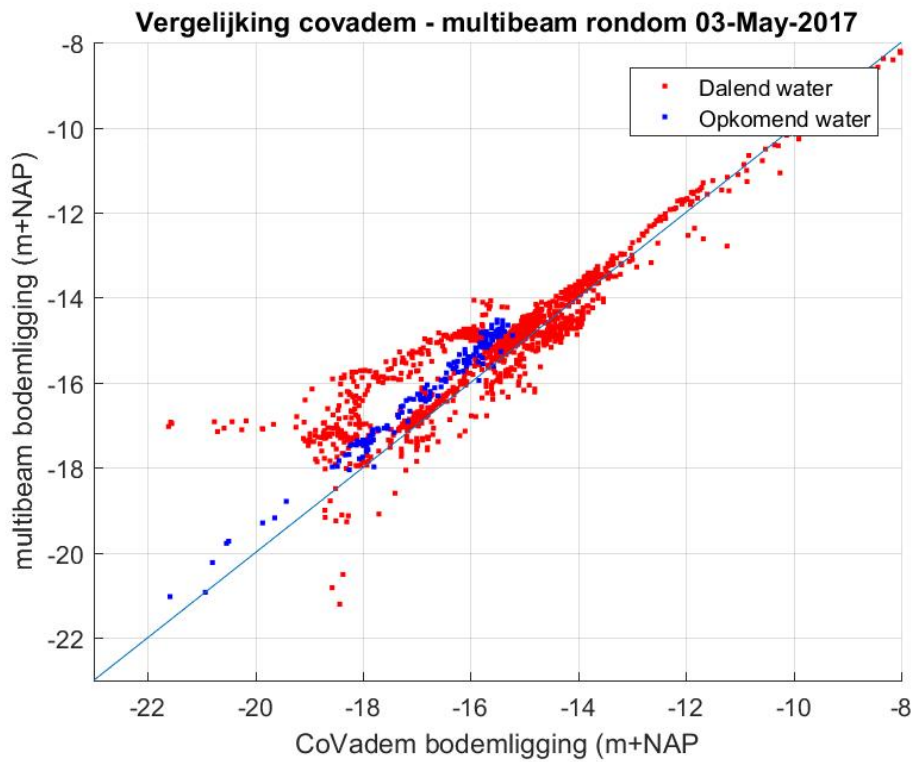
Naast genoemde fysisch gerelateerde aspecten is het mogelijk dat er implementatiefouten of invoerfouten aanwezig zijn in de gehele processing van kielspeling tot waterdiepte. Er wordt momenteel binnen MARIN aan gewerkt om dit te controleren en verbeteren. Zo is geconstateerd dat de squat-berekening soms geen of irreële uitkomsten geeft (mathematisch issue) en worden alle scheepsgegevens in de database gecontroleerd.

In deze sectie is per haven gekeken naar de afwijking van de CoVadem-bodemligging ten opzichte van de multibeam-bodemligging. In de navolgende analyses/figuren is gebruik gemaakt van een set data, die is overgebleven na toepassing van de filters uit de vorige sectie.

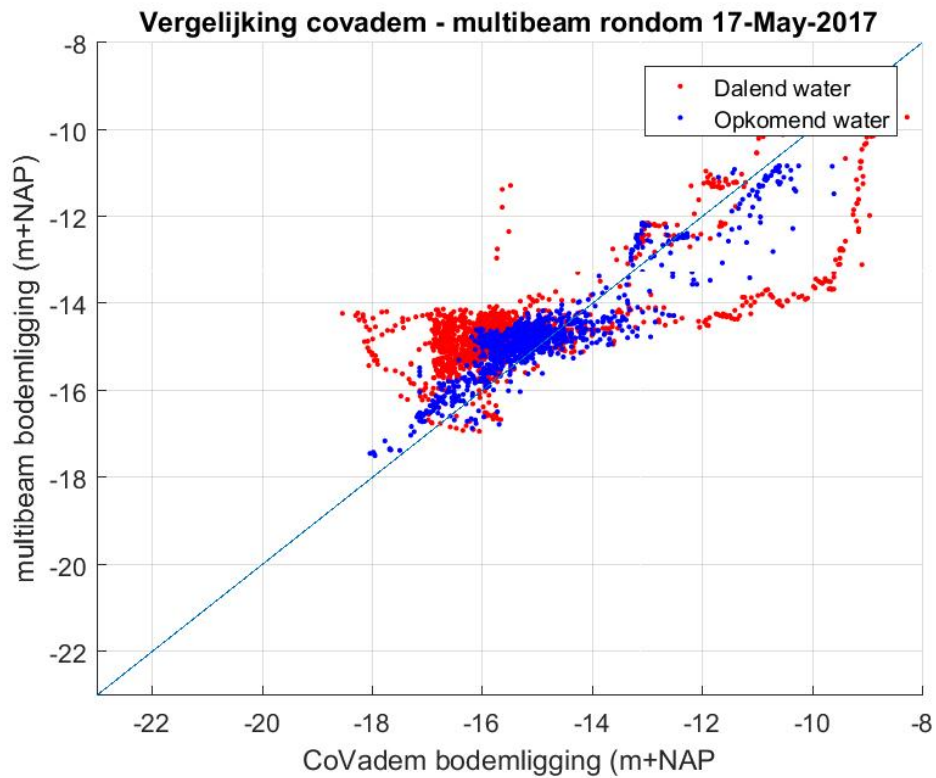
Alle drie de genoemde factoren zijn sterk afhankelijk van de getijfase. De invloed van opkomend en dalend water is voor de drie havenbekkens weergegeven in Figuur 3.1, Figuur 3.2 en Figuur 3.3. Hierbij is “opkomend water” gedefinieerd als de periode van één uur na laag water tot één uur voor hoogwater, en “dalend water” als de periode tussen één uur na hoogwater en één uur voor laagwater bij het dichtstbijzijnde waterstandstation. Het grootste effect van getij op de nauwkeurigheid (resultierend in ongeveer 1 m verschil tussen opkomend en dalend water) van de CoVadem-data is te zien in de Achtste Petroleumhaven. In de Botlekhaven en Waalhaven zijn de verschillen aanzienlijk kleiner. De invloed van getij op de nauwkeurigheid van de data neemt volgens verwachting dus af in bovenstroomse richting. Om te onderzoeken wat de relatieve invloed van de genoemde factoren is, is de uitvoer van het OSR-model gebruikt. Voor deze studie is de OSR-uitvoer over de maanden mei en juni 2017 beschikbaar gesteld. De uitvoer bevat historische stroomsnelheid en -richting en zoutgehaltes aan het wateroppervlak en op de bodem. De invloed van de aanwezigheid van slib kan hiermee dus niet gekwantificeerd worden.



Figuur 3.1 Invloed van getij op verschil tussen de CoVadem-bodemligging en multibeam-bodemligging in de Achtste Petroleumhaven.



Figuur 3.2 Invloed van getij op verschil tussen de CoVadem-bodemligging en multibeam-bodemligging in de Botlekhaven.



Figuur 3.3 Invloed van getij op verschil tussen de CoVadem-bodemligging en multibeam-bodemligging in de Waalhaven.

3.3.2 Invloed stroomsnelheid

De dynamische inzinking (of squat) wordt mede bepaald door de relatieve snelheid van het schip, dus de vaarsnelheid ten opzichte van de stroomsnelheid van het water, waarbij een hogere relatieve stroomsnelheid resulteert in een grotere squat. De squat is hierbij afhankelijk van de relatieve vaarsnelheid in het kwadraat. In de huidige squat-berekeningen wordt uitgegaan van een constante stroomsnelheid van 0.75 m/s in westelijke richting. De grootste fout wordt daarom verwacht bij vloed, wanneer het water in oostelijke richting stroomt. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met veranderende stromingsrichtingen in de havenbekkens zelf. Bij de berekening van de dynamische inzinking en vertrimming wordt door CoVadem gebruik gemaakt van de formules van Ankudinov (Briggs, 2009). De maximale inzinking wordt hiermee berekend als functie van de “midden-inzinking” en de vertrimming, waarbij de inzinking wordt berekend als:

$$S_m = (1 + K_p^S) P_{Hu} P_{F_{nh}} P_{+h/T} P_{Ch1} \quad (1)$$

Om de invloed van stroomsnelheid te bepalen is voornamelijk de “snelheidsparameter”, $P_{f_{nh}}$, van belang. De snelheidsparameter wordt bepaald als:

$$P_{f_{nh}} = F_{nh}^2 / \sqrt{1 - F_{nh}^2} \quad (2)$$

waarin F_{nh} het Froude-diepte getal is. Het Froude-diepte getal wordt vaker gebruikt in de hydrodynamica van scheepstoepassingen, en is gedefinieerd als:

$$F_{nh} = V_s / \sqrt{gh} \quad (3)$$

Waarin V_s de relatieve vaarsnelheid is, g is de valversnelling en h de waterdiepte. De waterdiepte komt ook terug in de andere termen in vergelijking (1). De squatberekening van de CoVadem-schepen is dus een iteratief proces, omdat de waterdiepte onbekend is. De relatieve vaarsnelheid is de snelheid van het schip ten opzichte van de stroomsnelheid van het water. Bij een vaarsnelheid van 4 m/s en een stroomsnelheid van 0.75 m/s in tegengestelde richting, is de relatieve vaarsnelheid dus 4.75 m/s. Stroomt het water met dezelfde snelheid de andere kant op, dan is de relatieve vaarsnelheid 3.25 m/s. Als we dit met een waterdiepte van 10 m invullen in vergelijking (1), is het Froude diepte-getal in het eerste geval gelijk aan 0.475, en in het tweede geval aan 0.325. Dit betekent dat de snelheids-parameter $P_{f_{nh}}$ wordt geschat op 0.29 in plaats van op 0.325. Het draaien van de stromingsrichting kan dus een afwijking van ruim 3% veroorzaken in de squatberekening. Er vanuit gaande dat de dynamische inzinking 1 tot 2 m bedraagt, komt dit neer op een fout van ongeveer 5 cm tijdens vloed. Of deze bias positief of negatief is, hangt af van de vaarrichting van het schip.

Om te controleren of deze theoretische afwijking ook in de metingen zichtbaar is, is in Bijlage C.1 per haven het verschil tussen multibeam-bodemligging en CoVadem-bodemligging geplot samen met de stroomsnelheid en –richting. In de figuren is echter geen correlatie zichtbaar tussen de meetfout en stroming. Eén verklaring hiervoor is dat ook zout en slib en mogelijk andere factoren de kwaliteit van de meting beïnvloeden. Een andere verklaring ligt in het gebruik van de stromingsdata. Stroomsnelheid en –richting zijn geleverd op enkele observatiepunten, die in alle gevallen buiten de haveningang liggen. De stromingsrichting in de haven zelf (waar de vergelijking tussen CoVadem en multibeam is gedaan) kan sterk verschillen van de stromingsrichting in de hoofdvaarweg. De huidige manier van het koppelen van CoVadem-data aan stromingsdata is dus niet voldoende om een correlatie te bepalen tussen stroming en meetfout.

3.3.3 Invloed zoutgehalte

Het effect van het zoutgehalte op de inzinking kan oplopen tot enkele decimeters. Als een zoutgehalte verondersteld wordt van 20 – 30 g/L, neemt de dichtheid van het water toe tot ongeveer 1020 kg/m³. Dit is een toename van 2% ten opzichte van zoet water. Hierdoor daalt de relatieve dichtheid van het schip ten opzichte van het water, en daarmee de inzinking van het schip met 2%. Als de inzinking in zoet water 5 m bedraagt, is de inzinking in zout water 10 cm minder. De kleinere inzinking resulteert in een overschatting van de waterdiepte.

Het effect van het zoutgehalte op de geluidssnelheid daarentegen leidt tot een onderschatting van de waterdiepte. Bij een temperatuur van 5 °C is de geluidssnelheid in water met zoutgehalte van 25 g/L ongeveer 13 m/s hoger dan in zoet water (Formule van Medwin). Dit is ongeveer 1 % van de originele geluidssnelheid.

Het zoutgehalte beïnvloedt de dieptemeting dus op twee manieren, die deels voor elkaar compenseren. Toch wordt niet verwacht dat het effect op geluidssnelheid en het effect op inzinking elkaar volledig teniet doen. De inzinking wordt voornamelijk beïnvloed door het zoutgehalte bovenin de waterkolom. De grootte van de afwijking in geluidssnelheid wordt bepaald door het zoutgehalte in de gehele waterkolom. Het “geluidseffect” zal dus dominant zijn op locaties met gemengd zoet en zout water. Meer richting zee, waar het zoutgehalte over de waterkolom relatief constant is, verschuift deze verhouding en wordt de afwijking van de geschatte inzinking groter.

Ook hier is de meetfout (afwijking tussen multibeam-bodemligging en CoVadem-bodemligging) uitgezet tegen het zoutgehalte boven- en onderin de waterkolom. De resultaten voor de drie havens zijn weergegeven in Bijlage C.2. Er is geen correlatie tussen zoutgehalte en meetfout zichtbaar. Net als in het geval van de stroomsnelheid wordt dit waarschijnlijk veroorzaakt doordat meerdere factoren een rol spelen.

De zouttong komt ongeveer tot aan de Botlekhaven. We verwachten dat het effect van zout bovenstrooms van de Botlek nauwelijks tot niet meer aanwezig is. Dit gegeven zouden we kunnen gebruiken om, in een vervolgstudie, de invloed van zout verder te onderzoeken.

3.3.4 Invloed slib

De frequentie van een echolood bepaalt in hoeverre de geluidspuls doordringt in een zachte bodem. De dikte van de sliblaag kan oplopen tot enkele meters in de havenbekkens. De multibeam-peilingen van het Havenbedrijf maken gebruik van een frequentie van 200-400 kHz. Navraag wijst uit dat de meeste CoVadem-schepen een echolood gebruiken met een frequentie van 200 kHz. Het doordringen van het akoestisch signaal in slib gaat pas een significante rol spelen in de lagere frequenties (<100 kHz). Dat zou betekenen dat in de afwijking tussen CoVadem en multibeam de invloed van slib beperkt is. Het verdient aanbeveling om nogmaals na te gaan of de CoVadem-schepen inderdaad 200 kHz gebruiken.

4 Verkenning naar temporele bodemtrends

Om te verkennen of temporele trends kunnen worden bepaald uit de CoVadem metingen, is een set “goede data” beschouwd. Uit de vergelijking tussen gefilterde en beperkt-gefilterde data blijkt dat er een aantal schepen is, dat meestal goede data levert. Voor de volgende analyse is alleen data gebruikt van de drie best presterende schepen. Om een redelijke hoeveelheid data te behouden, zijn de meetgegevens van deze drie schepen niet verder gefilterd.

Een belangrijke toepassing van CoVadem-metgegevens voor het Havenbedrijf Rotterdam bestaat uit het afleiden van bodemhoogte-informatie met een grote temporele dichtheid. Hoewel in het vorige hoofdstuk duidelijk is geworden dat de huidige volledige dataset nog veel meetfouten bevat, is er aan de hand van drie goed metende schepen onderzocht of bodemtrends inderdaad zichtbaar zijn. Daarvoor zijn in de Waalhaven en de Achtste Petroleumhaven vier polygonen gedefinieerd met een diameter van 50 m. Een overzicht van deze polygonen is te vinden in Bijlage D.1. De resultaten per polygoon zijn te vinden in Bijlage D.2. De figuren in deze bijlage geven ook de door HbR geleverde baggeracties weer.

Verwacht wordt dat er in de CoVadem-metingen een stijgende trend te zien is, omdat de bodem langzaam aanslibt in de tijd. Tijdens het baggeren zou de bodemligging weer omlaag moeten gaan. In werkelijkheid is er in geen van de polygonen een dergelijke duidelijke trend zichtbaar. Dit kan verschillende oorzaken hebben:

- In hoofdstuk 2 is al aangegeven dat de precieze locatie van baggeren niet bekend is. Als locatie-aanduiding wordt slechts de naam van de haven genoemd. Alle baggeracties voor de Waalhaven zijn dus opgenomen in de plots van de Waalhaven. Het is echter onwaarschijnlijk dat alle baggeracties hebben plaatsgevonden in één van de vier polygonen. Om werkelijk informatie te onttrekken aan de baggeracties, wordt aangeraden om een precieze locatie-aanduiding op te vragen.
- De polygonen zijn in eerste instantie gedefinieerd op basis van de verwachte dynamiek op de locaties. De bodemligging binnen de polygonen varieert echter, waardoor het berekenen van een gemiddelde bodemligging verschillende resultaten kan geven, afhankelijk van de gevaren route door de polygoon.
- In de figuren is ook de gemiddelde multibeam-bodemligging geplot, wanneer beschikbaar. Er is duidelijk te zien dat de variatie tussen de multibeam-metingen in alle gevallen kleiner is dan de variatie tussen de CoVadem-metingen. Dit duidt erop dat de grote variatie tussen de CoVadem-metingen niet veroorzaakt wordt door aanslibbing, erosie en baggeren, maar dat de CoVadem-metingen van verschillende kwaliteit zijn. In Hoofdstuk 3 is al geconstateerd dat de CoVadem-metingen vaak een afwijking hebben ten opzichte van de dichtstbijzijnde multibeam-metingen, en dat deze afwijking varieert per track, en dat er invloed is van zout, slib, en stroomsnelheid. Waarschijnlijk is de voor deze analyse samengestelde “goede dataset” toch nog van onvoldoende kwaliteit. Als de beschouwde tracks netjes de bodemvariaties volgen, maar de tracks soms een verticale offset hebben en soms niet, dan is een trendanalyse lastig. Tracks met gelijke offset zouden beschouwd moeten worden.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In dit rapport is onderzocht of de CoVadem-meetgegevens bruikbaar zijn als (directe of indirecte) bodempeiling in het Havengebied Rotterdam. De dekking van de CoVadem-meetgegevens bleek behoorlijk: het zou dus gezien de dekking mogelijk moeten zijn om de bodemontwikkeling te volgen met een hogere frequentie dan met de huidige multibeam-surveys. De binnenvaartschepen die nu bij CoVadem zijn aangesloten doen echter niet alle bekkens van de haven aan. Verder kunnen de CoVadem-data ingezet worden voor bodembepalingen dichtbij kades, locaties waar de multibeam-gegevens niet altijd beschikbaar zijn. Voordat dit mogelijk is, dient echter de locatiebepaling tijdens manoeuvreren verbeterd te worden.

Een eerder onderzoek naar de nauwkeurigheid van de CoVadem-meetgegevens op de Waal (Van der Mark et al., 2015) gaf goede resultaten. De belangrijkste conclusie volgend uit de huidige analyse is echter dat de CoVadem-meetgegevens in de huidige vorm nog niet bruikbaar zijn ter aanvulling of vervanging van de multibeam-data. Onze verwachting is dat, door verder onderzoek naar de oorzaken van meetafwijking en door de data op basis hiervan te corrigeren, de CoVadem data op termijn wel meerwaarde kan hebben voor het havenbedrijf.

De bodemligging volgend uit de CoVadem meetgegevens heeft vaak een bias ten opzichte van de bodemligging uit de multibeam gegevens. Deze bias verschilt per scheepstrack, en is niet afhankelijk van het schip. Omdat de bias verschilt per track is het nog niet mogelijk om bodemtrends (erosie, sedimentatie) af te leiden uit de CoVadem-data zonder deze data te corrigeren of de bias anderszins op te heffen. Er zijn verschillende factoren geïdentificeerd waarvoor de CoVadem-data gecorrigeerd moet worden, namelijk de stroomsnelheid en stroomrichting, zoutgehalte zowel boven als onderin de waterkolom, en de aanwezigheid van slib op de bodem. Er is geconstateerd dat de fout (het verschil tussen CoVadem- en multibeam-bodemligging) afhankelijk is van de getijfase en groter is tijdens opkomend tij. Omdat zoveel factoren de metingen beïnvloeden is echter nog niet vastgesteld welk aandeel elk van de factoren heeft op de fout en hoe er gecorrigeerd kan worden.

