



**Vlaanderen**  
is wetenschap

16\_010\_1  
WL rapporten

## AMORAS Onderwatercel

Voortgezet onderzoek:  
evolutie topslib OWC 2015 – 2016,  
lospluimen en topslib Kanaaldok B1-B2

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# AMORAS Onderwatercel

Voortgezet onderzoek:  
evolutie topslib OWC 2015 – 2016,  
lospluimen en topslib Kanaaldok B1-B2

De Maerschallck, B.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

#### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

#### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017  
D/2017/3241/157

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**De Maerschalc, B.; Claey, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017). AMORAS Onderwatercel: Voortgezet onderzoek: evolutie topslib OWC 2015 – 2016, lospluimen en topslib Kanaaldok B1-B2. Versie 4.0. WL Rapporten, 16\_010\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

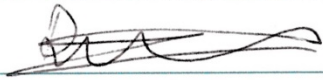
Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

#### Documentidentificatie

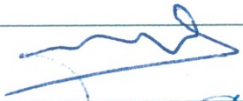
|                 |                                                                  |                    |                                                      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------|
| Opdrachtgever:  | Afdeling Maritieme Toegang                                       | Ref.:              | WL2017R16_010_1                                      |
| Keywords (3-5): | AMORAS onderwatercel, baggerspecie, bezinkingsgedrag, lospluimen |                    |                                                      |
| Tekst (p.):     | 32                                                               | Bijlagen (p.):     | 65                                                   |
| Vertrouwelijk:  | <input checked="" type="checkbox"/> Ja                           | Vrijgegeven vanaf: | 01/01/2025                                           |
|                 |                                                                  | Uitzondering:      | <input checked="" type="checkbox"/> Vlaamse overheid |

|            |                   |
|------------|-------------------|
| Auteur(s): | De Maerschalc, B. |
|------------|-------------------|

#### Controle

|                | Naam              | Handtekening                                                                         |
|----------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Revisor(en):   | Claey, S.         |  |
| Projectleider: | De Maerschalc, B. |  |

#### Goedkeuring

|                              |              |                                                                                      |
|------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Coördinator onderzoeksgroep: | Verwaest, T. |  |
| Afdelingshoofd:              | Mostaert, F. |  |

# Abstract

Onderhoudsbaggerspecie gebaggerd in de dokken van de haven van Antwerpen (Rechteroever) wordt gelost in de AMORAS onderwatercel (OWC), gesitueerd binnen het schuildok voor duwvaart, ten zuiden van de Lillobrug. Van daaruit wordt de specie via een zandafscheider naar de ontwateringsinstallatie gepompt voor verdere verwerking, zie Figuur 1 en Figuur 2 op pagina 2. De onderwatercel had bij oplevering een initiële capaciteit van  $\pm 300.000 \text{ m}^3$  en wordt afgeschermd van het Kanaaldok B1 door middel van een onderwaterdam van de bodem tot op -5 m TAW ( $\pm 9,2 \text{ m}$  onder de waterlijn).

Toen in 2014 na een periode van verhoogde aanvoer van baggerspecie werd vastgesteld dat slechts de helft van de aangevoerde ton droge stof door AMORAS verwerkt werd, startte het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) in samenwerking met het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA) en afdeling Maritieme Toegang (aMT) een onderzoek naar het gedrag van de specie in de onderwatercel (WL project 14\_009: De Maerschallck *et al.*, 2015). In die periode werd er aan een verhoogd tempo baggermateriaal aan- en afgevoerd. Op basis van in situ metingen (GraviProbe, RheoTune en bathymetrische peilingen) werd vastgesteld dat de originele capaciteit van de onderwatercel,  $\pm 300.000 \text{ m}^3$ , sinds de ingebruikname van de cel significant afgenomen was tot minder dan de helft. Tevens werd vastgesteld dat in een periode van intense aanvoer van vers sediment de top van de sliblaag sneller steeg dan verwacht en op geregelde tijdstippen de rand van de onderwaterdam op -5 m TAW bereikte. Er werd vastgesteld dat in periodes van intensieve aanvoer tot meer dan 50 % van de aangevoerde specie door overvloeien van de onderwatercel in het naburige Kanaaldok B1-B2 terecht kwam.

Op basis van het onderzoek werd geadviseerd om de onderwatercel opnieuw op diepte te brengen en de aanvoer van vers sediment beter af te stemmen op de verwerkingscapaciteit van de AMORIS.

In het voorliggende vervolgonderzoek wordt de evolutie van het topslib in de onderwatercel verder opgevolgd. Ook het effect van het ruimen van de onderwatercel en de aangepaste stortstrategie werd geanalyseerd.

Vanaf april 2015 werd het aanvoer regime naar de AMORAS onderwatercel sterk gereduceerd. Op basis van de aan- en afvoer gegevens in combinatie met single-/multi-beam peilingen en RheoTune prikken wordt geschat dat in de periode maart tot september 2015 het sedimentverlies afnam tot 30 % van de gestorte hoeveelheid TDS en in de periode oktober 2015 tot april 2016 tot 20 %. Einde 2015 tot en met februari 2016 werd de onderwatercel geruimd. In die periode werd er geen sediment aangevoerd door THVZ, wel beperkte hoeveelheden door GHA. Het gemiddelde peil in de onderwatercel (diepte 210 kHz reflector) werd verdiept van -8,5 m TAW tot ongeveer -10 m TAW. Lokaal werd de cel verdiept tot -12 m TAW. De oorspronkelijke opleverdiepte van de onderwatercel werd echter niet bereikt.

Wanneer in april 2016 THVZ de aanvoer van vers sediment hervatte, werd door MDK Vlaamse Hydrografie de diepte van de cel en het topslib extra gepeild (multi- en single-beam peilingen in combinatie met RheoTune prikken). Er werd geconstateerd dat tijdens deze periode van aanvoer de top van de sliblaag opnieuw het niveau van de onderwaterdam bereikte. Het verlies werd opnieuw begroot rond de 30 %. Tijdens de daaropvolgende baggercampagne op 2 mei 2016 werd er door de baggertoezichthouder aan boord van MS Artervelde op toegezien dat de baggerwerken gestaakt werden zodra de top van de sliblaag in de onderwatercel het niveau van de onderwaterdam bereikte. De diepte werd afgelezen op de sonar aan boord van de MS Artevelde. Uiteindelijk werd op het einde van de eerste dag na zes lossingen de campagne reeds gestaakt omdat het topslib de -5 m TAW bereikte. Er wordt geschat dat tijdens deze aanvoerperiode het verlies beperkt is gebleven tussen de 0 en 13 %.

Tijdens de aanvoer van 2 mei 2016 werd tevens door het Waterbouwkundig Laboratorium een intensieve campagne georganiseerd om de stortpluimen tijdens en na het kleppen te monitoren. Specie werd aangevoerd door de MS Artevelde met een beuncapaciteit van  $5400 \text{ m}^3$ . Er werd vastgesteld dat het

volume van de aangevoerde specie tot een factor zeven toeneemt tijdens het kleppen in de onderwatercel. Er werd vastgesteld dat het niveau van de topsliblaag in de onderwatercel direct na het kleppen met wel twee meter steeg. In het eerste uur na het kleppen neemt door sedimentatie/consolidatie het niveau van het topslib geleidelijk af, ongeveer 1 m in het eerste uur na het kleppen, en neemt de gemiddelde densiteit toe. Naarmate de densiteit toeneemt, vertraagt het consolidatieproces. Na de tweede lossing neemt het volume in de onderwatercel weer sterk toe. De volumeafname in het eerste uur na de tweede lossing is echter beduidend trager dan na de eerste lossing, minder dan een halve meter in het eerste uur na de lossing.

Op basis van volume topslib, ADCP backscatter en pompstalen werd geschat dat tussen de 10 en 25 % van de specie tijdens het kleppen in suspensie komt. Door de hoge concentraties ontstaat er een densiteitsstroming waardoor de pluim versneld uitzakt en zich horizontaal verspreidt in de onderwatercel. Wanneer het niveau topslib in de onderwatercel stijgt, is er minder ruimte voor deze sedimentpluim binnen de cel en zal zij zich meer richting Kanaaldok kunnen verspreiden.

Op basis van het onderzoek werd een positieve trend vastgesteld wat betreft het reduceren van de stortverliezen. Dit werd vastgesteld zowel op basis van de SB/MB peilingen in combinatie met de RheoTune prikken als tijdens de intensieve monitoringcampagnes. Ook de analyse van de sliblaag in het naburige kanaaldok bevestigt deze trend. Het controleren van de diepte van de onderwatercel tijdens het aanvoeren van specie lijkt meest succesvol om overvloei te vermijden.

# Inhoudstafel

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| Abstract .....                                                      | III  |
| Inhoudstafel.....                                                   | V    |
| Lijst van de tabellen.....                                          | VII  |
| Lijst van de figuren .....                                          | VIII |
| 1 Inleiding .....                                                   | 1    |
| 1.1 Situering.....                                                  | 1    |
| 1.2 Doel van de studie .....                                        | 1    |
| 2 Bagger/stortactiviteiten 2015-2016 .....                          | 3    |
| 2.1 Aan- en afvoer baggerspecie .....                               | 3    |
| 2.2 Verruiming van de onderwatercel.....                            | 6    |
| 2.3 Sedimentbalans .....                                            | 9    |
| 3 Monitoringscampagne april-mei 2016 .....                          | 10   |
| 3.1 Aanvoer en afvoer van baggerspecie .....                        | 10   |
| 3.2 Niveau van het topslib en volumeberekeningen.....               | 12   |
| 4 ADCP-peilingen tijdens en vlak na kleppen .....                   | 16   |
| 4.1 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) .....                  | 16   |
| 4.2 Volume topslib tijdens het aanvoeren van vers baggerspecie..... | 17   |
| 4.3 Densiteit .....                                                 | 19   |
| 4.4 Gesuspendeerd materiaal in de waterkolom .....                  | 21   |
| 5 Topslib in Kanaaldok B1-B2 .....                                  | 26   |
| 6 Conclusies .....                                                  | 31   |
| Referenties .....                                                   | 33   |
| Bijlage A : Meettechnieken .....                                    | B1   |
| A.1 Single- en Multi-beam echo sounder .....                        | B1   |
| A.2 RheoTune.....                                                   | B2   |
| A.3 GraviProbe .....                                                | B3   |
| A.4 Acoustic Doppler Current Profiler .....                         | B4   |
| Bijlage B : Bepaling gemiddelde diepte dwars- en langsprofiel ..... | B5   |
| Bijlage C : RheoTune peiling 28/9/2015 .....                        | B7   |
| Bijlage D : Peilingen april-mei 2016.....                           | B9   |
| D.1 Dwarsprofielen AMORAS onderwatercel .....                       | B9   |

|                                                    |                                                                        |     |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| D.2                                                | RheoTune peilingen: locaties en maximale pijldiepte.....               | B14 |
| D.3                                                | Gemiddeld verticaal dichtheitsprofiel in de AMORAS onderwatercel ..... | B20 |
| D.4                                                | Contourplots dwarsprofiel dichtheid .....                              | B25 |
| Bijlage E : ADCP metingen 2/5/2016 .....           |                                                                        | B37 |
| E.1                                                | Raaien bijboot.....                                                    | B37 |
| E.2                                                | Diepteprofielen langsheen de gevaren raaien .....                      | B47 |
| Bijlage F : Backscatter ADCP raaien 2/5/2016 ..... |                                                                        | B54 |
| F.1                                                | T0-Peiling .....                                                       | B54 |
| F.2                                                | Lossing 1 (MS Ardevelde, 5446m <sup>3</sup> , 11:00).....              | B56 |
| F.3                                                | Lossing 2 (MS Ardevelde, 5424m <sup>3</sup> , 13:16).....              | B59 |
| Bijlage G : Pompstalen.....                        |                                                                        | B64 |
| G.1                                                | T0 - Peiling .....                                                     | B64 |
| G.2                                                | Lossing 1 .....                                                        | B64 |
| G.3                                                | Lossing 2 .....                                                        | B65 |

## Lijst van de tabellen

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1: Jaarlijkse aan- en afvoervolumes, ton droge stof en gemiddelde dichtheid. (2016 tot 31/5/2016)....                                                      | 3   |
| Tabel 2: Volume sediment in de onderwatercel voor en na de verruiming einde 2015 – einde 2016.....                                                               | 7   |
| Tabel 3: Totale aan- en afvoer baggerspecie in de periode 19/10/2015– 2/3/2016, aanvoer is beperkt tot aanvoer GHA.....                                          | 7   |
| Tabel 4: Sedimentbalans op basis van SB en GraviProbe/RheoTune peilingen.....                                                                                    | 9   |
| Tabel 5: Overzicht monitoring AMORAS onderwatercel april - mei 2016.....                                                                                         | 10  |
| Tabel 6: Overzicht van dagelijkse aan- en afvoer van baggerspecie tijdens de monitoringscampagne. De gemarkeerde dagen zijn de dagen waarop er gepeild werd..... | 11  |
| Tabel 7: Gemiddelde dichtheid in de topsliblaag, onder de 33 kHz reflector en bij maximale penetreerdiepte van de RheoTune.....                                  | 15  |
| Tabel 8: Schatting van het percentage TDS dat tijdens het kleppen in suspensie komt (lossing 1, 1700 TDS geklept, 11:00:00).....                                 | 21  |
| Tabel 9: Pompstalen T0-meting.....                                                                                                                               | B64 |
| Tabel 10: Pompstalen genomen 16 tot 24 minuten na de eerste lossing (11:00). ....                                                                                | B64 |
| Tabel 11: Pompstalen genomen ongeveer een uur na de eerste lossing (11:00).....                                                                                  | B64 |
| Tabel 12: Pompstalen genomen ongeveer een half uur na de tweede lossing (13:16).....                                                                             | B65 |
| Tabel 13: Pompstalen genomen ongeveer een uur na de tweede lossing (13:16).....                                                                                  | B65 |

# Lijst van de figuren

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1: Situering AMORAS site .....                                                                                                                                                          | 2  |
| Figuur 2: Infrastructuur AMORAS installaties.....                                                                                                                                              | 2  |
| Figuur 3: Amoris cutter zuiger boven de onderwatercel .....                                                                                                                                    | 4  |
| Figuur 4: Wekelijkse aan- en afvoer van baggerspecie aan de AMORAS onderwatercel in ton droge stof (boven) en volume (onder).....                                                              | 5  |
| Figuur 5: Cumulatieve aan- en afvoer baggerspecie en procentueel verschil TDS .....                                                                                                            | 5  |
| Figuur 6: Volume baggerspecie en wekelijks netto aanvoer-afvoer van sediment .....                                                                                                             | 7  |
| Figuur 7: Diepte van de onderwatercel (peiling 33 kHz) op 28/9/2015 (links) en 2/3/2016 (rechts), contourlijnen op -5 en -10mTAW .....                                                         | 8  |
| Figuur 8: Gemiddeld dwarsprofiel, standaard deviatie en min/max kanaaldok en Amoras OWC op 28/9/2015 en 2/3/2016.....                                                                          | 8  |
| Figuur 9: Dwars- en langsraai AMORAS OWC: dichtheid en diepte .....                                                                                                                            | 12 |
| Figuur 10: Niveau topslib in de onderwatercel week 14 -18, 2016.....                                                                                                                           | 13 |
| Figuur 11: Volume toename/afname in de onderwatercel tijdens normaal werkregime week 14 – 17, 2016 .....                                                                                       | 14 |
| Figuur 12: Volume toename/afname in de onderwatercel week 17 – 18, 2016 .....                                                                                                                  | 15 |
| Figuur 13: MS Artevelde tijdens het lossen van 5400 m <sup>3</sup> baggerspecie .....                                                                                                          | 16 |
| Figuur 14: Evolutie van de diepte van het topslib tijdens aanvoer van sediment .....                                                                                                           | 18 |
| Figuur 15: Volume topslib in de onderwatercel op 02/05/2016.....                                                                                                                               | 18 |
| Figuur 16: Geschatte dichtheid van vers aangevoerde topslib in de onderwatercel op 02/05/2016. ....                                                                                            | 19 |
| Figuur 17: RheoTune dichtheitspunten genomen in de AMORAS onderwatercel op 2/5/2016 tussen 11:30 en 12:30.....                                                                                 | 20 |
| Figuur 18: Concentraties zwevend stofgehalte op basis van pompstalen voor (T0) en na de lossingen (g/l, logaritmische schaal) centraal in de stortpluim .....                                  | 22 |
| Figuur 19: Concentraties zwevend stof boven de onderwatercel (mg/l), centraal in de stortpluim.....                                                                                            | 23 |
| Figuur 20: Backscatter stationaire ADCP-peiling Pierre Petit (locatie van de lossing) na lossing 1 (boven) en lossing 2 (onder) .....                                                          | 24 |
| Figuur 21: Bijboot track 005, 11:18 (18 minuten na kleppen), oriëntatie Noord-Zuid .....                                                                                                       | 24 |
| Figuur 22: Positioneren van de Pierre Petit boven de losplaats vlak na het kleppen .....                                                                                                       | 25 |
| Figuur 23: Niveau topslib in de vaargeul Kanaaldok B1, 2011 - 2016 .....                                                                                                                       | 26 |
| Figuur 24: Niveau topslib in de vaargeul Kanaaldok B1, periode 2015 - 2016.....                                                                                                                | 27 |
| Figuur 25: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: multi beam, 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B). ....              | 28 |
| Figuur 26: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: single beam (200/210kHz), 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B)..... | 28 |

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 27: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: single beam (30/33kHz), 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B).....          | 29  |
| Figuur 28: Evolutie gemiddeld dwarsprofiel met standaard deviatie Kanaaldok en OWC: single beam (200/210kHz), mei 2015 – september 2016 (zie Figuur 34 in Bijlage B voor de positie van de Raai)..... | 29  |
| Figuur 29: Evolutie gemiddeld dwarsprofiel met standaard deviatie Kanaaldok en OWC: single beam (30/33kHz), mei 2015 – september 2016 (zie Figuur 34 in Bijlage B voor de positie van de Raai).....   | 30  |
| Figuur 30: Werkingsprincipe van de single- en multi-beam echo sounder.....                                                                                                                            | B1  |
| Figuur 31: RheoTune .....                                                                                                                                                                             | B2  |
| Figuur 32: GraviProbe meetinstrument ontwikkeld door dotOcean .....                                                                                                                                   | B3  |
| Figuur 33: ADCP klaargemaakt voor montage in de romp (bakboord) van de Pierre Petit .....                                                                                                             | B4  |
| Figuur 34: Dwarsraaien 1-10 (wit) en representatieve raai (blauw). .....                                                                                                                              | B5  |
| Figuur 35: Langsraai.....                                                                                                                                                                             | B6  |
| Figuur 36: Definitie polygonen voor de berekening van sediment volumes (AMORAS OWC), gemiddelde diepte centraal in de cel (AMORAS OWC center) en gemiddelde diepte Kanaaldok B1 (Kanaaldok) .....     | B6  |
| Figuur 37: RheoTune peilingen 28/09/2015, diepte van de peilingen in mTAW. ....                                                                                                                       | B7  |
| Figuur 38: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (28/09/2015).....                                                                                                                    | B7  |
| Figuur 39: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (28/09/2015).....                                                                                                                    | B8  |
| Figuur 40: Peilingen 28/09/2015 .....                                                                                                                                                                 | B8  |
| Figuur 41: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Donderdag 07/04/16 (week 14).....                                                                                  | B9  |
| Figuur 42: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 08/04/16 (week 14) .....                                                                                   | B9  |
| Figuur 43: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 11/04/16 (week 15) .....                                                                                   | B10 |
| Figuur 44: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Woensdag 13/04/16 (week 15).....                                                                                   | B10 |
| Figuur 45: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 15/04/16 (week 15) .....                                                                                   | B11 |
| Figuur 46: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 18/04/16 (week 16) .....                                                                                   | B11 |
| Figuur 47: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 22/04/16 (week 16) .....                                                                                   | B12 |
| Figuur 48: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 29/04/16 (week 17) .....                                                                                   | B12 |
| Figuur 49: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 02/05/16 (week 18) .....                                                                                   | B13 |
| Figuur 50: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Dinsdag 03/05/16 (week 18) .....                                                                                   | B13 |
| Figuur 51: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Woensdag 04/05/16 (week 18).....                                                                                   | B14 |

|                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 52: Peilingen 04/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B14 |
| Figuur 53: Peilingen 15/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B15 |
| Figuur 54: Peilingen 13/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B15 |
| Figuur 55: Peilingen 03/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B16 |
| Figuur 56: Peilingen 11/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B16 |
| Figuur 57: Peilingen 08/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B17 |
| Figuur 58: Peilingen 02/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B17 |
| Figuur 59: Peilingen 29/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B18 |
| Figuur 60: Peilingen 22/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B18 |
| Figuur 61: Peilingen 18/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B19 |
| Figuur 62: Peilingen 07/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW .....                                                                                                                                                                    | B19 |
| Figuur 63: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 07/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1100 \pm 94.73 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1213 \pm 128.7 \text{ kg/m}^3$ . B20  |     |
| Figuur 64: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 08/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1074 \pm 98.1 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1232 \pm 88.04 \text{ kg/m}^3$ ... B20 |     |
| Figuur 65: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 11/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1052 \pm 47.91 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1105 \pm 110.3 \text{ kg/m}^3$ . B21  |     |
| Figuur 66: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 13/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1054 \pm 14.83 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1214 \pm 132.4 \text{ kg/m}^3$ . B21  |     |
| Figuur 67: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 15/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1090 \pm 58.71 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1364 \pm 98.71 \text{ kg/m}^3$ . B22  |     |
| Figuur 68: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 18/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1099 \pm 64.45 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1329 \pm 121.5 \text{ kg/m}^3$ . B22  |     |
| Figuur 69: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 22/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1144 \pm 72.17 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1284 \pm 105.8 \text{ kg/m}^3$ . B23  |     |
| Figuur 70: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 29/04/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1113 \pm 102.5 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1272 \pm 133.1 \text{ kg/m}^3$ . B23  |     |
| Figuur 71: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 02/05/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1024 \pm 25.1 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1206 \pm 122.2 \text{ kg/m}^3$ ... B24 |     |
| Figuur 72: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 03/05/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1048 \pm 25.89 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1164 \pm 118.9 \text{ kg/m}^3$ . B24  |     |
| Figuur 73: Gemiddeld dichtheitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 04/05/2016, gemiddelde dichtheid in de toplaag: $1041 \pm 21.45 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde dichtheid in onderste laag: $1160 \pm 125.1 \text{ kg/m}^3$ . B25  |     |
| Figuur 74: Positie van de theoretische raaien waarop de gemeten dichtheiten (RheoTune® prikken, aangeduid in de figuur) geïnterpoleerd worden. ....                                                                                       | B25 |
| Figuur 75: Dwarsraai AMORAS OWC: Dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ] (07/04/2016).....                                                                                                                                                          | B26 |
| Figuur 76: Langsraai AMORAS OWC: Dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ] (07/04/2016).....                                                                                                                                                          | B26 |
| Figuur 77: Dwarsraai AMORAS OWC: Dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ] (08/04/2016).....                                                                                                                                                          | B27 |
| Figuur 78: Langsraai AMORAS OWC: Dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ] (08/04/2016).....                                                                                                                                                          | B27 |
| Figuur 79: Dwarsraai AMORAS OWC: Dichtheid [ $\text{kg/m}^3$ ] (11/04/2016).....                                                                                                                                                          | B28 |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 80: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (11/04/2016).....                 | B28 |
| Figuur 81: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (13/04/2016).....                 | B29 |
| Figuur 82: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (13/04/2016).....                 | B29 |
| Figuur 83: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (15/04/2016).....                 | B30 |
| Figuur 84: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (15/04/2016).....                 | B30 |
| Figuur 85: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (18/04/2016).....                 | B31 |
| Figuur 86: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (18/04/2016).....                 | B31 |
| Figuur 87: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (22/04/2016).....                 | B32 |
| Figuur 88: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (22/04/2016).....                 | B32 |
| Figuur 89: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (29/04/2016).....                 | B33 |
| Figuur 90: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (29/04/2016).....                 | B33 |
| Figuur 91: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (02/05/2016).....                 | B34 |
| Figuur 92: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (02/05/2016).....                 | B34 |
| Figuur 93: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (03/05/2016).....                 | B35 |
| Figuur 94: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (03/05/2016).....                 | B35 |
| Figuur 95: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (04/05/2016).....                 | B36 |
| Figuur 96: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m <sup>3</sup> ] (04/05/2016).....                 | B36 |
| Figuur 97: Positie bijboot 10:02 - 10:05: T0 dwarsraai (track 000) .....                           | B37 |
| Figuur 98: Positie bijboot 10:09 - 10:12: T0 langsraai (track 001).....                            | B37 |
| Figuur 99: Positie bijboot 10:34 - 10:50: T0 kalibratie: bijboot naas Pier Petit (track 002) ..... | B38 |
| Figuur 100: Positie bijboot 11:09 - 11:12: Lossing 1 (track 003) .....                             | B38 |
| Figuur 101: Positie bijboot 11:13 - 11:16: Lossing 1 (track 004) .....                             | B39 |
| Figuur 102: Positie bijboot 11:17 - 11:19: Lossing 1 (track 005) .....                             | B39 |
| Figuur 103: Positie bijboot 11:20 - 11:23: Lossing 1 (track 006) .....                             | B40 |
| Figuur 104: Positie bijboot 11:25 - 11:29: Lossing 1 (track 007) .....                             | B40 |
| Figuur 105: Positie bijboot 11:47 - 12:08: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 008) .....  | B41 |
| Figuur 106: Positie bijboot 13:24 - 13:30: Lossing 2 (track 010) .....                             | B41 |
| Figuur 107: Positie bijboot 13:30 - 13:34: Lossing 2 (track 011) .....                             | B42 |
| Figuur 108: Positie bijboot 13:35 - 13:39: Lossing 2 (track 012) .....                             | B42 |
| Figuur 109: Positie bijboot 13:41 - 13:47: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 013) .....  | B43 |
| Figuur 110: Positie bijboot 13:48 - 13:53: Lossing 2 (track 014) .....                             | B43 |
| Figuur 111: Positie bijboot 13:53 - 13:59: Lossing 2 (track 015) .....                             | B44 |
| Figuur 112: Positie bijboot 13:59 - 14:04: Lossing 2 (track 016) .....                             | B44 |
| Figuur 113: Positie bijboot 14:05 - 14:10: Lossing 2 (track 017) .....                             | B45 |
| Figuur 114: Positie bijboot 14:12 - 14:22: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 018) .....  | B45 |
| Figuur 115: Positie bijboot 14:25 - 14:28: Lossing 2 (track 019) .....                             | B46 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 116: Positie bijboot 14:29 - 14:32: Lossing 2 (track 020) .....                                                  | B46 |
| Figuur 117: Diepte van de cel, T0 dwarsraai (track 000).....                                                            | B47 |
| Figuur 118: Diepte van de cel, T0 langsraai (track 001) .....                                                           | B47 |
| Figuur 119: Diepte van de cel, T0 kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 002).....                                 | B47 |
| Figuur 120: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 003).....                                                               | B48 |
| Figuur 121: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 004).....                                                               | B48 |
| Figuur 122: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 005).....                                                               | B48 |
| Figuur 123: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 006).....                                                               | B49 |
| Figuur 124: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 007).....                                                               | B49 |
| Figuur 125: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 008) .....                                   | B49 |
| Figuur 126: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 010).....                                                               | B50 |
| Figuur 127: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 011).....                                                               | B50 |
| Figuur 128: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 012).....                                                               | B50 |
| Figuur 129: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 013) .....                                   | B51 |
| Figuur 130: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 014).....                                                               | B51 |
| Figuur 131: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 015).....                                                               | B51 |
| Figuur 132: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 016).....                                                               | B52 |
| Figuur 133: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 017).....                                                               | B52 |
| Figuur 134: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 018) .....                                   | B52 |
| Figuur 135: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 019).....                                                               | B53 |
| Figuur 136: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 020).....                                                               | B53 |
| Figuur 137: Gevaren raaien T0-peiling .....                                                                             | B54 |
| Figuur 138: Bijboot track 000 – T0-peiling, 2/5/2016 11:04, dwarsraai NO – ZW. ....                                     | B55 |
| Figuur 139: Bijboot track 001 – T0-peiling, 2/5/2016 10:11, langsraai ZO – NW.....                                      | B55 |
| Figuur 140: Bijboot track 002 - stationaire peiling, bijboot naast Pierre Petit voor kalibartie T0, 10:34 – 10:52 ..... | B55 |
| Figuur 141: Gevaren raaien Lossing 2 .....                                                                              | B56 |
| Figuur 142: Bijboot track 003, 11:11 (11 minuten na kleppen), orienatatie Noord-Zuid .....                              | B57 |
| Figuur 143: Bijboot track 004, 11:15 (15 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid .....                             | B57 |
| Figuur 144: Bijboot track 005, 11:18 (18 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid .....                             | B57 |
| Figuur 145: Bijboot track 006, 11:22 (22 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid .....                             | B58 |
| Figuur 146: Bijboot track 007, 11:27 (27 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid .....                             | B58 |
| Figuur 147: Bijboot track 008 - stationaire peiling, bijboot naast Pierre Petit, 11:47 – 12:08 .....                    | B58 |
| Figuur 148: Gevaren raaien na lossing 2 .....                                                                           | B59 |
| Figuur 149: Bijboot track 010, 13:27 (11 minuten na kleppen), oriëntatie ZO – NW. ....                                  | B60 |
| Figuur 150: Bijboot track 011, 13:32 (16 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                                 | B60 |

|                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figuur 151: Bijboot track 012, 13:37 (21 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B60 |
| Figuur 152: Bijboot track 013 - Stationaire peiling, bijboot naast Pierre Petit, 13:41 – 13:47 .....     | B61 |
| Figuur 153: Bijboot track 14, 13:50 (40 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                   | B61 |
| Figuur 154: Bijboot track 015, 13:56 (40 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B61 |
| Figuur 155: Bijboot track 016, 14:02 (46 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B62 |
| Figuur 156: Bijboot track 017, 14:07 (51 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B62 |
| Figuur 157: Bijboot track 018 - Stationaire peiling, bijboot langs zij Pierre Petit, 14:12 – 14:22 ..... | B62 |
| Figuur 158: Bijboot track 019, 14:26 (70 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B63 |
| Figuur 159: Bijboot track 020, 14:30 (74 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW. ....                  | B63 |



# 1 Inleiding

## 1.1 Situering

Onderhoudsbaggerspecie gebaggerd in de dokken van de haven van Antwerpen (Rechteroever) wordt gelost in de AMORAS onderwatercel (OWC), gesitueerd binnen het schuildok voor duwvaart, ten zuiden van de Lillobrug. Van daaruit wordt de specie via een zandafscheider naar de ontwateringsinstallatie gepompt voor verdere verwerking, zie Figuur 1 en Figuur 2. De onderwatercel had bij oplevering een initiële capaciteit van  $\pm 300.000\text{m}^3$  en wordt afgeschermd van het Kanaaldok B1 door middel van een onderwaterdam van de bodem tot op -5m TAW ( $\pm 9,2$  m onder de waterlijn).