5.2 Aanbevelingen

Om een correctie van de data mogelijk te maken, moet eerst onderzocht worden welke invloed de genoemde factoren apart hebben. In de huidige analyse is gebleken dat vooral nauwkeurige informatie over de stroomsnelheid en de dikte van de sliblaag op de bodem lastig te verkrijgen zijn. Beide hangen af van de getijfase; in het geval van de stroomsnelheid speelt nog mee dat water de havenbekkens in en uit stroomt, waarbij de stroomrichting op kleine schaal verandert. Er wordt aangeraden om op basis van het OSR-model karakteristieke snelheidsvelden te creëren met een hoge ruimtelijke dichtheid voor verschillende getijfasen. Dit kan dienen als basis om te onderzoeken hoe groot de werkelijke afwijking, veroorzaakt door stroming is. Afhankelijk van de uitkomst kan een dergelijk snelheidsveld ook helpen om de data te corrigeren.

In deze studie zijn CoVadem-data vergeleken met multibeam-data in drie verschillende havenbekkens. Voor een vervolgonderzoek wordt aangeraden om locaties te selecteren waarop de invloed van zout, slib of stroomsnelheid, bekend of uitgesloten is.

Voor het onderzoek resulteert dit waarschijnlijk in één of meer bovenstroomse locaties, waar bijvoorbeeld wel getij (variërende stroomrichting), maar geen zout of slib aanwezig is. Voorwaarde voor een dergelijke analyse is wel dat er referentiemetingen (multibeam) beschikbaar zijn op deze locaties.

Tot slot verdient het aanbeveling om te toetsen of de gebruikte waterstand bij meetstations representatief zijn voor de waterstand in de bekkens. Bijvoorbeeld staande golven in havenbekkens of opstuwung door wind, kunnen resulteren in een ruimtelijke variatie van de waterstand. In het geval van een faseverschuiving tussen het waterstandstation en CoVadem-meetlocatie kan het OSR-model duidelijkheid bieden. Voor variaties op kortere termijn of kleinere schaal zou meer gedetailleerde waterstandsdata nodig zijn. Het verdient aanbeveling om na te gaan welke correcties er gedaan worden op de metingen van de reguliere bodempeilingen.

5.3 Vooruitzichten

Onderdeel van dit project was onder andere om enkele patrouilleschepen van het Havenbedrijf (RPA's) uit te rusten met CoVadem-apparatuur. Hiermee kunnen CoVadem- en multibeam tegelijkertijd en op dezelfde locatie worden ingewonnen. De verwachting is dat dit waardevolle data levert over de oorzaken van de meetafwijking.

Daarnaast wordt, buiten dit project, door CoVadem continue gewerkt aan het verbeteren van de omrekening van kielspeling naar waterdiepte. Hieronder valt in ieder geval een aanpassing van de squat-berekening. Verder worden er momenteel nieuwe schepen aan de meetvloot toegevoegd. De verwachting is dat dit de dekking en mogelijk ook de bruikbaarheid van de meetgegevens vergroot.

Referenties

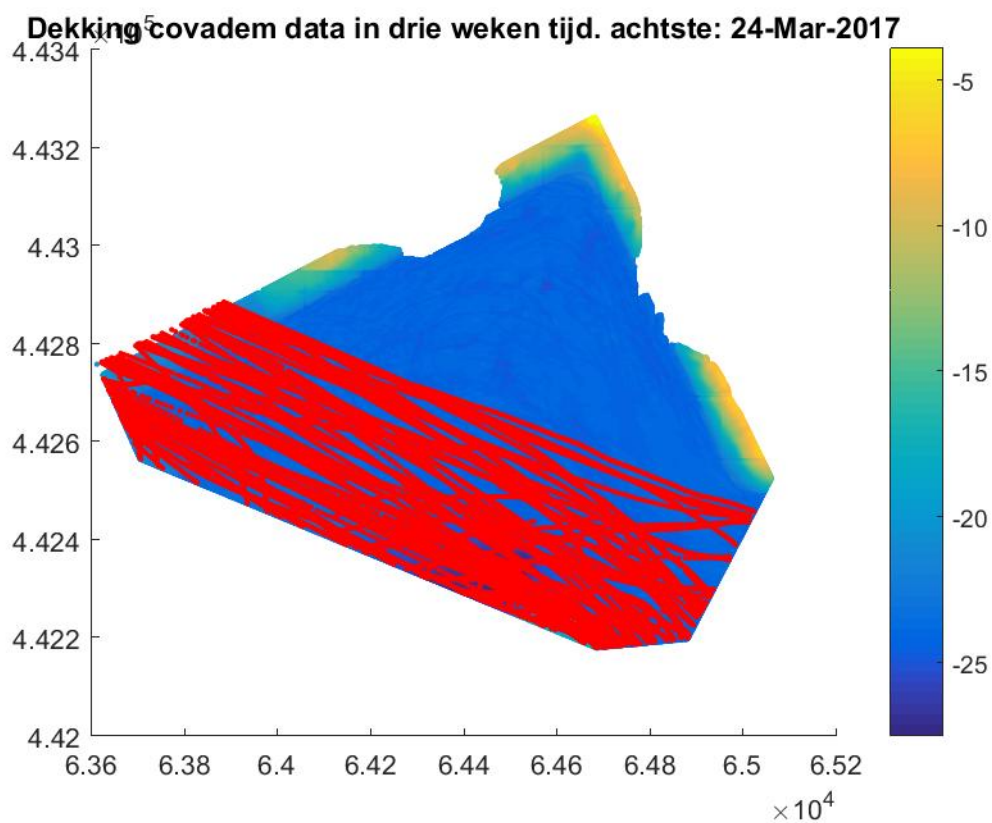
Briggs, M. (2009). Ankudinov ship squat predictions - Part I: Theory, parameters and FORTRAN programs. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

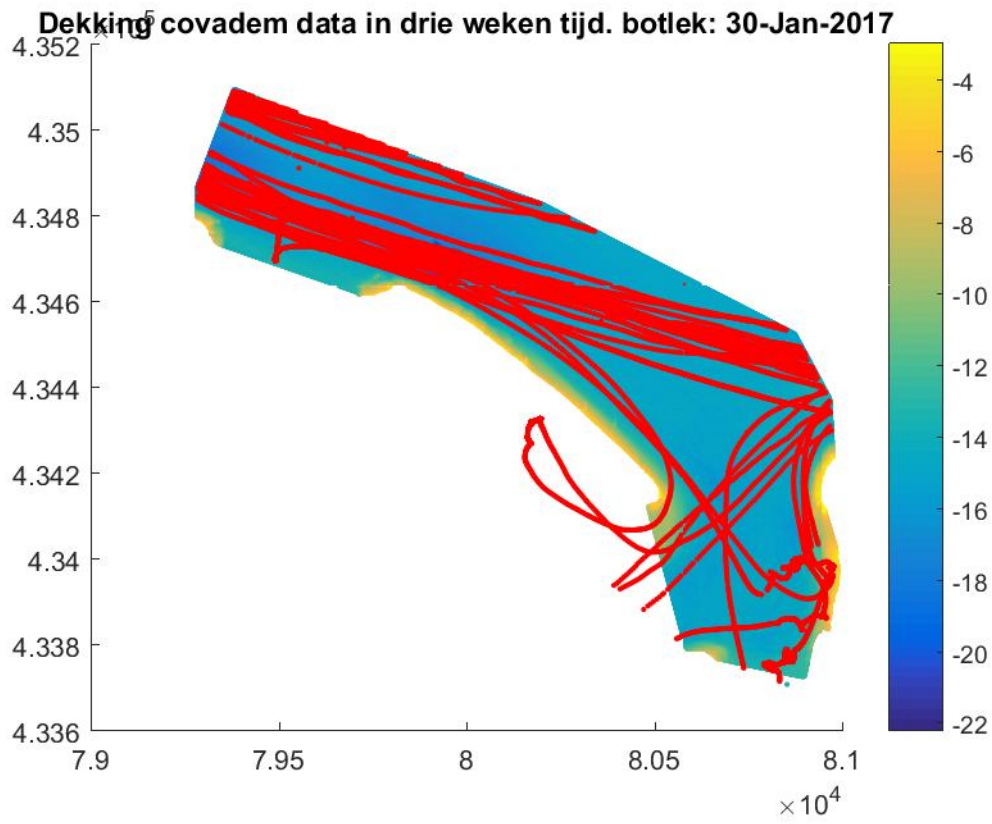
Van der Mark, C.F., T. Vijverberg & W. Ottevanger (2015). Validation of Actual Depth Measurements by Inland Vessels, PIANC Smart Rivers 2015 Buenos Aires, Argentina.

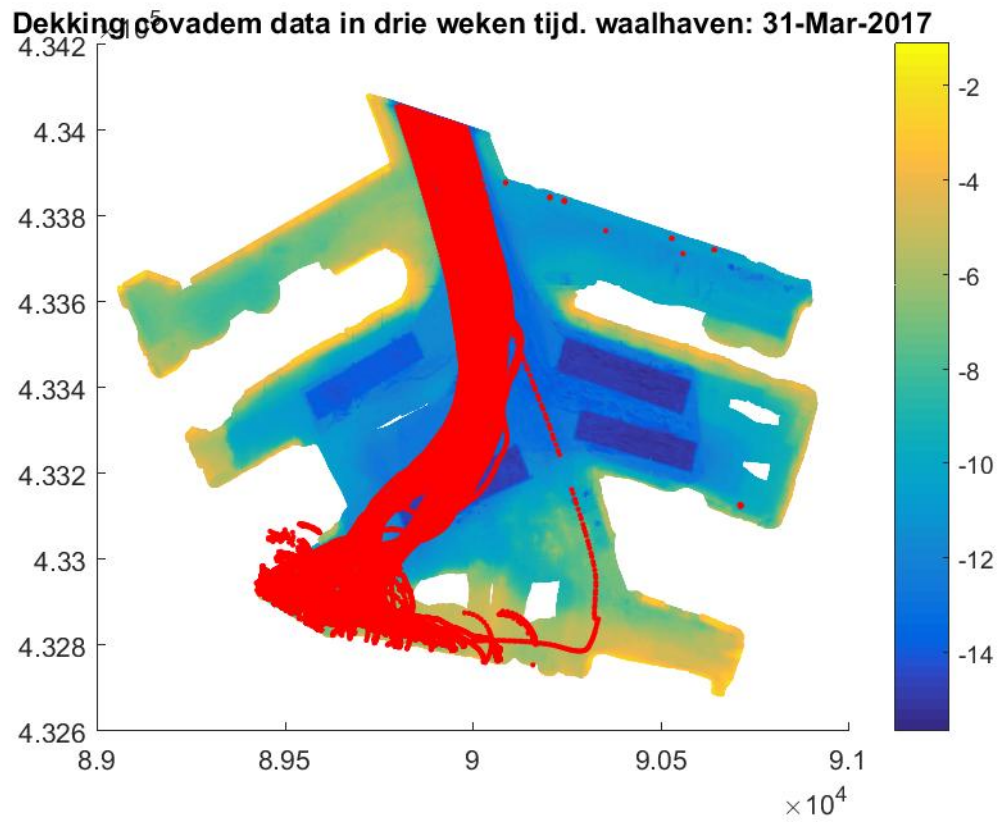
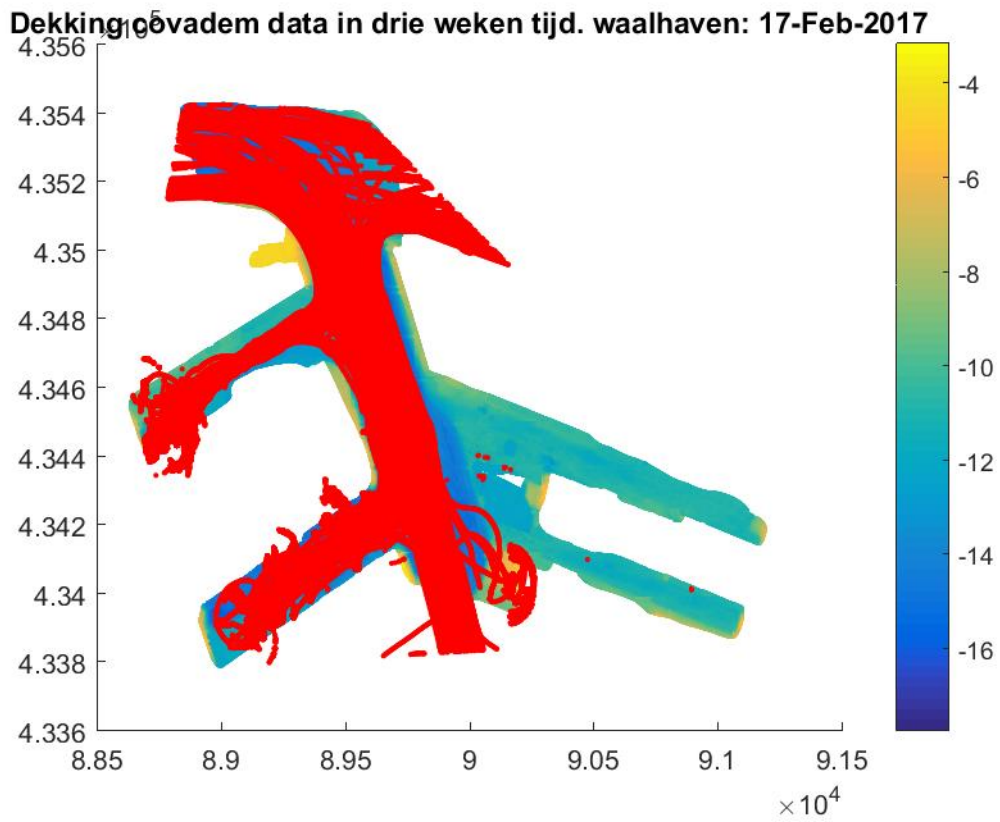
Van der Mark, R. (2017). Pilot CoVadem Waal. TKI Deltares - Van Oord - MARIN. Deltares rapport met kenmerk 1230723-000-ZWS-0001. Delft: Deltares.

A Ruimtelijke dekking CoVadem-metingen

A.1 CoVadem-tracks in een periode van drie weken in de Achtste Petroleumhaven, Botlekhaven en Waalhaven

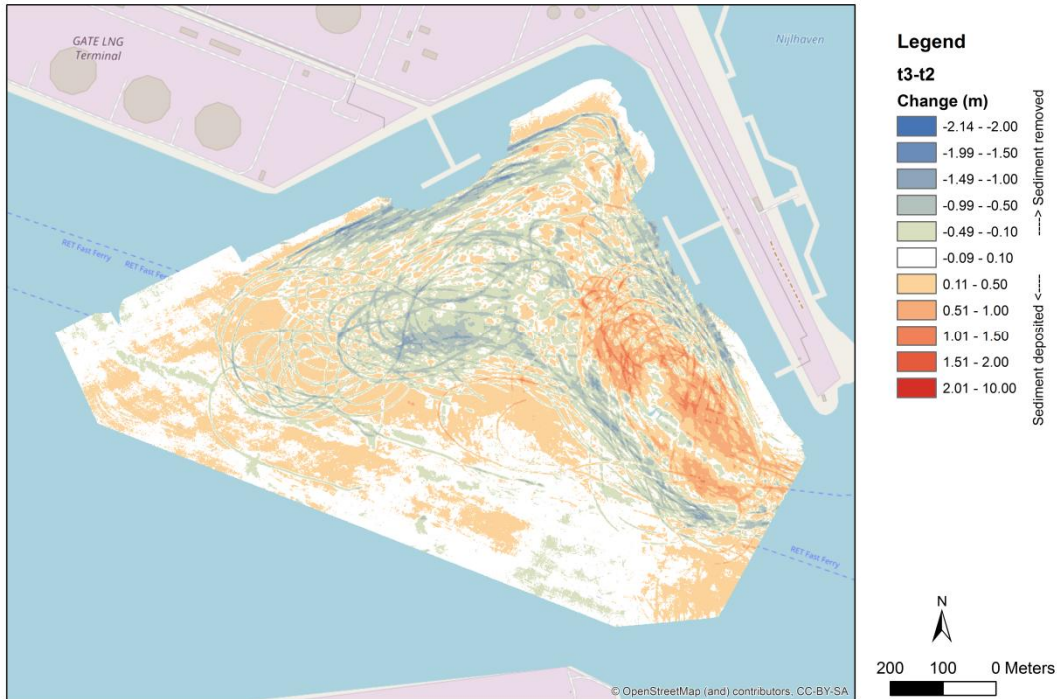






A.2 Bodemverandering in de periode tussen de multibeampeilingen in de Achtste Petroleumhaven, Botlekhaven en Waalhaven

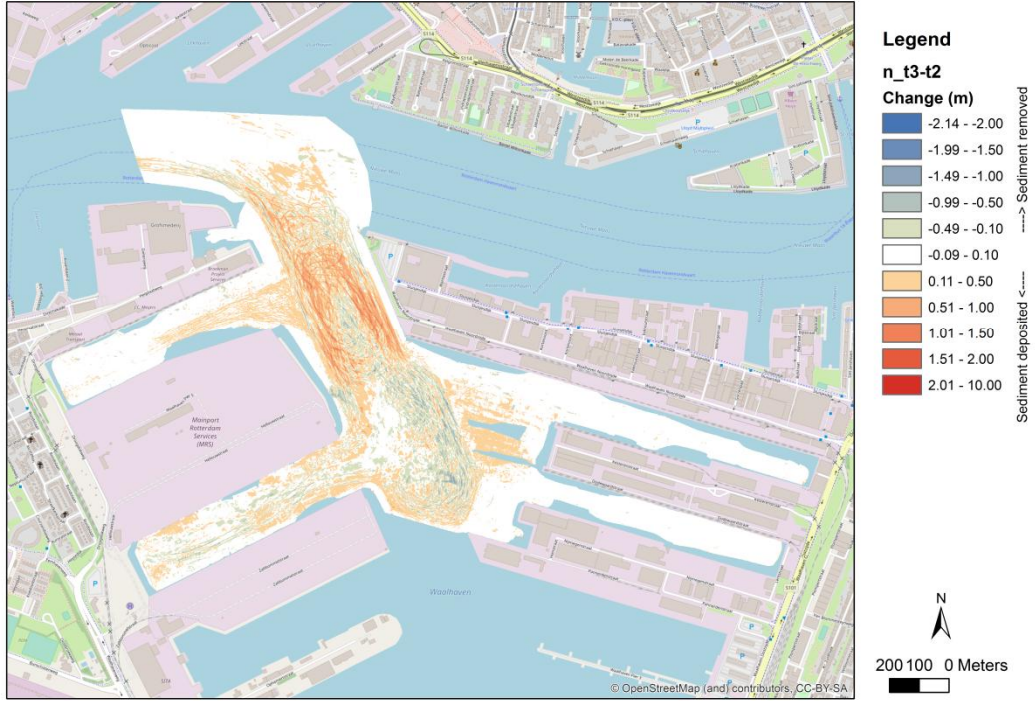
Achtste: Change T2 (07-02-2017) to T3 (24-03-2017)



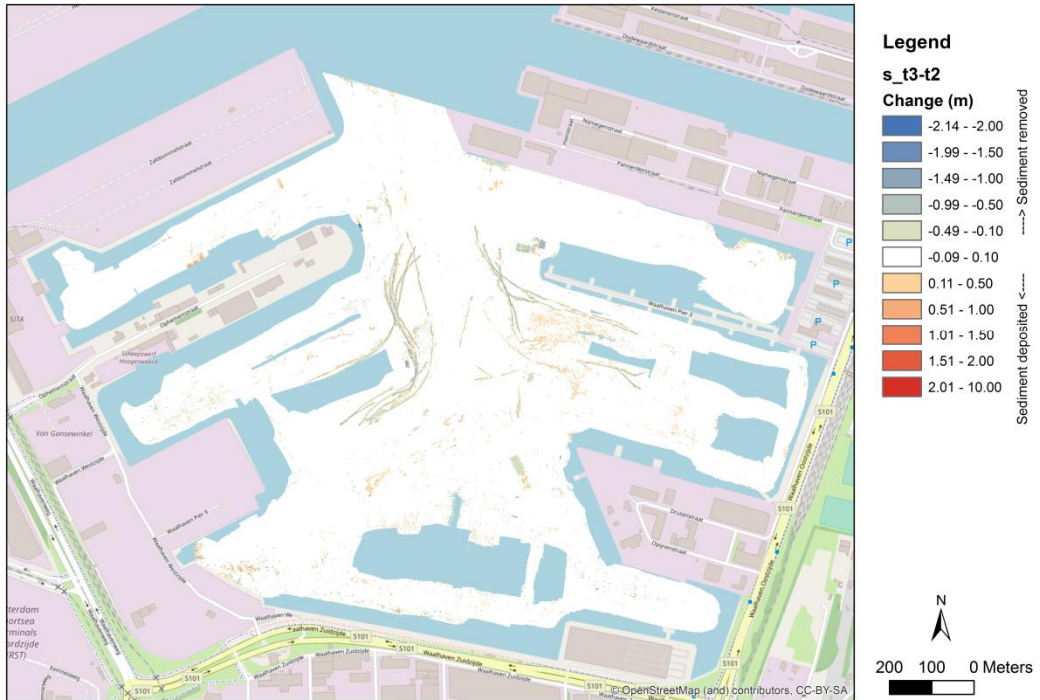
Botlek: Change T5 (03-05-2017) to T6 (21-05-2017)



Waalhaven North: Change T2 (07-02-2017) to T3 (17-05-2017)



Waalhaven South: Change T2 (31-03-2017) to T3 (15-06-2017)

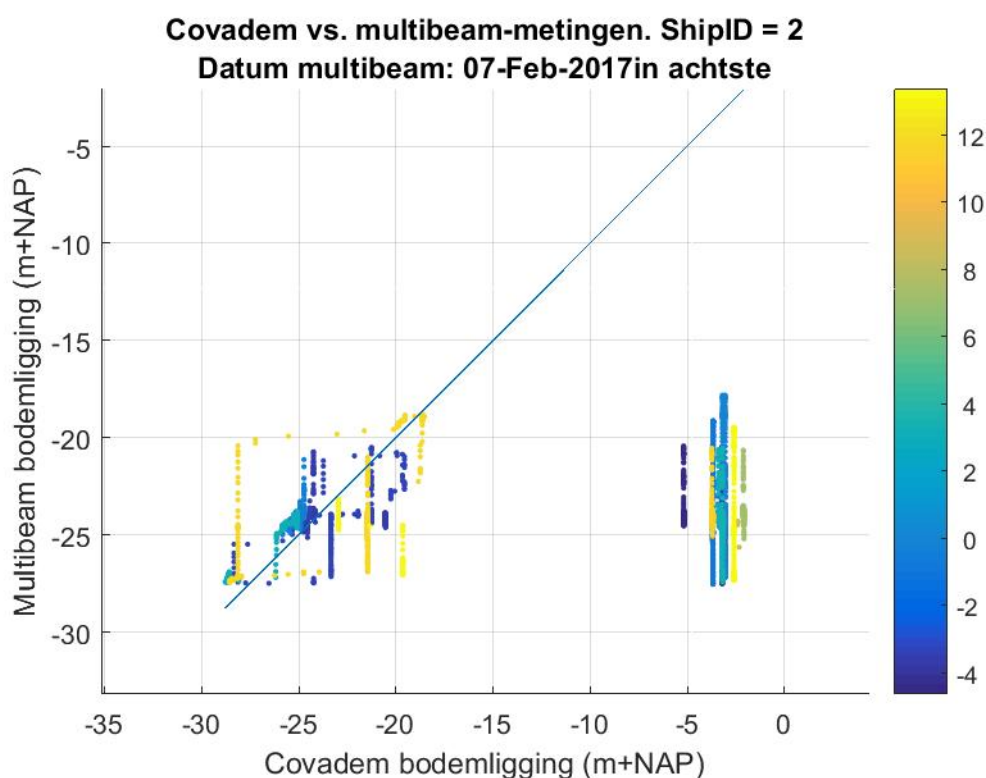


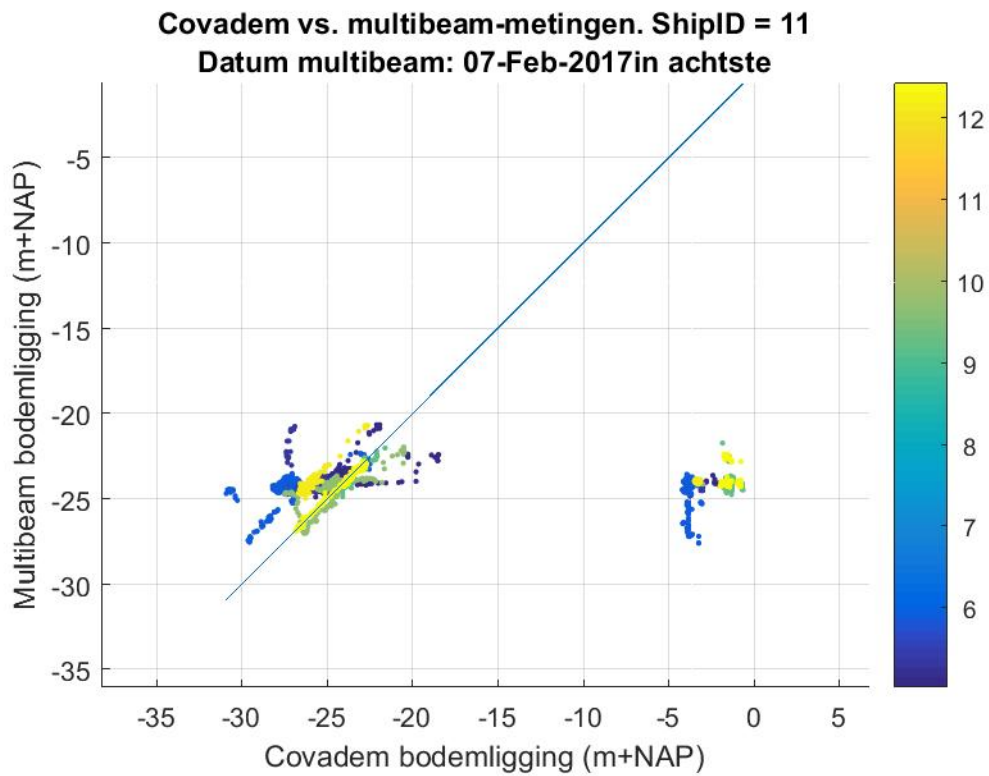
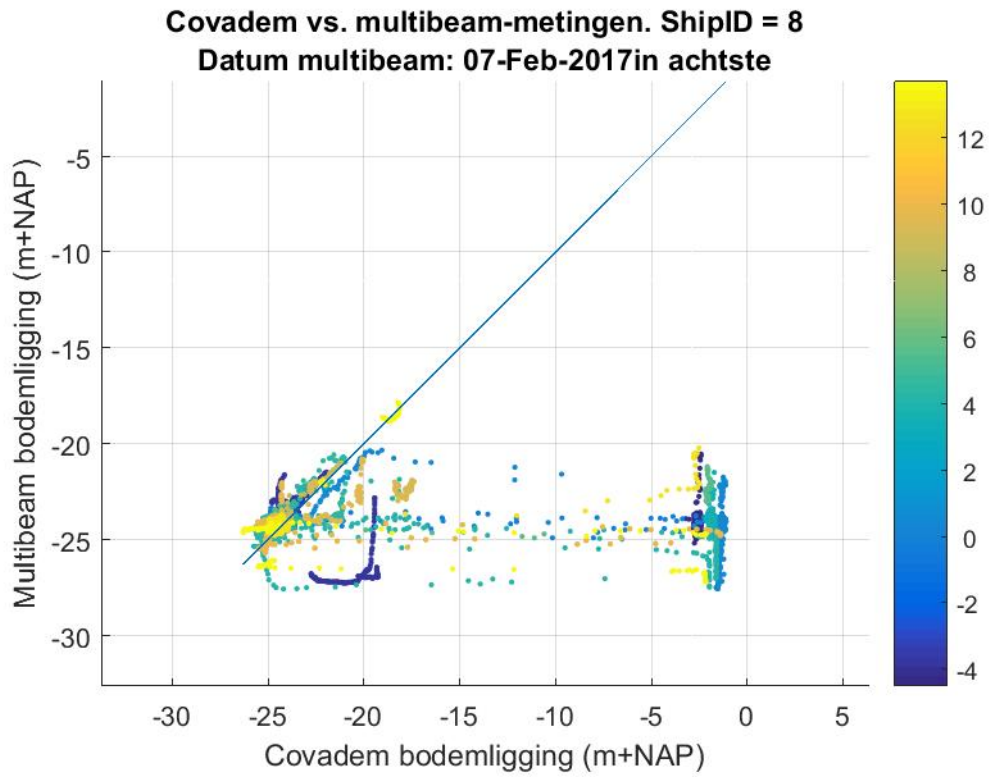
B Correlatieplots CoVadem- en multibeam-bodemligging

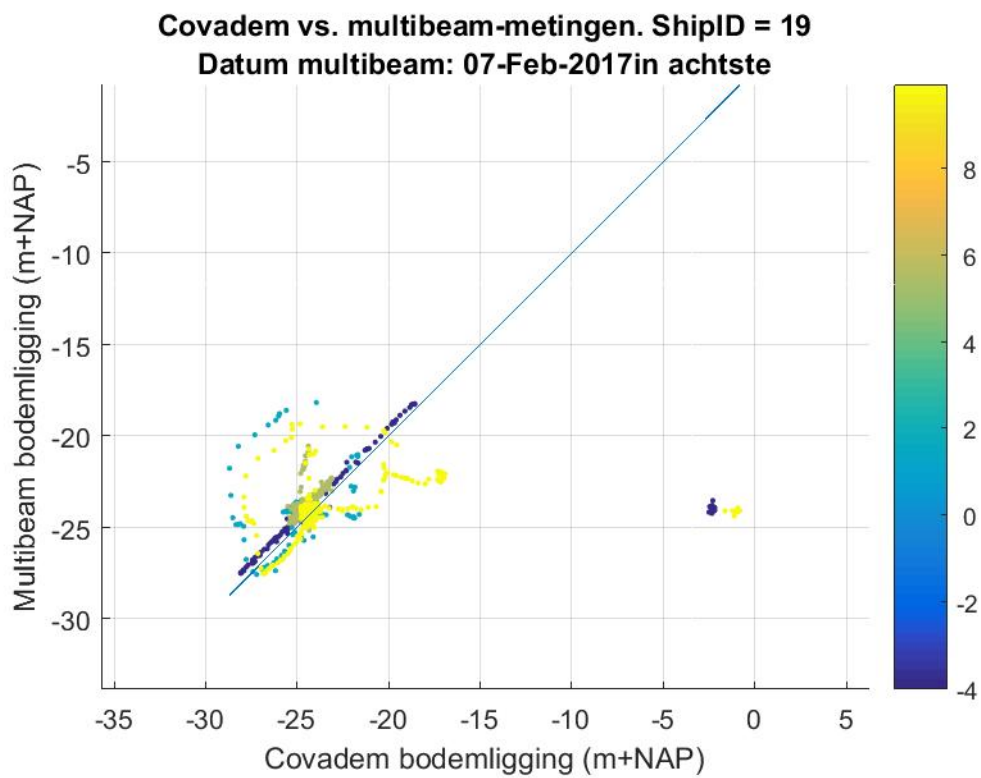
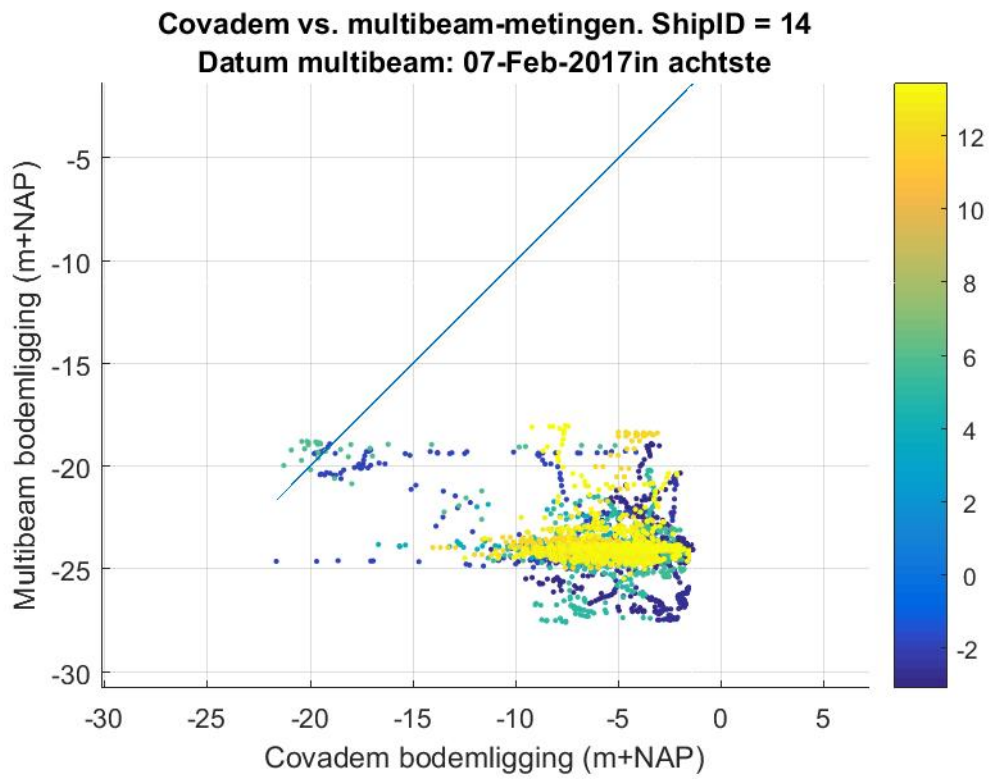
De correlatieplots in deze bijlage zijn een selectie van alle tracks: voor iedere haven zijn alle schepstracks in een periode van 3 weken opgenomen. Deze data is beperkt gefilterd volgens de genoemde criteria in hoofdstuk 2.4.

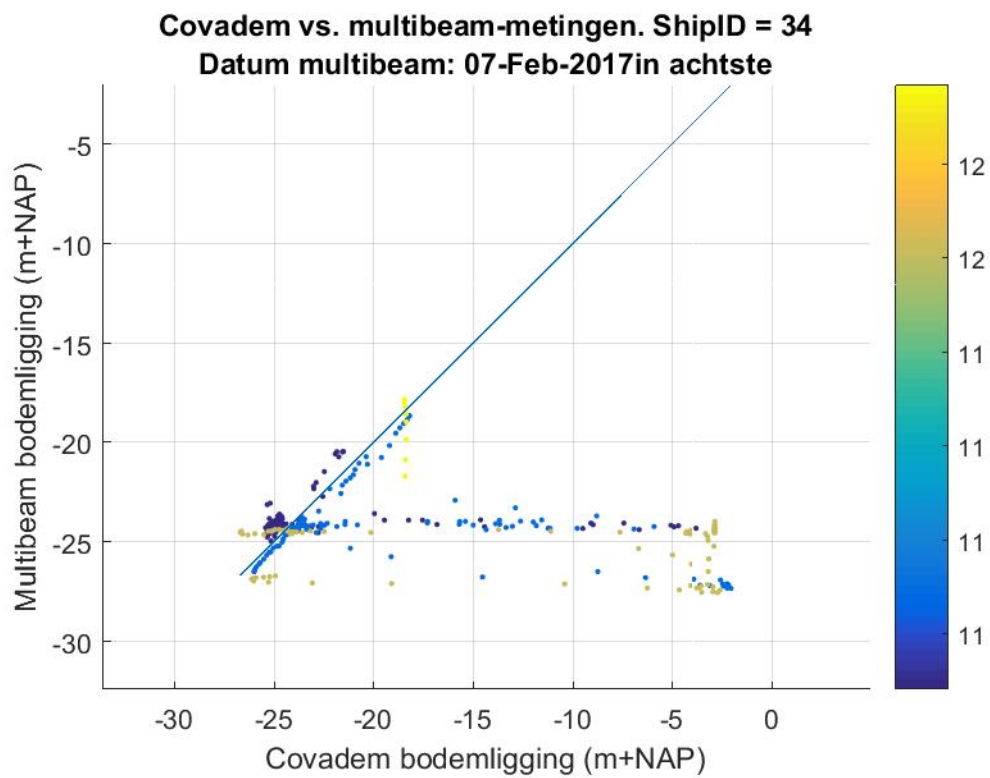
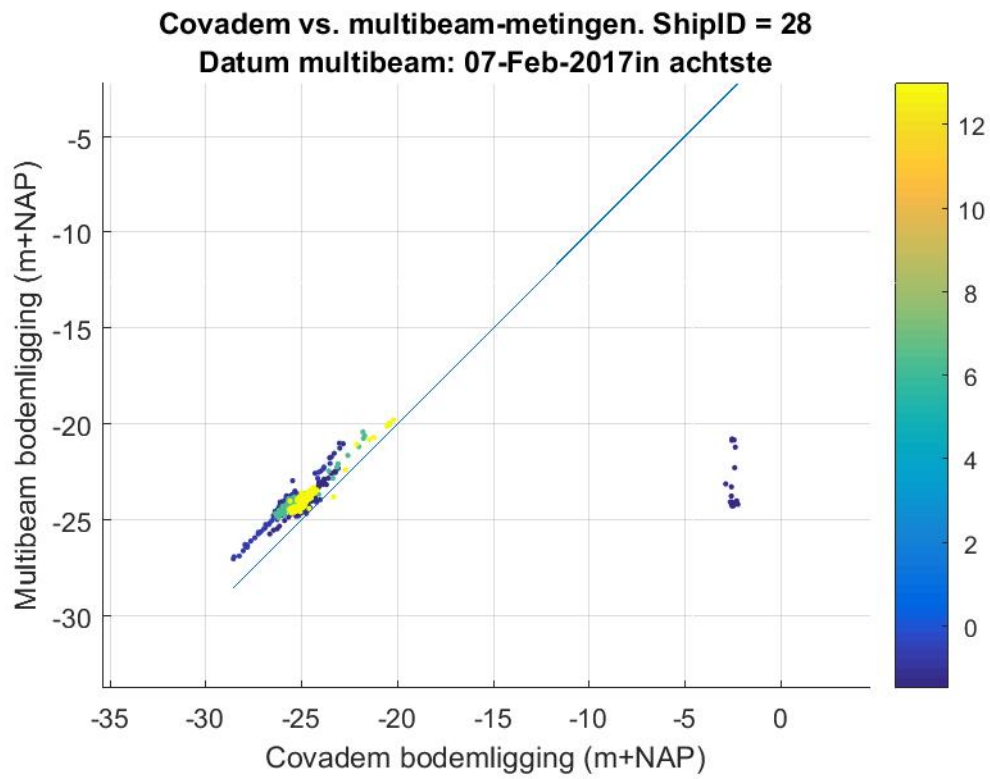
De figuren geven de correlatie tussen CoVadem-bodemligging en multibeam-bodemligging weer per CoVadem-schip, waarbij voor iedere CoVadem-meting de dichtstbijzijnde multibeam-meting gezocht is. De kleuren geven de tijd (in dagen) aan tussen de multibeam- en CoVadem-metingen, waarbij een negatieve tijd aangeeft dat de CoVadem-metingen hebben plaats gevonden vóór de multibeam-meting, en een positieve tijd dat de CoVadem-metingen hebben plaats gevonden ná de multibeam-meting. Per schip is dus het verloop van de dieptemeting in tijd te volgen.