In april 2014 startte het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) in samenwerking met het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA) en Maritieme Toegang (aMT) een onderzoek naar het gedrag van de specie in de onderwatercel (WL project 14\_009: De Maerschalck *et al.*, 2015). In die periode werd er aan een verhoogde intensiteit baggerspecie aan- en afgevoerd. Op basis van in situ metingen (GraviProbe, RheoTune en bathymetrische peilingen<sup>1</sup>) werd vastgesteld dat de originele capaciteit van de onderwatercel,  $\pm 300\,000\text{ m}^3$ , sinds de ingebruikname van de cel significant afgenomen was tot minder dan de helft. Tevens werd vastgesteld dat in een periode van intense aanvoer van vers sediment de top van de sliblaag sneller stijgt dan verwacht en op geregelde tijdstippen de rand van de onderwaterdam op -5 m TAW bereikt. Op basis van sedimentbalansen werd het stortverlies tot 50% en meer van de aangevoerde lading droge stof vastgesteld. In die periode werd tevens de vorming van een sliblaag waargenomen in het naburige Kanaaldok B1-B2. Naarmate de laag toenam in dikte verspreide ze zich ook verder over het kanaaldok.

Op basis van de analyse werd geadviseerd om de onderwatercel opnieuw op diepte te brengen en de aanvoer van vers sediment af te stemmen op de verwerkingscapaciteit van de AMORAS installaties. In 2015 werd de zandafscheider van AMORAS (stap 2 in Figuur 2) vervangen door een grotere installatie die het mogelijk maakt het geaccumuleerde zandrijke sediment in de onderste lagen van de cel beter te verwerken. Eind 2015 werd begonnen met het terug op diepte brengen van de onderwatercel. Deze werken werden afgerond eind februari 2016. Gedurende deze periode werd er niet gestort door THVZ. Tevens werd er door Maritieme Toegang beslist het baggerregime terug te schroeven naar een normaal regime van vijf dagen op zeven (tevorens 7/7) en enkel lossen toe te laten wanneer de Amoris, de cutterzuiger die het sediment in de onderwatercel weer wegbaggert en naar de AMORAS installaties verpompt, actief is.

## 1.2 Doel van de studie

Binnen de voorliggende studie wordt onderzocht in welke mate de verdieping van de onderwatercel en het aangepaste stortregime effect heeft op het sediment budget en op het naburige Kanaaldok. Daartoe werden analoog aan het voorgaande onderzoek de bathymetrische peilingen en aan- en afvoer gegevens van 2015 – 2016 geanalyseerd, zie Hoofdstuk 2. Tevens werd er gedurende de vijf weken wanneer de aanvoer van specie door THVZ hervat werd intensief gepeild, zowel echosounder peilingen als RheoTune prikken (Hoofdstuk 3). Bijkomend werd op 2 mei 2016 voor, tijdens en na het lossen van vers sediment gepeild met behulp van twee ADCP's en werden er pompstalen genomen om de spreiding van zwevend stof in en boven de onderwatercel in kaart te brengen (Hoofdstuk 4). Tenslotte werd op basis van de beschikbare peilingen de evolutie van de bodem en sliblaag in de het naburige Kanaaldok B1 geanalyseerd

<sup>1</sup> Zie Bijlage A voor een beschrijving van de verschillende meettoestellen

(Hoofdstuk 5) . Alle gebruikte bathymetrische peilingen (multi- en single-beam peilingen) zijn opgenomen in twee externe bijlagen (De Maerschallck *et al.*, 2015b, 2017).

Figuur 1: Situering AMORAS site



Figuur 2: Infrastructuur AMORAS installaties



(1) Onderwatercel, (2) Zandafscheidingsinstallatie, (3) Persleidingen, (4) Indikvijvers met baggerportiek, (5) Ontwateringsinstallatie, (6) Waterzuiveringsinstallatie, (7) Bergingslocatie ([www.amoras.be](http://www.amoras.be))

## 2 Bagger/stortactiviteiten 2015-2016

### 2.1 Aan- en afvoer baggerspecie

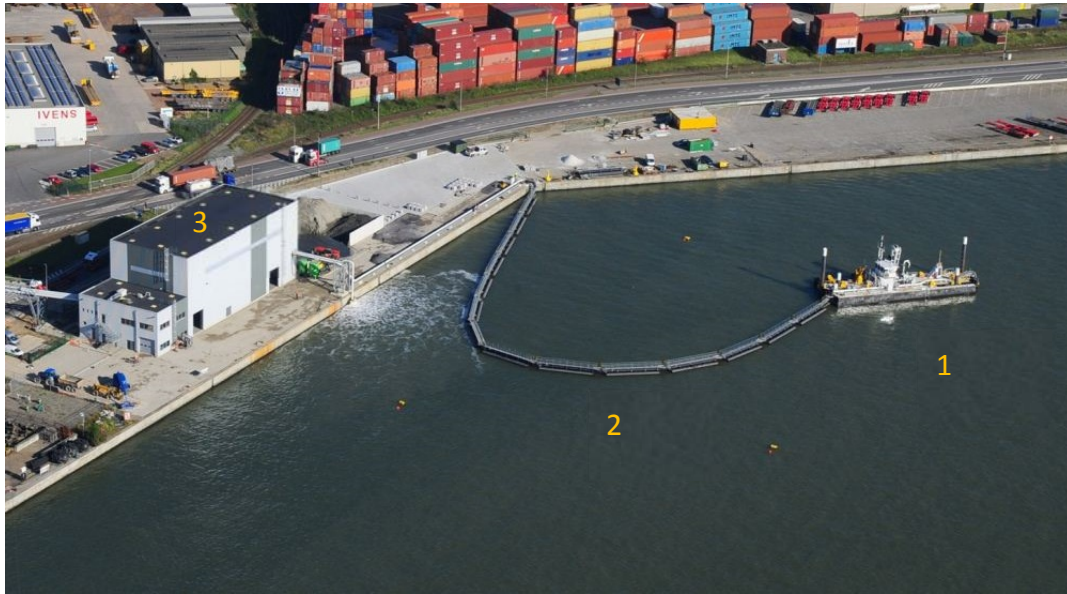
Onderhoudsbaggerspecie wordt zowel aangeleverd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (GHA) als door de Tijdelijke Handelsvennootschap Zeeschelde (THVZ). GHA is verantwoordelijk voor het op diepte houden van de commerciële ligplaatsen. THVZ wordt rechtstreeks aangestuurd door de afdeling Maritieme Toegang (aMT) van het departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW), die verantwoordelijk is voor de toegangskanalen en sluizen. De aanvoer gebeurt in hoofdzaak door splijthoppers of splijtbakken. GHA voert vooral specie aan met de MS Sinjoor I, met een beuncapaciteit van  $\pm 1500 \text{ m}^3$  en De Kop,  $\pm 2600 \text{ m}^3$ . THVZ beschikt over verschillende baggerschepen. In 2016 werd de MS Sebastiano Caboto,  $\pm 3200 \text{ m}^3$ , hiervoor ingezet en in mei 2016 de MS Artevelde met een beuncapaciteit van  $\pm 5400 \text{ m}^3$ . De totale jaarlijkse aanvoerhoeveelheden zijn weergegeven in Tabel 1. De gemiddelde beundensiteit ligt rond tussen de 1,8 en  $1,9 \text{ ton/m}^3$  en is afhankelijk van de baggerlocatie en diepte.

De specie die gestort wordt in de onderwatercel wordt vervolgens door de Amoris weer gebaggerd en via een flexibele leiding naar de zandafscheider gepompt, zie Figuur 2. Omdat het sediment dat naar de zandafscheider gepompt wordt een hoger zandgehalte heeft dan oorspronkelijk begroot, werd in 2015 de zandafscheider vernieuwd. Na het afscheiden van het zand wordt de specie naar de AMORAS installatie verpompt waar het verder verwerkt wordt. De optimale densiteit voor de verwerkingsinstallatie ligt rond de  $1,12 \text{ ton/m}^3$ .

Tabel 1: Jaarlijkse aan- en afvoervolumes, ton droge stof en gemiddelde densiteit. (2016 tot 31/5/2016)

|               | Aanvoer GHA             |                  |                           | Aanvoer THVZ (aMT)      |                  |                           | Afvoer OWC Amoris       |                  |                           |
|---------------|-------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------|
|               | Volume ( $\text{m}^3$ ) | TDS (ton)        | Dens ( $\text{ton/m}^3$ ) | Volume ( $\text{m}^3$ ) | TDS (ton)        | Dens ( $\text{ton/m}^3$ ) | Volume ( $\text{m}^3$ ) | TDS (ton)        | Dens ( $\text{ton/m}^3$ ) |
| <b>2011</b>   | 696 190                 | 240 587          | 1,22                      | -                       | -                | -                         | -                       | -                | -                         |
| <b>2012</b>   | 1 816 266               | 534 098          | 1,19                      | 779 966                 | 258 819          | 1,21                      | 2 827 532               | 546 226          | 1,12                      |
| <b>2013</b>   | 1 847 147               | 578 173          | 1,20                      | 2 716 002               | 844 209          | 1,20                      | 3 467 600               | 743 226          | 1,14                      |
| <b>2014</b>   | 815 657                 | 182 316          | 1,14                      | 5 922 439               | 1 806 467        | 1,19                      | 4 972 035               | 962 095          | 1,12                      |
| <b>2015</b>   | 595 343                 | 130 830          | 1,13                      | 2 479 981               | 738 346          | 1,18                      | 3 836 916               | 560 075          | 1,09                      |
| <b>2016</b>   | 270 374                 | 74 987           | 1,17                      | 326 304                 | 102 743          | 1,20                      | 1 091 411               | 187 757          | 1,11                      |
| <b>Totaal</b> | <b>6 040 977</b>        | <b>1 740 992</b> | <b>1,18</b>               | <b>12 224 692</b>       | <b>3 750 584</b> | <b>1,19</b>               | <b>16 195 493</b>       | <b>2 999 379</b> | <b>1,12</b>               |

Figuur 3: Amoris cutter zuiger boven de onderwatercel

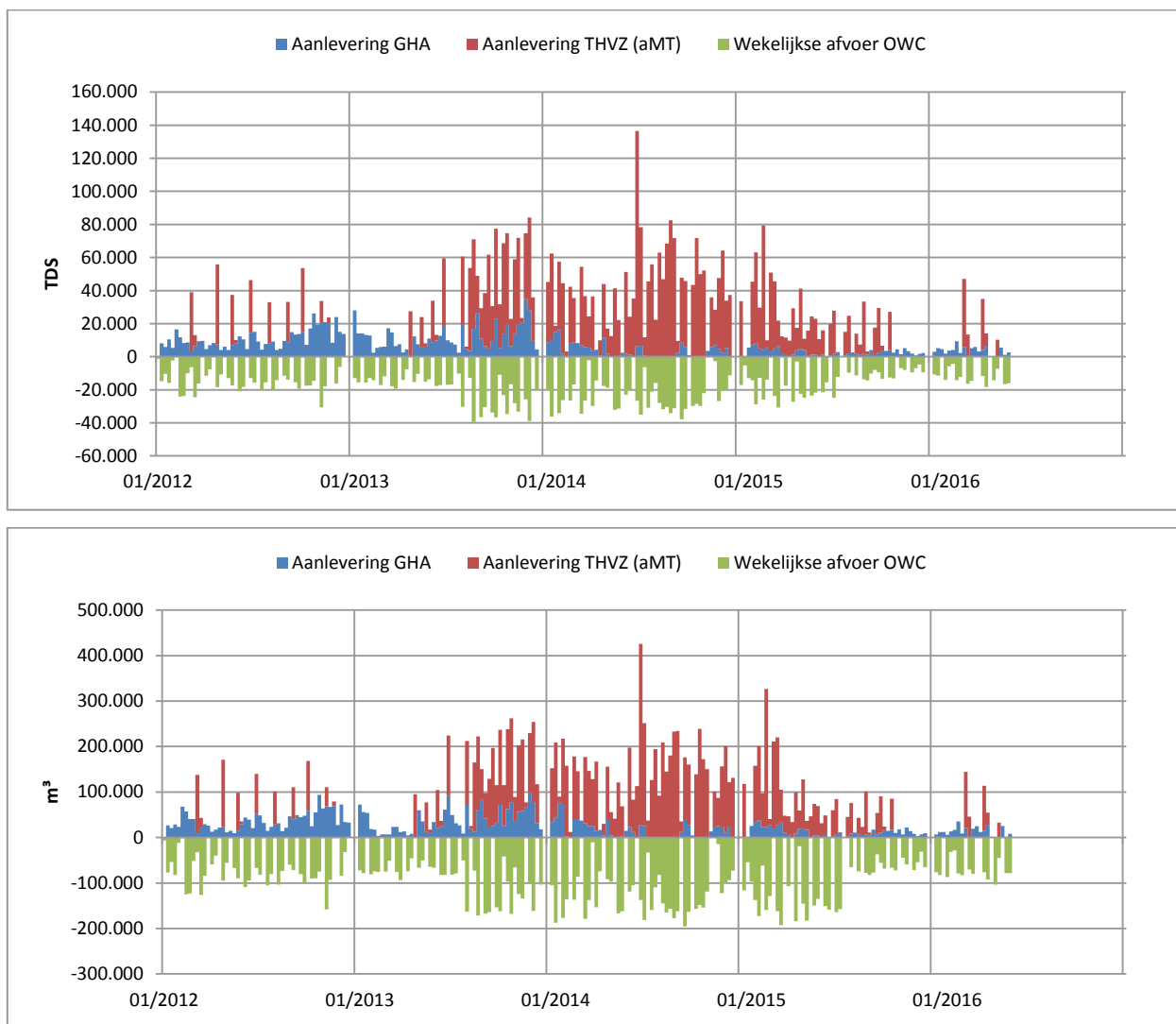


Amoris (1), flexibele drijvende leiding (2), Zandafscheider (3)  
bron: [www.amoras.be](http://www.amoras.be)

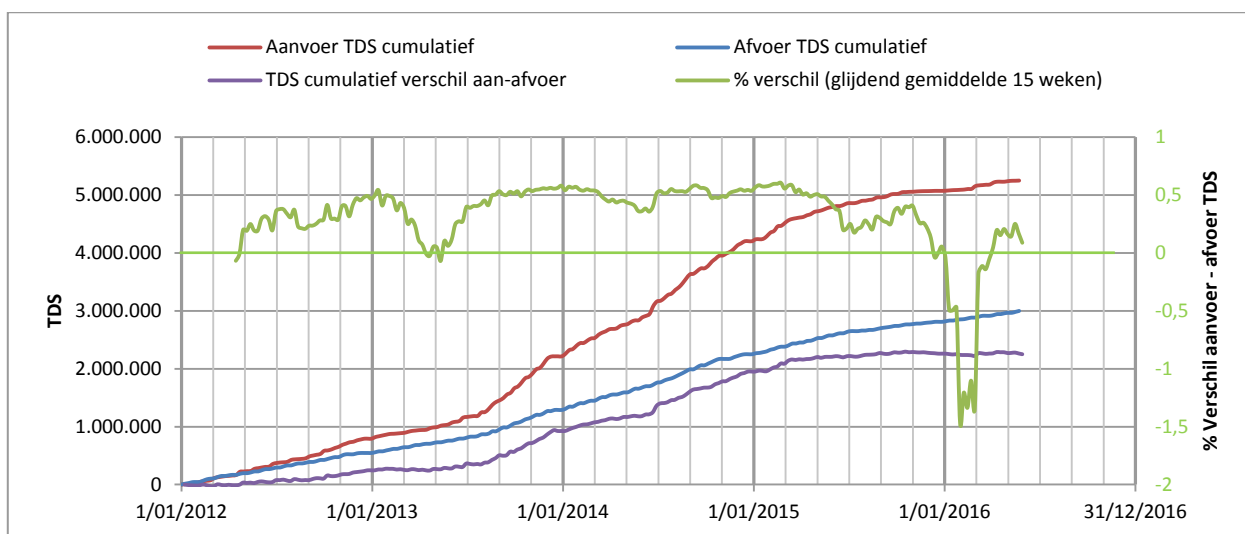
De wekelijkse aan- en afvoer van baggerspecie is weergegeven in Figuur 4. In de periode augustus 2013 tot begin 2015 werd er door THVZ aanzienlijk meer aangevoerd. In die periode werd ook het werkregime van de Amoris verhoogd, van 12u per dag naar 24/24. Ondanks de verhoogde afvoer door Amoris werd minder dan 50% van de aangevoerde droge stof verwerkt door AMORAS, zie Figuur 5. De overige 50% van de specie kwam terecht in het naburige Kanaaldok B1-B2 waar zich een slibslaag ontwikkelde (De Maerschalck *et al.*, 2015a). Begin 2015 werd de aanvoer door THVZ sterk verminderd. In de tweede helft van 2015 bedraagt het verschil tussen aan- en afvoer van sediment (in TDS) rond de 20 à 25 % (glijdend gemiddelde over 15 weken).

Einde 2015 – begin 2016 wordt er geen specie aangevoerd door THVZ. In deze periode wordt de cel opnieuw geruimd, zie §2.2. GHA voert in deze periode nog sporadisch specie aan. In maart 2016 wordt de aanvoer door THVZ hervat. In de eerste twee weken van maart wordt al 190 000 m<sup>3</sup> specie aangevoerd, waarvan 168 000 m<sup>3</sup> door THVZ van 5 tot 7 mei 2016. Om kosten te besparen wordt niet continu gebaggerd, maar kiest aMT ervoor om een groter baggerschip gedurende korte tijd binnen de dokken in te zetten. Vervolgens wordt er nog specie aangevoerd in week 14 – 15 (april 2016): 125 000 m<sup>3</sup>, en op 2 mei 2016: 32 600 m<sup>3</sup>. Deze laatste twee worden verder geanalyseerd in volgende hoofdstukken.

Figuur 4: Wekelijkse aan- en afvoer van baggerspecie aan de AMORAS onderwatercel in ton droge stof (boven) en volume (onder)



Figuur 5: Cumulatieve aan- en afvoer baggerspecie en procentueel verschil TDS



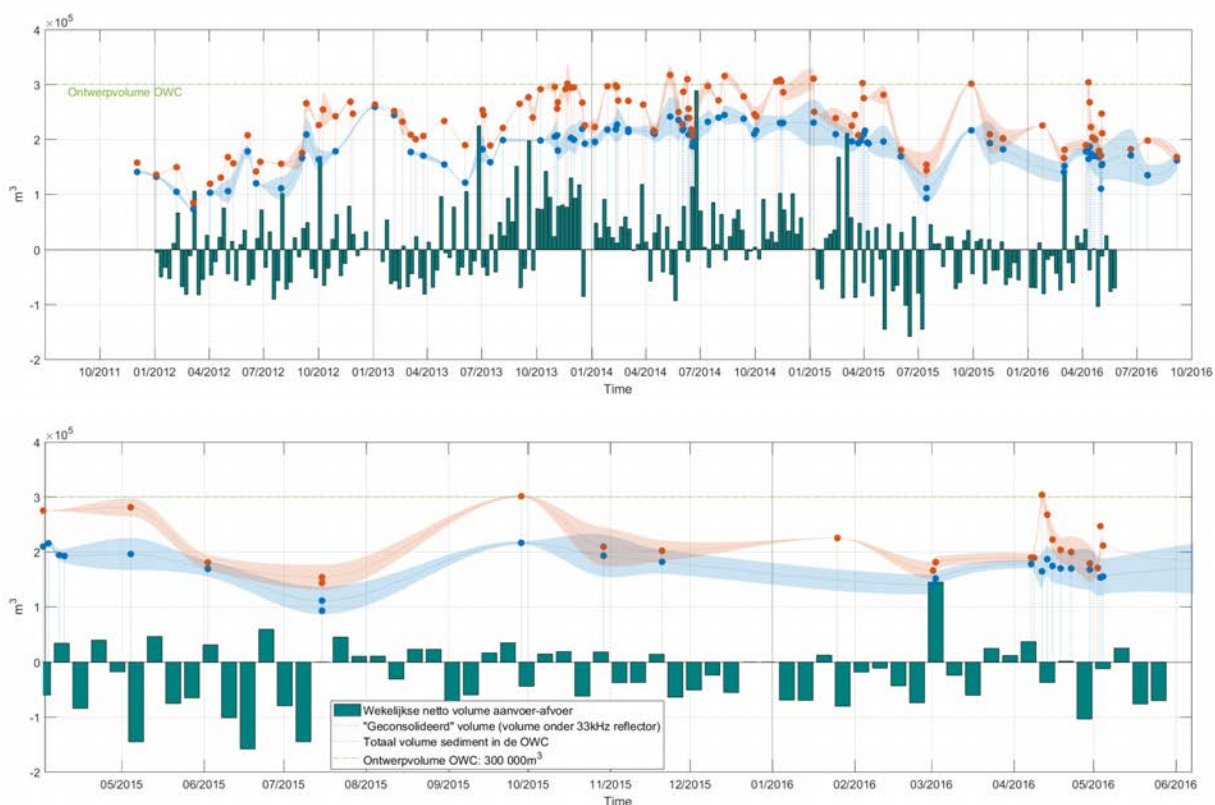
## 2.2 Verruiming van de onderwatercel

In het voorgaande onderzoek (De Maerschalck *et al.*, 2015a) werd op basis van single-beam peilingen vastgesteld dat de beschikbare capaciteit in de periode 2013 – 2014 op de meeste momenten beperkt is tot minder dan 100 000 m<sup>3</sup>. Het volume van het geconsolideerd slib in de onderwatercel, waarvan een deel zandrijk van samenstelling is, ligt in de periode augustus 2013 tot begin 2015 permanent boven de 200 000 m<sup>3</sup>. Gedurende bepaalde periodes ligt het volume zelfs boven de 250 000 m<sup>3</sup> (blauwe lijn in Figuur 6). De cel heeft een capaciteit van ongeveer 300 000 m<sup>3</sup>. De beschikbare capaciteit bij aanvang van verse aanvoer van specie is dan beperkt en dit verhoogt het risico op overlopen van de cel. In het onderzoek werd tevens aangetoond dat de volumetoename, door verdunning tijdens het kleppen, in de onderwatercel tijdens het aanvoeren van sediment minimaal een factor 2 hoger is dan het netto gestort volume (beunvolume – afvoervolume). In volgend hoofdstuk wordt aangetoond dat dit zelfs nog een onderschatting is. Daarom werd er eind 2015 besloten om de cel te ruimen. In de periode van oktober 2015 tot maart 2016 wordt er daarom geen specie aangevoerd door THVZ. De laatste lossingen gebeuren in week 43 van 2015. De aanvoer wordt hervat op 5 maart 2016. Gedurende deze periode wordt er wel specie aangevoerd door GHA, zie Tabel 3.

Figuur 7 toont de single-beam peilingen van kort voor de aanvang van de verruiming (28 september 2015) en vlak voor het hervatten van de aanvoer door THVZ (2 maart 2016). Figuur 8 geeft de gemiddelde diepte berekend als het gemiddelde van de diepte van langsheen tien dwarsraaien, zie Figuur 34. De dwarsprofielen geven ook de standaard deviatie en de minimale en maximale diepte langsheen de geselecteerde raaien. In september 2015 was de cel gemiddeld ongeveer -8,5 m TAW diep ( $\pm 12,7$  m waterdiepte) wanneer we het geconsolideerd slib als harde bodem beschouwen (weergegeven als blauwe lijn in Figuur 8). Vlak voor het hervatten van de aanvoer door THVZ ligt de gemiddelde diepte van de 33 kHz reflector rond de -10 m TAW ( $\pm 14,2$  m waterdiepte). Lokaal is de cel op een diepte van -12 m TAW gebracht (-16,2 m waterdiepte). Oorspronkelijke diepte van de onderwatercel bij oplevering lag tussen de -13 en -14 m TAW.

In de periode 19/10/2015 tot 2/3/2016 werd er ongeveer 865 000 m<sup>3</sup> specie door de Amoris uit de onderwatercel onttrokken met een gemiddelde densiteit van 1,10 ton/m<sup>3</sup>, zie Tabel 3. In totaal werd er 130 000 TDS verwerkt. In diezelfde periode werd er door GHA 211 000 m<sup>3</sup> baggerspecie aangevoerd (58 000 TDS). Het volume slib in de onderwatercel is echter slechts met 120 000 m<sup>3</sup> afgenomen, waarvan slechts 65 000 m<sup>3</sup> *geconsolideerd* slib (volume onder 33 kHz reflector), zie Tabel 2. Om het peil in de onderwatercel te doen dalen, dient de Amoris aanzienlijk meer volume te baggeren. In de zomer van 2015 heeft men een dieper peil bereikt dan de peiling van 2/3/2016, meer bepaald volgens de peiling van 15/7/2015, zie Figuur 6. Merk op dat in de periode voor deze peiling men intensief gebaggerd heeft in de onderwatercel, tot meer dan 150 000 m<sup>3</sup> per week.

Figuur 6: Volume baggerspecie en wekelijks netto aanvoer-afvoer van sediment



blauw: volume onder 33 kHz single-beam reflector, rood: volume topslib.  
 Boven: sinds ingebruikname OWC, onder ingezoomd op mei 2015 juni 2016.

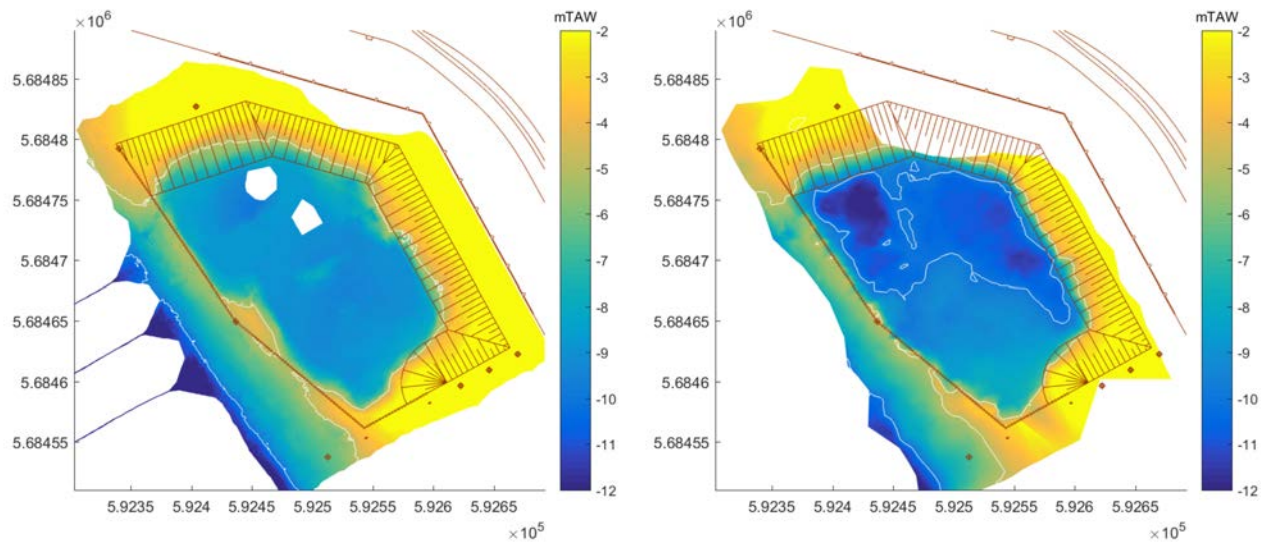
Tabel 2: Volume sediment in de onderwatercel voor en na de verruiming einde 2015 – einde 2016

| Peiling           | "Geconsolideerd"<br>(Volume onder 33kHz) |                 | "Topslib"<br>(Tussen 210 en 33 kHz) |                | Totaal volume slib (Vol.<br>Onder 200kHz) |                 |
|-------------------|------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|-----------------|
| <b>28/09/2015</b> | 216 235                                  | ± 3 272         | 84 856                              | ± 1 535        | 301 307                                   | ± 1 977         |
| <b>02/03/2016</b> | 151 271                                  | ± 12 669        | 29 555                              | ± 2 596        | 180 777                                   | ± 11 172        |
| <b>Vershil</b>    | <b>-64 964</b>                           | <b>± 13 085</b> | <b>-55 301</b>                      | <b>± 3 016</b> | <b>-120 530</b>                           | <b>± 11 345</b> |

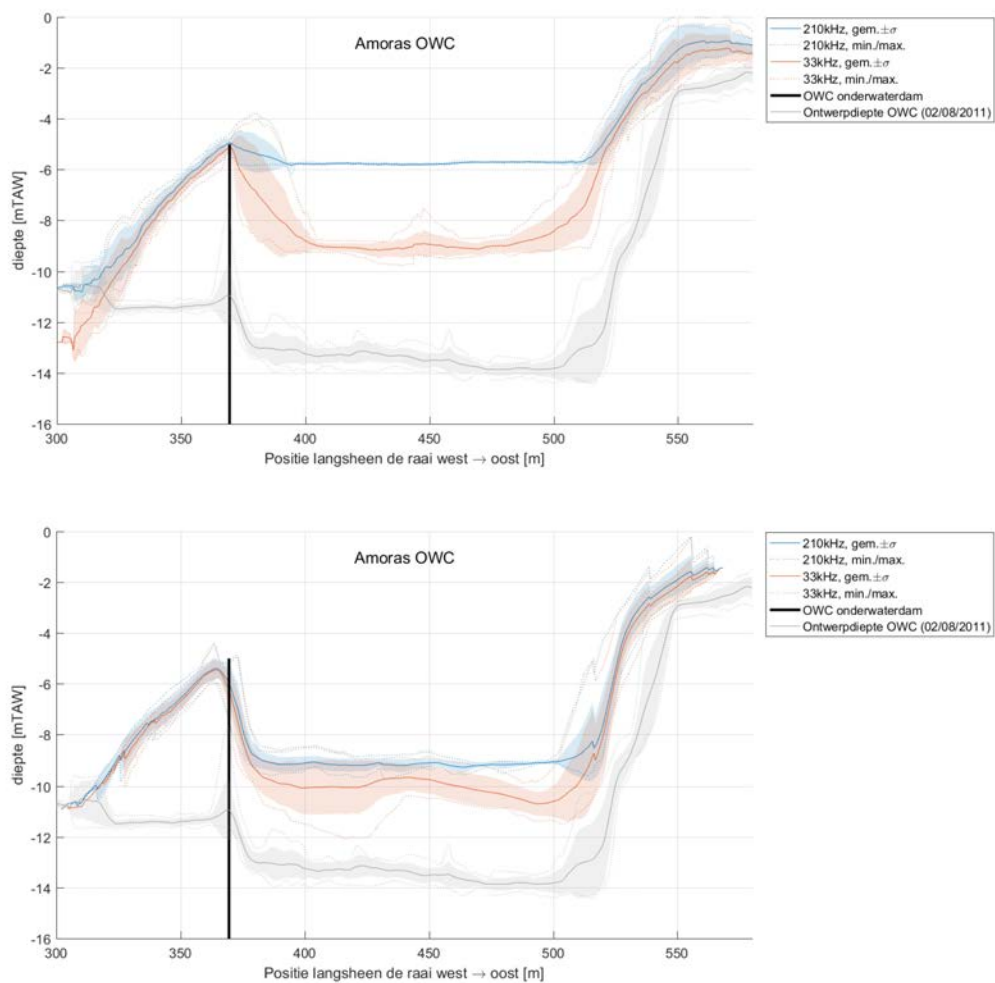
Tabel 3: Totale aan- en afvoer baggerspecie in de periode 19/10/2015– 2/3/2016, aanvoer is beperkt tot aanvoer GHA

|                | Volume<br>m <sup>3</sup> | TDS<br>ton     | Gemiddelde densiteit<br>Ton/m <sup>3</sup> |
|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------------------------|
| <b>Aanvoer</b> | 210 731                  | 57 646         | 1,16                                       |
| <b>Afvoer</b>  | 864 797                  | 131 303        | 1,10                                       |
| <b>Netto</b>   | <b>-654 066</b>          | <b>-73 657</b> |                                            |

Figuur 7: Diepte van de onderwatercel (peiling 33 kHz) op 28/9/2015 (links) en 2/3/2016 (rechts), contourlijnen op -5 en -10mTAW



Figuur 8: Gemiddeld dwarsprofiel, standaard deviatie en min/max kanaaldok en Amoras OWC op 28/9/2015 en 2/3/2016



boven: laatste peiling voor de verdieping van de cel op 28/9/2015  
 onder: laatste peiling voor de hervatting van de aanvoer van specie door THVZ op 2/3/2016

## 2.3 Sedimentbalans

In §2.1 werd reeds aangegeven dat in de tweede helft van 2015 het aanvoer regime van specie verminderd werd, wat een positief effect op de sedimentbalans bleek te hebben. In deze paragraaf zal de sedimentbalans verder verfijnd worden door de volume veranderingen in de cel mee in rekening te brengen. In vorig onderzoek werd de inhoud van de cel berekend op basis van de single-beam peilingen in combinatie met GraviProbe prikken op 10 september 2012 en 5 maart 2014 en aan de hand van de RheoTune prikken van 23 maart 2015. In onderstaande sedimentbalans worden deze aangevuld met de peilingen van 28 september 2015 en 7 april 2016. De inhoud van de cel (TDS) wordt berekend als de volume-integraal over de geïnterpoleerde RheoTune prikken met een correctieterm voor het volume onder de maximale penetreerdiepte van de RheoTune (zie De Maerschallck *et al.*, 2015, voor een gedetailleerde beschrijving van de rekenmethode).