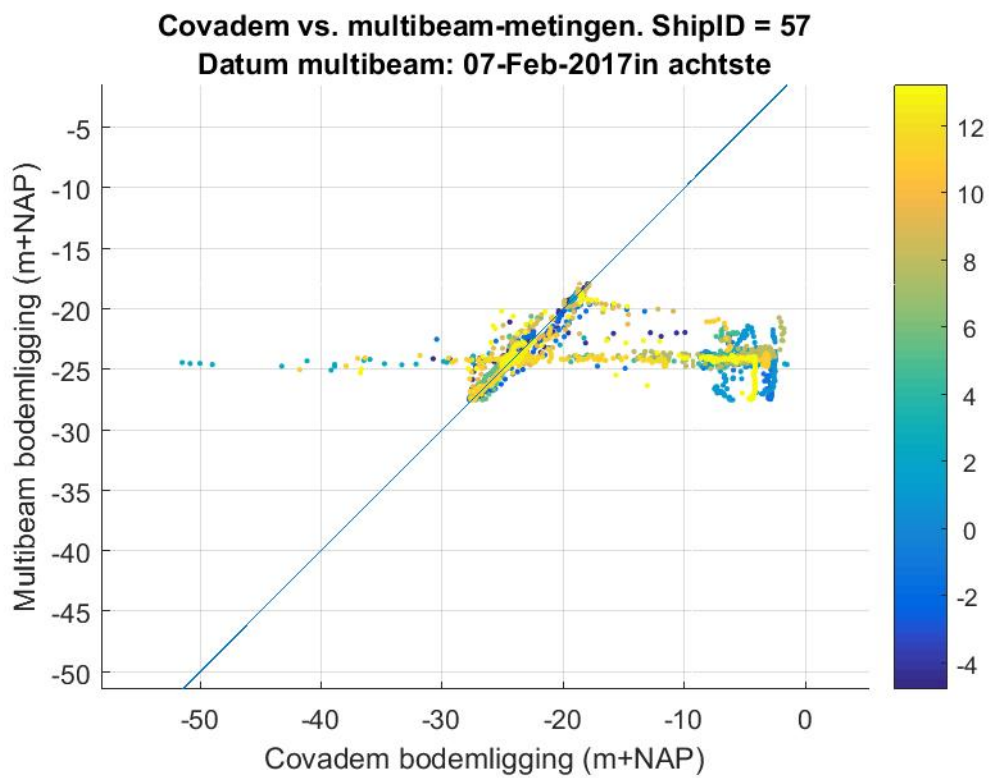
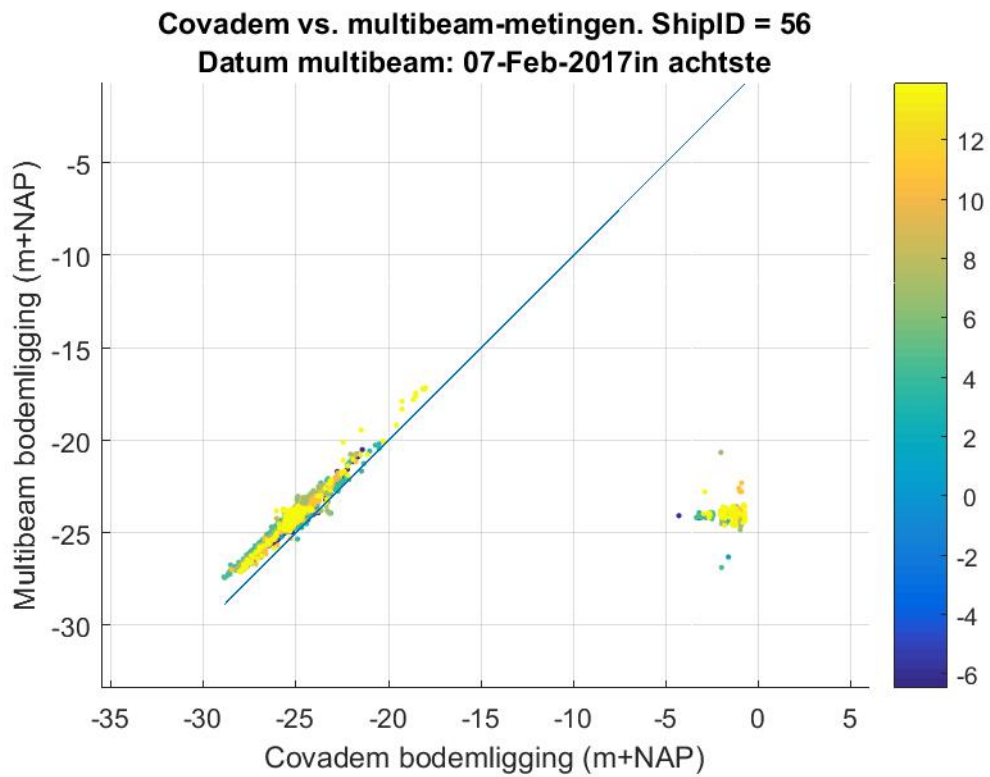
B.1 Achtste Petroleumhaven: 7 februari 2017 tot 27 februari 2017



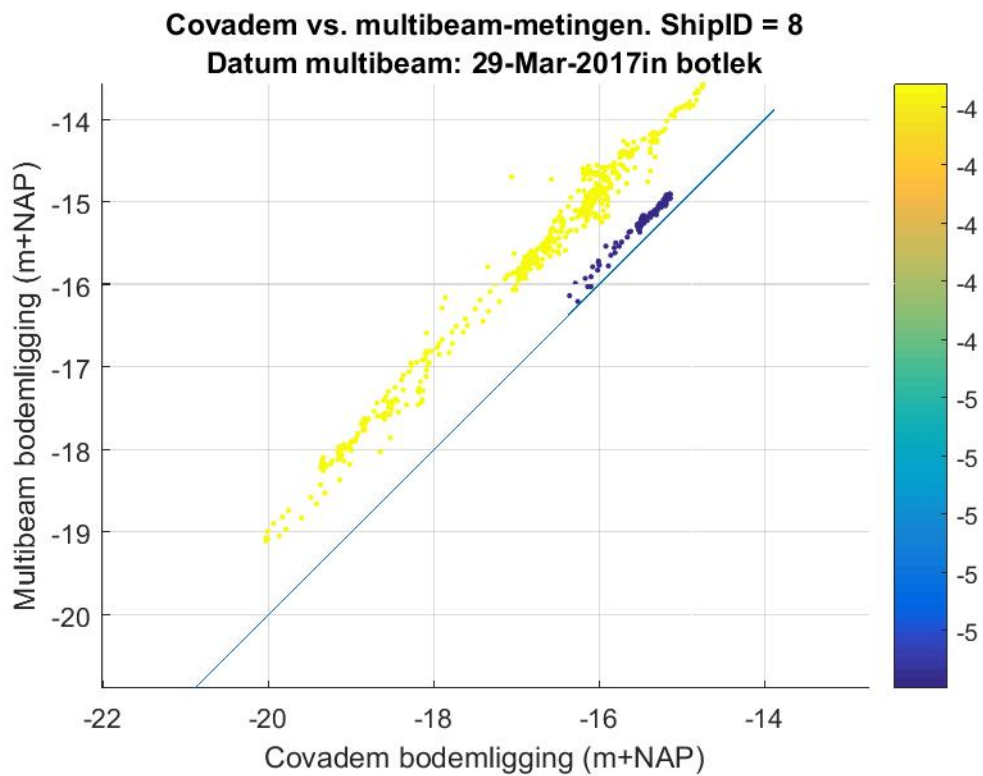
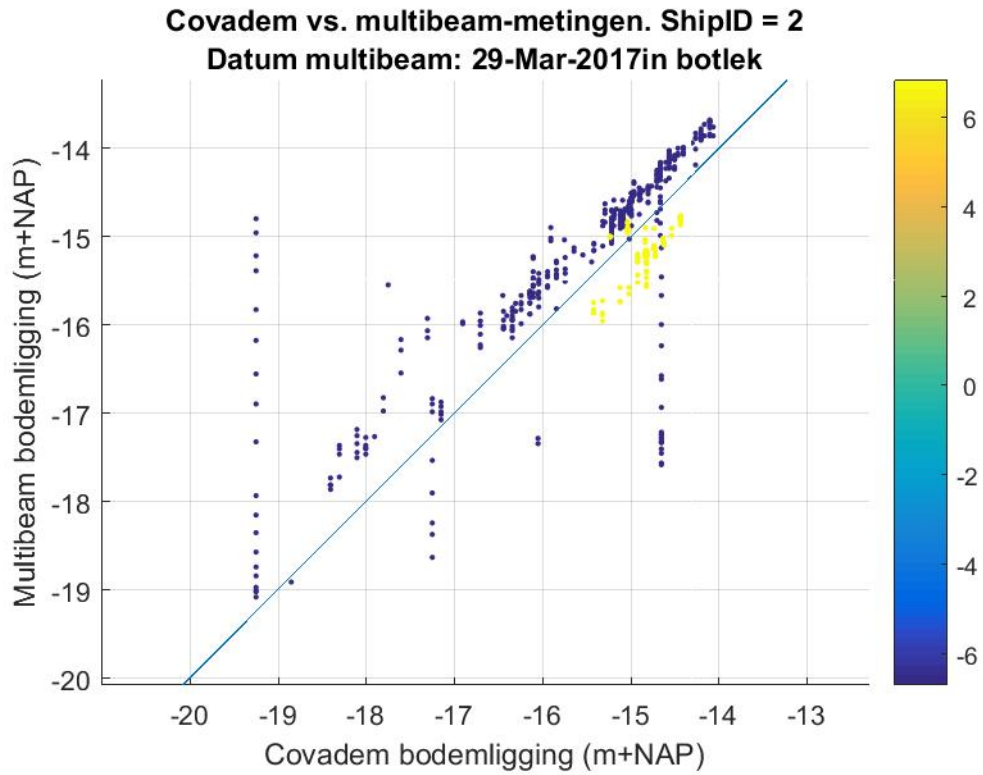


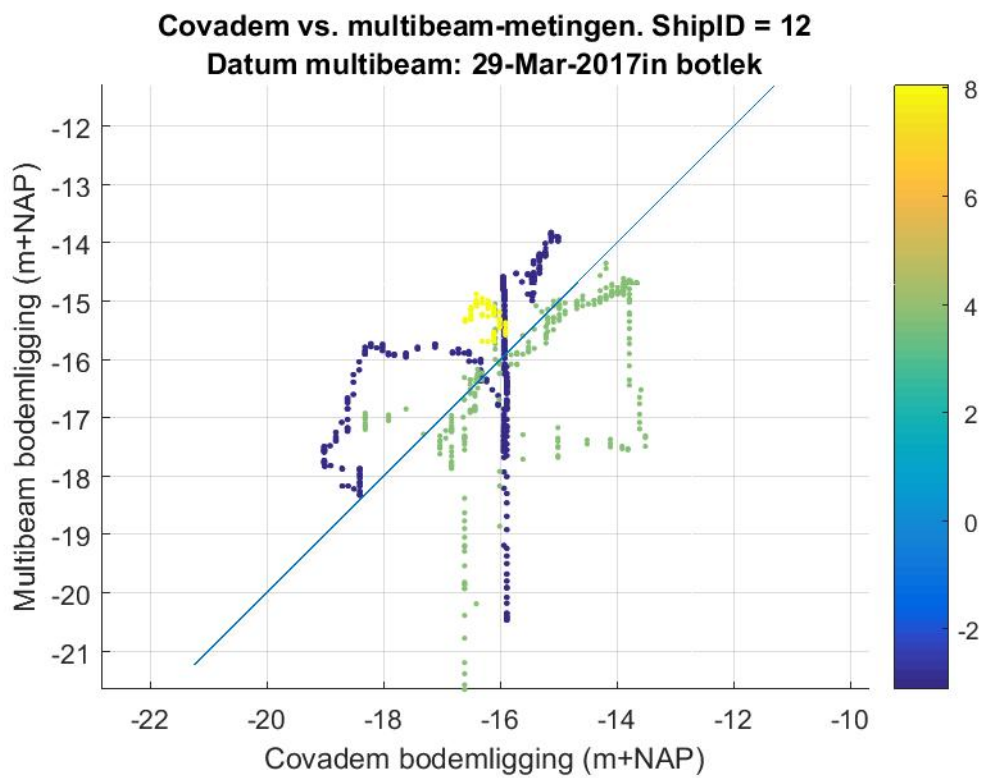
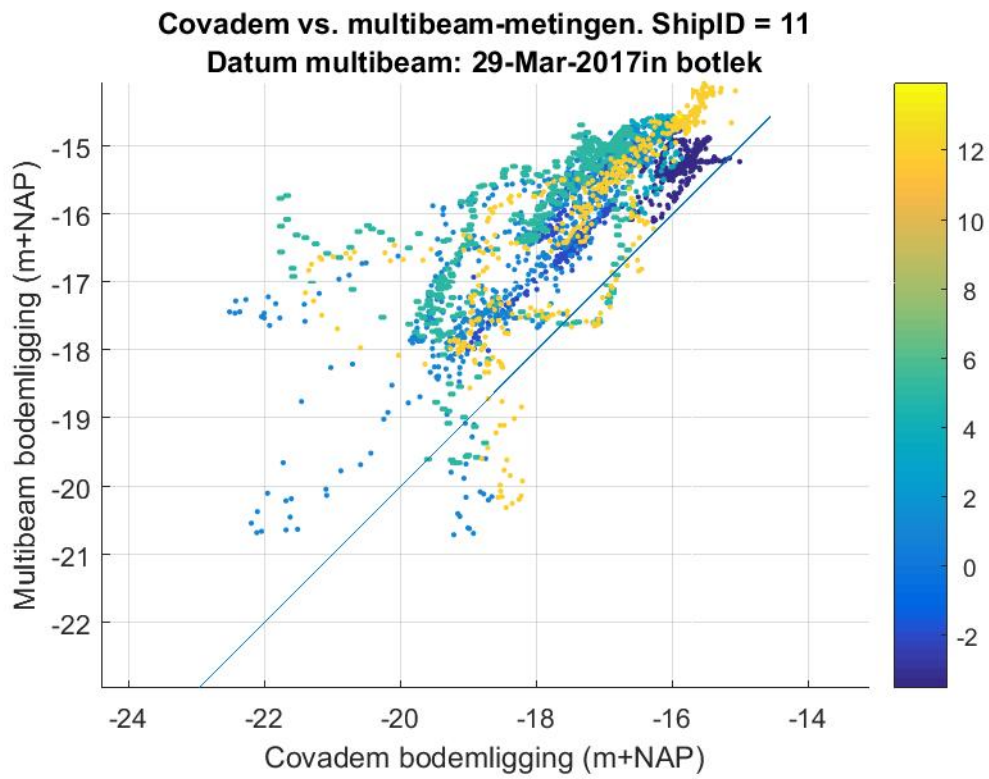


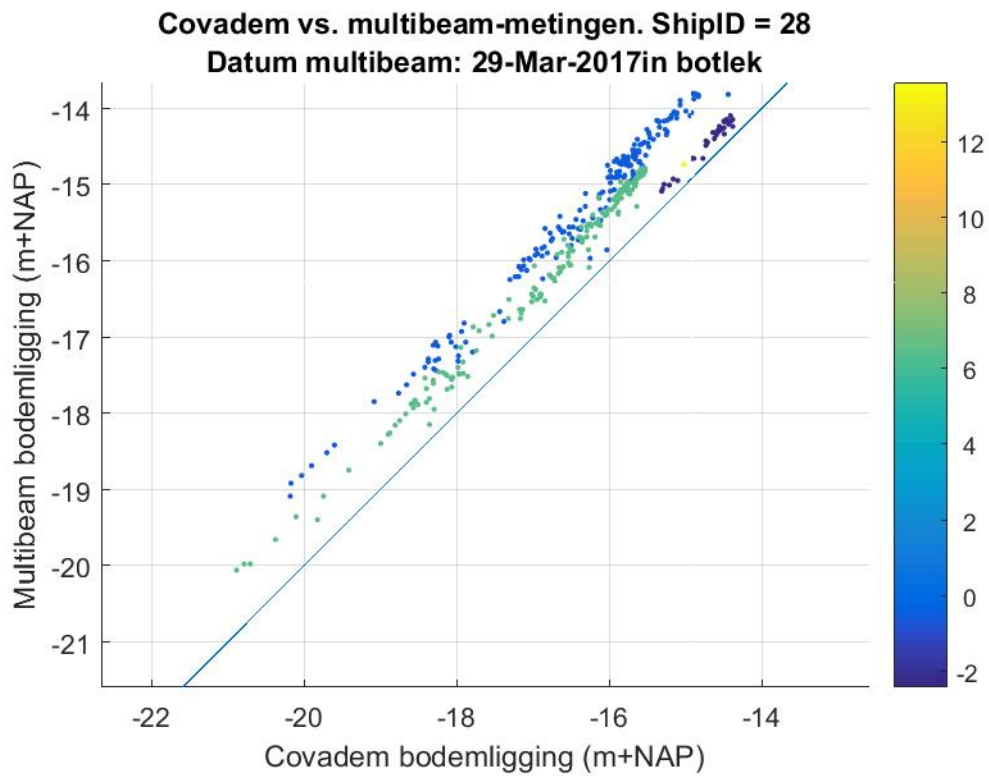
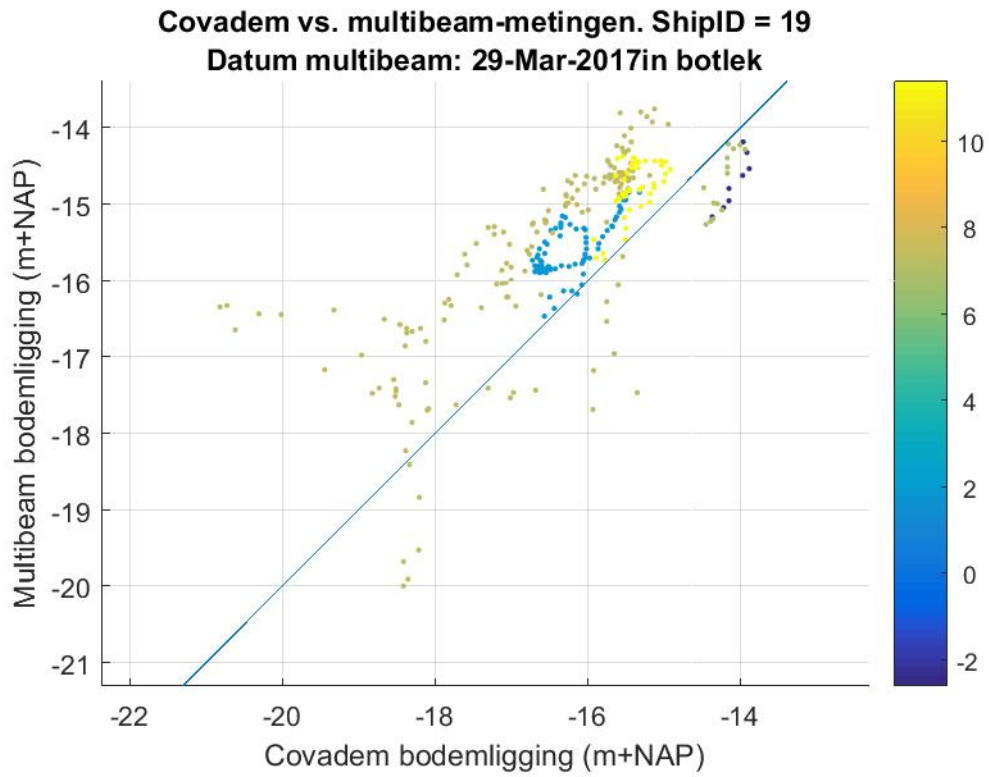


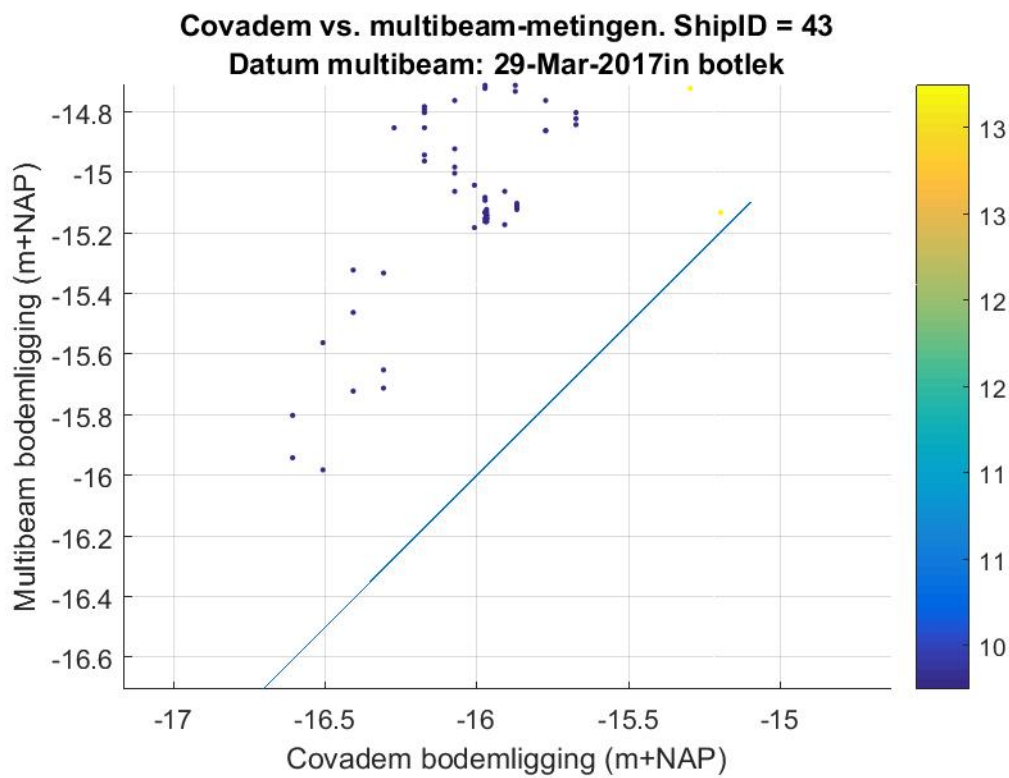
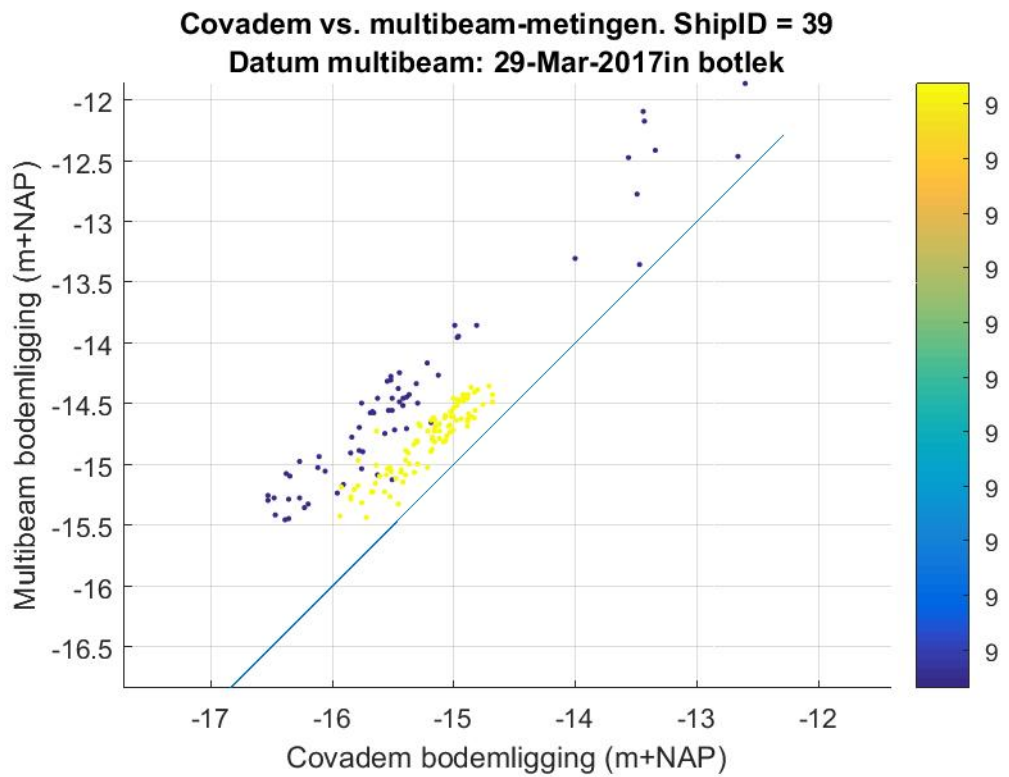


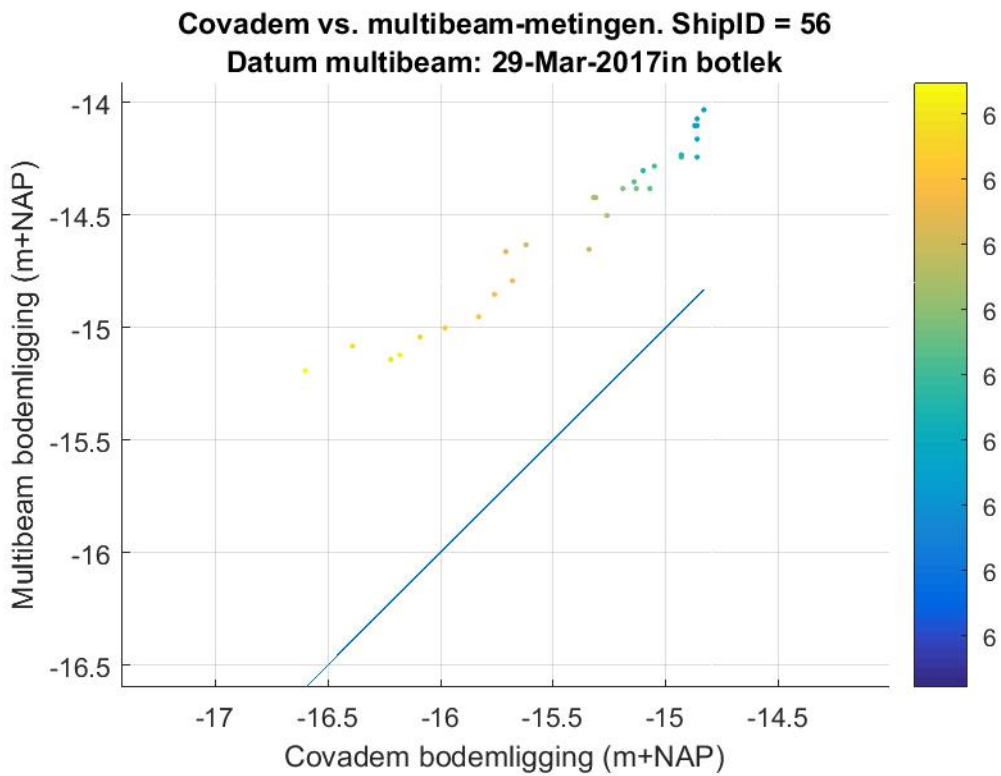
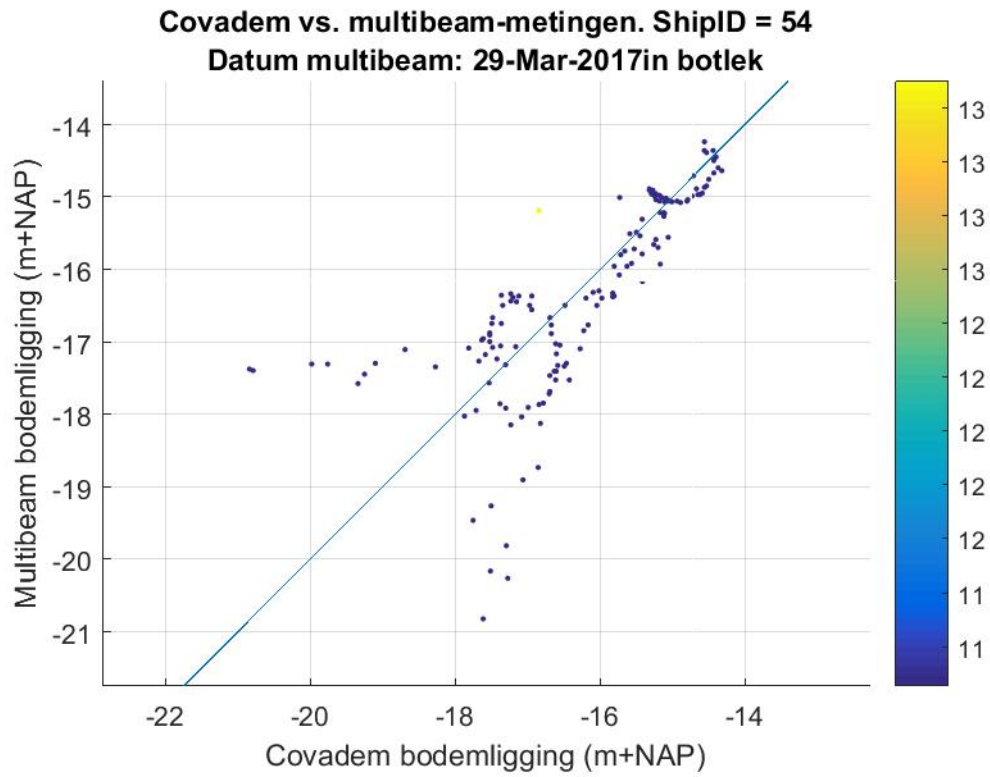
B.2 Botlekhaven: 29 maart 2017 tot 18 april 2017

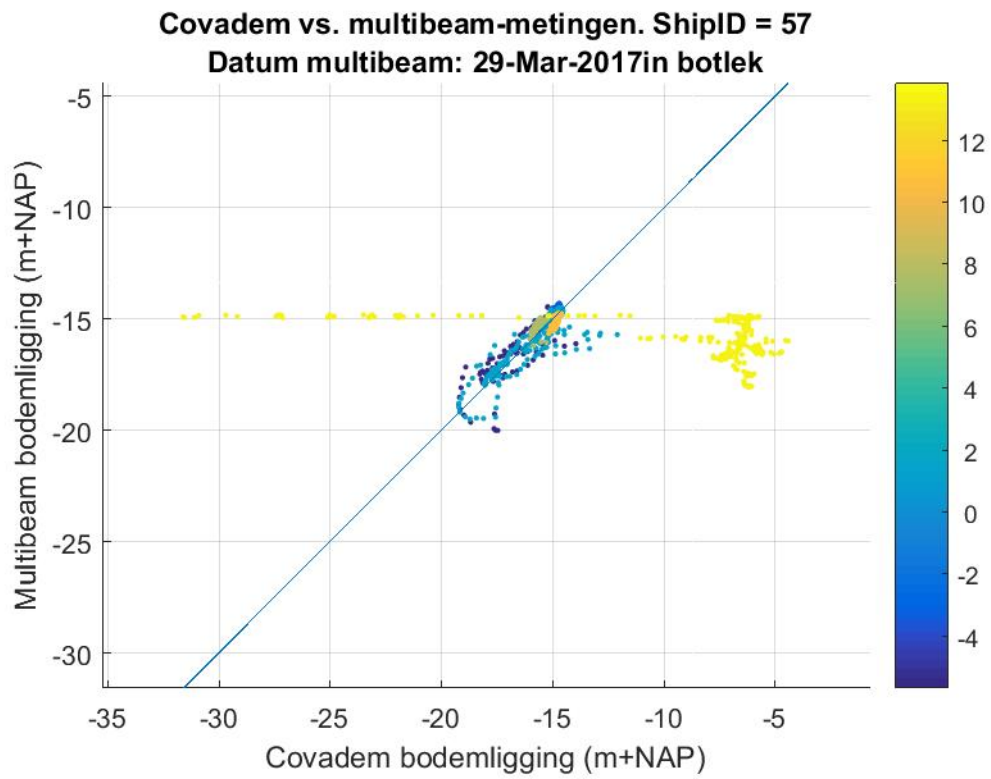




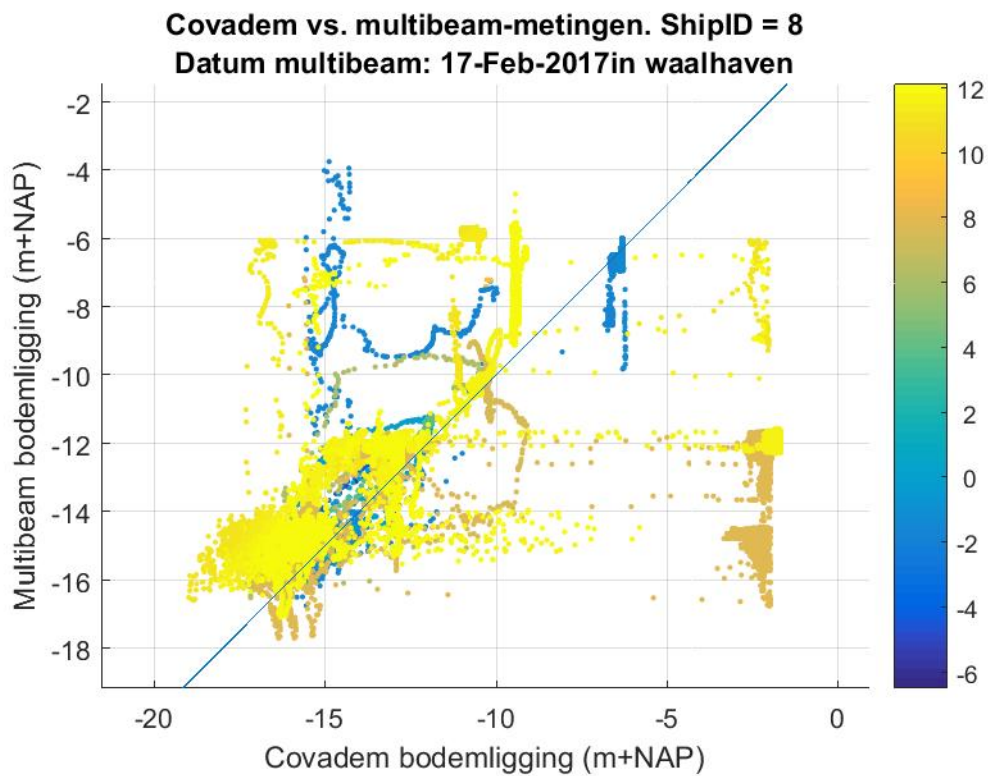
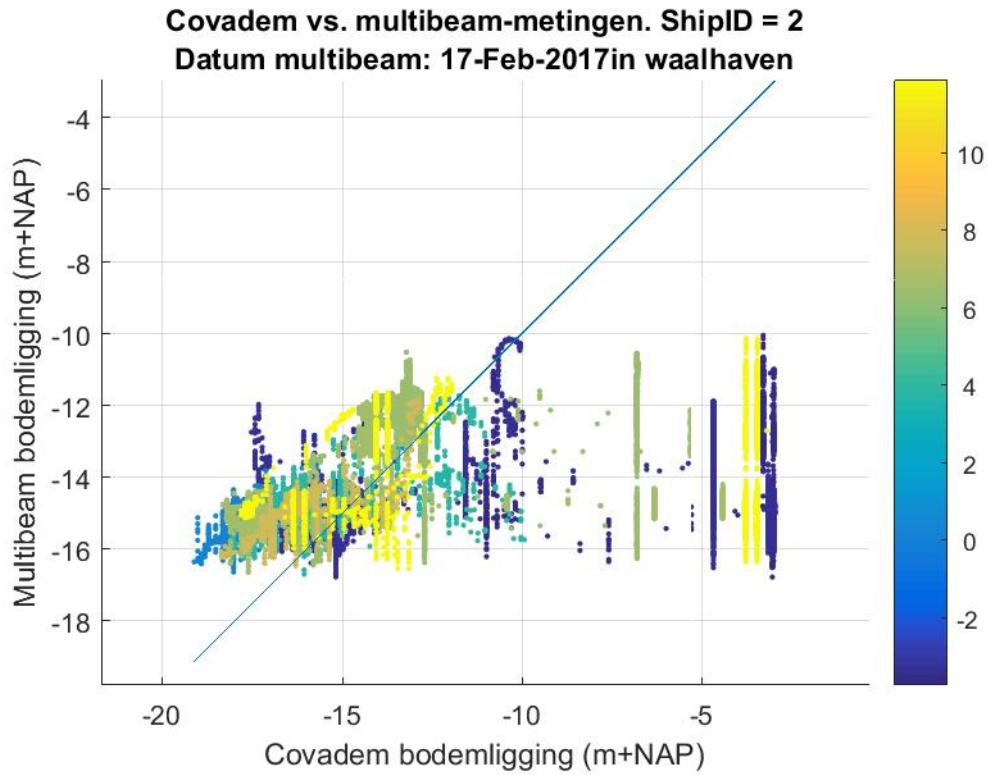


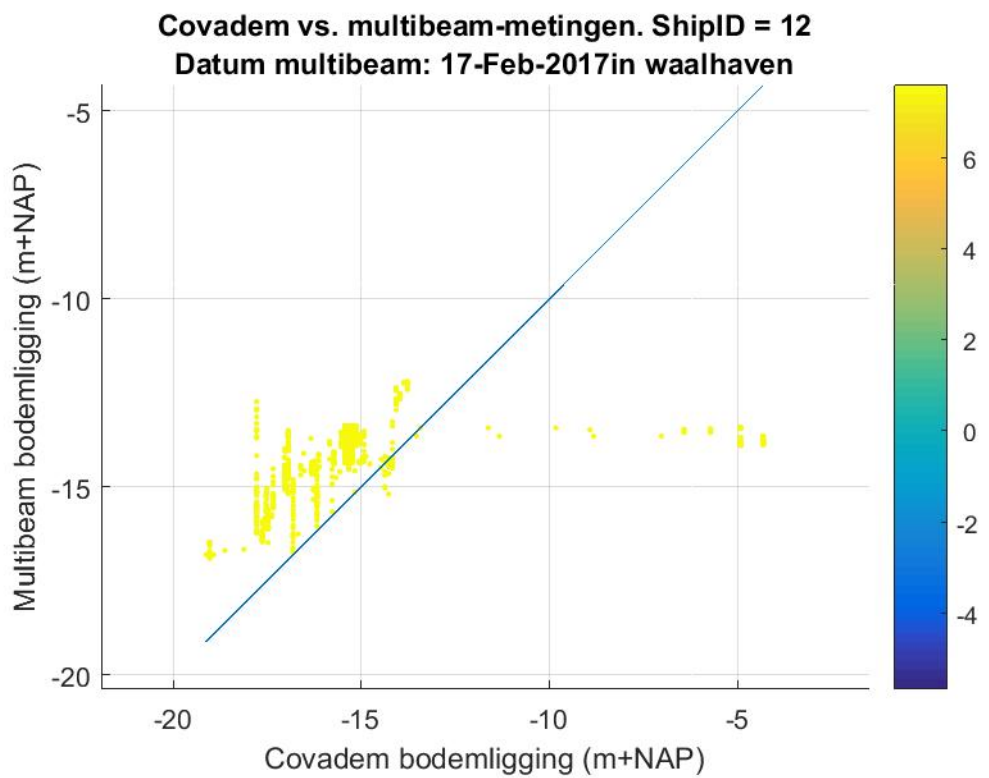
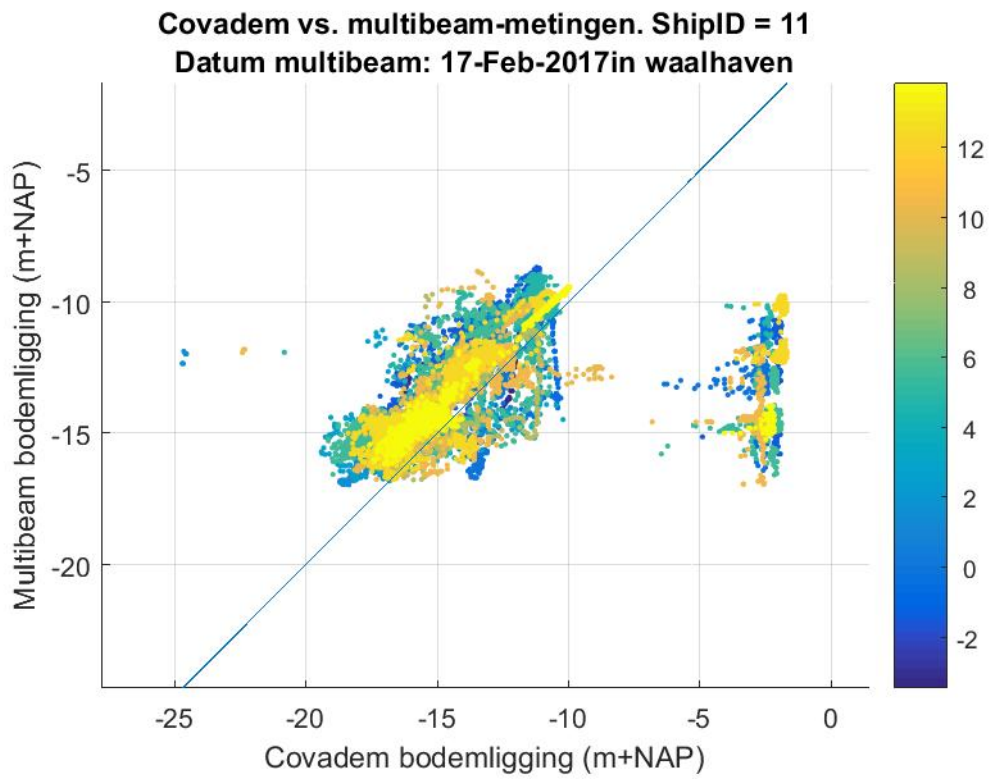