Onderstaande tabel geeft de sedimentbalans berekend voor verschillende periodes. Tussen september 2012 en maart 2015 wordt het verlies berekend op ongeveer 50%. Tussen maart 2015 en september 2015 wordt er 31% meer aangevoerd dan afgevoerd, terwijl de peilingen van de onderwatercel weinig verschil tonen. Het stortverlies ligt dan ook rond de 30%, rekening houdend met een ruimere onzekerheidsband te wijten aan de onzekerheid bij het interpoleren van de RheoTune prikken en de onvolledige dekkingsgraad van de single-beam peilingen. In de periode tussen september 2015 en april 2016 wordt er meer specie onttrokken aan de onderwatercel dan dat er aangevoerd wordt. In deze periode werd de cel verdiept. Volgens de peilingen bevat de onderwatercel 53 000 TDS specie minder in april 2016 dan in september 2015. Het verlies wordt daarom geschat op 20%, echter wel met een ruime marge van onzekerheid.

In §2.1 werd reeds aangehaald dat bij het hervatten van de aanvoer door THVZ in maart 2016 op drie dagen tijd 168 000 m<sup>3</sup> specie gelost is terwijl de Amoris niet actief was. De beschikbare vrije capaciteit op dat moment wordt op basis van de peiling van 1 maart 2016 geschat op maximaal 160 000 m<sup>3</sup>. Rekening houdende met het feit dat het volume van de specie door verdunning tijdens het kleppen nog met minstens een factor twee toeneemt, kan men aannemen dat van het totale stortverlies in de periode september 2015 – april 2016 waarschijnlijk een aanzienlijk deel tijdens deze drie dagen uit de cel weggevloeid zal zijn.

Tabel 4: Sedimentbalans op basis van SB en GraviProbe/RheoTune peilingen

| Periode van – tot       | Aanvoer TDS | Amoris afvoer TDS | Netto TDS % van aangevoerde specie | Accumulatie specie in onderwatercel TDS | Geschat verlies TDS % van aangevoerde specie |
|-------------------------|-------------|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 01/01/2012 - 10/09/2012 | 487 654     | 391 392           | <b>96 262</b><br><b>20%</b>        | 62 863 ± 52 968                         | <b>33 398 ± 53 017</b><br><b>7% ± 11%</b>    |
| 10/09/2012 - 05/03/2014 | 2 036 800   | 1 057 934         | <b>978 866</b><br><b>48%</b>       | 46 975 ± 84 313                         | <b>931 891 ± 84 313</b><br><b>46% ± 4%</b>   |
| 05/03/2014 - 23/03/2015 | 2 064 490   | 987 233           | <b>1 077 257</b><br><b>52%</b>     | -20 511 ± 97 378                        | <b>1 097 768 ± 97 378</b><br><b>53% ± 5%</b> |
| 23/03/2015 - 28/09/2015 | 423 674     | 290 834           | <b>132 840</b><br><b>31%</b>       | -339 ± 91 100                           | <b>133 179 ± 91 100</b><br><b>31% ± 22%</b>  |
| 28/09/2015 - 07/04/2016 | 169 624     | 188 191           | <b>-18 567</b><br><b>-11%</b>      | -53 162 ± 73 719                        | <b>34 595 ± 73 719</b><br><b>20% ± 43%</b>   |

### 3 Monitoringscampagne april-mei 2016

In de periode april – mei 2016, week 14 tot 18, wordt er voor de tweede en derde maal na het ruimen van de cel opnieuw baggerspecie aangeleverd door THVZ. Gedurende deze periode wordt de onderwatercel meerdere malen per week gepeild zowel single- en multi-beam peilingen (SB/MB) als RheoTune prikken. De SB/MB peilingen en RheoTune prikken werden uitgevoerd door de Vlaamse Hydrografie van het agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust (MDK-VH).

Op maandag 2 mei 2016 werden bijkomstig door het Waterbouwkundig Laboratorium peilingen uitgevoerd met behulp van Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP), metingen uitgevoerd met een Optical Backscatter (OBS) en pompstalen genomen om het zwevendstofgehalte in en boven de onderwatercel tijdens en na het lossen te monitoren. Deze worden verder in detail besproken in Hoofdstuk 4.

Tabel 5 geeft een overzicht van de beschikbare peilingen. Het percentage bij de multi- en single-beam peilingen geeft de dekkingsgraad van de peiling weer.

Tabel 5: Overzicht monitoring AMORAS onderwatercel april - mei 2016

|                               | Multi-beam | SB 210 kHz | SB 33 kHz | # RheoTune prikken | ADCP | Uitvoerder  |
|-------------------------------|------------|------------|-----------|--------------------|------|-------------|
| <b>donderdag 7 april 2016</b> | -          | 91%        | 91%       | 23                 | -    | GeoXYZ      |
| <b>vrijdag 8 april 2016</b>   | 100%       | -          | -         | 23                 | -    | MDK-VH      |
| <b>maandag 11 april 2016</b>  | -          | 84%        | 82%       | 22                 | -    | MDK-VH      |
| <b>woensdag 13 april 2016</b> | -          | 80%        | 80%       | 23                 | -    | MDK-VH      |
| <b>vrijdag 15 april 2016</b>  | -          | 78%        | 78%       | 20                 | -    | MDK-VH      |
| <b>maandag 18 april 2016</b>  | -          | 82%        | 81%       | 23                 | -    | MDK-VH      |
| <b>vrijdag 22 april 2016</b>  | -          | 78%        | 78%       | 22                 | -    | MDK-VH      |
| <b>vrijdag 29 april 2016</b>  | -          | 72%        | 72%       | 20                 | -    | MDK-VH      |
| <b>maandag 2 mei 2016</b>     | 100%       | 100%       | 100%      | 23                 | X    | MDK-VH + WL |
| <b>dinsdag 3 mei 2016</b>     | 96%        | 87%        | 87%       | 23                 | -    | MDK-VH      |
| <b>woensdag 4 mei 2016</b>    | 100%       | 86%        | 86%       | 23                 | -    | MDK-VH      |

#### 3.1 Aanvoer en afvoer van baggerspecie

Van zaterdag 9 tot maandag 11 april wordt er in totaal 125 000 m<sup>3</sup> baggerspecie aangevoerd door de MS Sebastiano Caboto, 38 400 TDS in totaal. Per lossing wordt er gemiddeld 3200 m<sup>3</sup> geklept met een gemiddelde beundensiteit van 1,2 ton/m<sup>3</sup>. Op maandag 2 mei wordt er in totaal zes maal geklept door de MS Artevelde. De MS Artevelde heeft een beunvolume van ruim 5400 m<sup>3</sup>. De beundensiteit ligt eveneens rond de 1,2 ton/m<sup>3</sup>. Tussendoor worden nog kleinere vrachten aangevoerd door de Sinjoor I met een beunvolume van ongeveer 1500 m<sup>3</sup> en een iets lagere densiteit van rond de 1,15 ton/m<sup>3</sup>.

Week 14 en 15 is de Amoris actief gedurende vijf dagen op zeven, tussen 7:00 en 18:00. Week 16 is de Amoris inactief voor onderhoud van de installaties. Dit is het vaste werkregime van de Amoris. Week 17 en 18 is de Amoris actief, behalve op donderdag 5 en vrijdag 6 mei wegens Hemelvaartsdag. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de dagelijkse aan- en afvoer tijdens de monitoringscampagne.

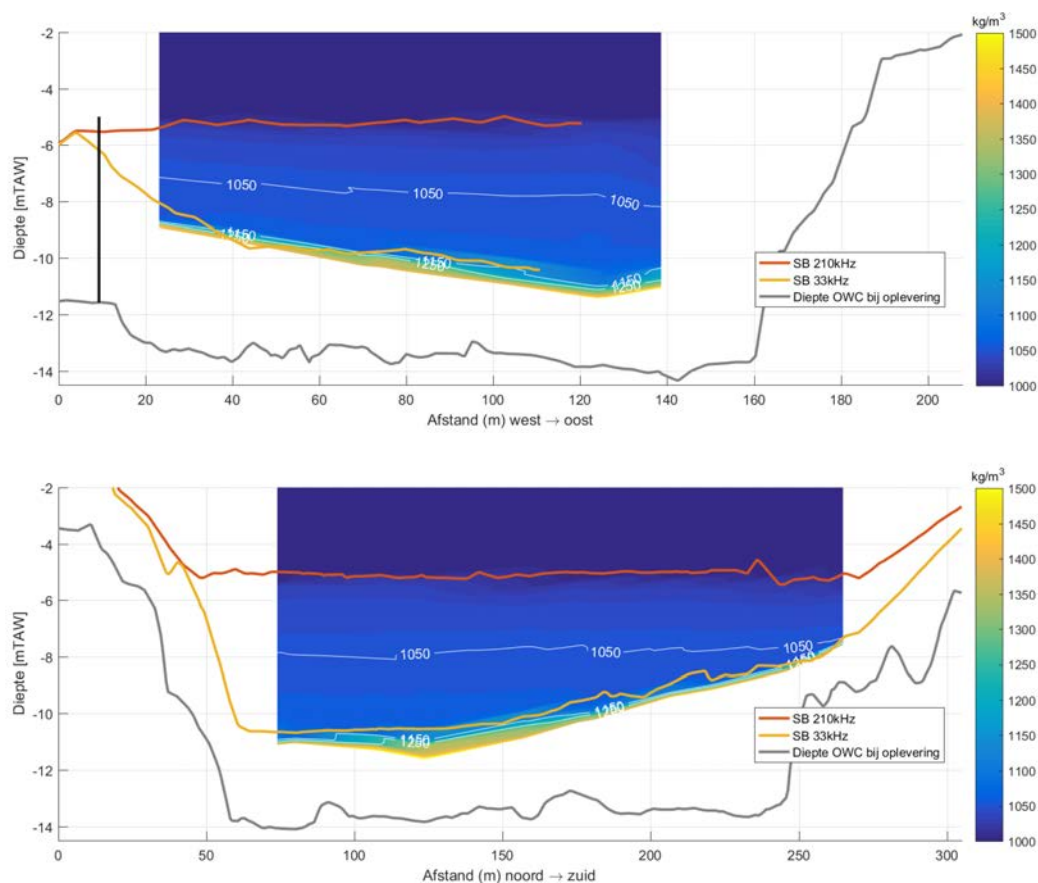
Tabel 6: Overzicht van dagelijkse aan- en afvoer van baggerspecie tijdens de monitoringscampagne.  
De gemarkeerde dagen zijn de dagen waarop er gepeild werd.

|                         | Dagelijkse aanvoer baggerspecie |               |                               | Dagelijkse afvoer Amoris |               |                               |
|-------------------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------------|
|                         | Volume (m³)                     | TDS           | Gemiddelde densiteit (ton/m³) | Volume (m³)              | TDS           | Gemiddelde densiteit (ton/m³) |
| maandag 4 april 2016    | 2 970                           | 1 005         |                               | 14 091                   | 2 965         | 1.13                          |
| dinsdag 5 april 2016    | 0                               | 0             |                               | 15 105                   | 3 305         | 1.14                          |
| woensdag 6 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 17 142                   | 2 003         | 1.08                          |
| donderdag 7 april 2016  | 8 910                           | 2 341         | 1.17                          | 17 372                   | 2 652         | 1.10                          |
| vrijdag 8 april 2016    | 2 970                           | 731           | 1.16                          | 12 852                   | 1 408         | 1.07                          |
| zaterdag 9 april 2016   | 28 237                          | 10 602        | 1.24                          | 0                        | 0             |                               |
| zondag 10 april 2016    | 70 504                          | 20 298        | 1.18                          | 0                        | 0             |                               |
| maandag 11 april 2016   | 35 499                          | 9 532         | 1.17                          | 15 107                   | 3 238         | 1.14                          |
| dinsdag 12 april 2016   | 4 455                           | 940           | 1.14                          | 12 199                   | 1 947         | 1.10                          |
| woensdag 13 april 2016  | 4 455                           | 1 010         | 1.14                          | 17 672                   | 4 088         | 1.15                          |
| donderdag 14 april 2016 | 2 970                           | 733           | 1.16                          | 21 601                   | 4 312         | 1.13                          |
| vrijdag 15 april 2016   | 7 425                           | 1 898         | 1.16                          | 25 482                   | 3 919         | 1.10                          |
| zaterdag 16 april 2016  | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zondag 17 april 2016    | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| maandag 18 april 2016   | 1 485                           | 156           | 1.07                          | 0                        | 0             |                               |
| dinsdag 19 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| woensdag 20 april 2016  | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| donderdag 21 april 2016 | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| vrijdag 22 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zaterdag 23 april 2016  | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zondag 24 april 2016    | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| maandag 25 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 22 932                   | 5 565         | 1.15                          |
| dinsdag 26 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 18 914                   | 1 994         | 1.07                          |
| woensdag 27 april 2016  | 0                               | 0             |                               | 13 738                   | 2 087         | 1.10                          |
| donderdag 28 april 2016 | 0                               | 0             |                               | 25 985                   | 2 168         | 1.06                          |
| vrijdag 29 april 2016   | 0                               | 0             |                               | 22 296                   | 2 093         | 1.06                          |
| zaterdag 30 april 2016  | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zondag 1 mei 2016       | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| maandag 2 mei 2016      | 32 686                          | 10 209        | 1.20                          | 0                        | 0             |                               |
| dinsdag 3 mei 2016      | 0                               | 0             |                               | 23 996                   | 4 765         | 1.13                          |
| woensdag 4 mei 2016     | 0                               | 0             |                               | 20 835                   | 2 788         | 1.09                          |
| donderdag 5 mei 2016    | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| vrijdag 6 mei 2016      | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zaterdag 7 mei 2016     | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| zondag 8 mei 2016       | 0                               | 0             |                               | 0                        | 0             |                               |
| <b>Totaal</b>           | <b>199 596</b>                  | <b>58 451</b> | <b>1.19</b>                   | <b>317 319</b>           | <b>43 024</b> | <b>1.09</b>                   |

### 3.2 Niveau van het topslib en volumeberekeningen

Het volume slib in de onderwatercel wordt berekend op basis van de single- en multi-beam peilingen. De single-beam echo sounder maakt gebruik van twee frequenties, typisch 210 en 33 kHz. De hoogste frequentie reflecteert typisch op de top van de sliblaag, dit is de overgang van water naar slib. Eveneens reflecteert het signaal van de multi-beam echo sounder (400 kHz) op de top van de sliblaag. Bij hoge concentraties zwevend stof in de waterkolom is deze overgang echter niet altijd even duidelijk. De lage frequentie dringt dieper door in de sliblaag en reflecteert op een scherpe gradiënt in de densiteit. Dit kan een harde bodem zijn of de overgang van licht vloeibaar slib naar meer geconsolideerd materiaal. De densiteit waarop het 33 kHz signaal op reflecteert kan lokaal variëren. Dit is geïllustreerd in Figuur 9 waar voor een langsgaai de single- en multi-beam peilingen geplot zijn op de geïnterpoleerde RheoTune prikken. Langs- en dwarsdoorsneden voor alle peilingen zijn opgenomen in Bijlage D.4. Men dient hierbij op te merken dat zowel de densiteit op basis van de RheoTune prikken als de single-beam peilingen geïnterpoleerd zijn op de artificiële dwars- en langsgaaien in Figuur 74 op pagina 25. De contourplots van alle single- en multi-beam peilingen zijn opgenomen in een aparte bijlage (De Maerschalck *et al.*, 2017).

Figuur 9: Dwars- en langsgaai AMORAS OWC: densiteit en diepte



densiteit (geïnterpoleerde RheoTune prikken) [kg/m<sup>3</sup>]

diepte single- en multi-beam peiling op maandag 11/04/2016 (boven: dwarsgaai; onder: langsgaai)

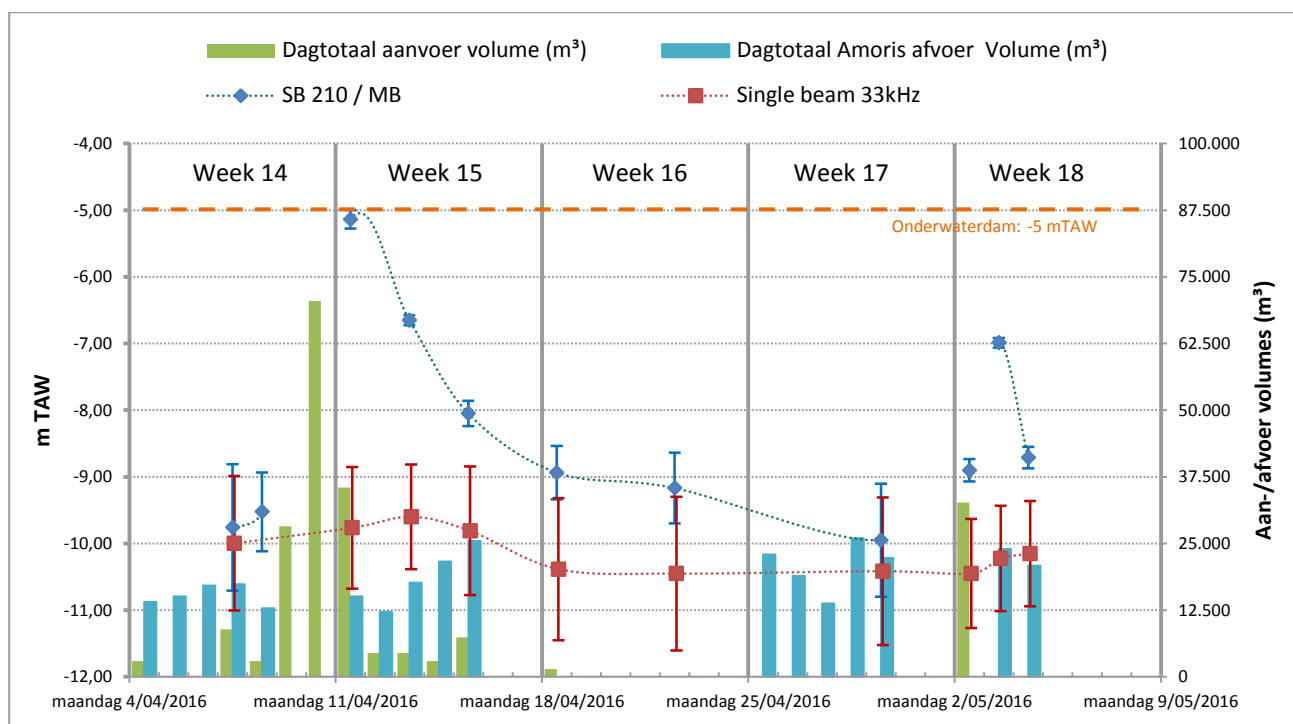
Zie Figuur 74 in bijlage D.4 voor de locaties van de transects.

In onderstaande volume berekeningen wordt een onderscheid gemaakt tussen het totaal volume, i.e. het volume onder de 210 of 400 kHz reflector (naargelang beschikbaarheid en dekkingsgraad, het verschil tussen de 210 en 400 kHz is nagenoeg verwaarloosbaar), en het volume onder de 33 kHz. Het volume wordt berekend als het volume binnen de witte polygoon in Figuur 36, boven de bodem van de cel (diepte van de cel bij oplevering eind 2011, zie bijvoorbeeld grijze lijn in Figuur 9). Het niveau van de top van het

slib wordt berekend als de gemiddelde diepte van de 210/400 en 33 kHz binnen de groene polygoon in Figuur 36.

Figuur 10 geeft het verloop van het topslib weer tijdens de monitoringscampagne. Voor de start van de aanvoer van verse baggerspecie valt de top van de sliblaag, i.e. de 210/400 kHz reflector, gelijk met de 33 kHz reflector. Op donderdag 7 april 2016 bedraagt het beschikbare vrije volume 139 000 m<sup>3</sup>, dit is het watervolume boven de top van de sliblaag tot -5 m TAW – de diepte van de onderwaterdam. In het weekend en op maandag morgen voor de start van Amoris wordt echter al meer dan 140 000 m<sup>3</sup> specie aangevoerd. Op basis van eerdere gelijkaardige monitoring is het bekend dat tijdens het kleppen de densiteit afneemt en het volume in de onderwatercel sneller toeneemt dan het aangevoerde beunvolume, zie ook volgende sectie. De eerst volgende peiling op maandag 11 april toont dan ook dat de top van de sliblaag in de onderwatercel gelijk staat met de rand van de onderwaterdam die de cel scheidt van het naburige Kanaaldok B1, zie ook bovenstaande Figuur 9 en Figuur 43 op p.10. Gezien de aangevoerde hoeveelheden kan men verwachten dat de cel in deze periode overgelopen zal zijn.

Figuur 10: Niveau topslib in de onderwatercel week 14 -18, 2016

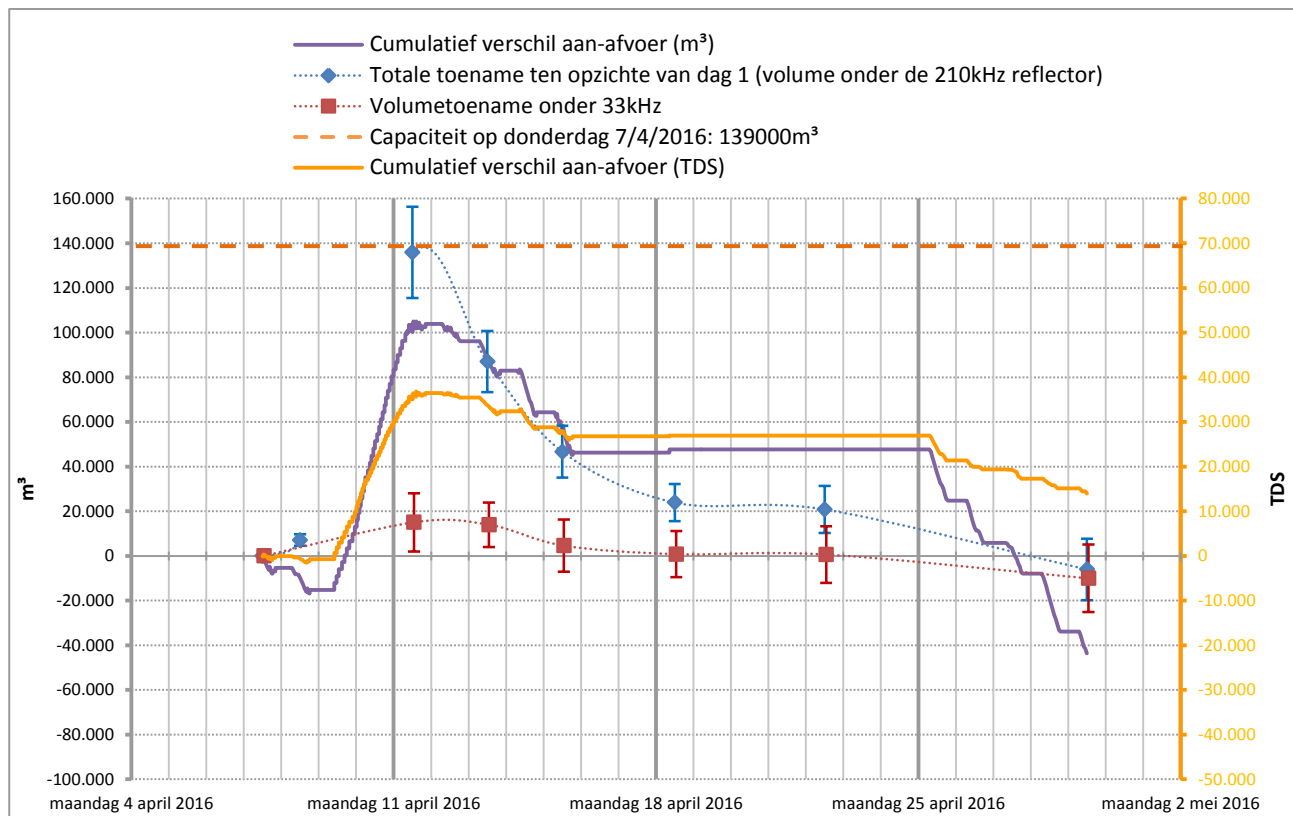


Wanneer de Amoris actief wordt en de aanvoer afneemt, neemt het slibniveau in de onderwatercel weer af. Uit Figuur 11 kan men afleiden dat in week 15 het volume van het sediment in de onderwatercel sneller afneemt dan er volume verwijderd wordt door toedoen van de Amoris. In die periode wordt er bovendien nog sediment aangevoerd door GHA. Dit duidt erop dat er consolidatie van het sediment in de onderwatercel optreedt: de gemiddelde densiteit in de topsliblaag neemt toe van 1,04 ton/m<sup>3</sup> op maandag 11/4/2016 tot 1,14 ton/m<sup>3</sup> op vrijdag 22/11/2016, zie Tabel 7 en de figuren in Bijlage D.2 en D.4.

In week 17 wordt er enkel specie afgevoerd. In totaal wordt in week 17 ruim 100 000 m<sup>3</sup> specie afgevoerd door de Amoris. Het totale volume in de onderwatercel is echter maar met 26 700 m<sup>3</sup> afgenomen (Figuur 11). De gemiddelde densiteit van de afgevoerde specie is dan ook lager dan de gemiddelde densiteit in de topsliblaag. Op donderdag en vrijdag wordt er door de Amoris zelfs sediment verpomp met een densiteit van slechts 1,06 ton/m<sup>3</sup>. Naarmate de dikte van de topsliblaag afneemt wordt tijdens het baggeren door de snijkop van de Amoris meer en meer water van bovenuit mee aangezogen. Enkel op maandag kan er gebaggerd worden met een gemiddelde densiteit vergelijkbaar met de densiteit in de sliblaag (Tabel 7).

Op vrijdag 29/10/2016, dit is exact drie weken na de eerste peiling, is er ten opzichte van vrijdag 7/10/2016 ongeveer 15 000 TDS meer aangevoerd dan afgevoerd, op een totale aanvoer van 46 000 m<sup>3</sup>. Het niveau in de onderwatercel is nagenoeg gelijk, het geschatte stortverlies wordt op ongeveer 30% geraamd.