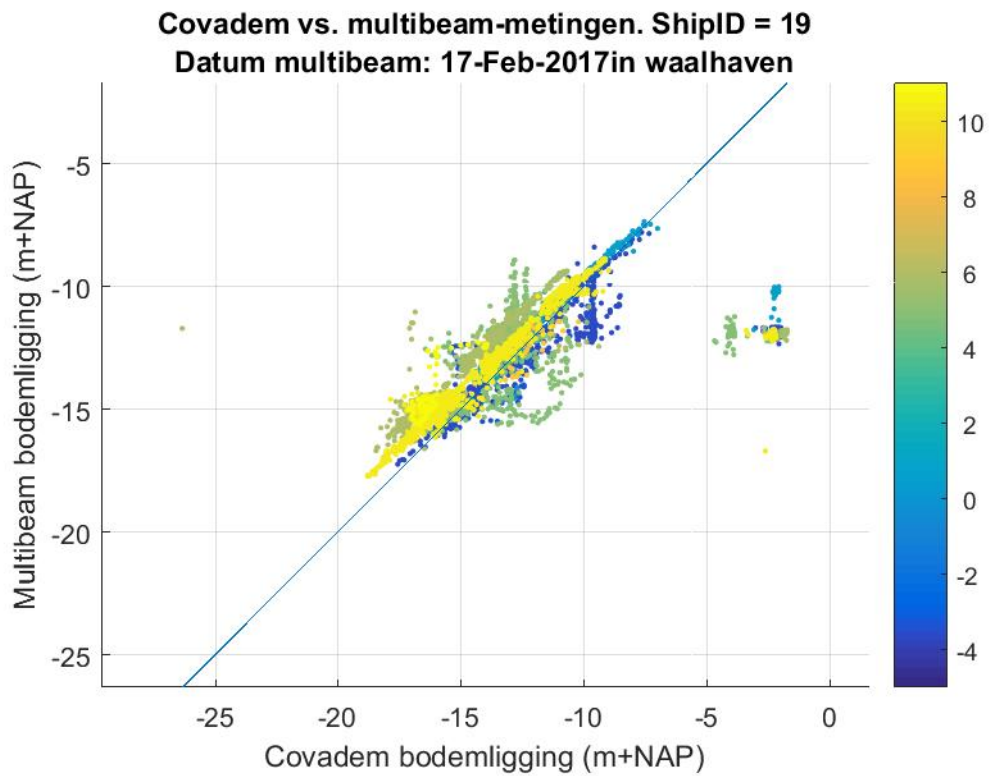
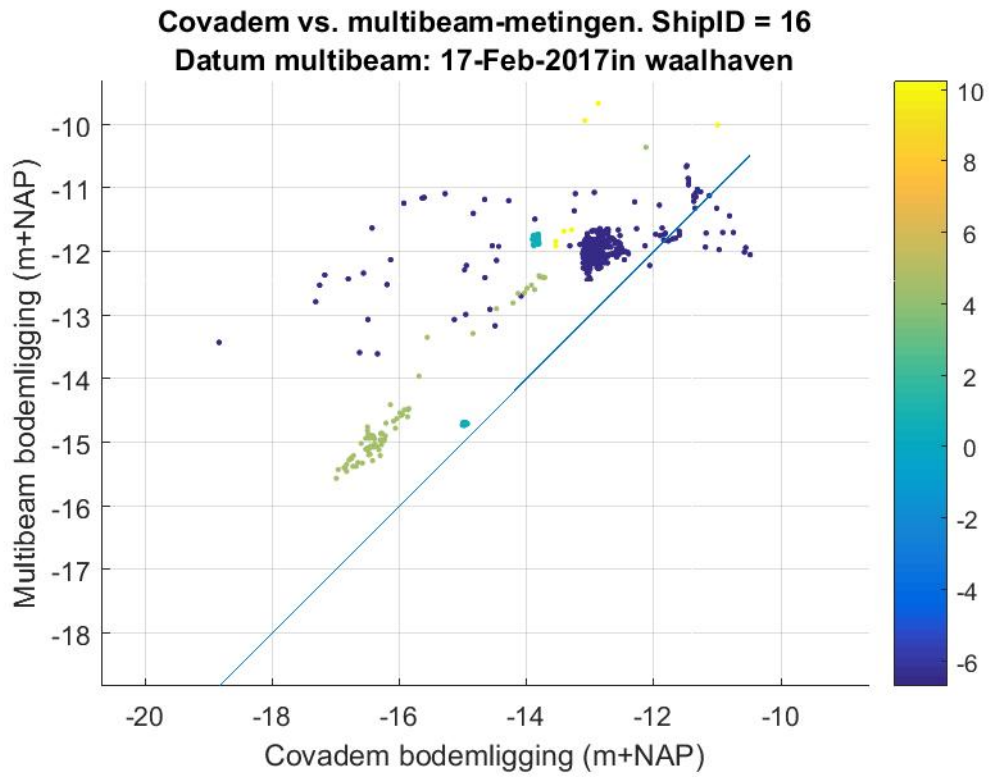


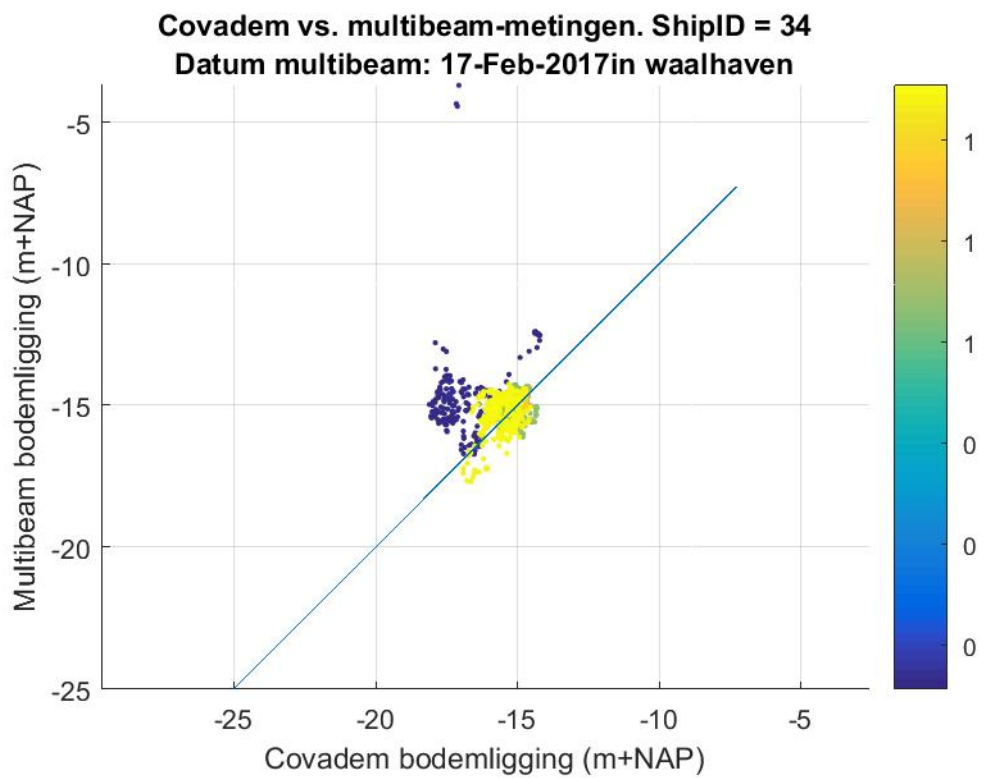
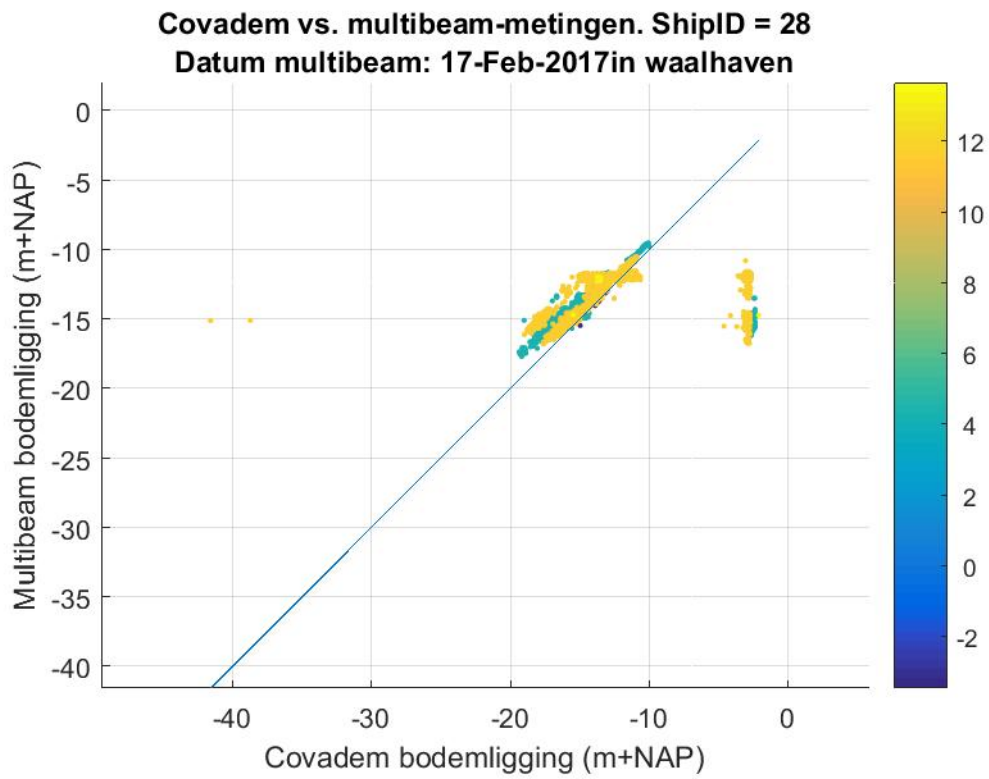


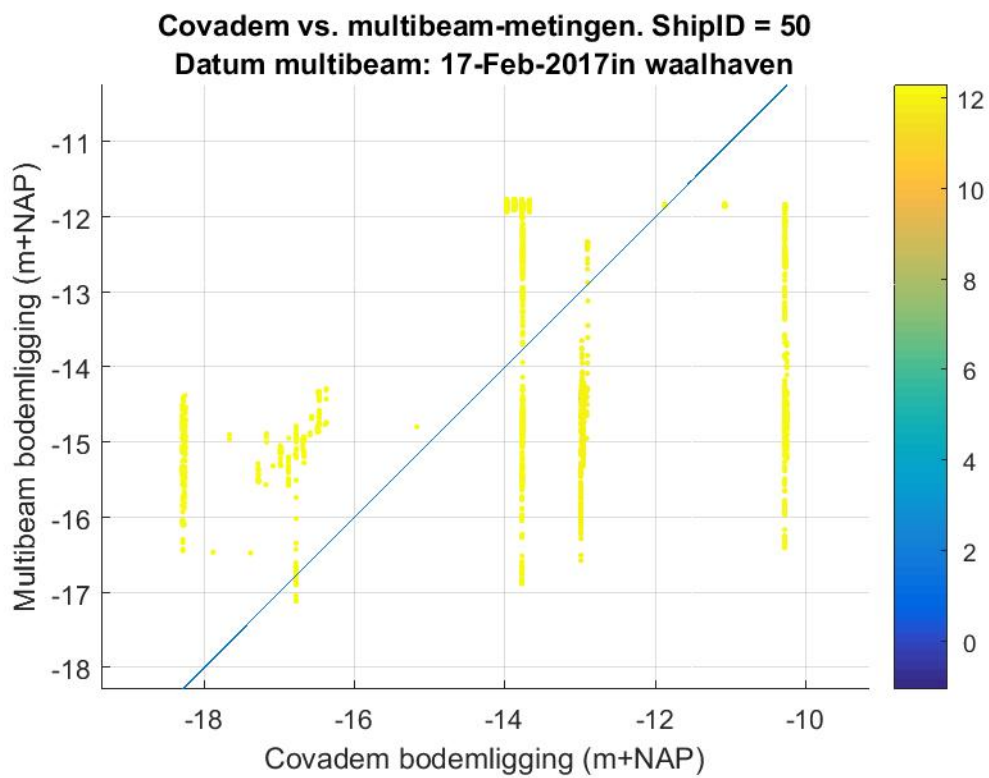
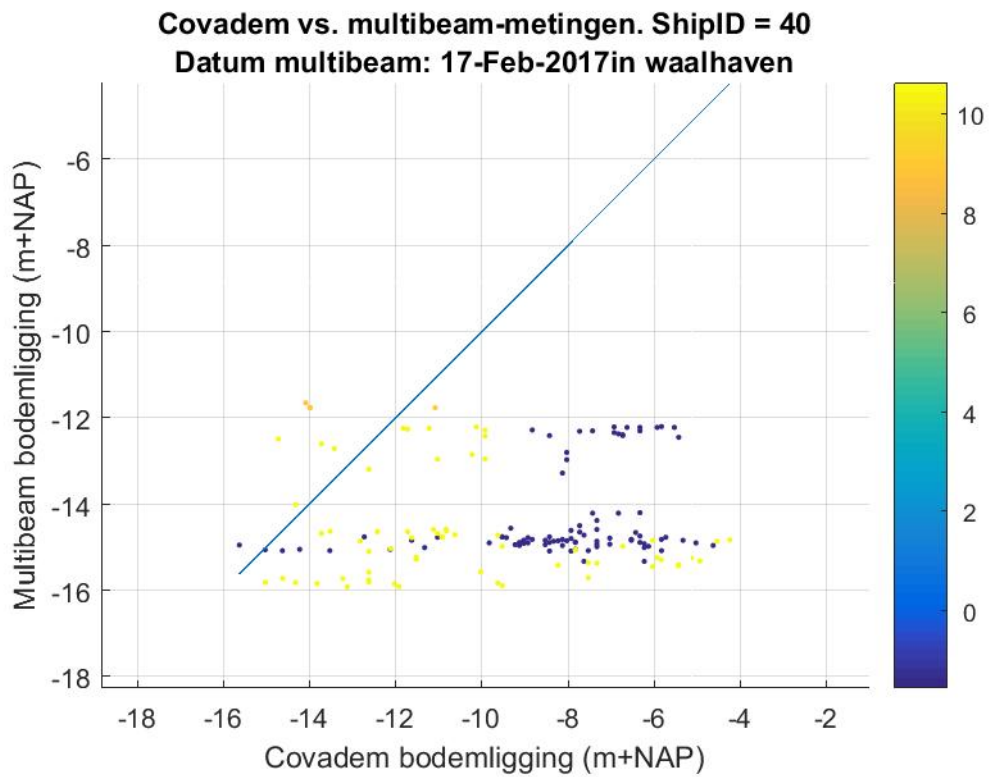
B.3 Waalhaven: 17 februari 2017 tot 9 maart 2017

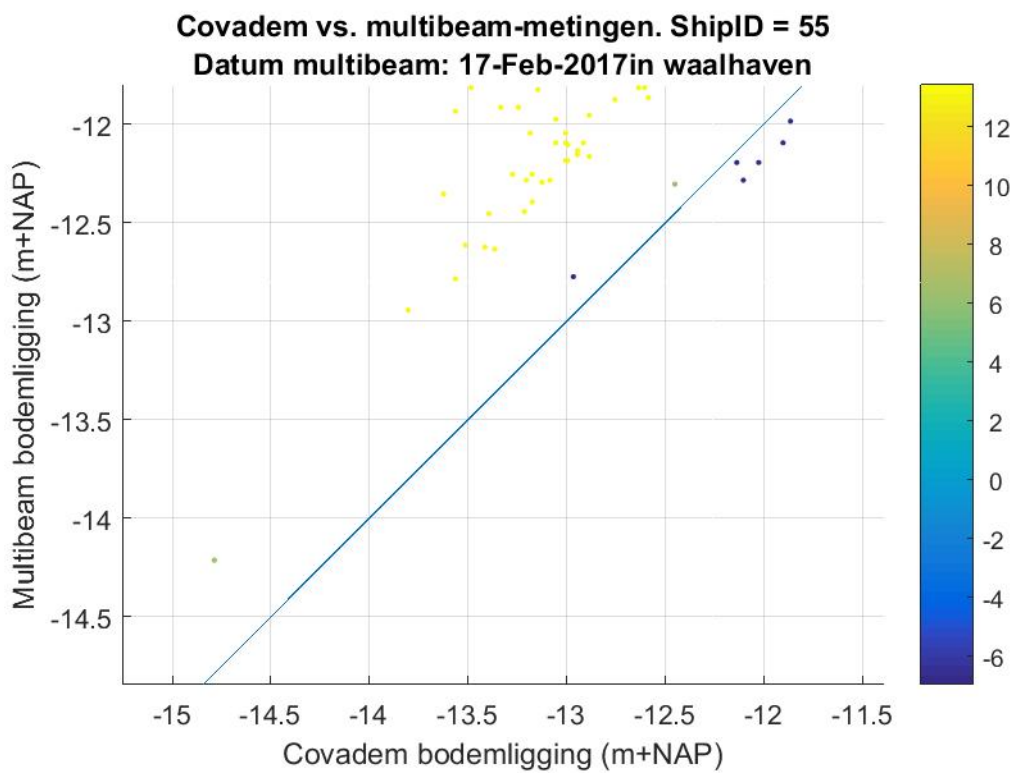
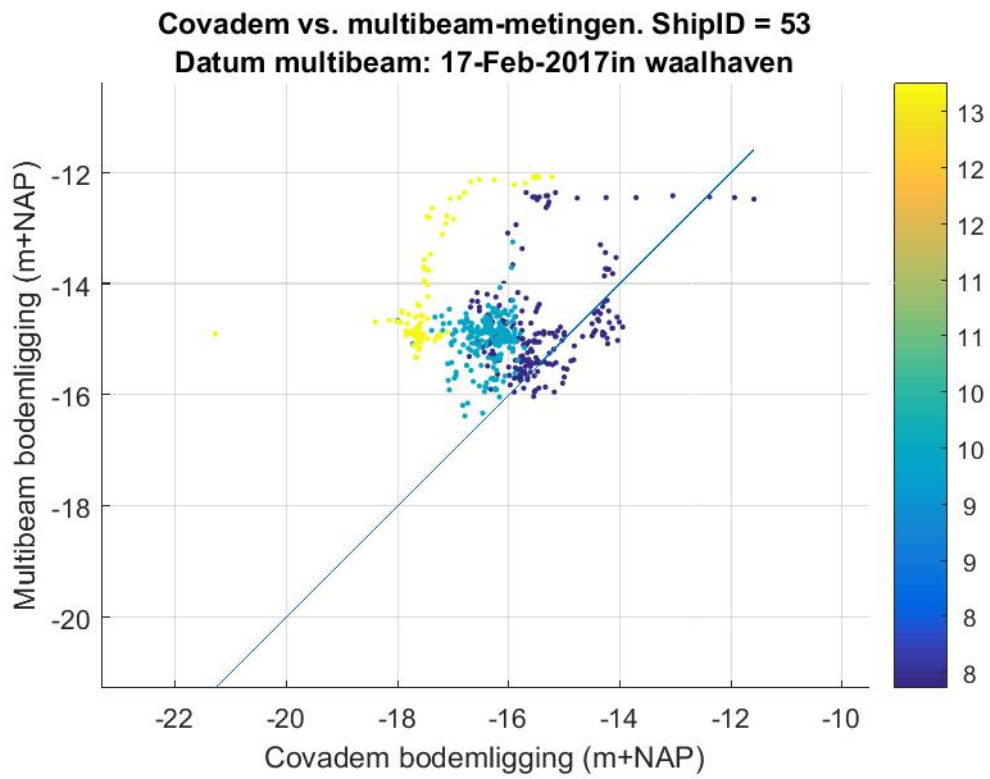