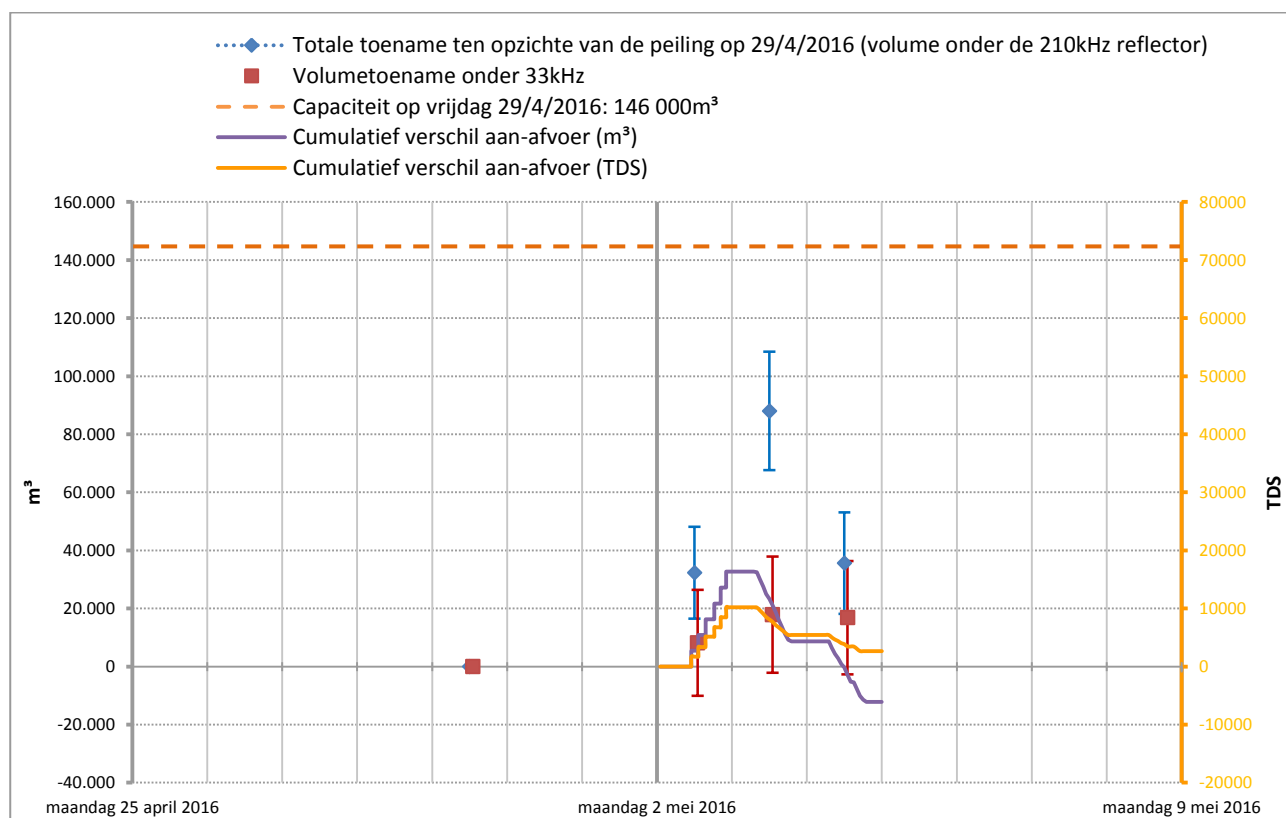
Figuur 11: Volume toename/afname in de onderwatercel tijdens normaal werkregime week 14 – 17, 2016



Op maandag 2/5/2016 wordt er opnieuw sediment aangevoerd door THVZ. Sediment wordt aangevoerd door de MS Artevelde. De baggertoezichter aan boord van de Artevelde heeft expliciet de opdracht gekregen de baggerwerken te stoppen wanneer de top van de sliblaag de -5 m TAW bereikt. De diepte wordt aan boord afgelezen. In totaal wordt er zes maal geklept. De laatste lossing vindt plaats net voor middernacht. De SB peiling op maandag 2/5/2016 werd uitgevoerd tussen de eerste en de tweede lossing. Op het moment van de tweede peiling op dinsdag ligt de top van de sliblaag op -7 m TAW. De volumeafname van dinsdag op woensdag is in de orde grootte van het volume afgevoerd door de Amoris. Woensdag 4/5/2016 is er ten opzicht van de start van de aanvoer ongeveer 2600 TDS minder afgevoerd dan aangevoerd. Ten opzichte van de laatste peiling voor de aanvang van de lossingen is er wel 35 000 m<sup>3</sup> slib meer in de onderwatercel, waarvan ongeveer 18 000 m<sup>3</sup> topslib. Wanneer het extra volume slib in de onderwatercel een gemiddelde densiteit van 1,05 ton/m<sup>3</sup> zou hebben, kan men aannemen dat de toename slib in de onderwatercel het verschil tussen toevoer en afvoer compenseert.

De gemiddelde densiteit in de topsliblaag op woensdag 4/5/2016 bedraagt  $1,04 \pm 0,02$  ton/m<sup>3</sup>. De gemiddelde gemeten densiteit onder de 33 kHz reflector is  $1,16 \pm 0,13$  ton/m<sup>3</sup>, zie Tabel 7. Er wordt aangenomen dat het stortverlies gering is. Merk wel in Figuur 12 dat er op de schatting van de volumetoenames nog een ruime onzekerheidsband zit. Dit omdat de SB peilingen niet de volledige cel dekken wanneer de Amoris actief is. Indien in het slechtste geval de topsliblaag met slechts 20 000 m<sup>3</sup> toegenomen zou geweest zijn, dan zou bij een gemiddelde densiteit van 1,04 ton/m<sup>3</sup> het geschatte stortverlies ongeveer 13 % geweest zijn.

Figuur 12: Volume toename/afname in de onderwatercel week 17 – 18, 2016



Tabel 7: Gemiddelde densiteit in de topsliblaag, onder de 33 kHz reflector en bij maximale penetreediepte van de RheoTune

|                        | Densiteit in de topsliblaag<br>(tss 210 en 33kHz) |                  | Tss 33kHz en diepte bereikt<br>door ReoTune (harde laag) |                  | Densiteit bij maximale<br>diepte (harde laag) |                  |
|------------------------|---------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|------------------|
|                        | gemiddelde<br>[ton/m³]                            | stdv<br>[ton/m³] | gemiddelde<br>[ton/m³]                                   | stdv<br>[ton/m³] | gemiddelde<br>[ton/m³]                        | stdv<br>[ton/m³] |
| donderdag 7 april 2016 | 1,10                                              | 0,095            | 1,21                                                     | 0,129            | 1,43                                          | 0,027            |
| vrijdag 8 april 2016   | 1,07                                              | 0,098            | 1,23                                                     | 0,088            | 1,39                                          | 0,057            |
| maandag 11 april 2016  | 1,04                                              | 0,012            | 1,11                                                     | 0,110            | 1,48                                          | 0,068            |
| woensdag 13 april 2016 | 1,05                                              | 0,015            | 1,21                                                     | 0,132            | 1,45                                          | 0,071            |
| vrijdag 15 april 2016  | 1,09                                              | 0,059            | 1,36                                                     | 0,099            | 1,48                                          | 0,076            |
| maandag 18 april 2016  | 1,10                                              | 0,064            | 1,33                                                     | 0,121            | 1,51                                          | 0,046            |
| vrijdag 22 april 2016  | 1,14                                              | 0,072            | 1,28                                                     | 0,106            | 1,55                                          | 0,000            |
| vrijdag 29 april 2016  | 1,11                                              | 0,103            | 1,27                                                     | 0,133            | 1,40                                          | 0,103            |
| maandag 2 mei 2016     | 1,02                                              | 0,025            | 1,21                                                     | 0,122            | 1,43                                          | 0,070            |
| dinsdag 3 mei 2016     | 1,05                                              | 0,026            | 1,16                                                     | 0,119            | 1,40                                          | 0,084            |
| woensdag 4 mei 2016    | 1,04                                              | 0,021            | 1,16                                                     | 0,125            | 1,45                                          | 0,050            |

## 4 ADCP-peilingen tijdens en vlak na kleppen

Op maandag 2 mei 2016 werden er voor, tijdens en na de eerste twee lossingen van de MS Artevelde bijkomende metingen uitgevoerd door het Waterbouwkundig laboratorium. Doel van de metingen is de verspreiding van zwevend stof dat tijdens het lossen in suspensie komt te monitoren. Hiervoor werden er simultaan metingen uitgevoerd met twee ADCP's (Acoustic Doppler Current Profilers), waarvan één aan boord van het moederschip, in dit geval de MS Pierre Petit, en één gemonteerd onder de bijboot. Simultaan werden er van op het moederschip pompstalen genomen. Tijdens en na het kleppen positioneerde de MS Pierre Petit zich zo dicht mogelijk bij de locatie van de losplaats van de MS Artevelde. Ondertussen werd met de bijboot diagonaal systematisch raaien gevaren over de onderwatercel. Voorafgaand aan de eerste lossing werd door de bijboot een T0 diepte peiling uitgevoerd met de ADCP. Alle gevaren raaien zijn gevisualiseerd in Bijlage E.1. Vier maal ligt de bijboot langs de Pierre Petit voor kalibratie: er wordt simultaan op dezelfde locatie gepeild en pompstalen genomen.

De eerste lossing van specie vond plaats om 11:00 (lokale tijd). De tweede lossing om 13:16. Telkens werd er ongeveer 5400 m<sup>3</sup> baggerspecie gelost met een beundensiteit van 1,20 ton/m<sup>3</sup> (ongeveer 6500 ton specie met 1700 TDS). Tussen de eerste en de tweede peiling heeft MDK – Vlaamse Hydrografie een single- en multi-beam peiling uitgevoerd over de volledige onderwatercel en tevens de densiteit gemeten met behulp van de RheoTune (tussen 11:30 en 12:30).

Figuur 13: MS Artevelde tijdens het lossen van 5400 m<sup>3</sup> baggerspecie



### 4.1 Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

Zowel de Pierre Petit als de bijboot zijn uitgerust met een ADCP. Dit is een akoestisch toestel dat gemonteerd wordt in de romp van het schip of bijboot. Het toestel meet het verticale snelheidsprofiel

gebaseerd op het doppler effect van het weerkaatste akoestisch signaal. De sterkte van het akoestische backscatter signaal is tevens ook een maat voor de hoeveelheid zwevend stof in de waterkolom. Tevens kan een ander uitgezonden akoestisch signaal gebruikt worden om de diepte van de bodem te bepalen. Tevens wordt dit signaal gebruikt om de positie te bepalen van het meetinstrument t.o.v. de bodem ("bottom track"). De bodem detectie is analoog aan de werking van een single-/multi-beam: reflectie van een akoestisch signaal op een scherpe gradiënt in de dichtheid of harde laag. Het akoestisch signaal van de ADCP heeft een hoge frequentie, 600kHz op de Pierre Petit en 1200 kHz op de bijboot, en zal daarom, zoals de 210 kHz SB en 400 kHz MB, reflecteren op de top van de sliblaag. Op basis van deze dieptebepaling wordt de volumetoename in de onderwatercel tijdens en na het lossen van vers baggerspecie in de volgende paragraaf verder in detail geanalyseerd.

## 4.2 Volume topslib tijdens het aanvoeren van vers baggerspecie

In voorgaande hoofdstukken en in het voorafgaande onderzoek werd reeds waargenomen dat de tijdens het lossen van vers baggerspecie door inmengen (verdunnen) van omgevingswater de dichtheid van de geloste specie afneemt en het volume sterk toeneemt. Op basis van de SB peilingen werd geschat dat het volume in de onderwatercel na het lossen met minstens een factor twee toeneemt ten opzicht van het volume in de beun. Deze analyse was op basis van SB peilingen met een interval van minstens één of meerdere dagen. Bovendien was de Amoris in tussentijd eveneens actief. Op basis van de ADCP bodem detectie is het mogelijk een inschatting te maken van het verloop van het volume van het topslib vlak na het lossen met een hoge temporale resolutie. Tijdens de meetcampagne was de Amoris inactief. Dit geeft de mogelijkheid om de invloed van het lossen en de consolidatie van het topslib na het lossen te monitoren, zonder dat de specie wordt weggezogen door de Amoris

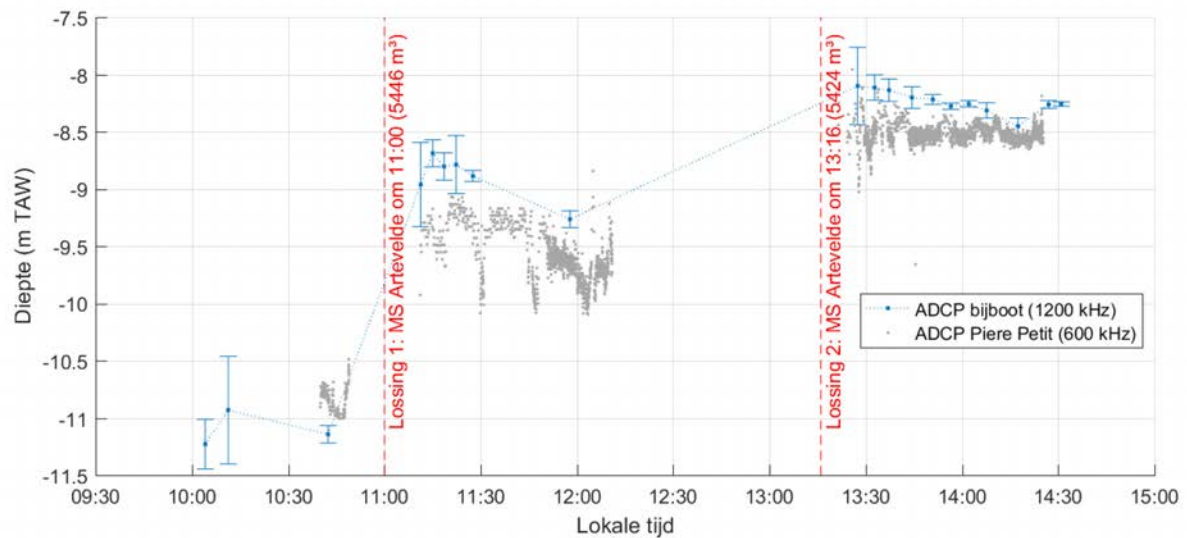
De gevaren raaien zijn opgenomen in Bijlage E.1. De kleur geeft de diepte van de top van sliblaag zoals gemeten door de ADCP van de bijboot weer. De dwarsprofielen van de gevaren raaien zijn opgenomen in Bijlage E.2. Ter vergelijking is ook het niveau van de 33 en 210 kHz single-beam en multi-beam peiling opgenomen in de figuur. Dit de peiling werd uitgevoerd tussen 12:30 en 13:00.

Track 000 en track 001 (Figuur 97 - Figuur 98 en Figuur 117 - Figuur 118) zijn een langs- en drawsraai gevaren voor de eerste lossing: T0-peiling. Track 002 (Figuur 99 en Figuur 119) is een stationaire meting: de bijboot ligt langs de Pierre Petit voor kalibratie van de instrumenten. Het valt op dat voor alle tracks tijdens de T0-peiling de ADCP bodem detectie nagenoeg samenvalt met de 33 kHz (men dient hierbij op te merken dat de positie van de bijboot bepaald werd met behulp van een onnauwkeurige Garmin hand-GPS (+/- 5 m nauwkeurigheid). Ten opzicht van de ADCP van de bijboot (1200 kHz) geeft de ADCP van de Pierre Petit (600 kHz) een iets kleinere diepte weer (verschillen tot 3 dm). De toestellen zijn niet identiek en werken met verschillende frequenties. De ADCP bodem detectie van de bijboot komt het beste overeen met de 33 kHz gemeten door Vlaamse Hydrografie.

De gemeten diepte langs de door de bijboot gevaren raaien na de eerste lossing is weergegeven in Bijlage F.2. De ontbrekende data in de gevaren raaien zijn het gevolg van de verstoring van het akoestisch signaal door enerzijds nog hoge concentraties zwevend stof in de waterkolom boven de onderwatercel, maar anderzijds ook door de aanwezigheid van schroefwater van de MS Artevelde en MS Pierre Petit. Enige tijd na de lossing nemen de verstoringen af. De geloste specie is licht vloeibaar van aard en verspreid zich homogeen over de onderwatercel. De top van de vers aangevoerde sliblaag is nagenoeg vlak. Dit laat toe om op basis van de gevaren raaien een inschatting te maken van het volume van het topslib (volume slib boven de 33 kHz reflector).

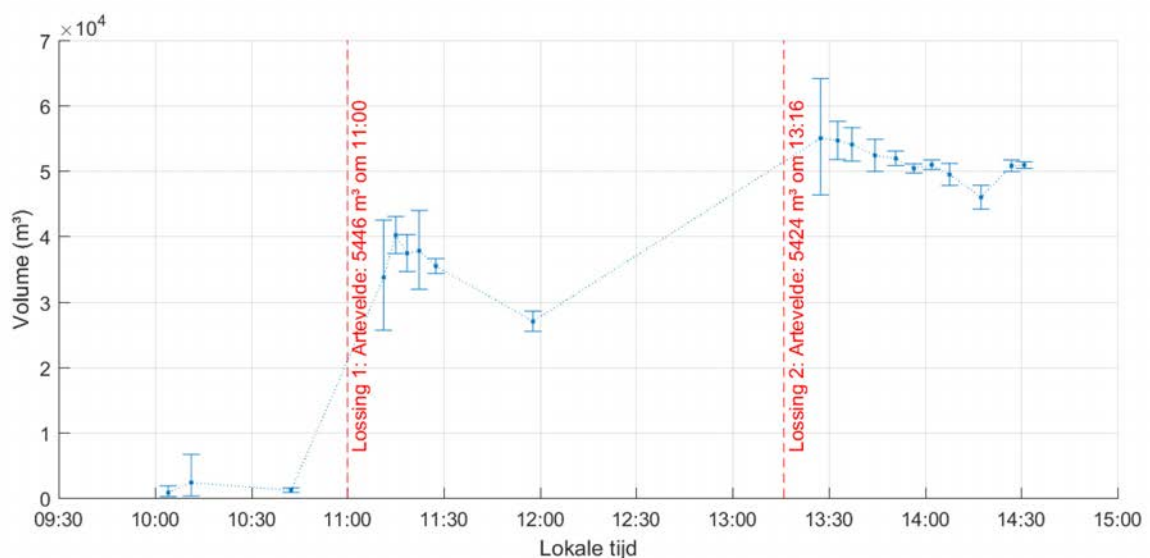
Na de eerste lossing stijgt de top van de sliblaag instantaan met ruim twee meter, zie ook Figuur 14. Figuur 14 geeft de gemiddelde diepte van het top slib op basis van ADCP bodem detectie van de gevaren raaien. Ter vergelijking is ook de bodem detectie van de ADCP van de MS Pierre Petit (stationaire positie op de locatie van de lossing) opgenomen in de figuur. De dieptes komen niet exact overeen, maar ze vertonen wel een gelijkaardige trend.

Figuur 14: Evolutie van de diepte van het topslib tijdens aanvoer van sediment



Op basis van de gemeten dieptes werd vervolgens de volumeveranderingen van het topslib in de onderwatercel geschat in Figuur 15. Om 11:00 wordt er voor de eerste maal specie gelost door de MS Artevelde: 5446 m<sup>3</sup> in totaal. In de cel heeft de aangevoerde specie echter een volume van bijna 40 000 m<sup>3</sup>. Met andere woorden, het volume specie is met ruim een factor 7 toegenomen. In het eerste uur na de lossing neemt het volume in de onderwatercel gestaag af met ongeveer 17 000 m<sup>3</sup>/uur. In deze periode is de AMORIS inactief. De afname van het volume is het gevolg van het sedimenteren en consolideren van het sediment. De dichtheid van de sliblaag neemt dan toe. Naarmate de dichtheid in de sliblaag toeneemt zal het consolidatieproces vertragen.

Figuur 15: Volume topslib in de onderwatercel op 02/05/2016

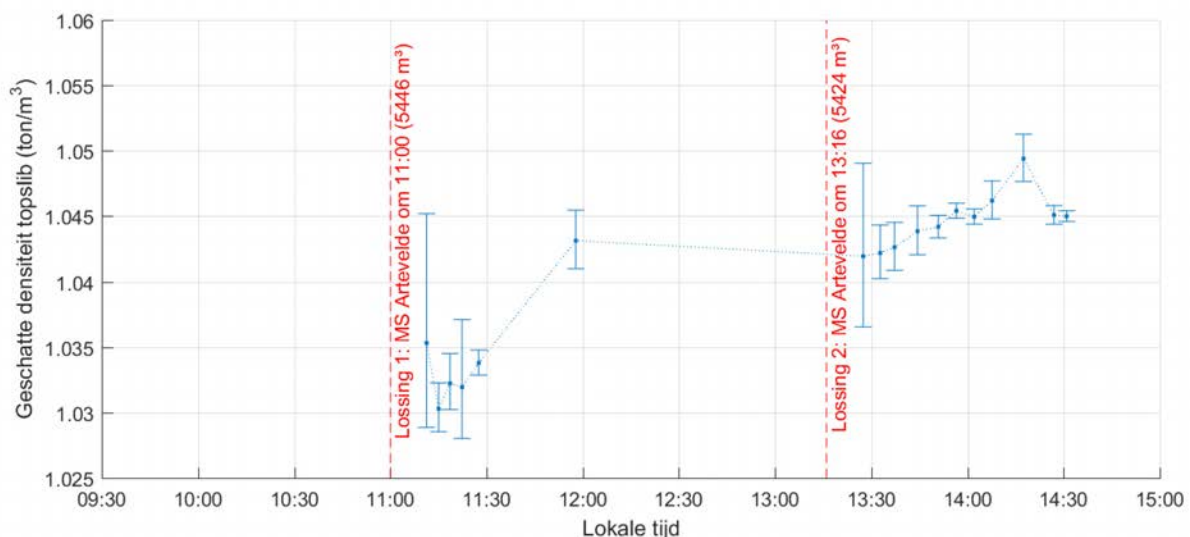


Om 13:16 wordt een tweede lading baggerspecie gelost door de MS Artevelde. Het niveau van de top van de sliblaag stijgt tot -8 m TAW. Omdat er geen peiling meer is uitgevoerd vlak voor het lossen van het sediment is het moeilijk in te schatten wat het niveau van het topslib was vlak voor het lossen. Het volume in de onderwatercel is toegenomen van maximaal 27 000 m<sup>3</sup> naar 55 000 m<sup>3</sup> terwijl er slechts 5400 m<sup>3</sup> specie gelost is. Dit betekent dat het volume van de geloste specie met minstens een factor 5,2 is toegenomen tijdens het kleppen. De volumeafname na het kleppen neemt trager af dan na de eerste lossing omdat de gemiddelde densiteit in de topsliblaag hoger is dan vlak na de eerste lossing. Er is een pompstaal genomen een half uur na de tweede lossing in top van de sliblaag, zie ook volgende paragraaf. De gemeten densiteit net boven de top van de sliblaag is vergelijkbaar met de densiteit van het slib na de eerste lossing. Dat zou er kunnen op wijzen dat ook bij de tweede lossing de geloste specie met een factor zeven verdund werd. Het volume van de specie van de eerste lossing in de onderwatercel zou dan gereduceerd geweest zijn tot ongeveer 16 000 m<sup>3</sup> net voor het kleppen van de tweede lading vers baggerspecie. Echter is dergelijke verdunding een complex proces gebonden aan de wijze van kleppen, de begindensiteit van de geloste specie, de densiteit en dispersiegedrag van het aanwezige sediment in de waterkolom. De verdunding tijdens de tweede lossingsfase is dan ook moeilijk in te schatten.

### 4.3 Densiteit

De aangevoerde specie heeft in de beun van het baggerschip een densiteit van variërend van 1,15 tot 1,20 ton/m<sup>3</sup>. Deze densiteit wordt bepaald door een mix van hoeveelheid klei, silt en zand. In de bovenstaande paragraaf werd al aangetoond dat tijdens het kleppen de specie tot een factor zeven verdund wordt. Figuur 16 geeft een schatting van de densiteit in de onderwatercel op basis van het slibvolume zoals berekend in bovenstaande paragraaf en de aangevoerde ton droge stof. Na de eerste lossing bestaat de sliblaag uit licht vloeibaar slib met een densiteit tussen de 1,03 en 1,035 ton/m<sup>3</sup>. Echter deze schatting gaat ervan uit dat al het geloste sediment zich op dat moment in de sliblaag bevindt.

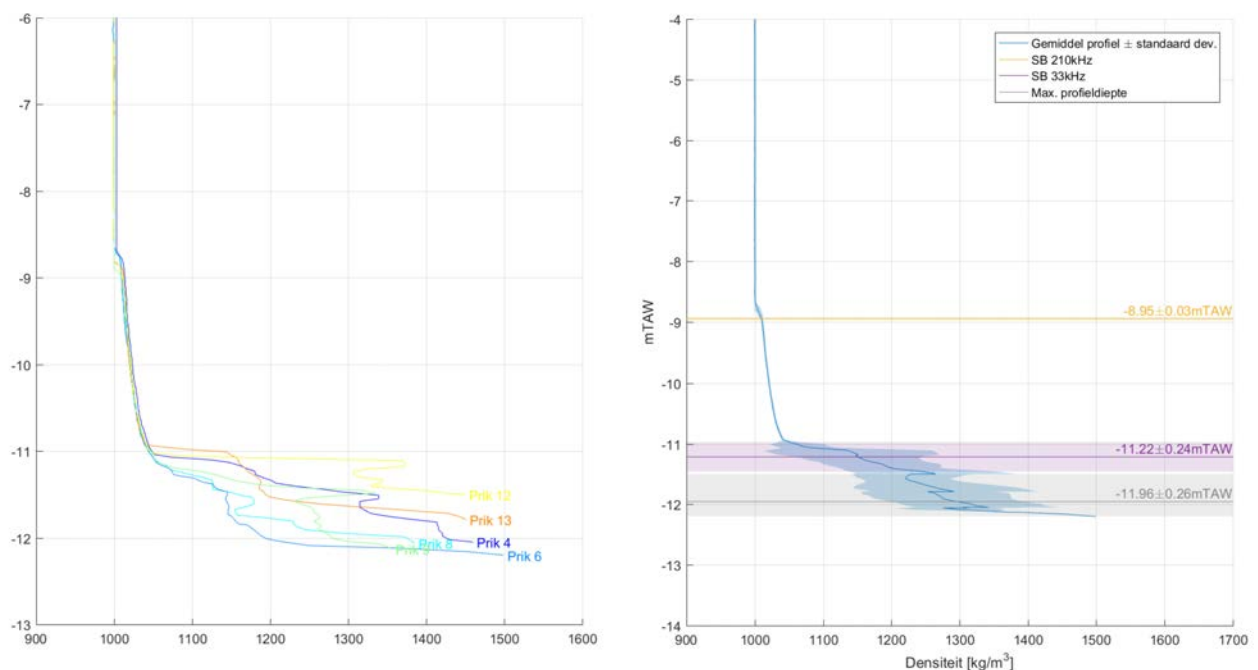
Figuur 16: Geschatte densiteit van vers aangevoerde topslib in de onderwatercel op 02/05/2016.



Schatting op basis van aangevoerde TDS en volume in de onderwatercel, in de veronderstelling dat al het geklepte sediment in de topsliblaag bezinkt.

Tussen de eerste en de tweede lossing is de densiteit in de onderwatercel gemeten aan de hand van de RheoTune. De RheoTune prikken centraal in de onderwatercel zijn weergegeven in Figuur 17. Merk op dat de densiteit in de topsliblaag homogeen verdeeld is over de onderwatercel. De prikken werden genomen tussen 11:30 en 12:30. De gemiddelde densiteit in de topsliblaag wordt geschat op  $1,03 \text{ ton/m}^3$ , terwijl op basis van Figuur 16 men een densiteit tussen de  $1,035$  en  $1,045 \text{ ton/m}^3$  zou verwachten.

Figuur 17: RheoTune densiteitsprikken genomen in de AMORS onderwatercel op 2/5/2016 tussen 11:30 en 12:30.



Links: individuele prikken (zie Figuur 58 op p.17 voor de locaties van de prikken).

Rechts: assemblage van alle prikken.

Enkel de prikken centraal in de OWC met een minimale diepte van 11,5 m zijn weerhouden.

Gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1,03 \text{ ton/m}^3 \pm 0,024 \text{ ton/m}^3$ .

Tussen de twee lossingen zijn er ook een aantal pompstalen op verschillende diepten en momenten genomen, zie Bijlage F. Een aantal van de stalen zijn genomen in de sliblaag. Om 24 minuten na de eerste lossing is een pompstaal genomen in de sliblaag op -9,8 m TAW. Deze had een densiteit<sup>2</sup> van  $1,024 \text{ ton/m}^3$ , hetgeen correspondeert met de densiteit zoals in Figuur 17 op deze diepte. Een tweede staal werd genomen op dezelfde diepte ongeveer een uur na de eerste lossing. De densiteit van dit staal bedroeg  $1,034 \text{ ton/m}^3$  en is hoger dan gemeten door de RheoTune. Het nemen van de RheoTune prikken nam ongeveer een uur in beslag. In deze tijd evolueert de topsliblaag zoals hierboven al aangegeven.

Op basis van verschillende gemeten densiteiten wordt in onderstaande tabel een inschatting gemaakt van hoeveel ton droge stof zich in de sliblaag bevindt en welke fractie van de lossing zich nog in de waterkolom bevindt als zweven stof. Geschat wordt dat er tussen de 10 en 25% van de specie in suspensie komt tijdens het kleppen. Het zwevend stofgehalte in en boven de onderwatercel wordt verder besproken in de volgende paragraaf.

<sup>2</sup> In het sedimentologisch laboratorium werd het drogestofgehalte van de stalen geanalyseerd aan de hand van filtratie. De densiteit is berekend op basis van het drogestofgehalte.

Tabel 8: Schatting van het percentage TDS dat tijdens het kleppen in suspensie komt (lossing 1, 1700 TDS geklept, 11:00:00)

|                 | Volume<br>Topslib in<br>OWC<br>(m <sup>3</sup> ) | Gemiddelde<br>densiteit in de<br>sliblaag (ton/m <sup>3</sup> ) | TDS in<br>topslib | Geschat TDS in<br>suspensie | % TDS in suspensie |
|-----------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|
| <b>11:15:03</b> | 40 180                                           | 1.024                                                           | 1294              | 406                         | 24%                |
|                 |                                                  | 1.029                                                           | 1617              | 83                          | 5% (?)             |
| <b>11:18:35</b> | 37 419                                           | 1.029                                                           | 1506              | 194                         | 11%                |
| <b>11:22:21</b> | 37 807                                           | 1.029                                                           | 1522              | 178                         | 10%                |
| <b>11:27:33</b> | 35 452                                           | 1.029                                                           | 1427              | 273                         | 16%                |
| <b>11:57:49</b> | 26 987                                           | 1.029                                                           | 1086              | 614                         | 36% (?)            |
|                 |                                                  | 1.034                                                           | 1303              | 397                         | 23%                |

#### 4.4 Gesuspendeerd materiaal in de waterkolom

Voor en na de lossingen zijn in totaal 27 pompstalen genomen op verschillende waterdieptes. De pompstalen werden in het sedimentologisch laboratorium geanalyseerd op concentratie gesuspendeerd materiaal. De resultaten per staal zijn opgenomen in Bijlage F. De gemeten concentraties zijn gevisualiseerd in Figuur 18. In de figuur is tevens de diepte van de onderwaterdam weergegeven en de diepte van de top van de sliblaag op het moment dat de stalen genomen werden. Figuur 19 zoomt in op de gemeten concentraties in de bovenste 10 meter van de waterkolom. Er werden pompstalen genomen voor de eerste lossing (T0), en vervolgens telkens ongeveer twintig minuten en één uur na het kleppen.

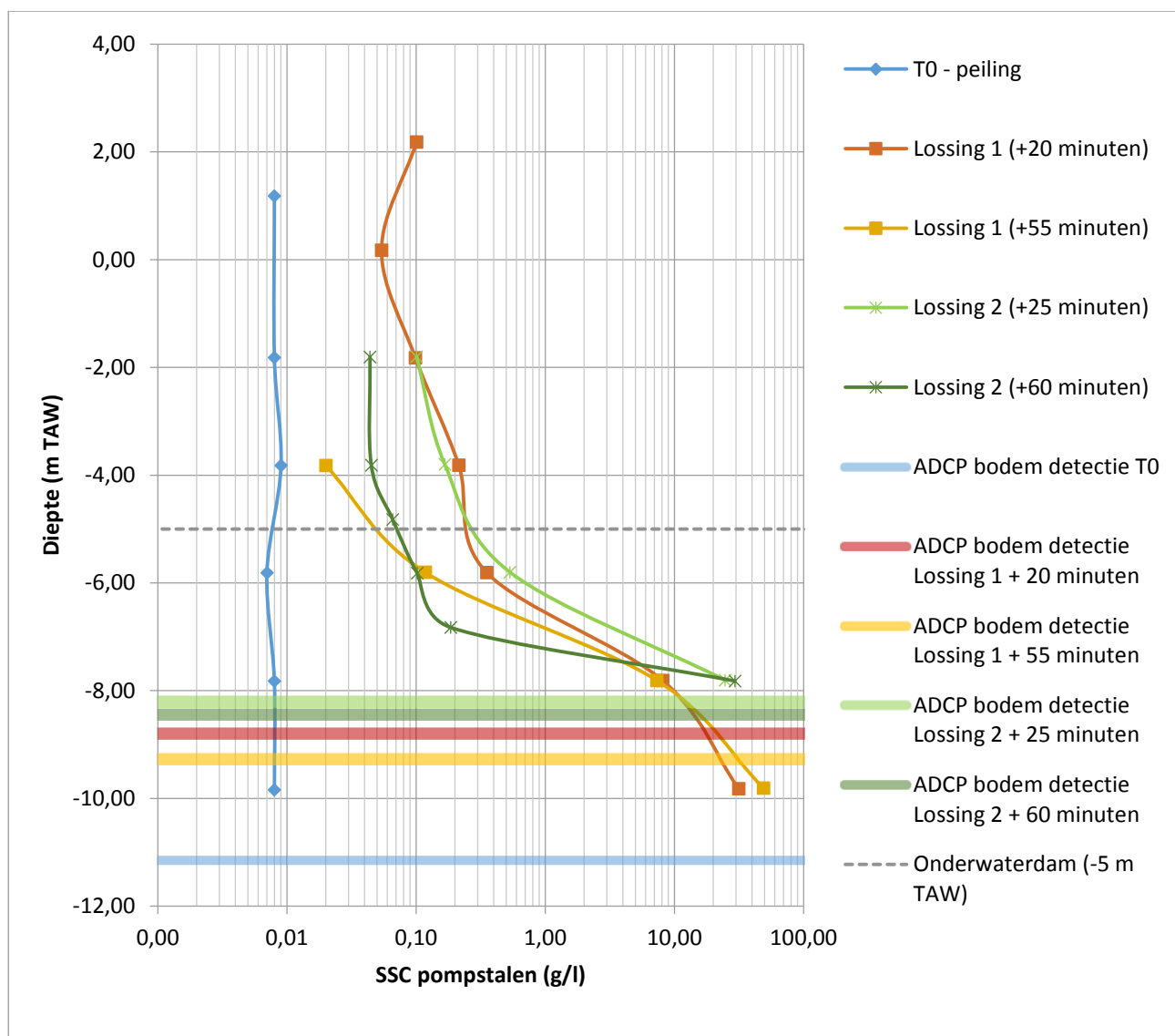
Voor het aanvoeren van specie zijn de concentraties bijzonder laag en uniform over de volledige waterkolom: minder dan 10 mg/l. Twintig minuten na de lossing zijn in de bovenste negen meter van de waterkolom, dit is boven het niveau van de onderwaterdam, concentraties waarneembaar tussen de 100 en 300 mg/l, Figuur 19. In de onderwatercel, dit is onder het niveau van de onderwaterdam op -5 m TAW, nemen de concentraties exponentieel toe tot meerdere grammen per liter boven de top van de sliblaag. Door de hoge concentraties zwevend stof in de waterkolom op de locatie van de lossing, heeft het water hier lokaal een hogere densiteit dan het omgevingswater. Dit zorgt voor een neerwaartse densiteitstroming die zich boven de bodem, of top van de sliblaag, verder horizontaal kan verspreiden. Omdat de top van de sliblaag zich nog ruim onder de top van de sliblaag bevindt, kan de sedimentpluim zich niet verder horizontaal verspreiden, en blijft het sediment gevangen binnen de onderwatercel. Omgekeerd zal hoe dichterbij de top van de sliblaag onder de top van de onderwaterdam komt te liggen, hoe meer van deze hoog geconcentreerde waterlaag zich verder horizontaal zal verspreiden buiten de onderwatercel.

Boven de onderwatercel nemen de concentratie in de tijd af tot enkele tientallen grammen per liter een uur na de lossing. De hoge concentratie net boven de sliblaag neemt echter traag af. Door de hoge concentraties zakt het sediment nog nauwelijks uit en blijft het hangen. Omdat deze laag gevangen zit binnen de onderwatercel kan deze niet verder horizontaal verspreiden. Dit is ook zichtbaar in het backscatter signaal van de stationaire ADCP peiling in

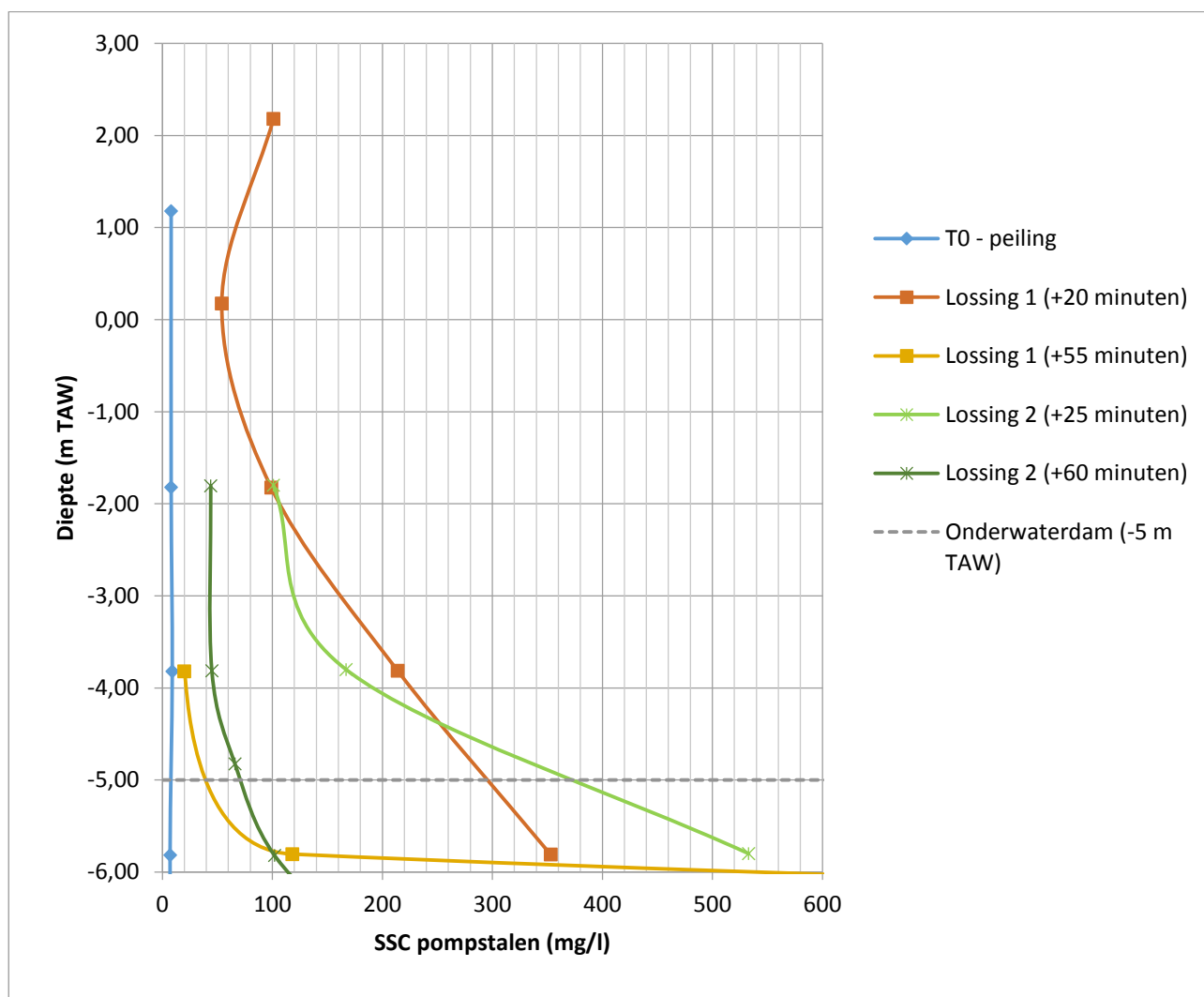
Figuur 20 (ADCP Pierre Petit). Vlak na het kleppen positioneert de Pierre Petit zich zo kort mogelijk boven de losplaats, Figuur 22. Vlak na het kleppen is op de locatie van de lossing nog een sedimentpluim waarneembaar in bijna de volledige waterkolom. Deze pluim zakt onder invloed van de dichtheitsstroming versneld uit. Tien minuten later is de pluim quasi volledig uitgezakt tot onder het niveau van de onderwaterdam. De tijdelijke hoge backscatter in de bovenste drie meter van de waterkolom die van tijd tot tijd waargenomen kan worden, wordt veroorzaakt door schroefwater op het moment dat de Pierre Petit moet bijsturen om op positie te blijven.

De ruimtelijke patronen van de verspreiding van het sediment kan waargenomen worden in het backscatter signaal van de ADCP van de bijboot opgenomen in Bijlage F. Na het uitzakken van de sedimentpluim verspreidt deze zich verder horizontaal in de onderwatercel. Figuur 21 laat eveneens zien dat ten zuiden van de lossing, ter hoogte van de onderwaterdam de concentraties hoger zijn dan ter hoogte van de kade, wat wijst op een horizontale verspreiding van de pluim ook boven de onderwatercel. De concentraties zijn eerder laag in vergelijking met de concentraties in de onderwatercel, ter vergelijking: de backscatter op ongeveer 6 m waterdiepte (-5,8 m TAW) centraal in de cel (groene kleur) komt overeen met ongeveer 100 mg/l.

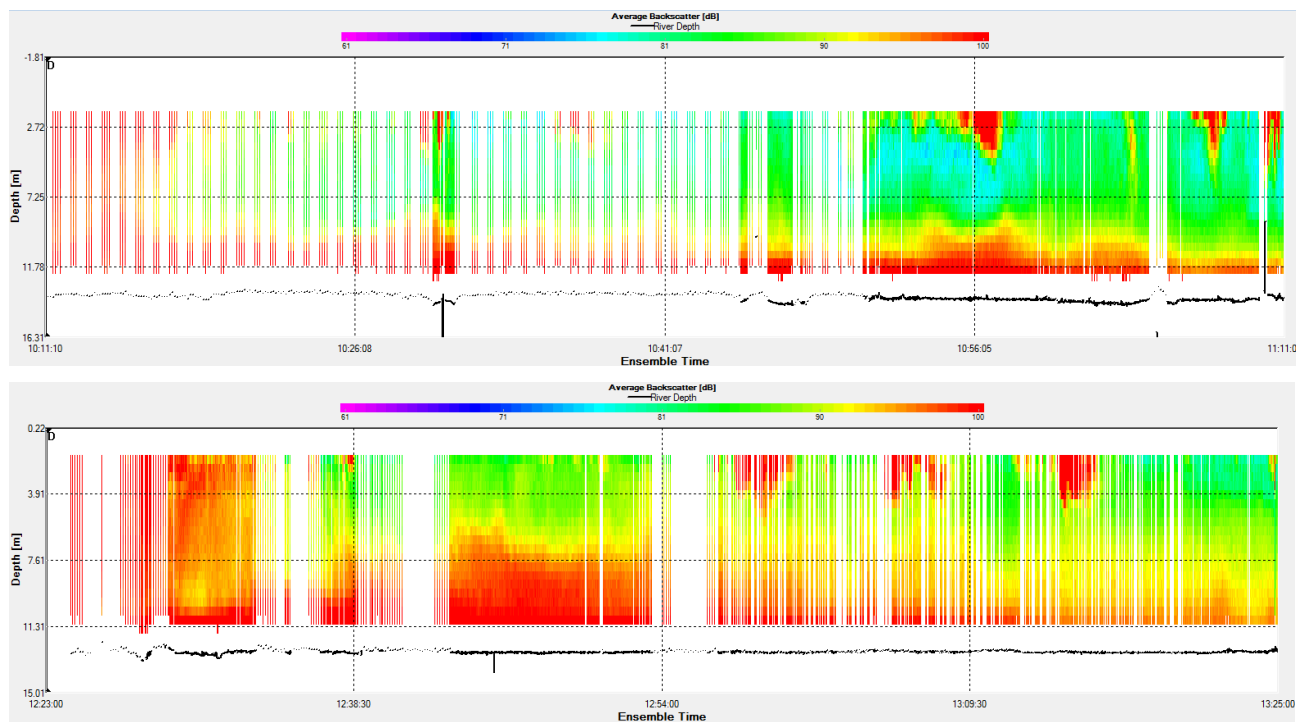
Figuur 18: Concentraties zwevend stofgehalte op basis van pompstalen voor (T0) en na de lossingen (g/l, logaritmische schaal) centraal in de stortpluim



Figuur 19: Concentraties zwevend stof boven de onderwatercel (mg/l), centraal in de stortpluim

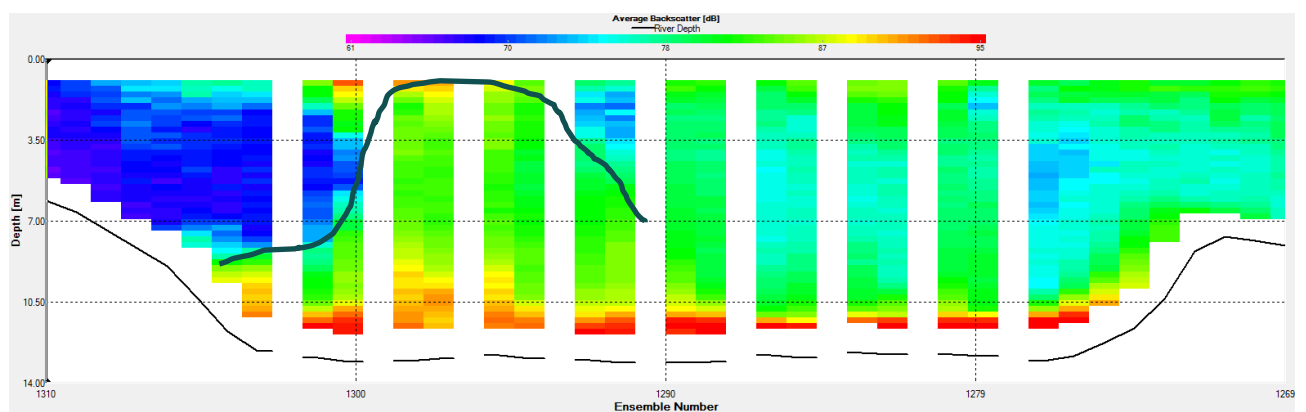


Figuur 20: Backscatter stationaire ADCP-peiling Pierre Petit (locatie van de lossing) na lossing 1 (boven) en lossing 2 (onder)



De intensiteit van de backscatter is een proxy voor de concentratie zwevend stof. De pieken in de top van de waterkolom worden veroorzaakt door schroefwater op het moment dat de MS Pierre Petit moet corrigeren om de positie te behouden. De zwarte lijn is de top van de sliblaag zoals gemeten door de ADCP. Diepte is in meter onder het wateroppervlak (0 m waterdiepte  $\approx +4,2$  m TAW), tijd in UTC+1. In de eerste fase na het lossen, tussen 12u23 en 12u38 kan men het sedimenteren van het sediment in de bovenste delen van de waterkolom waarnemen.

Figuur 21: Bijboot track 005, 11:18 (18 minuten na kleppen), oriëntatie Noord-Zuid



Zie Figuur 102 op p.39 voor de locatie van de gevaren raai. Diepte is in meter onder het wateroppervlak (0 m waterdiepte  $\approx +4,2$  m TAW). Raai gevaren tussen 11:17 en 11:19

Figuur 22: Positioneren van de Pierre Petit boven de losplaats vlak na het kleppen

---

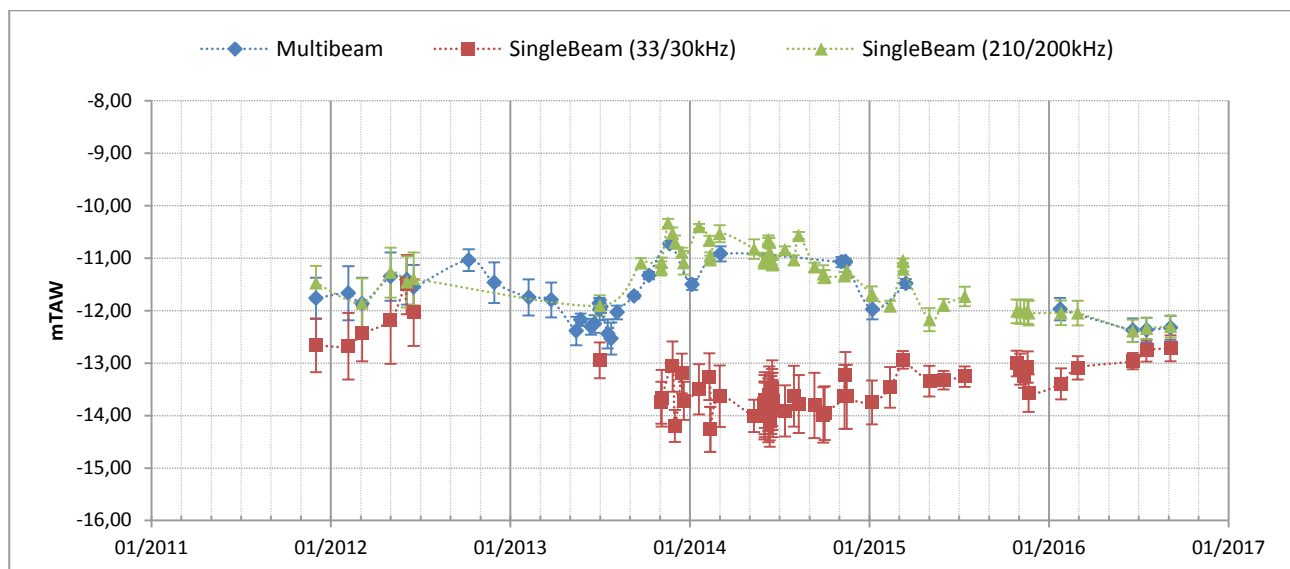


## 5 Topslib in Kanaaldok B1-B2

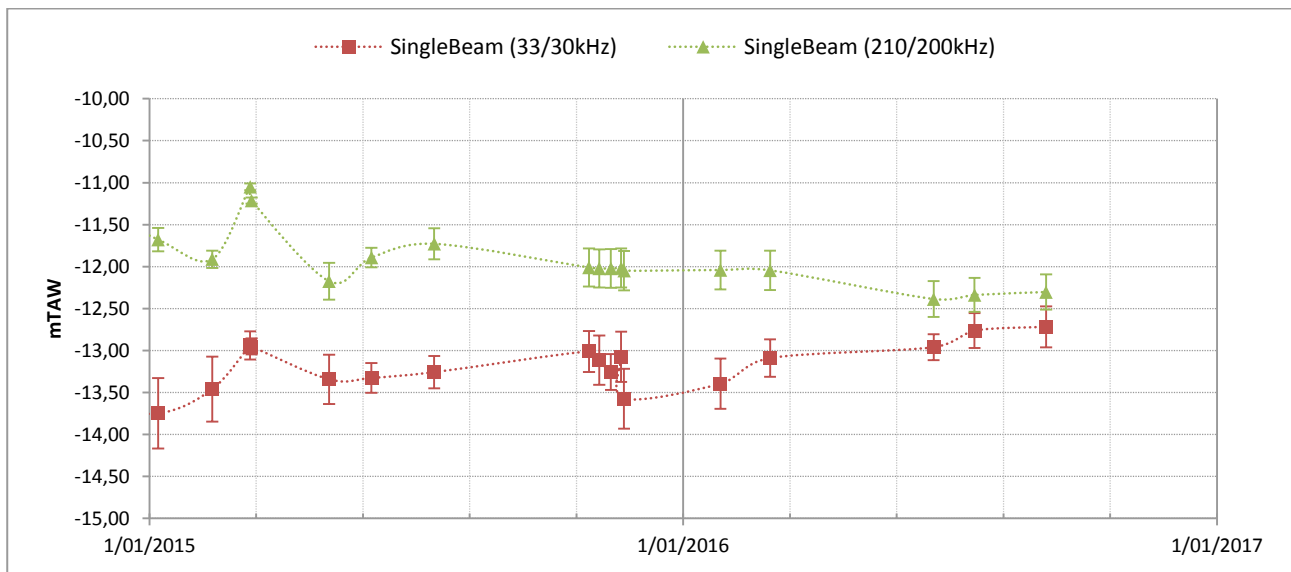
Figuur 23 toont het verloop van de diepte van het Kanaaldok B1 ter hoogte van de onderwatercel sinds de ingebruikname van de onderwatercel. De rode punten zijn 33kHz single-beam opnames. De blauwe en groene punten geven de multi-beam respectievelijk 210kHz single-beam peilingen weer. In de tweede helft van 2013, dit is de periode dat het aanvoerregime verhoogd werd, werd een sterke aangroei van de sliblaag in het Kanaaldok B1 ter hoogte van de onderwatercel waargenomen. In 2014 is de laag tot meer dan drie meter dik en komt zij hoger dan -11,0 m TAW. GraviProbe peilingen uitgevoerd door GHA in samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium tonen aan dat de sliblaag vooral uit dun vloeibaar slib bestaat als gevolg van het overlopen van de onderwatercel (De Maerschalck *et al.*, 2015a). Lokale onderhoudsbaggerwerken in het Kanaaldok B1 in 2013 – 2014 leiden wel tot een verdieping van de bodem, maar hebben weinig effect op de top van de sliblaag.

Vanaf eind 2014 neemt de top van de sliblaag in het Kanaaldok geleidelijk af. In 2015 stijgt het niveau van de 33 kHz wel ongeveer een halve meter. Dit kan te maken hebben met consolidatie van de sliblaag. Eind 2015 is de sliblaag gereduceerd tot ongeveer één meter dikte (gemeten tussen top van de sliblaag en de 33 kHz reflector). In 2016 neemt de top van de sliblaag verder af, terwijl de 33 kHz diepte nog enkele decimeters stijgt. De dwarsdoorsnede in Figuur 29 laat ook wel zien dat de bodem in die periode min of meer geëgaliseerd wordt. De dikte van de sliblaag is in de tweede helft van 2016 gereduceerd tot minder dan een halve meter, zie ook Figuur 24. De systematische reductie van de sliblaag bevestigt dat ten opzichte van eind 2013 – begin 2014 de sedimentvloeit vanuit de onderwatercel naar het naburige kanaaldok sterk gereduceerd is.

Figuur 23: Niveau topslib in de vaargeul Kanaaldok B1, 2011 - 2016



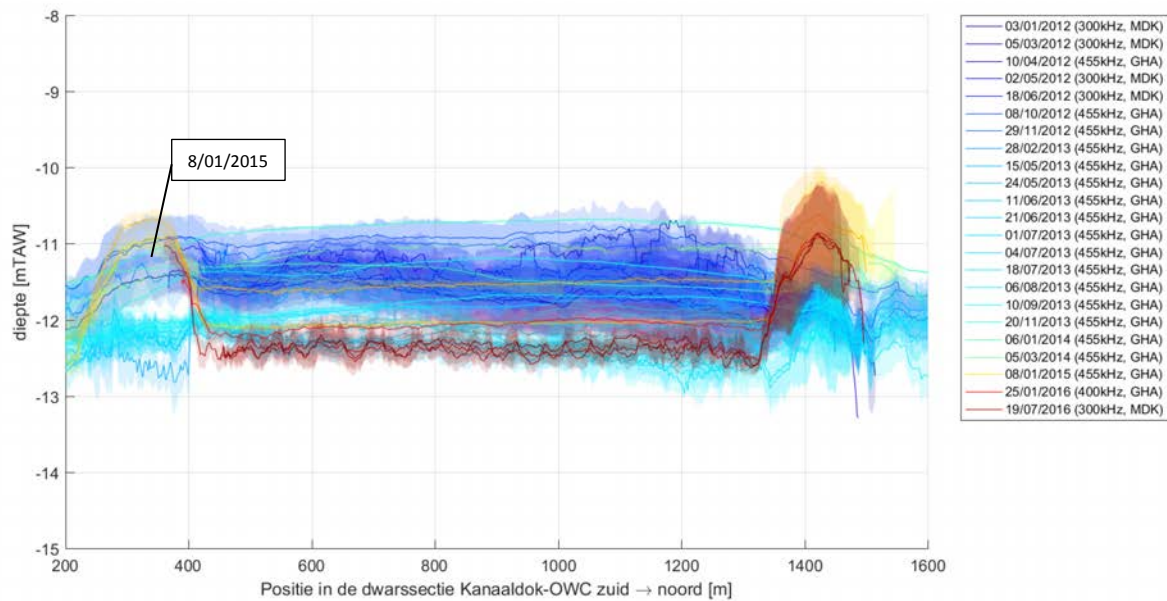
Figuur 24: Niveau topslib in de vaargeul Kanaaldok B1, periode 2015 - 2016



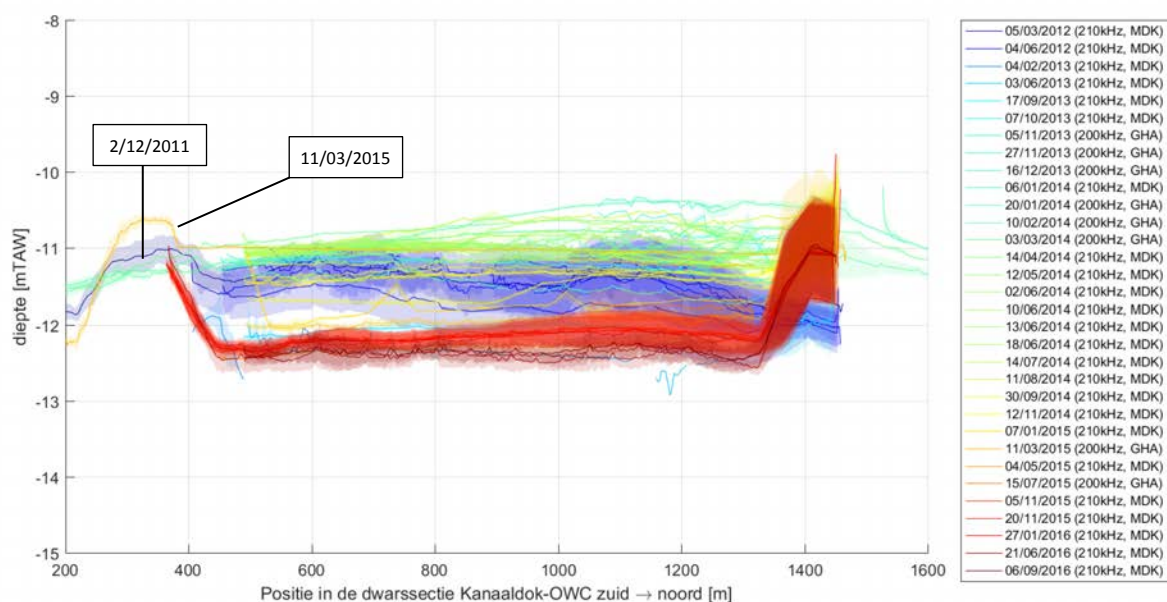
Figuur 25 tot Figuur 27 geeft de gemiddelde diepte van de bodem en topslib centraal in de vaargeul van het Kanaaldok B1. Zie Figuur 35 in Bijlage B voor de locatie van deze raai. De onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300. In de figuur zijn twee drempels waarneembaar. De drempel ten noorden van de onderwatercel, rond 1400 m in Figuur 25, bevindt zich ter hoogte van de Lillobrug. Ook ten zuiden van het schuildok voor de duwvaart is een drempel waarneembaar. De drempels zijn ook al aanwezig in de peilingen van eind 2011.

Tussen februari en maart 2015 stijgt de top van de sliblaag in het Kanaaldok ter hoogte van de onderwatercel met bijna een meter, zie Figuur 24 tot Figuur 26. Op de peiling van 11 maart 2015 in Figuur 26 is duidelijk zichtbaar dat de top van de sliblaag tussen de twee drempels quasi vlak is, wat wijst op de aanwezigheid van dun vloeibaar slib. Tussen de peiling van 13/2/2015 en 11/3/2015 wordt er meer dan 770 000 m<sup>3</sup> specie geklept. Dit is was de laatste periode van intensieve lossingen.

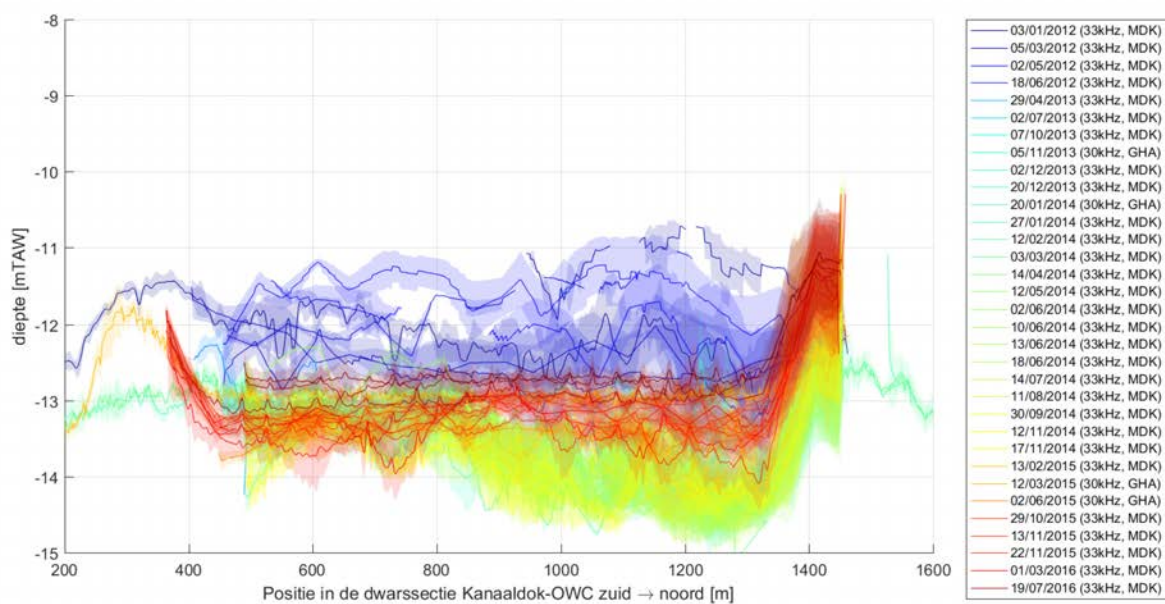
Figuur 25: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: multi beam, 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B).