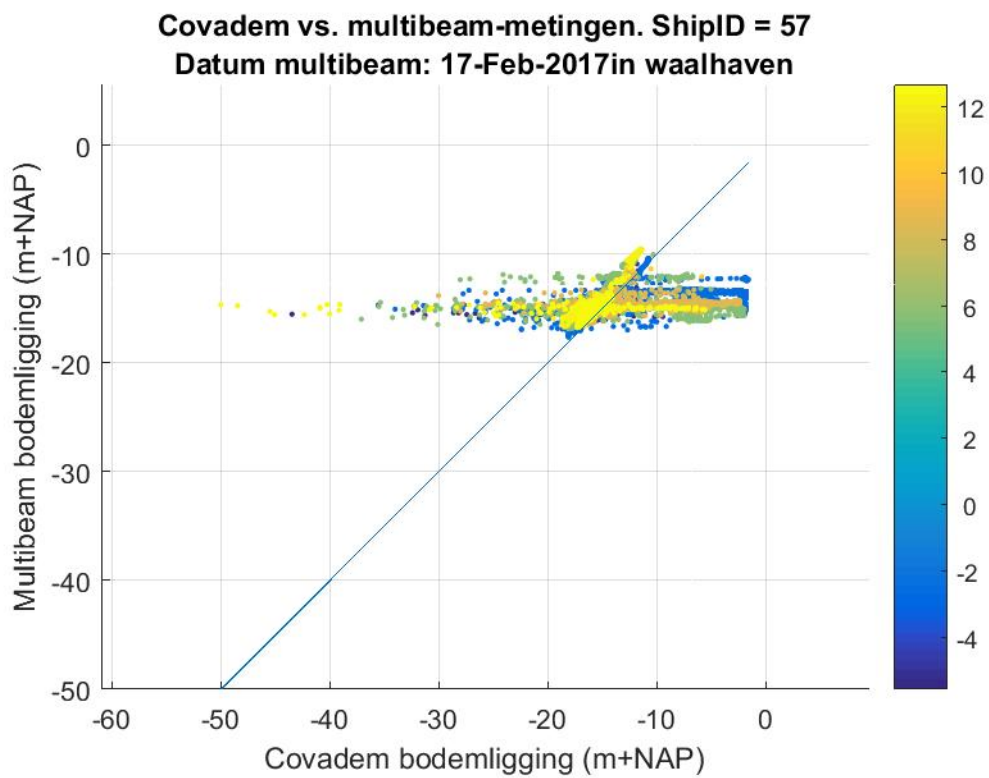
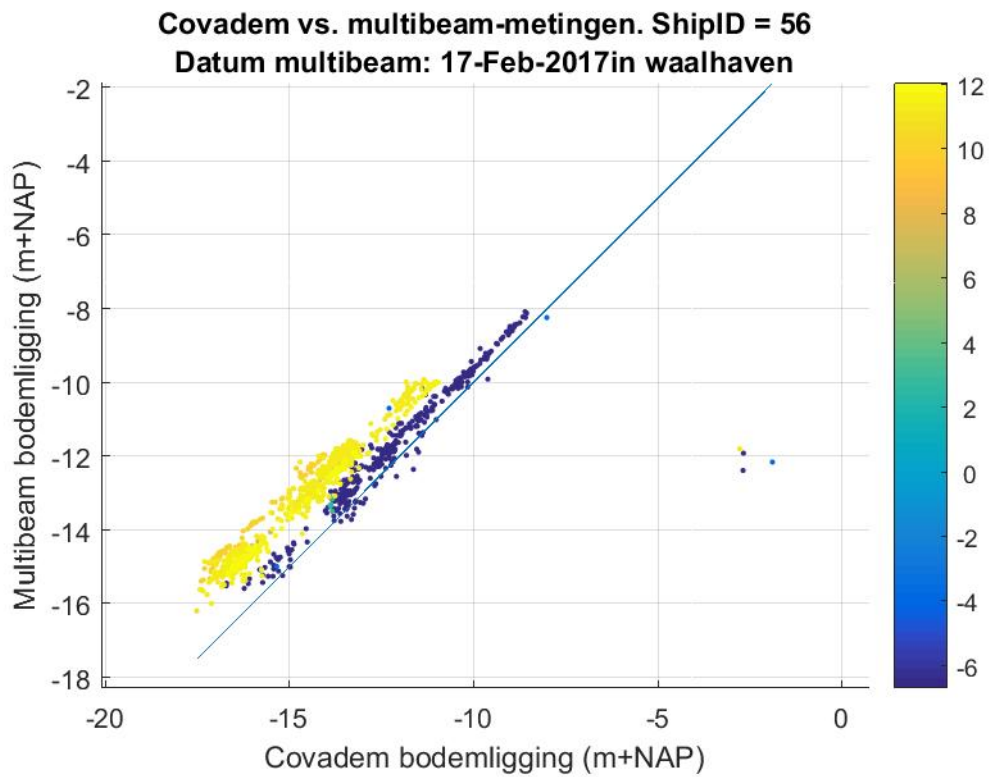












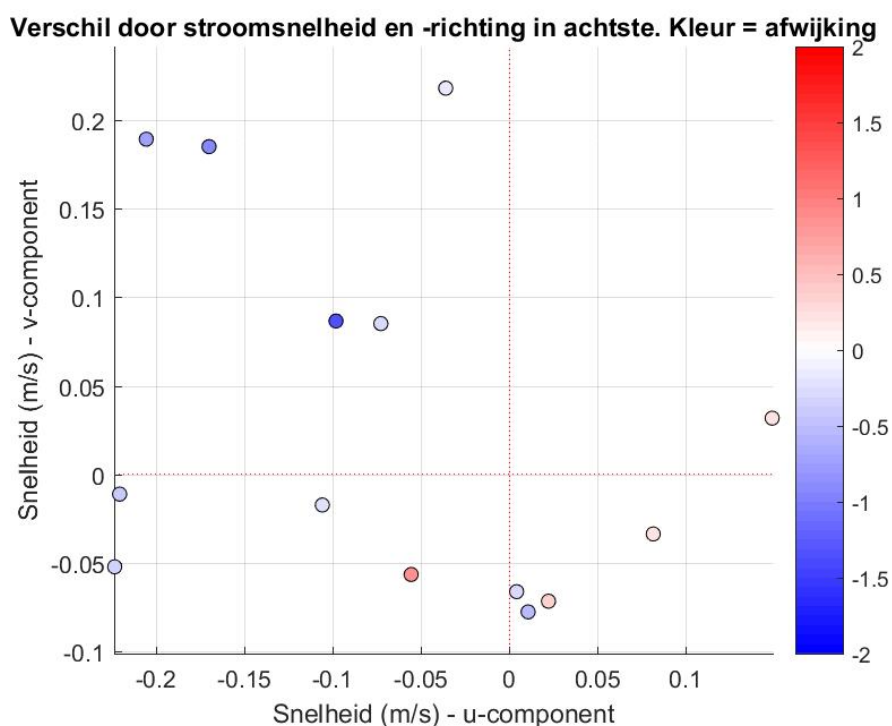
C Correlatie meetfout met stroming en zoutgehalte

C.1 Stroomsnelheid en –richting

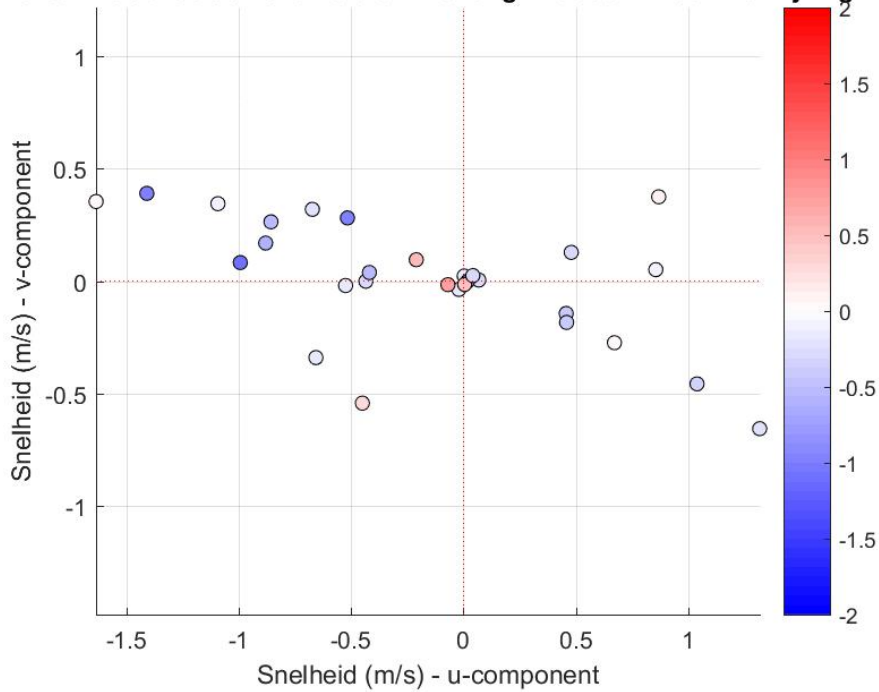
De afbeeldingen in deze bijlage geven het verschil tussen CoVadem- en multibeam-bodemligging aan, afhankelijk van de stroming. Informatie over de stroomsnelheid en –richting is afkomstig uit het OSR-model. Voor iedere scheepstrack is het dichtstbijzijnde uitvoerpunt gezocht en de stroomsnelheid en –richting gemiddeld over de tijd van meten.

Verwacht wordt dat zowel de stroomsnelheid als de stroomrichting invloed hebben op de nauwkeurigheid van de CoVadem-metgegevens. Daarom is op de x-as de u-component (stroming van west naar oost), en op de y-as de v-component (stroming van zuid naar noord) van de stroming op het moment van meten weergegeven. Iedere marker geeft daarbij één scheepstrack weer, waarbij de kleur het gemiddelde verschil tussen CoVadem- en multibeam-bodemligging aangeeft. De locatie van de marker is afhankelijk van de stroomsnelheid en –richting op het moment van meten.

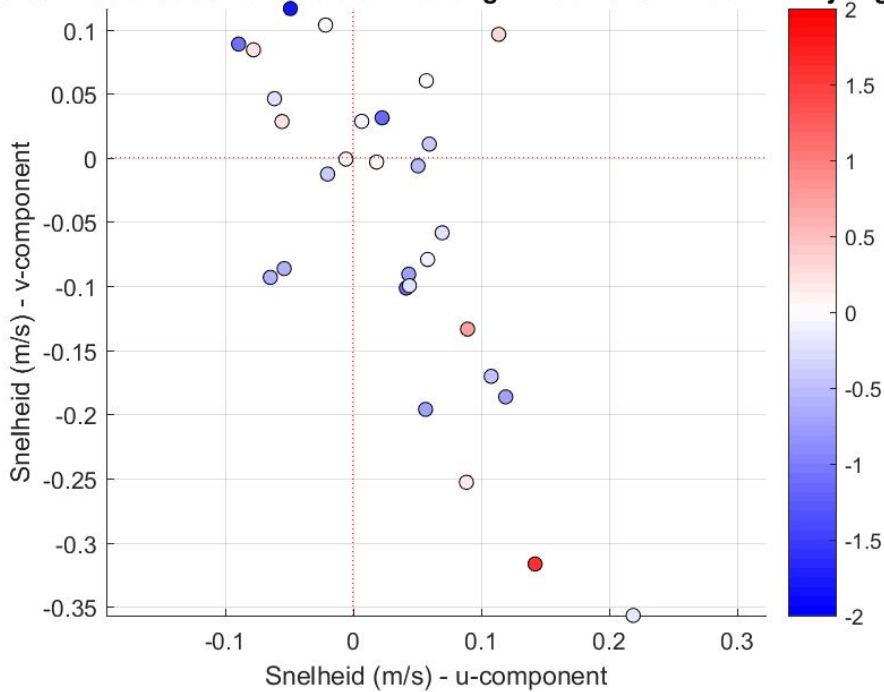
Deze CoVadem-metingen zijn gefilterd volgens de criteria in Hoofdstuk 3.



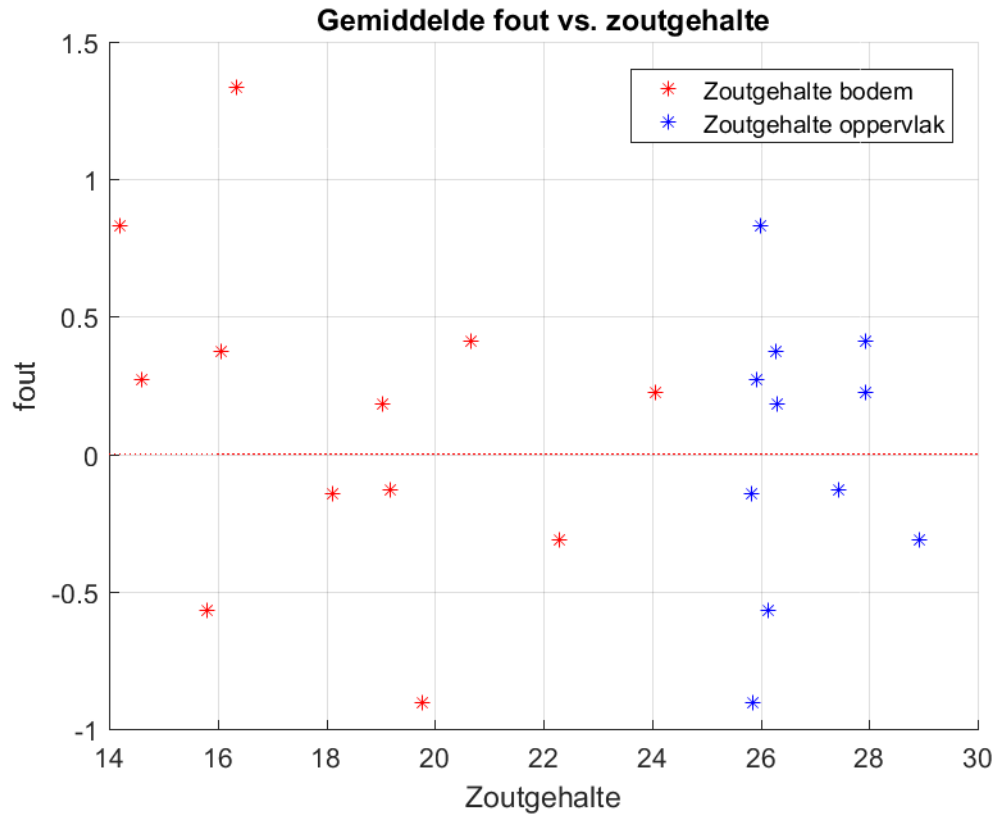
Vershil door stroomsnelheid en -richting in botlek. Kleur = afwijking



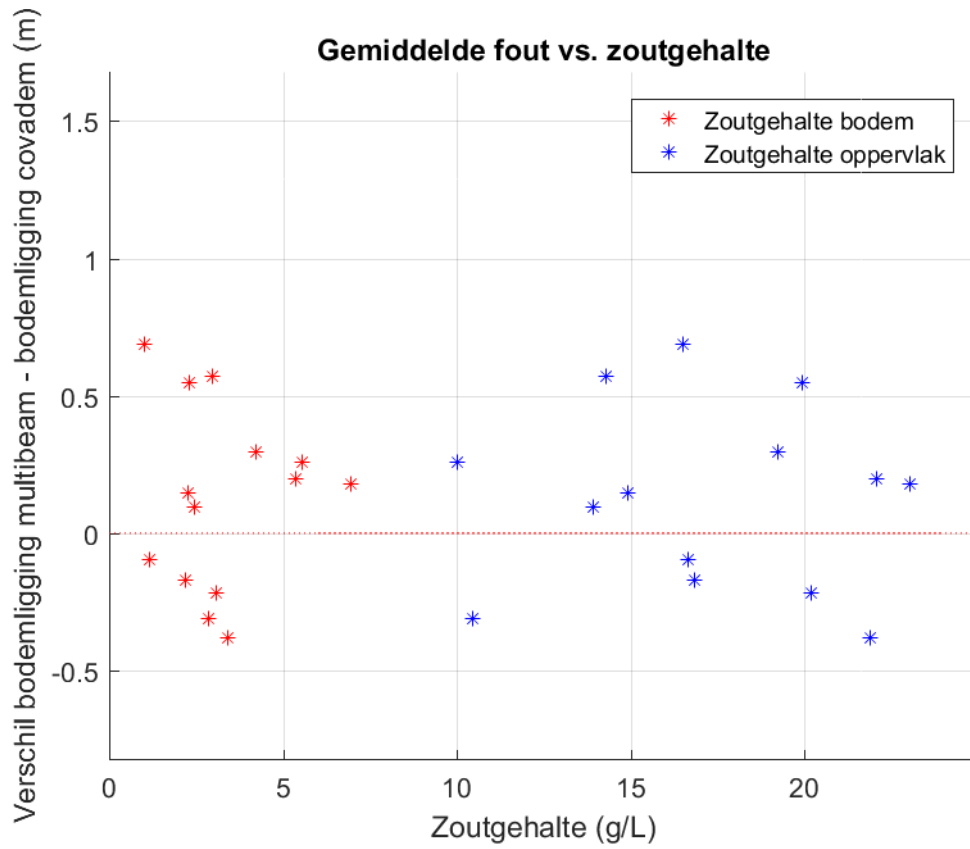
Vershil door stroomsnelheid en -richting in waalhaven. Kleur = afwijking



C.2 Zoutgehalte



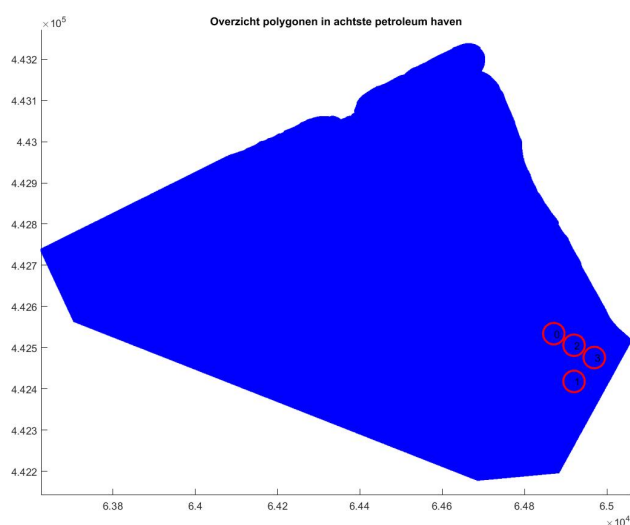
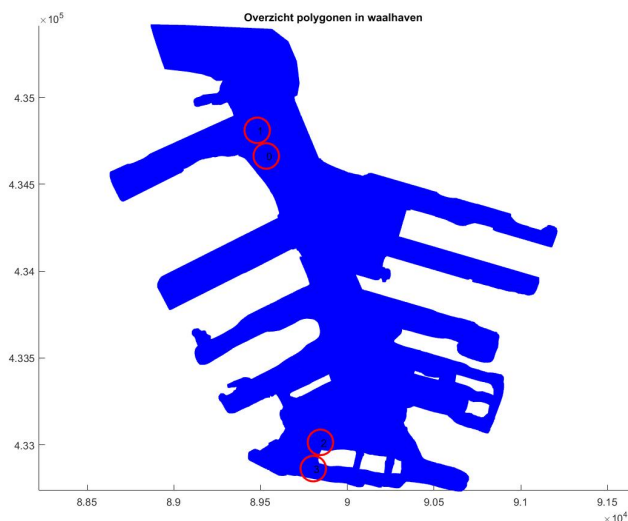
Correlatie meetfout en zoutgehalte in de Achtste Petroleumhaven.