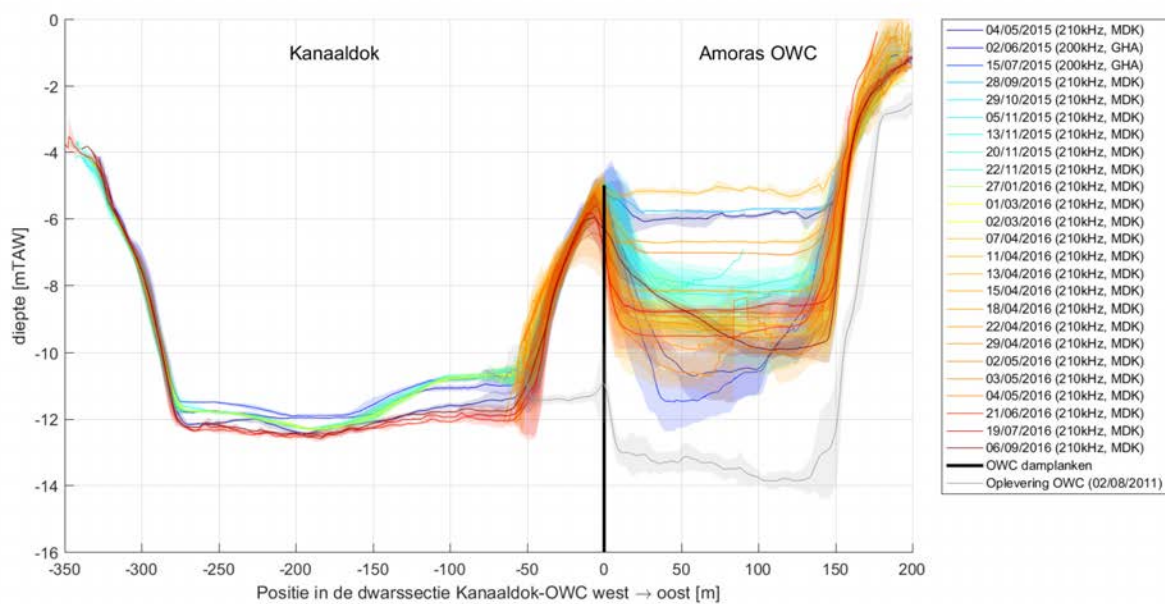
Figuur 26: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: single beam (200/210kHz), 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B).



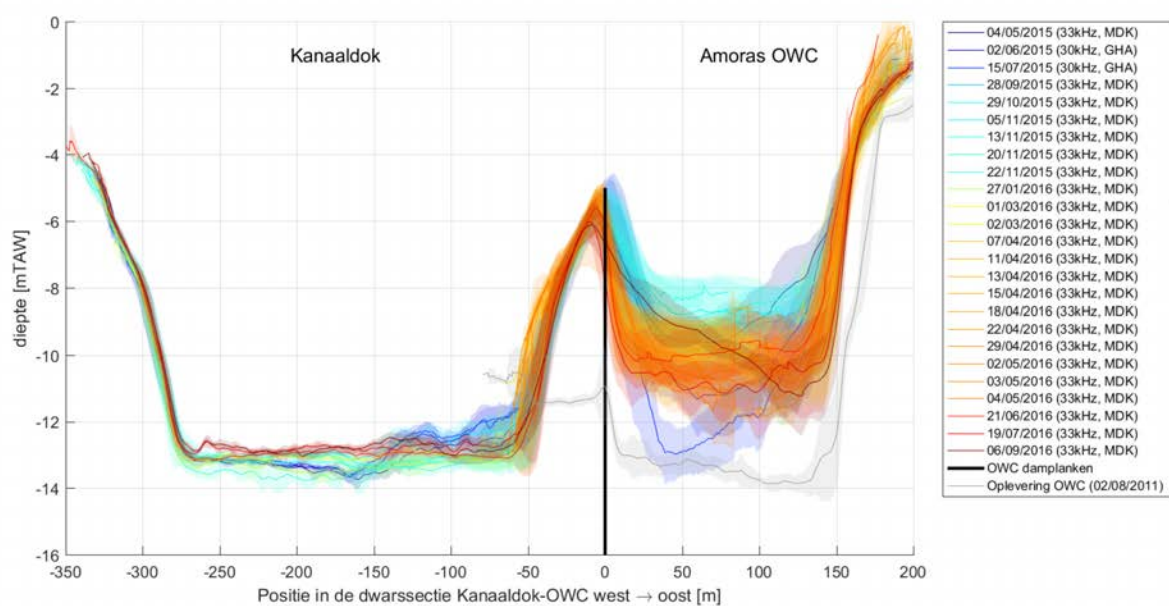
Figuur 27: Evolutie gemiddeld langsprofiel Kanaaldok B1: single beam (30/33kHz), 2012 – 2016. AMORAS onderwatercel ligt ter hoogte van meter 1000 tot 1300 (zie Figuur 35 in Bijlage B).



Figuur 28: Evolutie gemiddeld dwarsprofiel met standaard deviatie Kanaaldok en OWC: single beam (200/210kHz), mei 2015 – september 2016 (zie Figuur 34 in Bijlage B voor de positie van de Raai)



Figuur 29: Evolutie gemiddeld dwarsprofiel met standaard deviatie Kanaaldok en OWC:  
single beam (30/33kHz), mei 2015 – september 2016 (zie Figuur 34 in Bijlage B voor de positie van de Raai)



## 6 Conclusies

In voorafgaand onderzoek werd vastgesteld dat in periodes van intensieve aanvoer tot meer dan 50 % van de aangevoerde specie door overvloeien van de onderwatercel in het naburige Kanaaldok B1-B2 terecht kwam. Tijdens het kleppen wordt door inmenging van omgevingswater de specie verdund waardoor het volume in de onderwatercel sneller toeneemt dan het aangevoerde beunvolume. Tevens werd in het onderzoek vastgesteld dat door accumulatie van geconsolideerd slib en zanderige specie het beschikbare volume in de onderwatercel eind 2013 gereduceerd was tot een derde van de oorspronkelijke ontwerpcapaciteit.

Daarom werd vanaf april 2015 het aanvoer regime sterk gereduceerd. Op basis van de aan- en afvoer gegevens in combinatie met SB/MB en RheoTune peilingen wordt geschat dat in de periode maart tot september 2015 het sediment verlies afneemt tot 30% en in de periode oktober 2015 tot april 2016 tot 20%. Tijdens de aanvoer van specie in april – mei 2016 wordt er intensief gepeild door MDK-VH en het Waterbouwkundig Laboratorium. Op basis van deze peilingen werd er geconstateerd dat bij de eerste aanvoer van THVZ in april 2016 de top van de sliblaag het niveau van de onderwaterdam opnieuw bereikt waarna er nog bijgestort wordt. Het verlies wordt tijdens deze campagne geschat op 30 %. Tijdens de volgende baggercampagne wordt er door de baggertoezichthouder op toegezien dat de baggerwerken gestaakt worden op het moment dat de top van de sliblaag in de onderwatercel het niveau van de onderwaterdam bereikt. Er wordt geschat dat de tijdens deze periode het verlies beperkt is gebleven tussen de 0 en 13 %.

Eind 2013 werd vastgesteld dat er zich in de vaargeul van het naburige Kanaaldok B1-B2 een sliblaag gevormd had met een maximale dikte van 3 m en minder dan -11 m TAW diepte ( $\approx 15,2$  meter diepgang) ter hoogte van de AMORAS onderwatercel. Eind 2014 - begin 2015 wordt een afname van de sliblaag geconstateerd gevolg door nog kortstondige toename van bijna 1 meter in maart 2015. Daarna neemt de dikte van de sliblaag gestaag af. In september 2016 is de dikte van de sliblaag gereduceerd tot minder dan een halve meter. De afname van de sliblaag in het kanaaldok bevestigt de afname van het overvloeien van de onderwatercel.

Eind 2015 – begin 2016 werd een inspanning geleverd om de onderwatercel opnieuw uit te diepen. In totaal werd er door de Amoris 130 000 TDS uit de onderwatercel onttrokken. Tijdens deze periode werd er geen specie aangevoerd door THVZ, maar werd er wel sporadisch sediment aangevoerd door GHA, in totaal 58 000 TDS. Het gemiddelde peil in de onderwatercel werd verdiept van ongeveer -8,5 m TAW tot ongeveer -10 m TAW. Lokaal werd de cel verdiept tot -12 m TAW. De oorspronkelijke opleverdiepte van de onderwatercel werd echter niet bereikt.

Op 2 mei 2016 werd een extra monitoringscampagne georganiseerd voor, tijdens en na het kleppen van baggerspecie om de verspreiding van gesuspendeerd sediment in de waterkolom in beeld te brengen. Er werd simultaan gemeten met twee ADCP's: één stationaire meting met de MS Pierre Petit op de locatie van de lossing, en een tweede aan boord van de bijboot die systematisch raaien vaart dwars over de onderwatercel. Tevens werden er op verschillende momenten op verschillende dieptes pompstalen genomen waarvan de concentratie zwevend stof geanalyseerd werd door het sedimentologisch laboratorium van het Waterbouwkundig Laboratorium. Op basis van de bodem detectie (onderdeel van de "bottom track" functionaliteit) van de ADCP was het tevens mogelijk om de evolutie van de top van de sliblaag te monitoren en zo het volume topslib in de onderwatercel in te schatten.

Op basis van de bodem detectie werd waargenomen dat tijdens het kleppen het volume van het slib in situ met een factor 7 toeneemt ten opzichte van het volume in de beun van het baggerslib. Instantaan na het kleppen stijgt de top van de sliblaag in de onderwatercel twee meter. De in situ densiteit van het vers geklepte slib is gereduceerd tot minder dan  $1,03 \text{ ton/m}^3$  (op basis van Rheotune peilingen), waar het in de beun van de MS Artevelde nog een densiteit had van gemiddeld  $1,20 \text{ ton/m}^3$ . In het eerste uur na het kleppen neemt door sedimentatie/consolidatie het volume van de sliblaag geleidelijk af en neemt de

gemiddelde densiteit toe. Naarmate de densiteit toeneemt, vertraagt het consolidatieproces. Na de tweede lossing neemt het volume in de onderwatercel weer sterk toe. De volumeafname in het eerste uur na de tweede lossing is echter beduidend trager dan na de eerste lossing.

Op basis van de pompstalen in combinatie met het backscatter signaal van de ADCP's wordt vastgesteld dat de sedimentconcentratie boven de onderwatercel (boven het niveau van de onderwaterdam, -5 m TAW) na het kleppen toenemen tot enkele honderden mg/l. Een uur na het kleppen zijn de concentraties gereduceerd tot enkele tientallen mg/l. In de onderwatercel, dit is tussen -5 m TAW en de top van de sliblaag, nemen de concentraties exponentieel toe met de diepte tot enkele tientallen gram per liter vlak boven de sliblaag. Onder invloed van de densiteitsstroming die ontstaat na het kleppen zakt het zwevend stof in de onderwatercel versneld uit. In de cel verspreidt het zich vervolgens horizontaal. Door de hoge concentraties in de onderwatercel nemen de concentraties vlak boven de sliblaag slechts traag af. Op basis van de volume berekeningen en de gemeten densiteiten wordt geschat dat tussen de 10 en 25% van de specie tijdens het kleppen in suspensie komt, waarvan het overgrote deel zich vlak boven de top van de sliblaag bevindt.

Op basis van het onderzoek werd een positieve trend vastgesteld wat betreft het reduceren van de stortverliezen. Dit werd vastgesteld zowel op basis van de SB/MB peilingen in combinatie met de RheoTune peilingen als tijdens de intensieve monitoringcampagnes. Ook de analyse van de sliblaag in het naburige kanaaldok bevestigt deze trend. Het controleren van de diepte van de onderwatercel tijdens het aanvoeren van specie lijkt meest succesvol om overvloei te vermijden.

## Referenties

**De Maerschalck, B.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017). AMORAS Onderwatercel: Factual data rapport: single- en multibeam peilingen mei 2015 – september 2016. *WL Rapporten*, 16\_010. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. 101 pp.

**De Maerschalck, B.; Ides, S.; Plancke, Y.; Meshkati Shahmirzadi, M.E.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015a). AMORAS Onderwatercel: onderzoek naar het gedrag van de baggerspecie in de AMORAS onderwatercel in een periode van verhoogde aanvoer en verwerking van baggerspecie. *WL Rapporten*, 14\_009. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

**De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2015b). AMORAS Onderwatercel: Factual data report: single- en multibeam data, augustus 2011 – april 2015

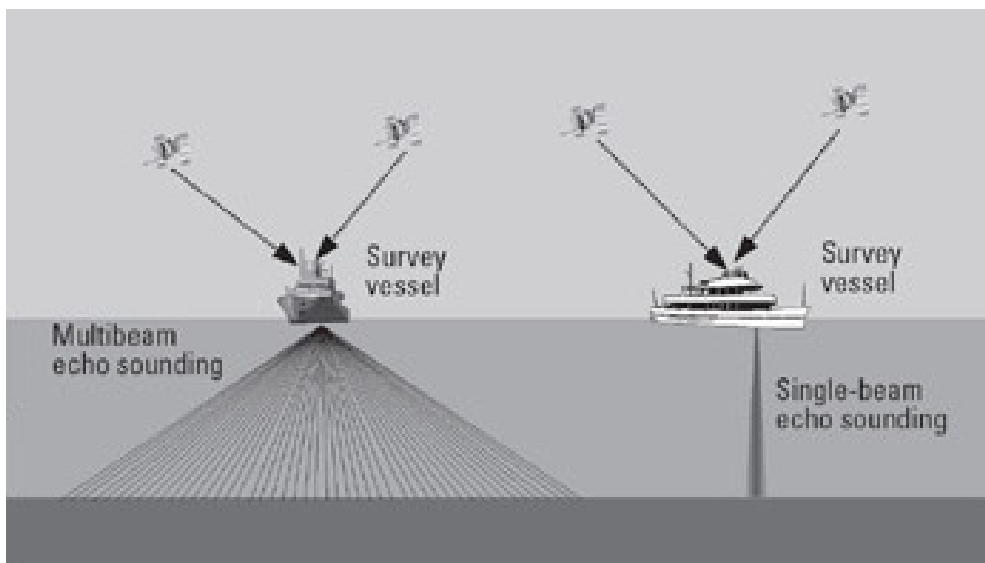


## Bijlage A: Meettechnieken

### A.1 Single- en Multi-beam echo sounder

De single-beam en multi-beam echo sounders zijn akoestische toestellen die de diepte van de bodem of sliblaag meten aan de hand van verschillende frequenties. Voor de multi-beam is dit typisch 400 kHz. De single beam meet simultaan met twee frequenties, typisch 210 en 33 kHz. De hoge frequenties reflecteren typisch op de top van de sliblaag. De 33 kHz reflecteert op een scherpe gradiënt in densiteit in de sliblaag. Dit kan de overgang naar de vaste bodem zijn, maar ook de overgang van licht vloeibaar slib naar dens geconsolideerd slib. De densiteit waarop het 33 kHz signaal kan verschillen. De transmitter-reciever zitten ingebouwd in de romp van het peilschip.

Figuur 30: Werkingsprincipe van de single- en multi-beam echo sounder



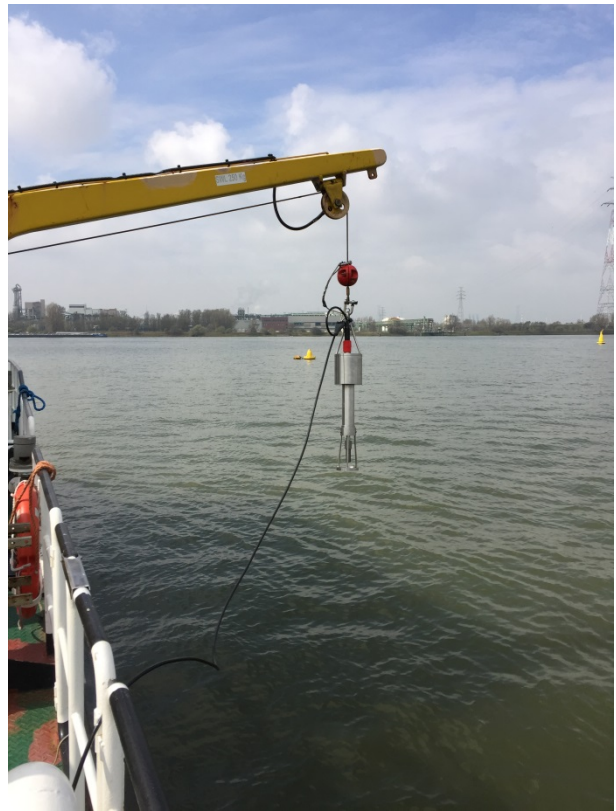
## A.2 RheoTune

De RheoTune is een in situ densiteitsmeter. Densiteit wordt bepaald aan de hand van de resonanties van een trilvork. De RheoTune wordt gemonteerd aan een kraan of david om verticaal te profileren, Figuur 31.

---

Figuur 31: RheoTune

---



### A.3 GraviProbe

De GraviProbe is een vrije val meetinstrument ontwikkeld door dotOcean. Het instrument is uitgerust met druksensoren en versnellingsmeters, Figuur 32. Door de valversnelling van de probe te vergelijken met een theoretische curve voor water kan in combinatie met de druksensoren de weerstand van het slib en de dichtheid berekend worden.

---

Figuur 32: GraviProbe meetinstrument ontwikkeld door dotOcean (bron: GHA).

---



## A.4 Acoustic Doppler Current Profiler

De ADCP is een akoestisch toestel dat gemonteerd wordt in de romp van het schip of bijboot, Figuur 33. Het toestel meet het verticale snelheidsprofiel op basis van het doppler effect van het weerkaatste akoestisch signaal. De sterkte van het de akoestische backscatter is tevens ook een maat voor hoeveelheid zwevend stof in de waterkolom.

---

Figuur 33: ADCP klaargemaakt voor montage in de romp (bakboord) van de Pierre Petit

---

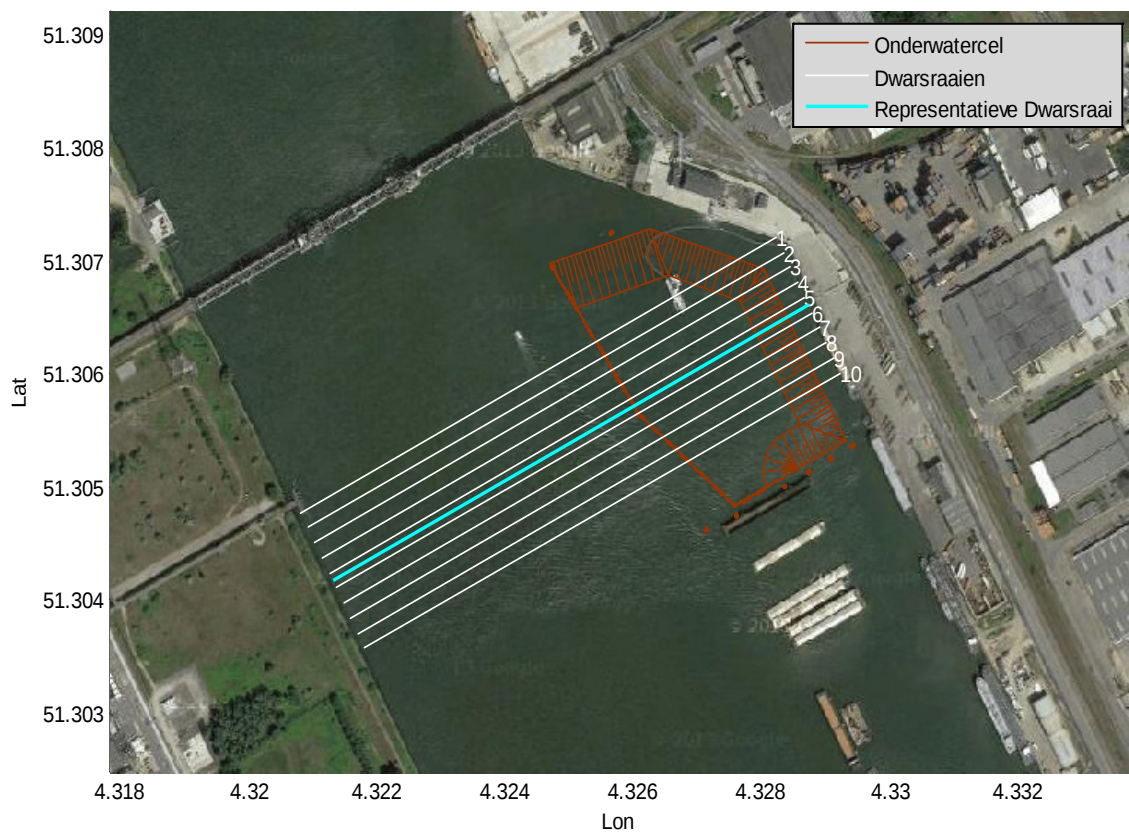


## Bijlage B: Bepaling gemiddelde diepte dwars- en langspiegel

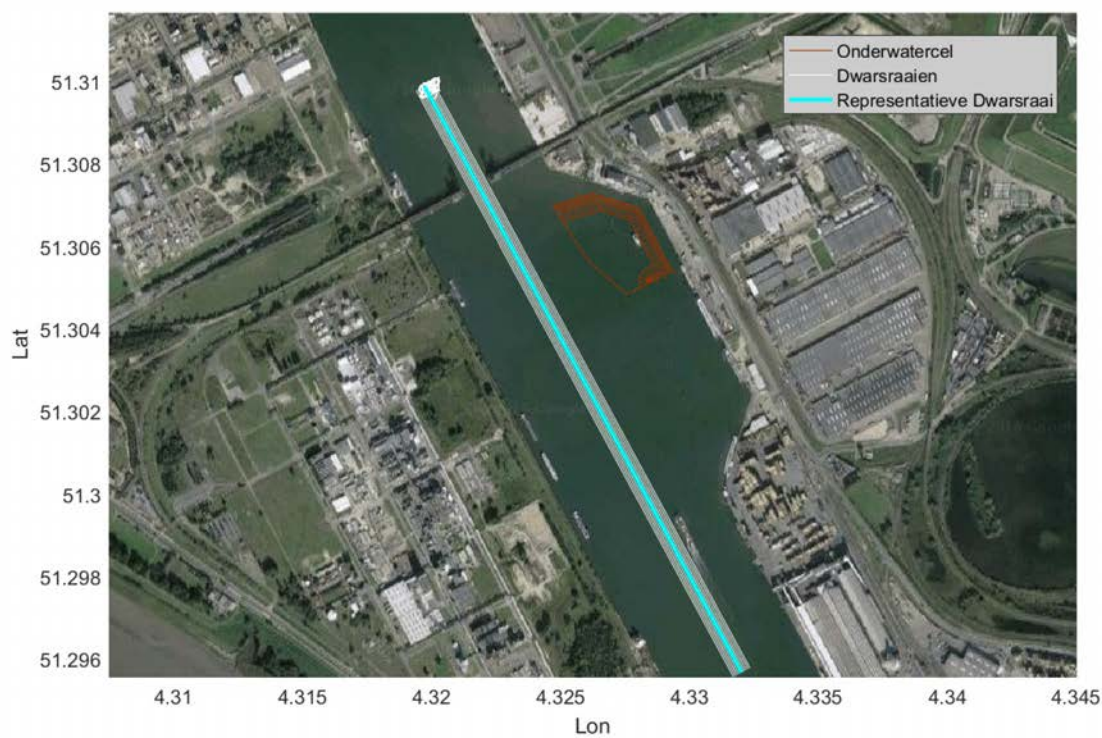
Het gemiddelde dwarsprofiel wordt berekend als het gemiddelde van de tien parallelle transects, zie onderstaande figuur. De individuele dwarsraaien worden verschaald zodat de positie van de onderwaterdam in alle tien transects samenvalt.

Het volume binnen de onderwatercel wordt berekend op basis van de witte polygoon in Figuur 36, tenzij anders vermeld. De gemiddelde diepte centraal in de cel en de gemiddelde diepte van de vaargeul in het naburige Kanaaldok B1 wordt berekend aan de hand van de groene en rode polygoon in de figuur.

Figuur 34: Dwarsraaien 1-10 (wit) en representatieve raai (blauw).



Figuur 35: Langsraai



Figuur 36: Definitie polygonen voor de berekening van sediment volumes (AMORAS OWC), gemiddelde diepte centraal in de cel (AMORAS OWC center) en gemiddelde diepte Kanaaldok B1 (Kanaaldok)



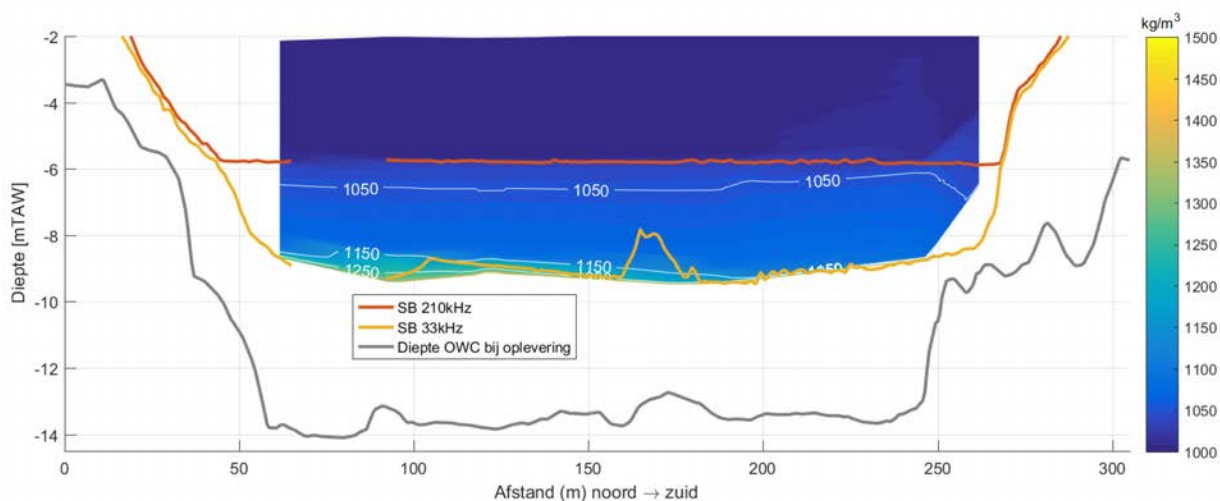
## Bijlage C: RheoTune peiling 28/9/2015

Figuur 37: RheoTune peilingen 28/09/2015, diepte van de peilingen in mTAW.

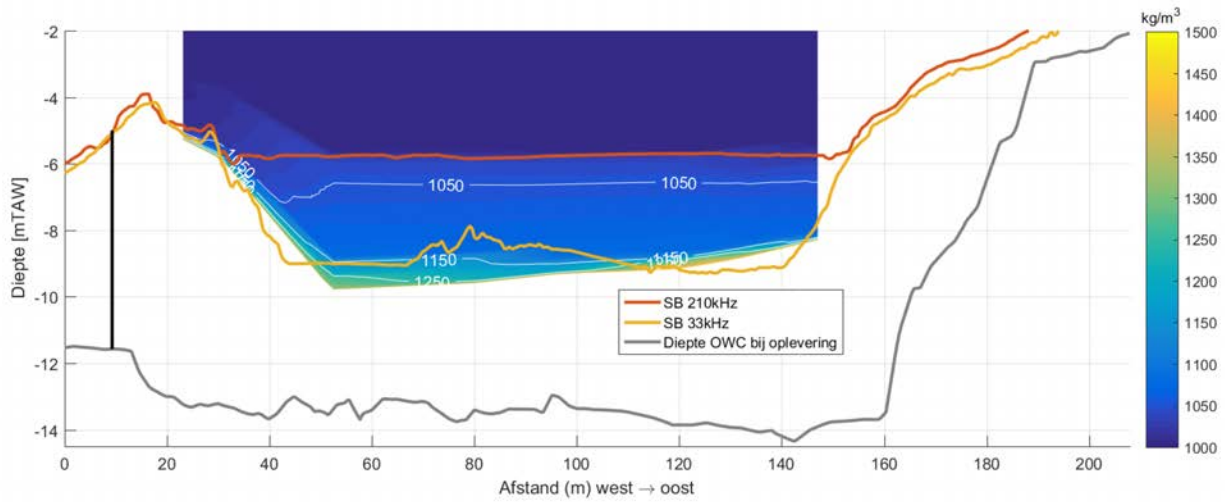


In de onderstaande figuren wordend de RheoTune prikken geïnterpoleerd op de oranje in de gele transects in bovenstaande figuur.

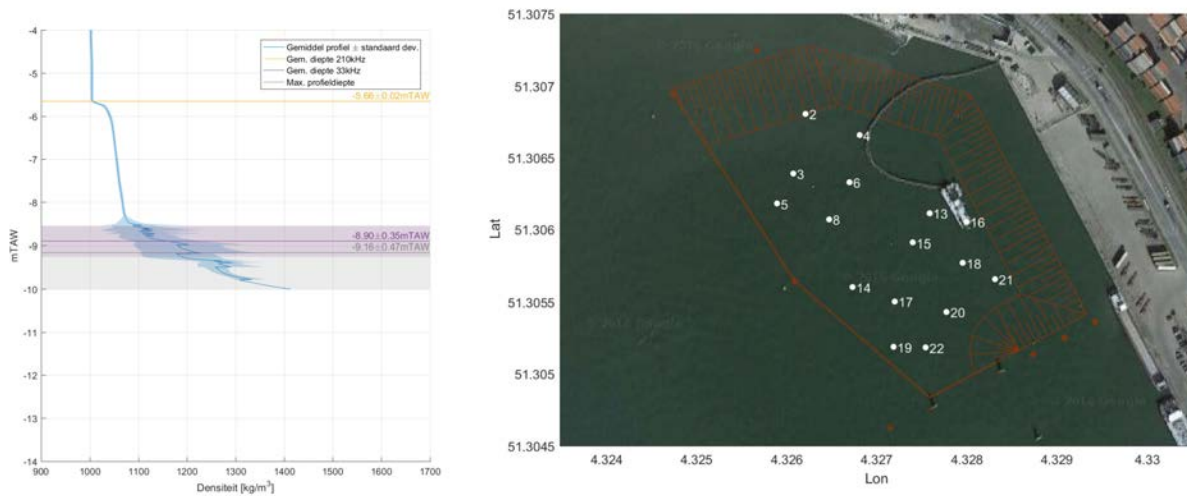
Figuur 38: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (28/09/2015)



Figuur 39: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (28/09/2015)



Figuur 40: Peilingen 28/09/2015

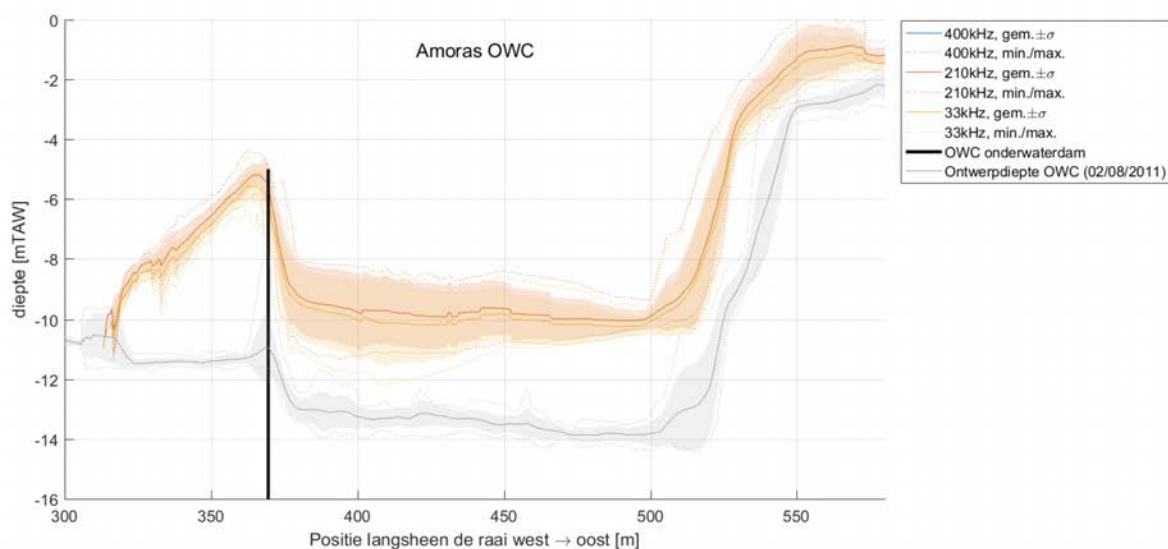


Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 28/09/2015,  
 gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1064 \pm 42.26 \text{ kg/m}^3$ ,  
 gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1204 \pm 88.75 \text{ kg/m}^3$

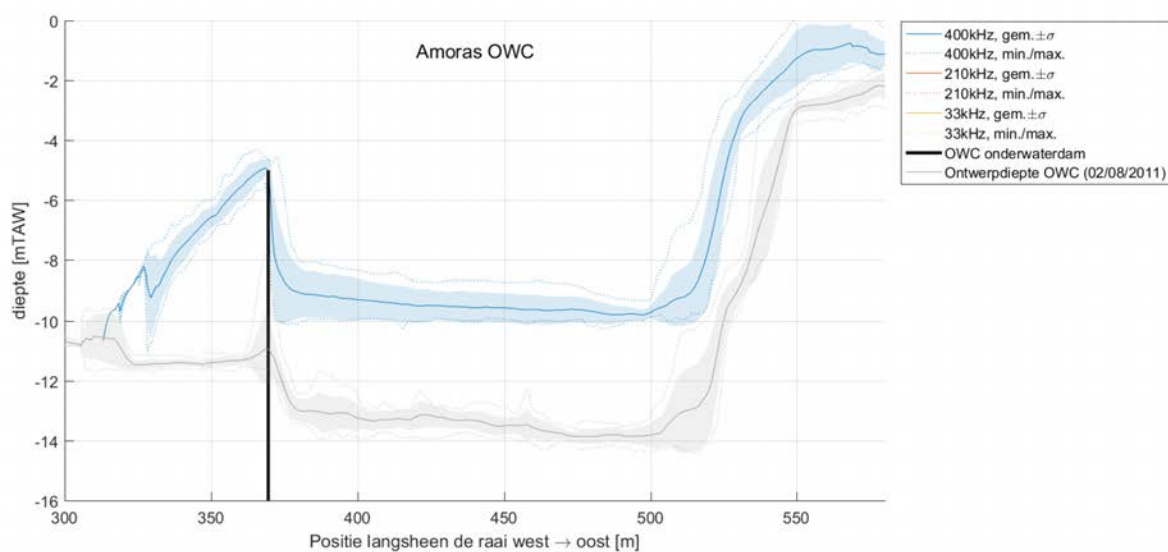
## Bijlage D: Peilingen april-mei 2016

### D.1 Dwarsprofielen AMORAS onderwatercel

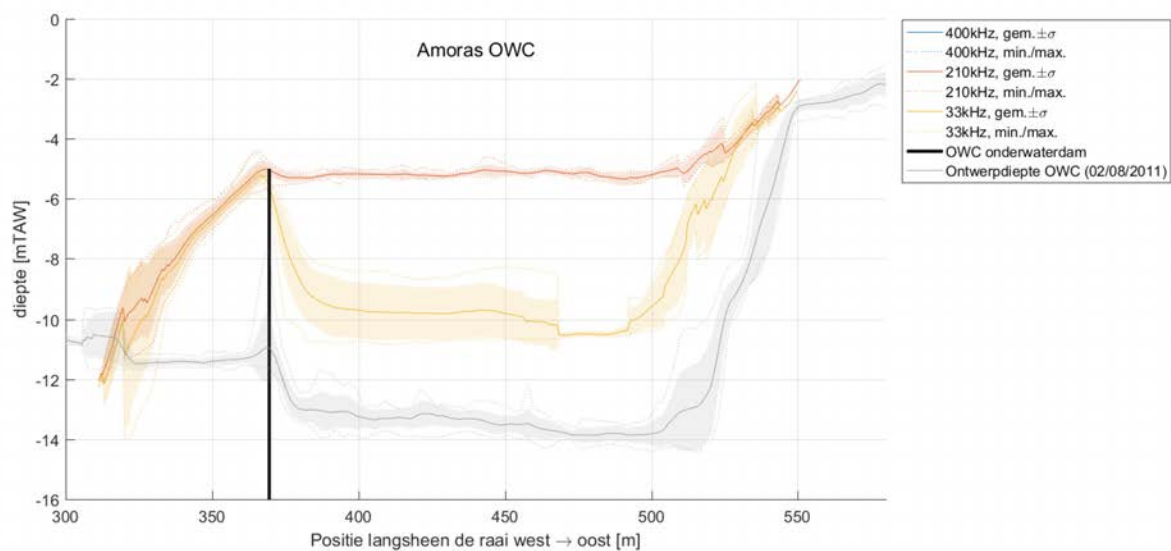
Figuur 41: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Donderdag 07/04/16 (week 14)



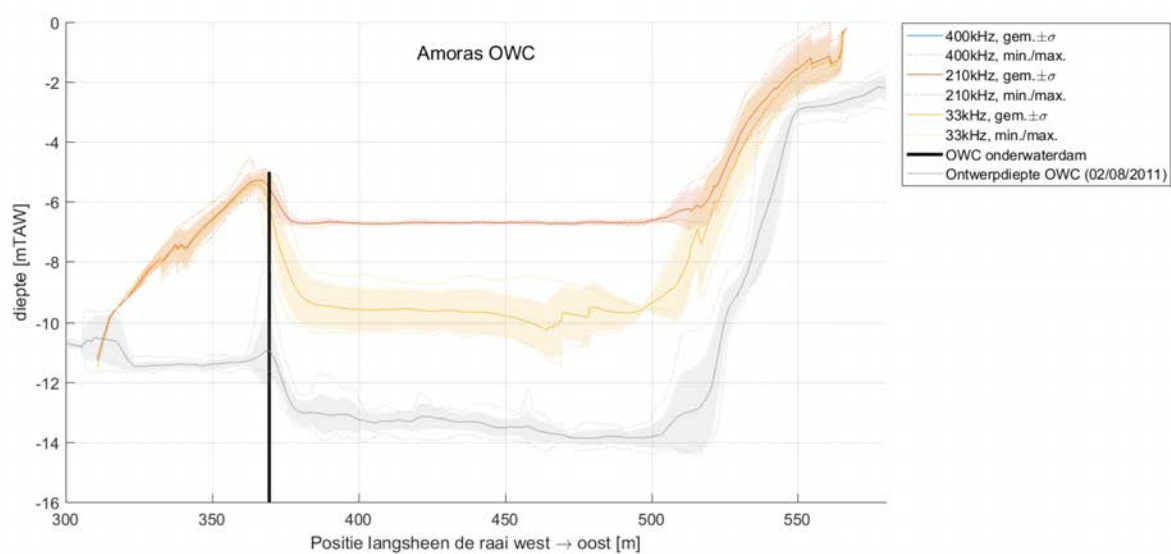
Figuur 42: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 08/04/16 (week 14)



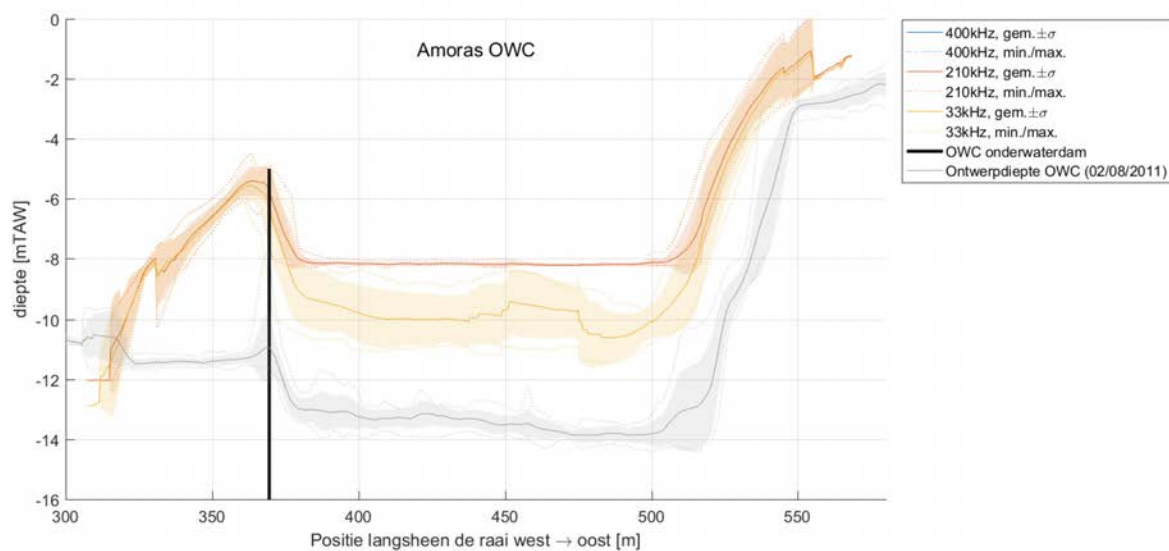
Figuur 43: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 11/04/16 (week 15)



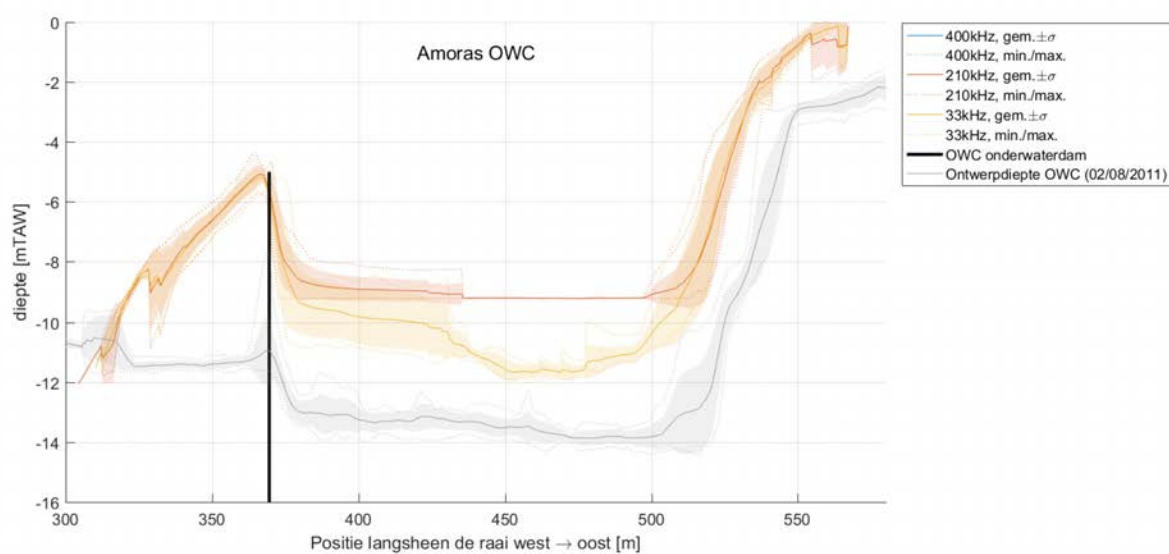
Figuur 44: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Woensdag 13/04/16 (week 15)



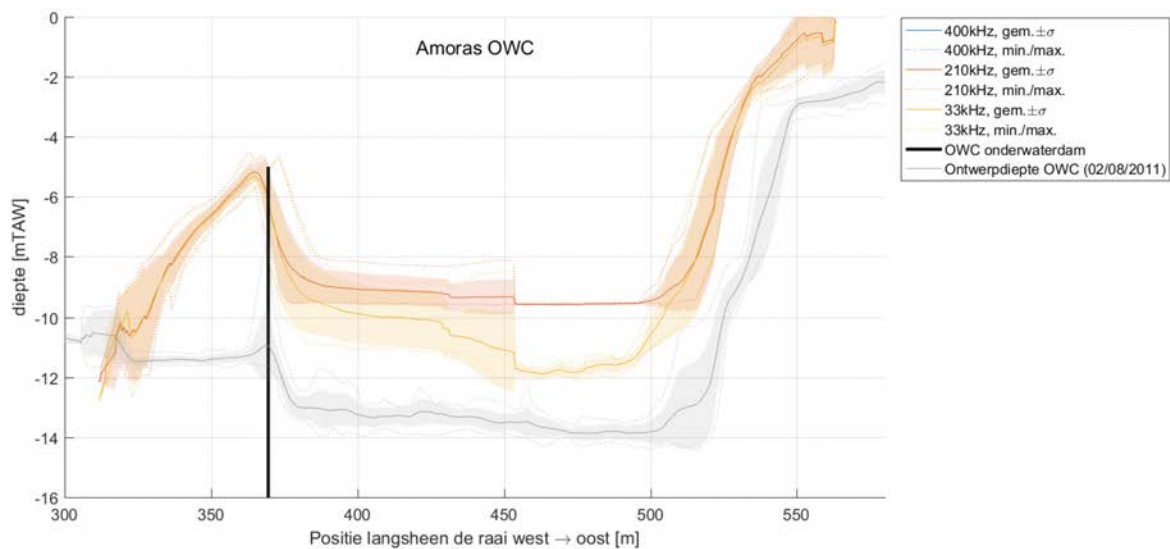
Figuur 45: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 15/04/16 (week 15)



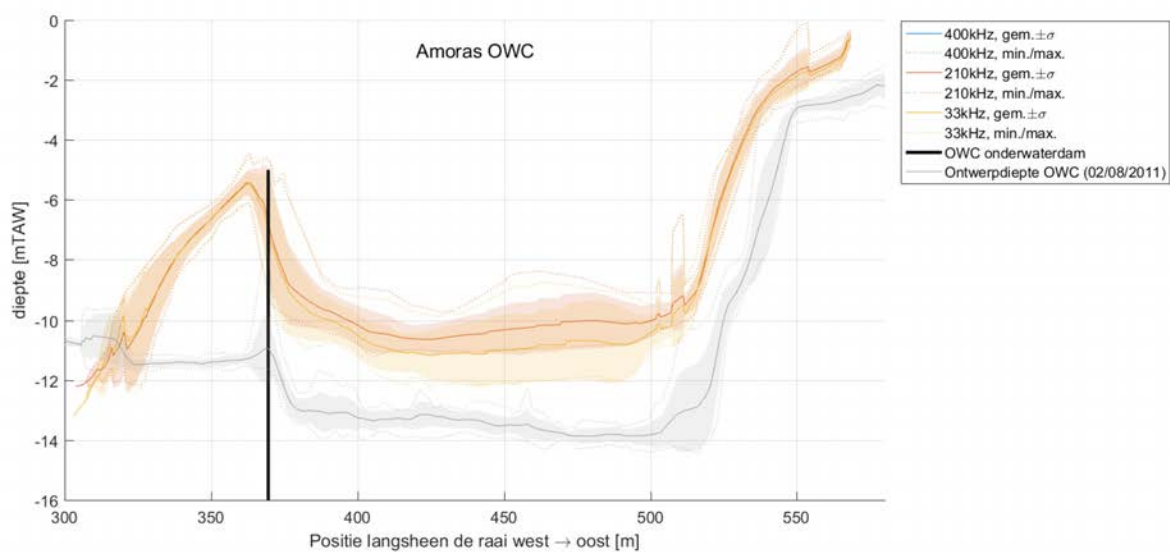
Figuur 46: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 18/04/16 (week 16)



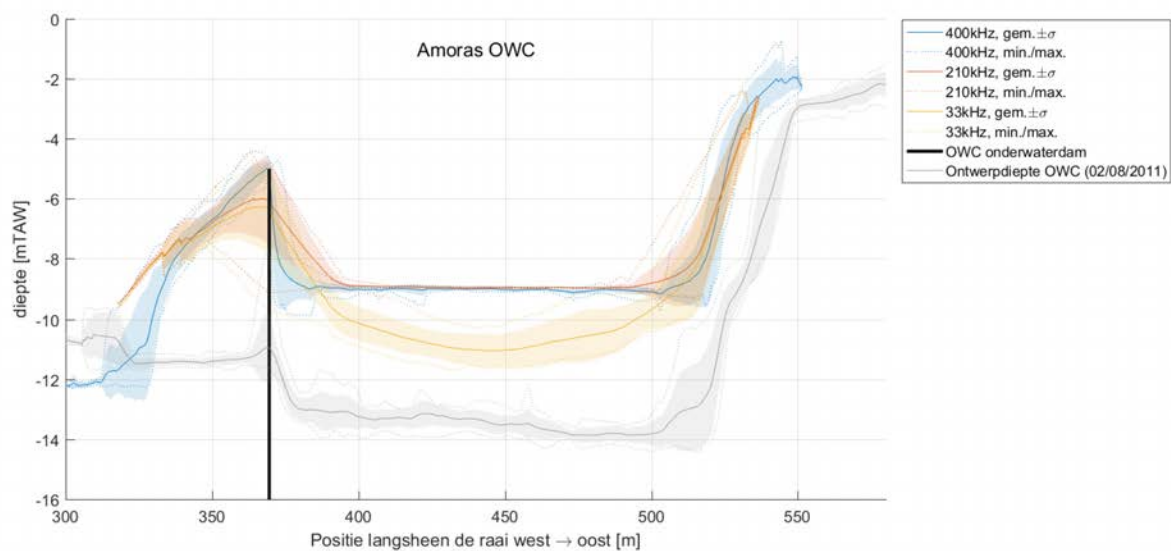
Figuur 47: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 22/04/16 (week 16)



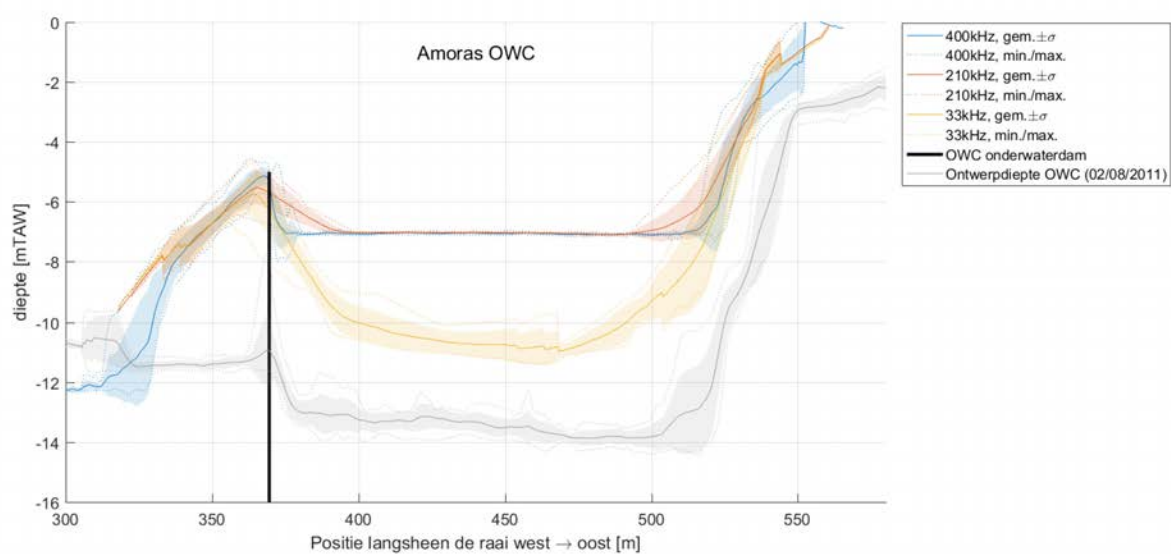
Figuur 48: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Vrijdag 29/04/16 (week 17)



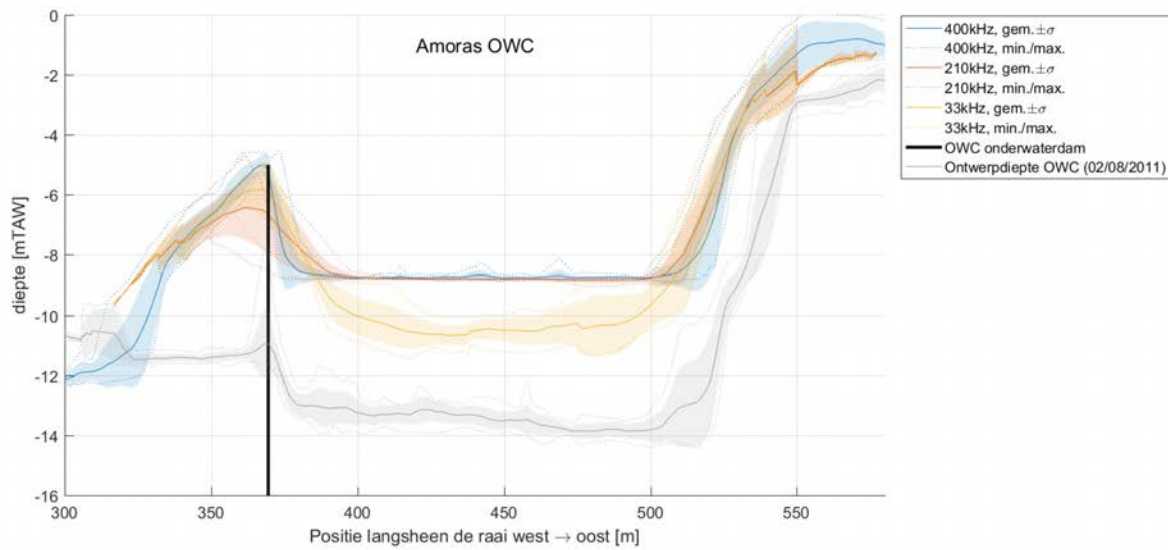
Figuur 49: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Maandag 02/05/16 (week 18)



Figuur 50: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Dinsdag 03/05/16 (week 18)



Figuur 51: Gemiddeld dwarsprofiel en standaard deviatie kanaaldok en Amoras OWC op Woensdag 04/05/16 (week 18)



## D.2 RheoTune peilingen: locaties en maximale pijldiepte

Figuur 52: Peilingen 04/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 53: Peilingen 15/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 54: Peilingen 13/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 55: Peilingen 03/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



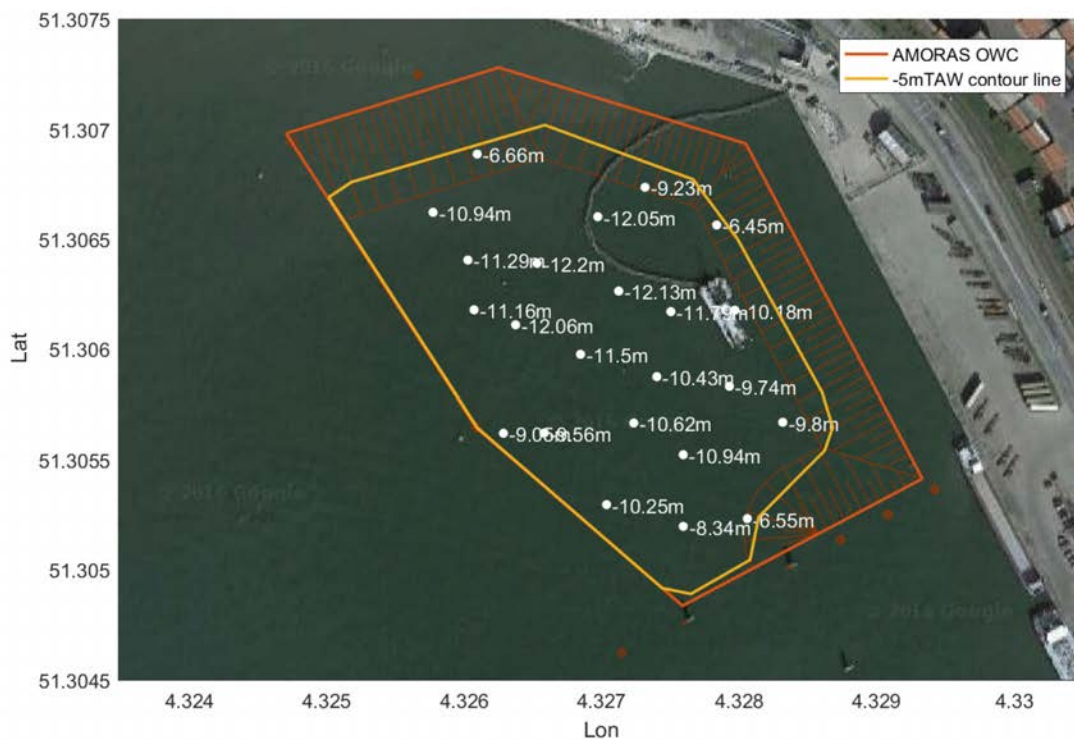
Figuur 56: Peilingen 11/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 57: Peilingen 08/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 58: Peilingen 02/05/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 59: Peilingen 29/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 60: Peilingen 22/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW



Figuur 61: Peilingen 18/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW

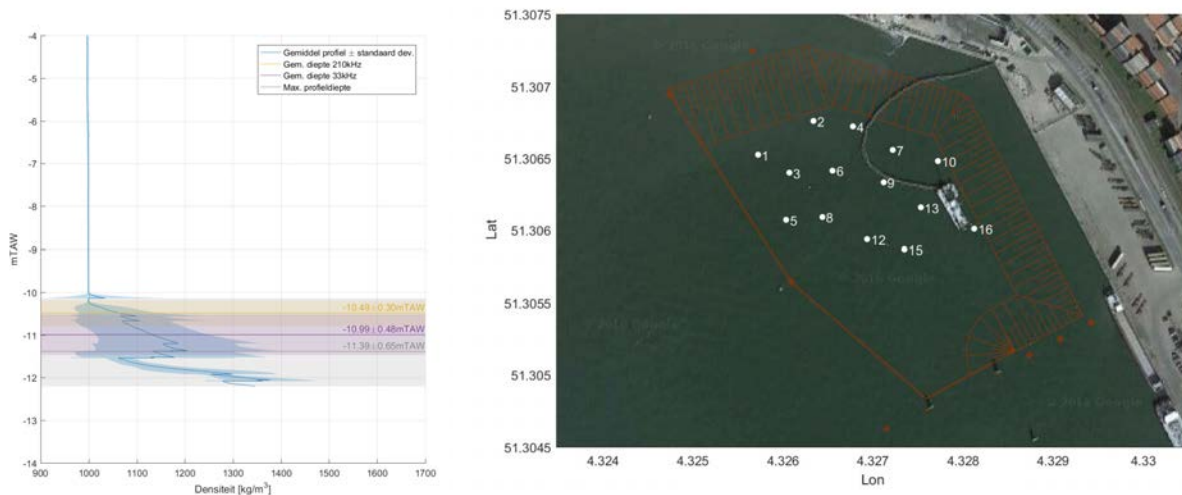


Figuur 62: Peilingen 07/04/2016, Diepte van de peilingen in mTAW

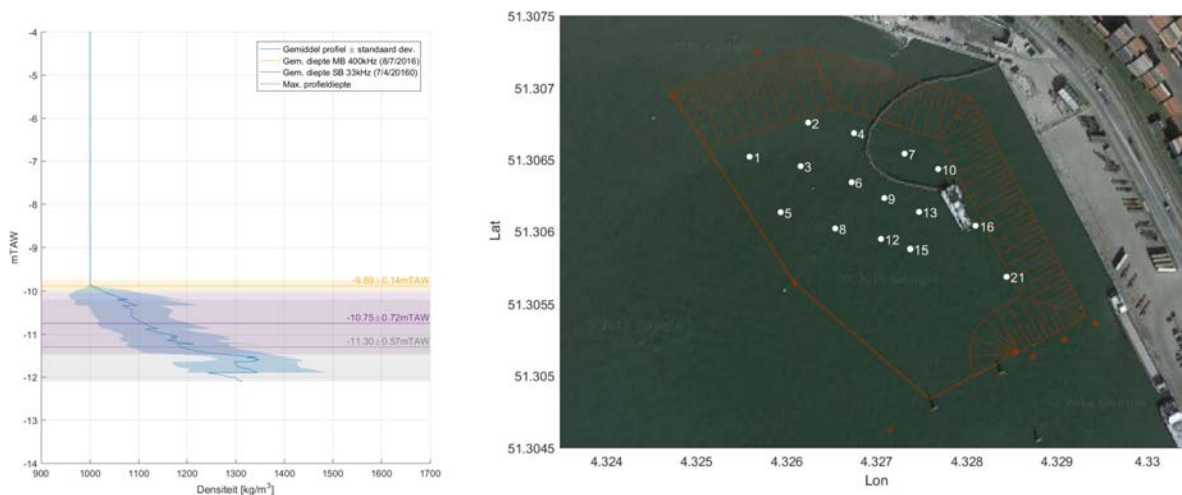


## D.3 Gemiddeld verticaal densiteitsprofiel in de AMORAS onderwatercel

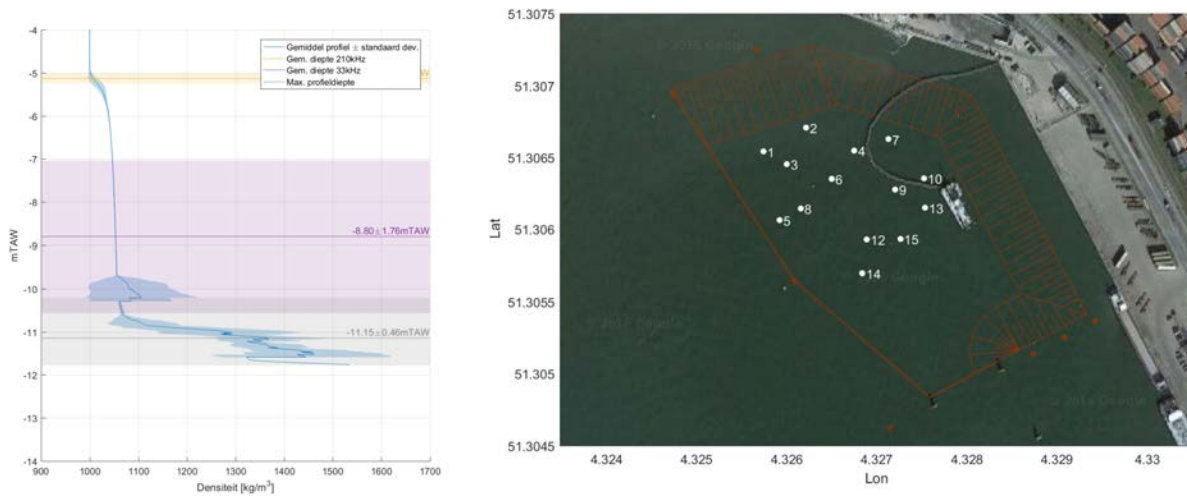
Figuur 63: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 07/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1100 \pm 94.73 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1213 \pm 128.7 \text{ kg/m}^3$ .