Correlatie meetfout en zoutgehalte in de Botlekhaven.

D Zichtbaarheid temporele bodemtrends

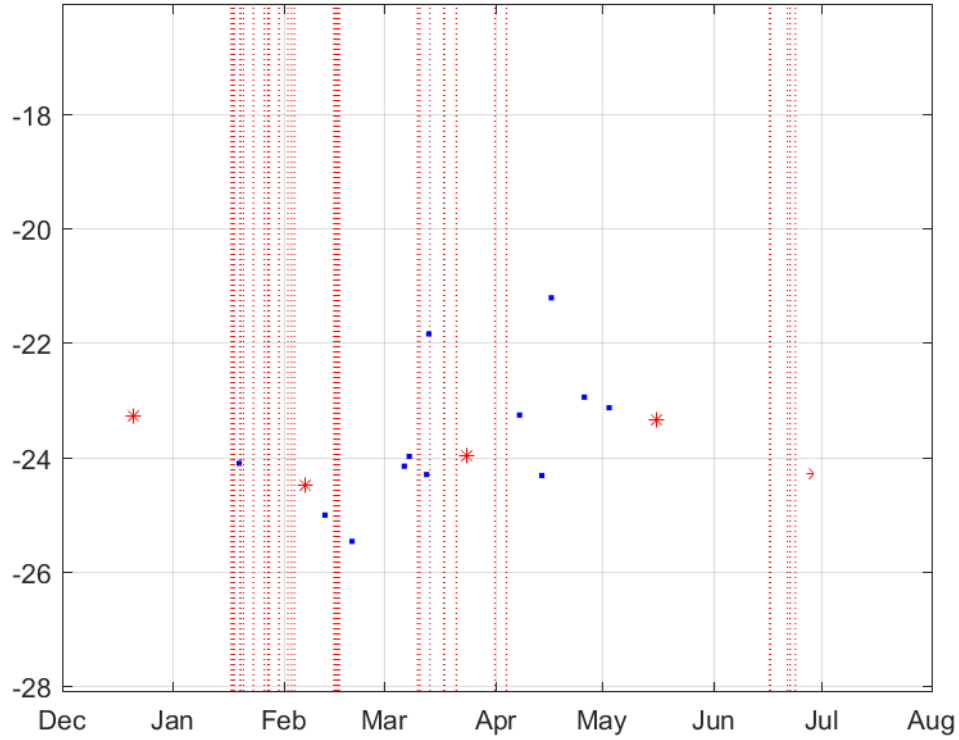
D.1 Definitie polygonen



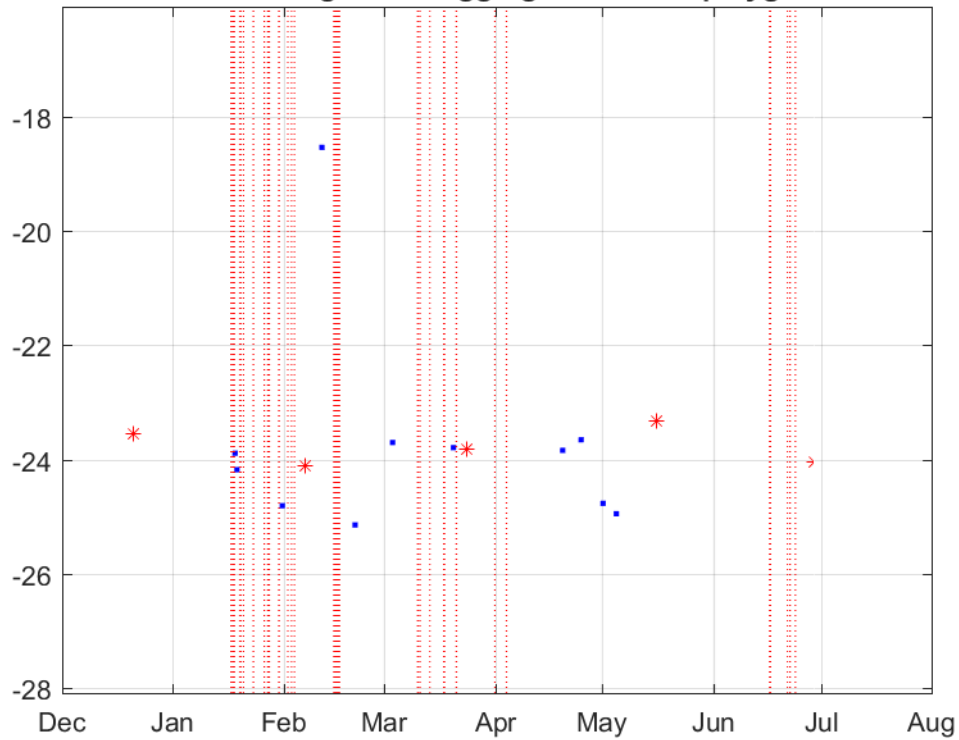
D.2 Afgeleide bodemtrends

Onderstaande afbeeldingen geven per polygoon de bodemtrend op de lange termijn weer zoals afgeleid uit de CoVadem meetgegevens. De blauwe punten zijn de gemiddelde CoVadem-bodemligging in de betreffende polygoon voor één track. De rode punten geven de gemiddelde multibeam-bodemligging weer in dezelfde polygoon, wanneer beschikbaar. De rode lijnen zijn momenten van baggeren in de haven. Hoeveel en waar er precies gebaggerd is, is niet bekend.

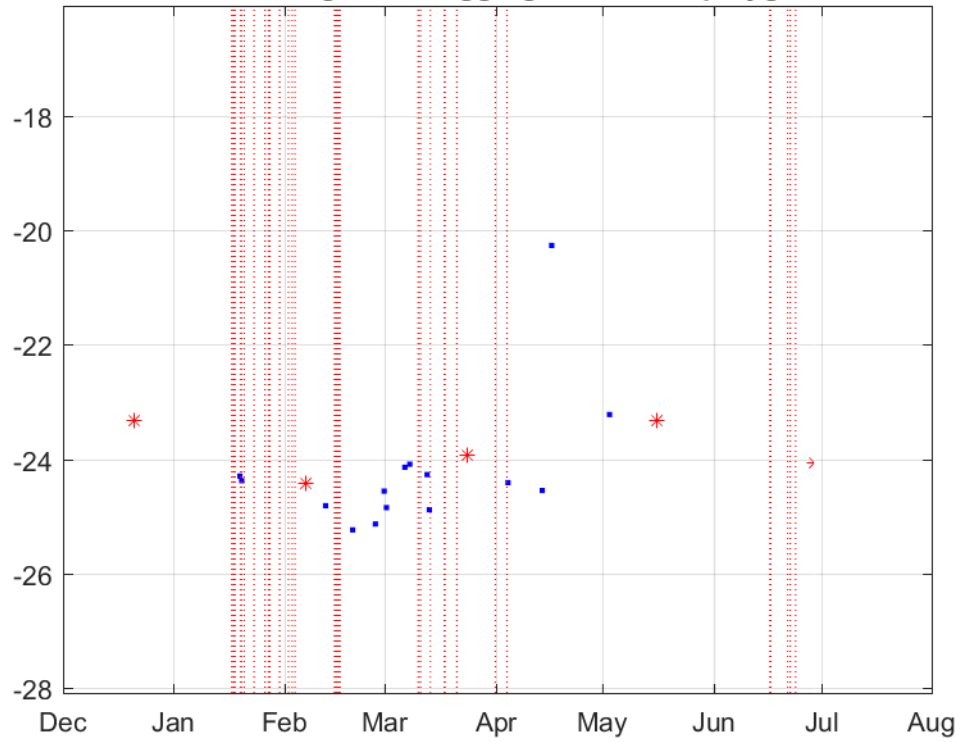
Ontwikkeling bodemligging in achtste: polygon 0



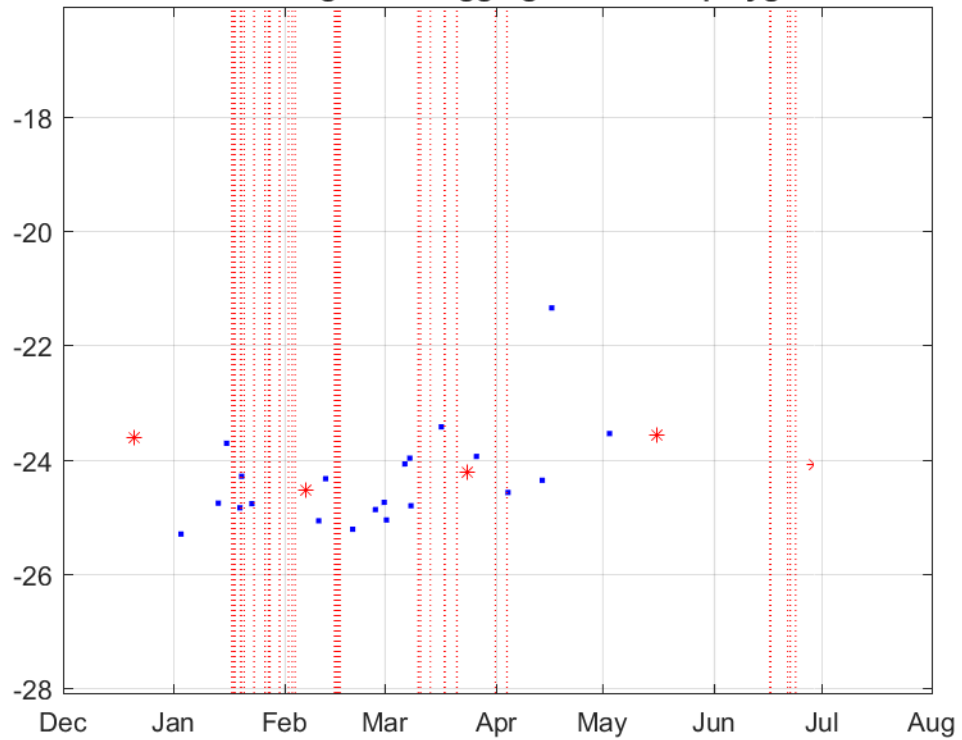
Ontwikkeling bodemligging in achtste: polygon 1

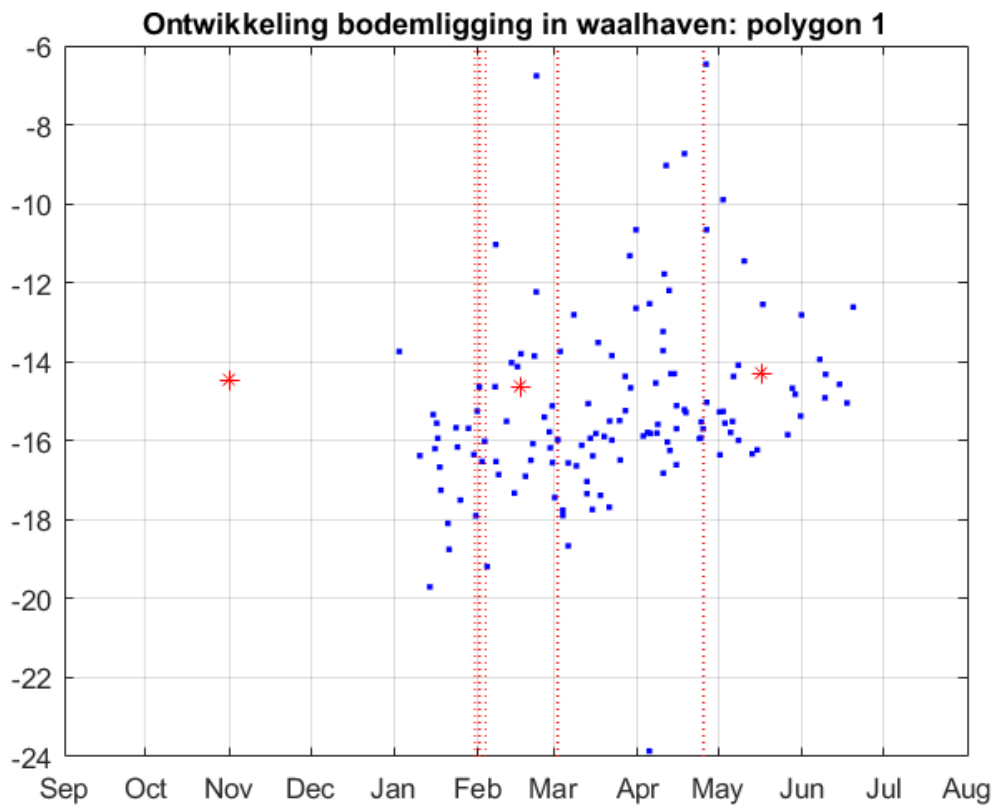
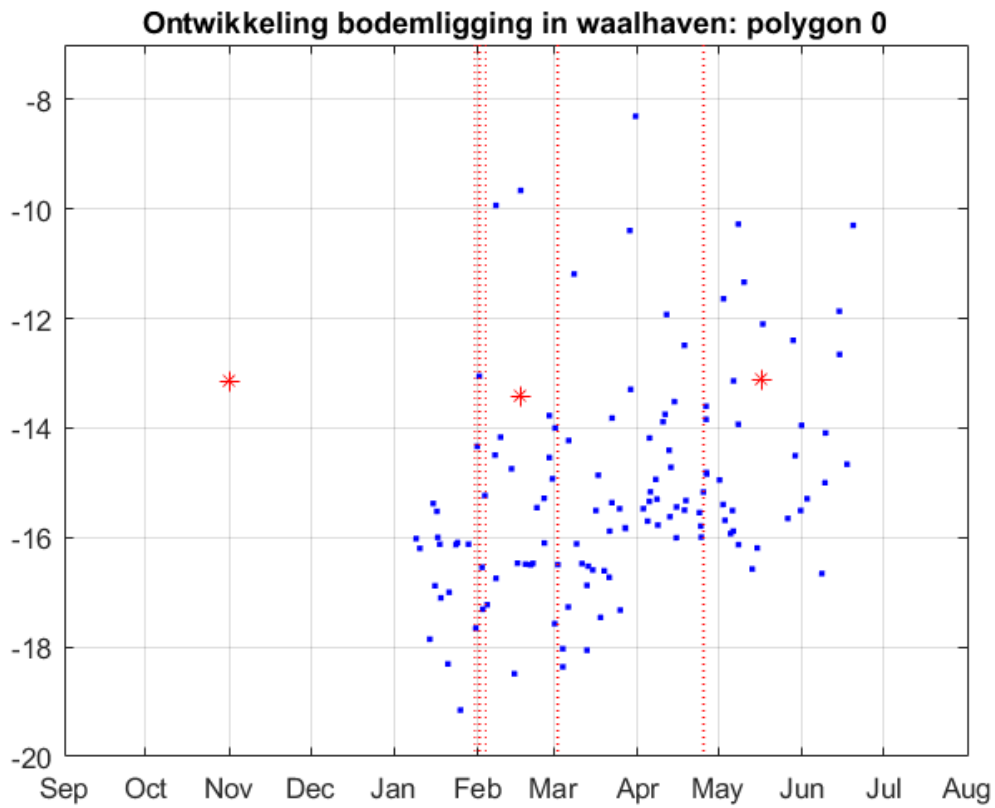


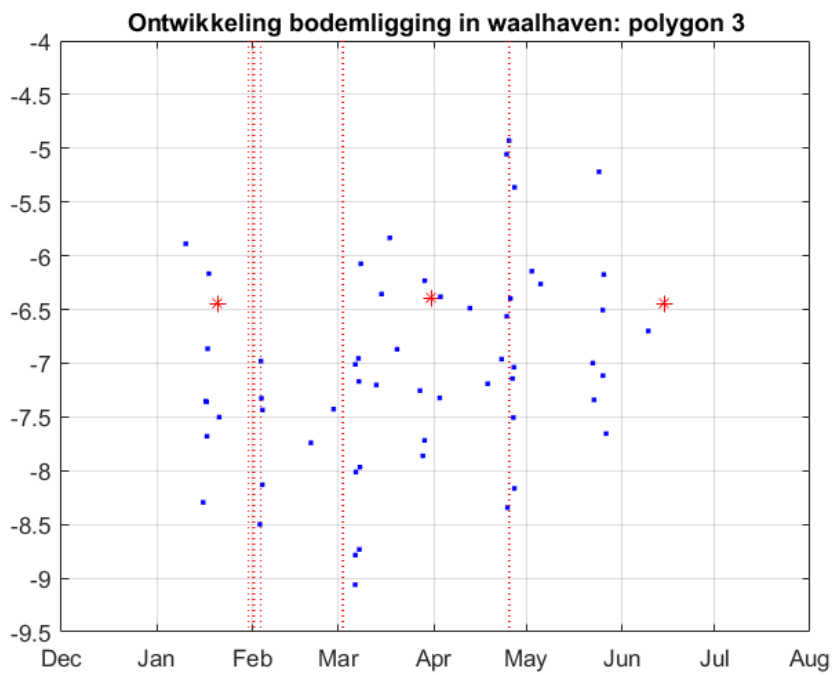
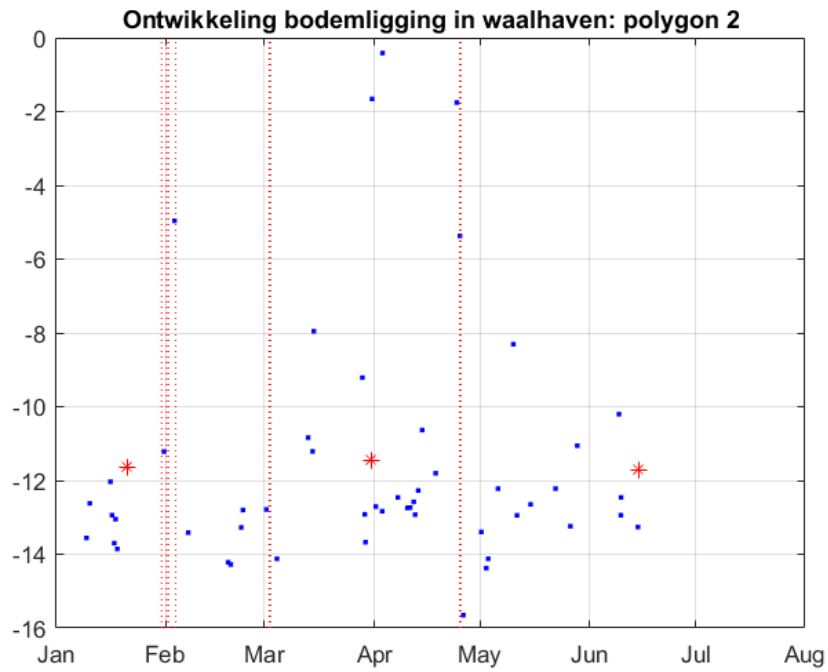
Ontwikkeling bodemligging in achtste: polygon 2



Ontwikkeling bodemligging in achtste: polygon 3







E Afzonderlijke CoVadem-tracks in mei en juni 2016

In deze bijlage is het verschil tussen de CoVadem-bodemligging en de bodemligging volgens multibeam (dichtstbijzijnde meting in tijd en ruimte) weergegeven per track. Ter informatie is daarbij de locatie van de track weergegeven als rode lijn in het panel linksonder, waarbij de witte ster het begin van de track markeert. Alle tracks zijn afkomstig van de drie goed presterende schepen. Daarbij zijn geen verdere filters toegepast. Het panel rechtsonder geeft aanvullende informatie over de externe omstandigheden ten tijde van de CoVadem-meting: waterstand en zoutgehalte aan het oppervlak en bij de bodem. Deze gegevens zijn afkomstig uit OSR-simulaties van mei en juni 2016.