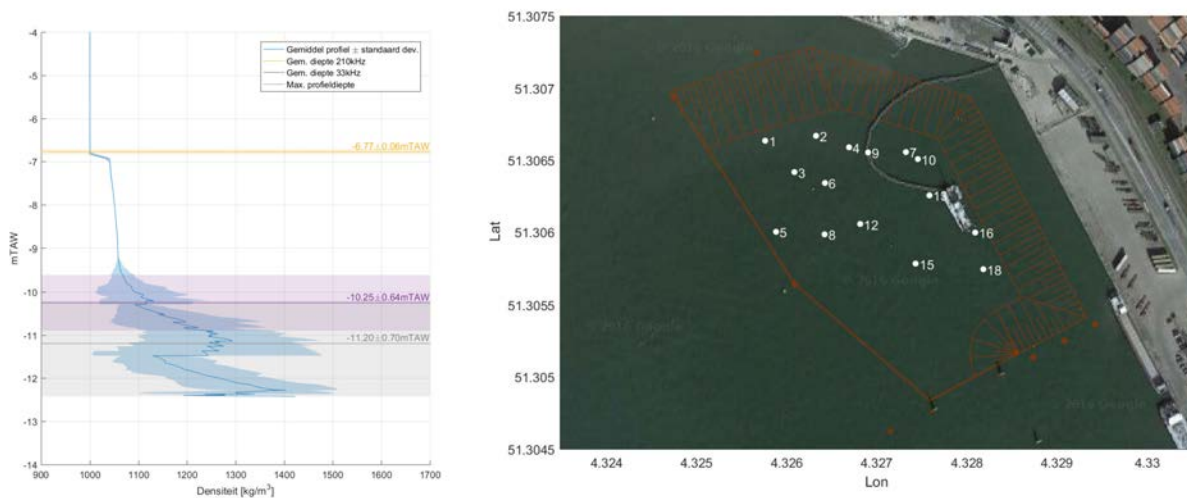
Figuur 64: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 08/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1074 \pm 98.1 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1232 \pm 88.04 \text{ kg/m}^3$



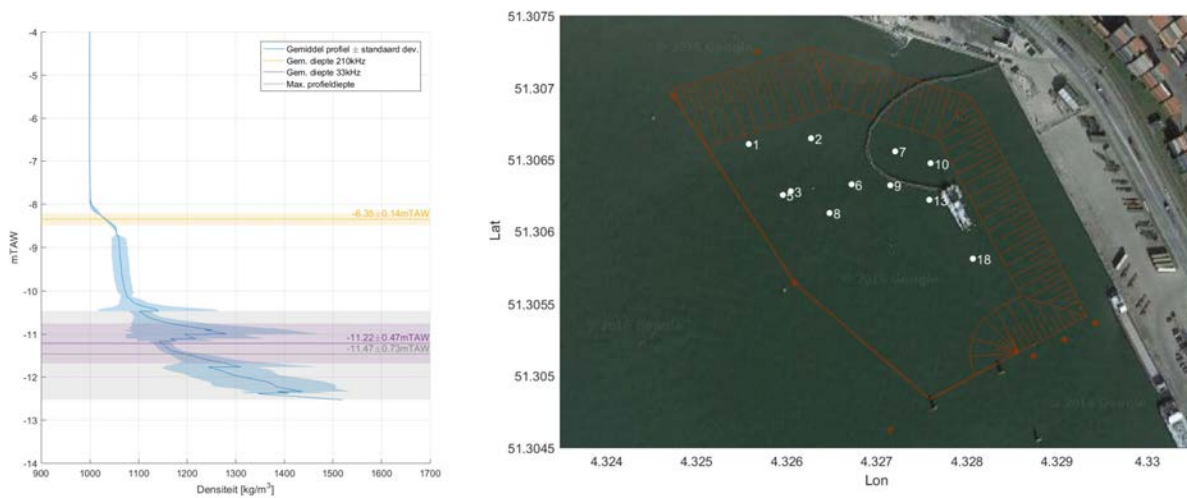
Figuur 65: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 11/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1052 \pm 47.91 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1105 \pm 110.3 \text{ kg/m}^3$



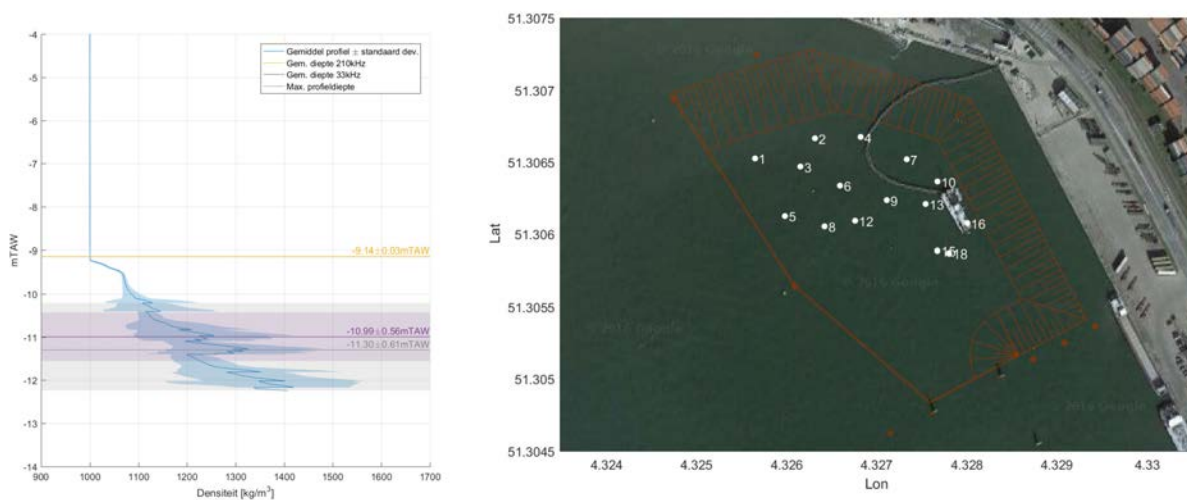
Figuur 66: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 13/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1054 \pm 14.83 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1214 \pm 132.4 \text{ kg/m}^3$



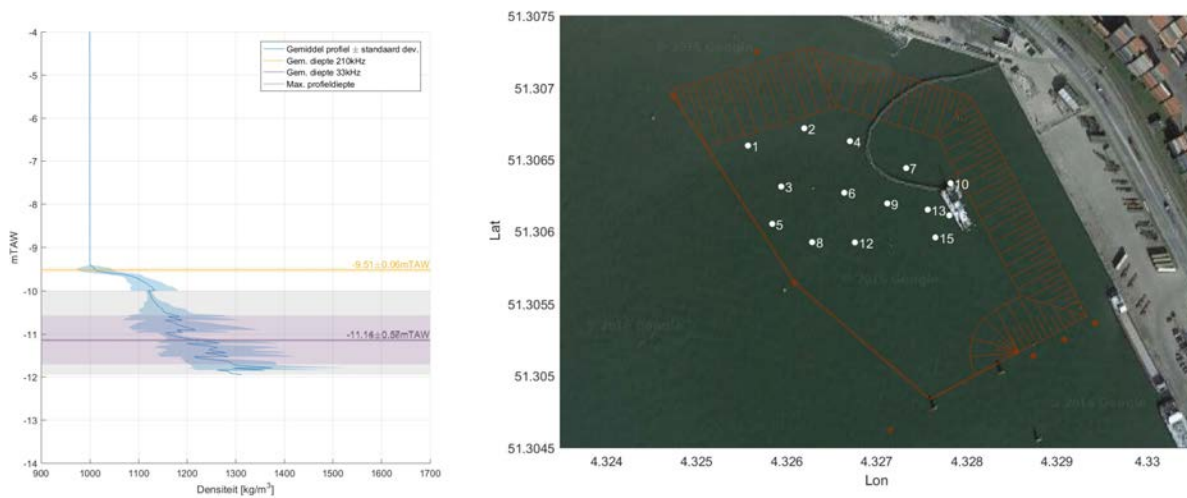
Figuur 67: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 15/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1090 \pm 58.71 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1364 \pm 98.71 \text{ kg/m}^3$



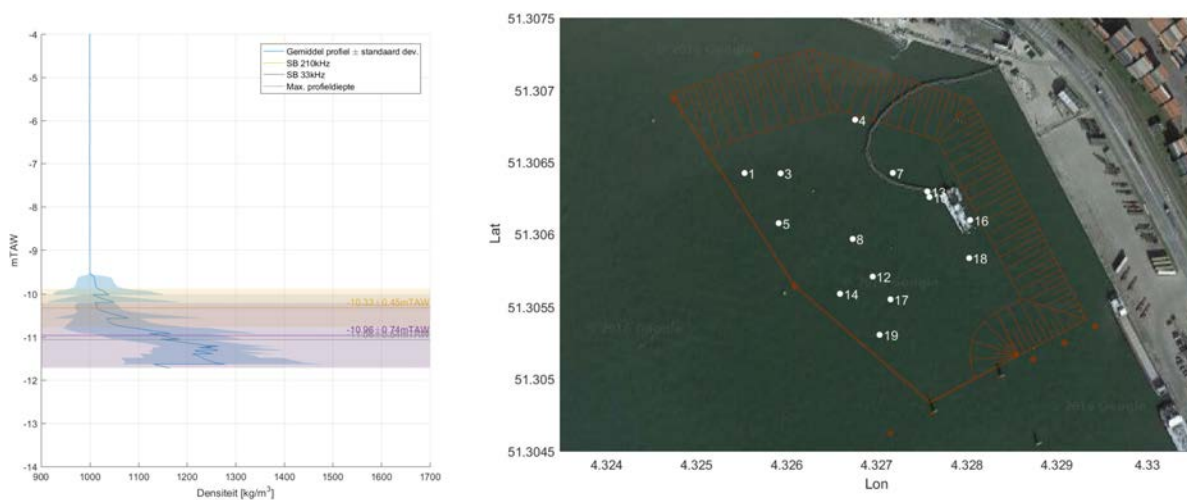
Figuur 68: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 18/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1099 \pm 64.45 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1329 \pm 121.5 \text{ kg/m}^3$



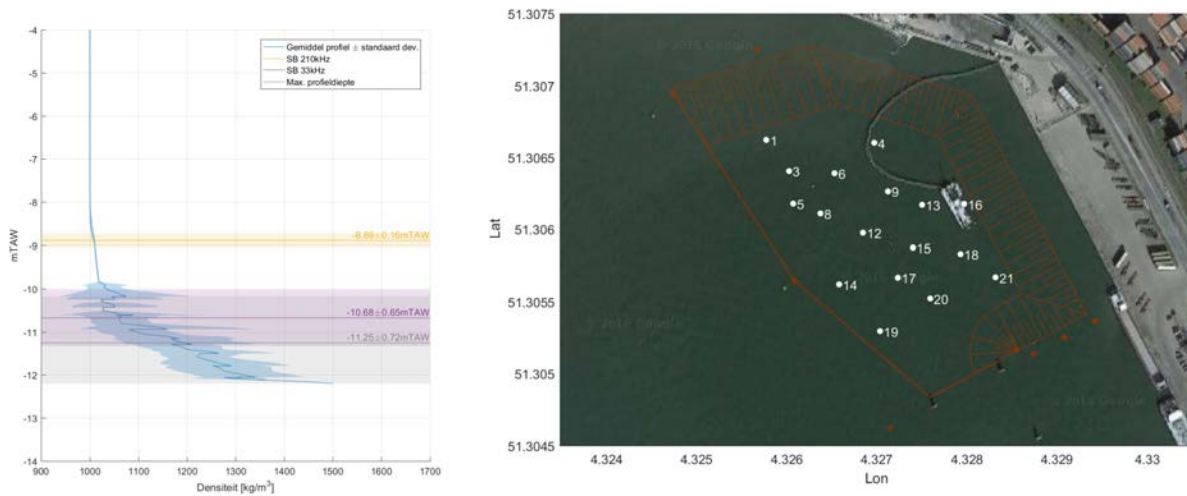
Figuur 69: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 22/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1144 \pm 72.17 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1284 \pm 105.8 \text{ kg/m}^3$



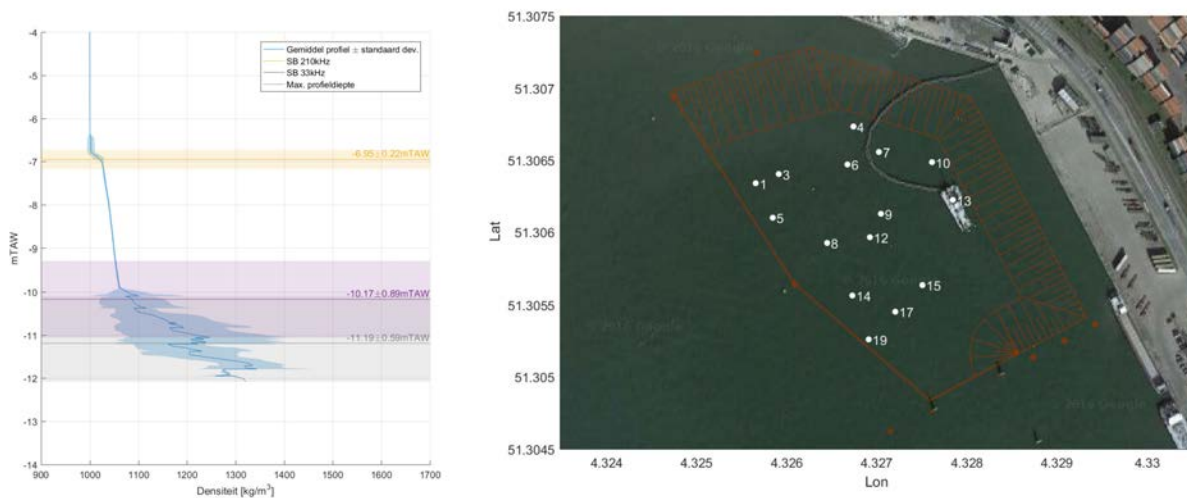
Figuur 70: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 29/04/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1113 \pm 102.5 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1272 \pm 133.1 \text{ kg/m}^3$



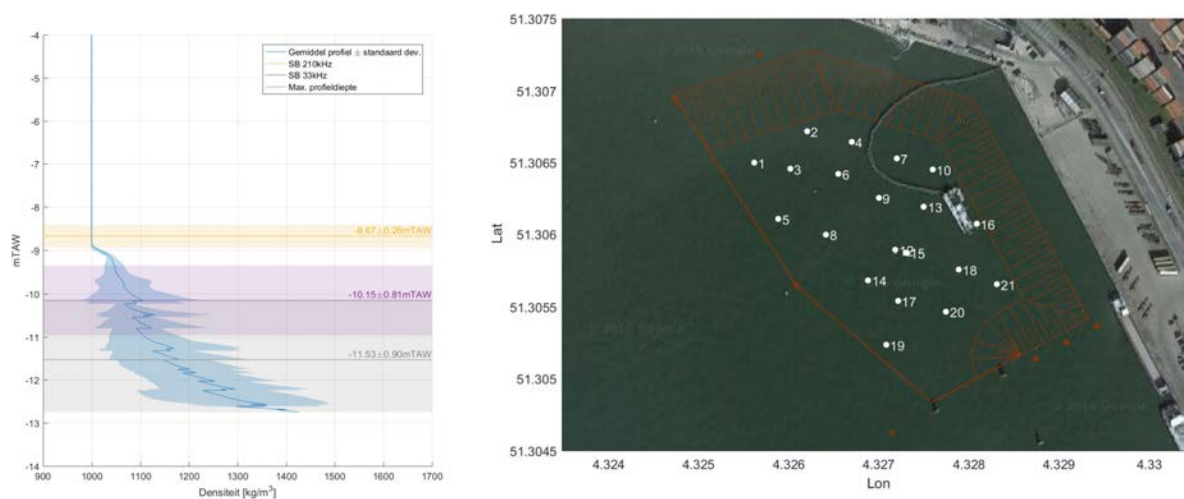
Figuur 71: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 02/05/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1024 \pm 25.1 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1206 \pm 122.2 \text{ kg/m}^3$



Figuur 72: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 03/05/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1048 \pm 25.89 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1164 \pm 118.9 \text{ kg/m}^3$



Figuur 73: Gemiddeld densiteitsprofiel en standaard deviatie in de OWC op 04/05/2016, gemiddelde densiteit in de toplaag:  $1041 \pm 21.45 \text{ kg/m}^3$ , gemiddelde densiteit in onderste laag:  $1160 \pm 125.1 \text{ kg/m}^3$

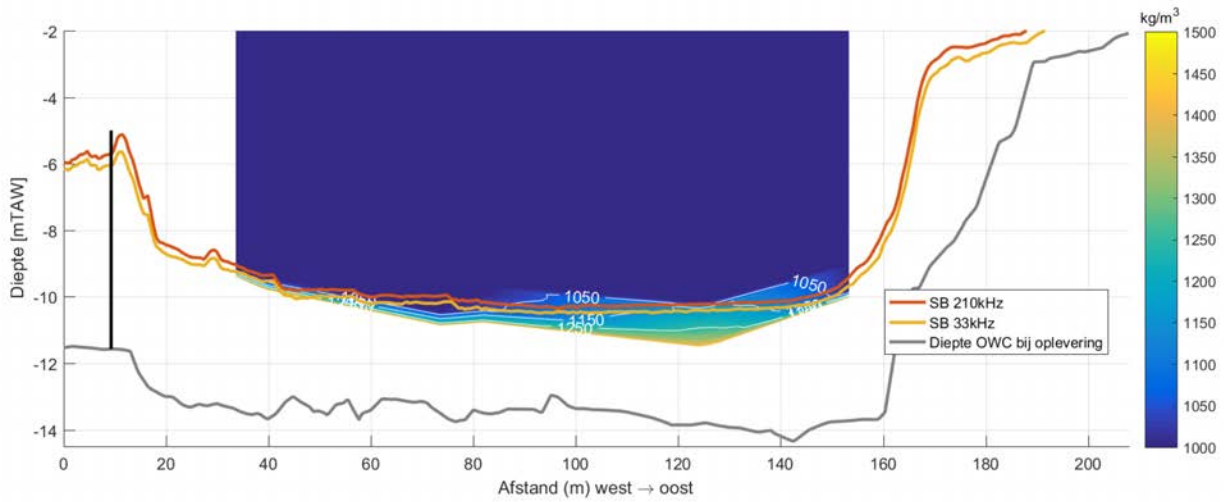


## D.4 Contourplots dwarsprofiel densiteit

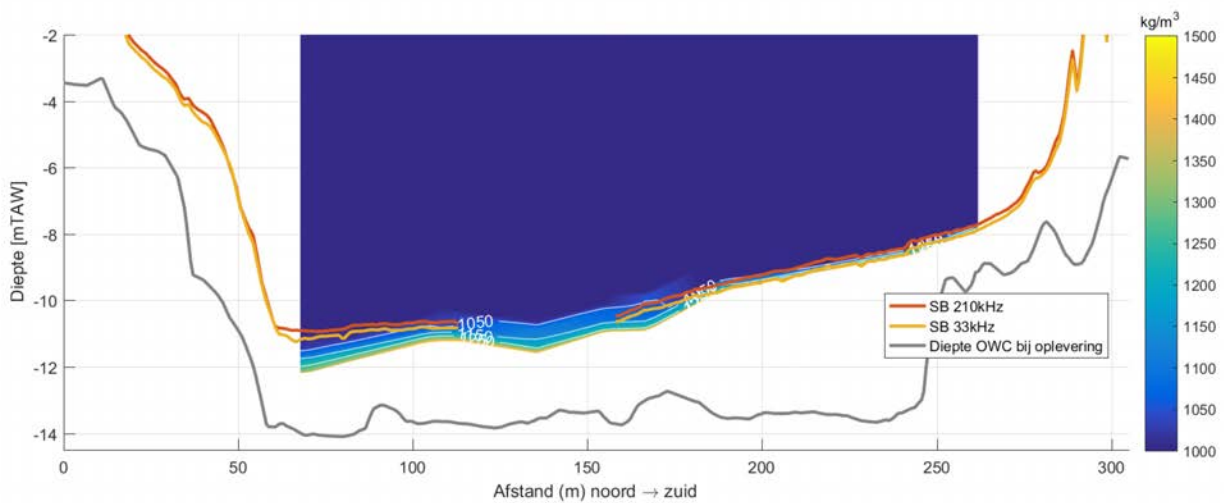
Figuur 74: Positie van de theoretische raaien waarop de gemeten densiteiten (RheoTune® prikken, aangeduid in de figuur) geïnterpoleerd worden.



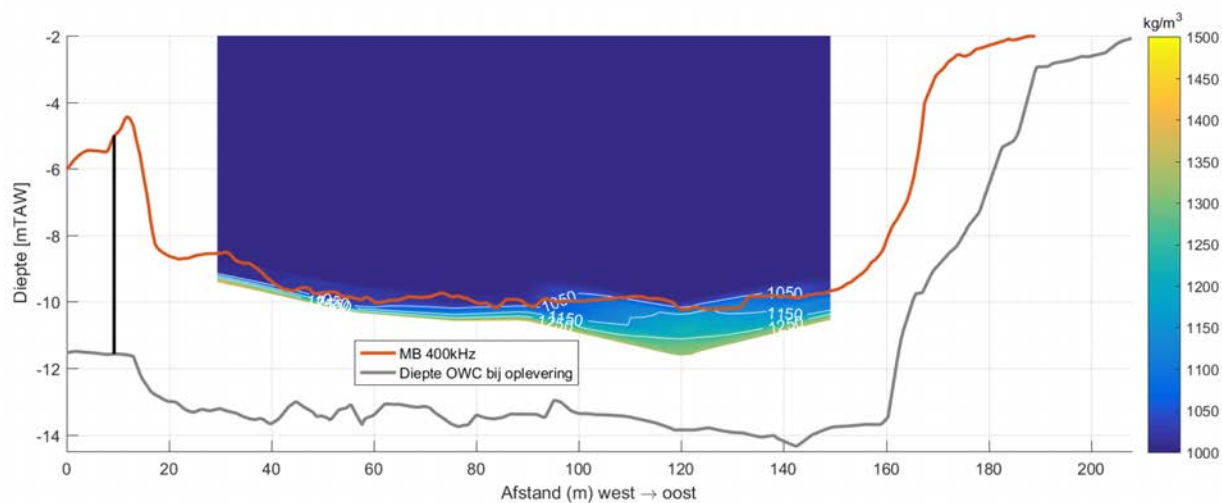
Figuur 75: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (07/04/2016)



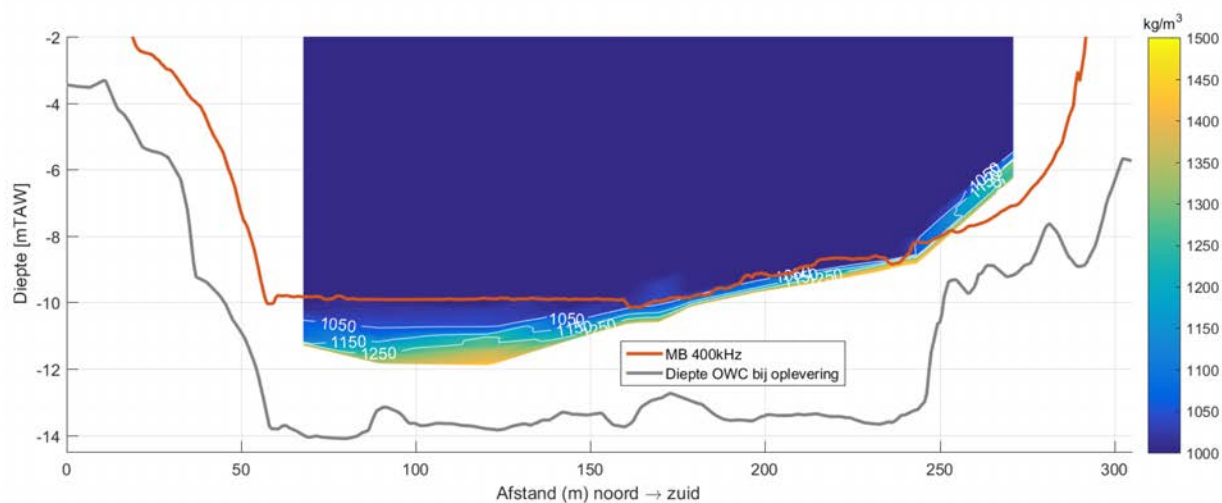
Figuur 76: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (07/04/2016)



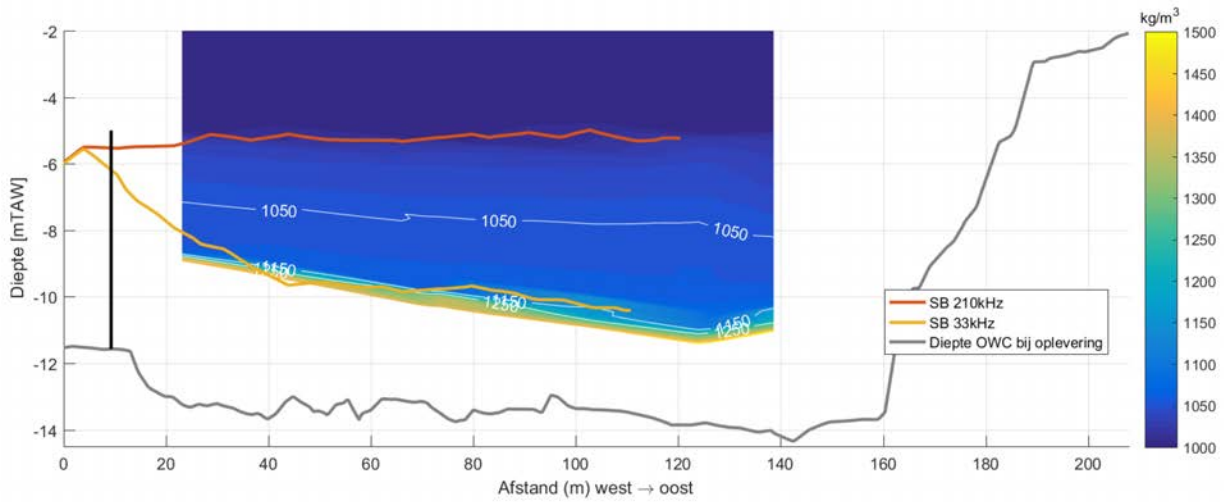
Figuur 77: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (08/04/2016)



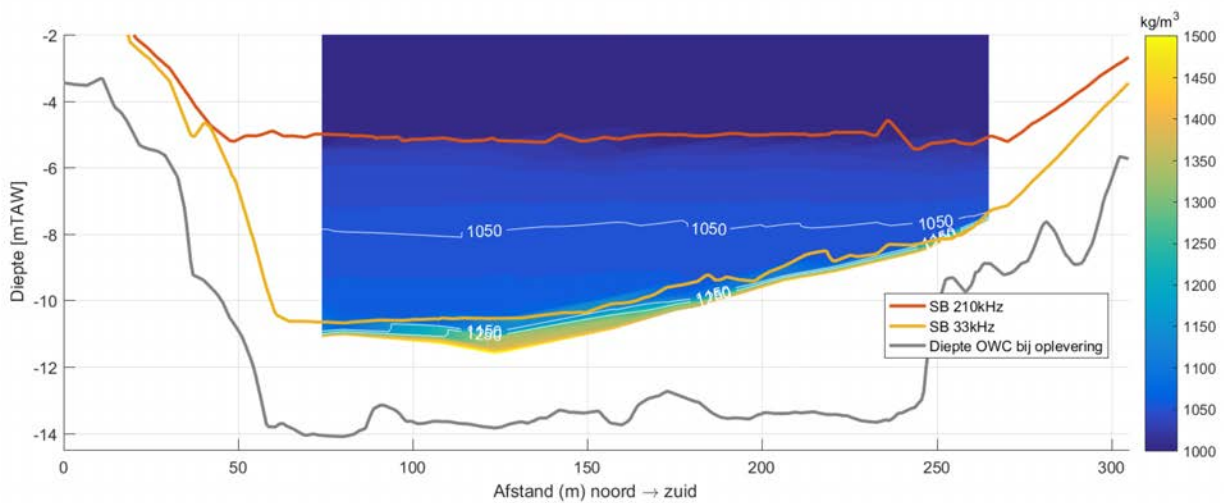
Figuur 78: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (08/04/2016)

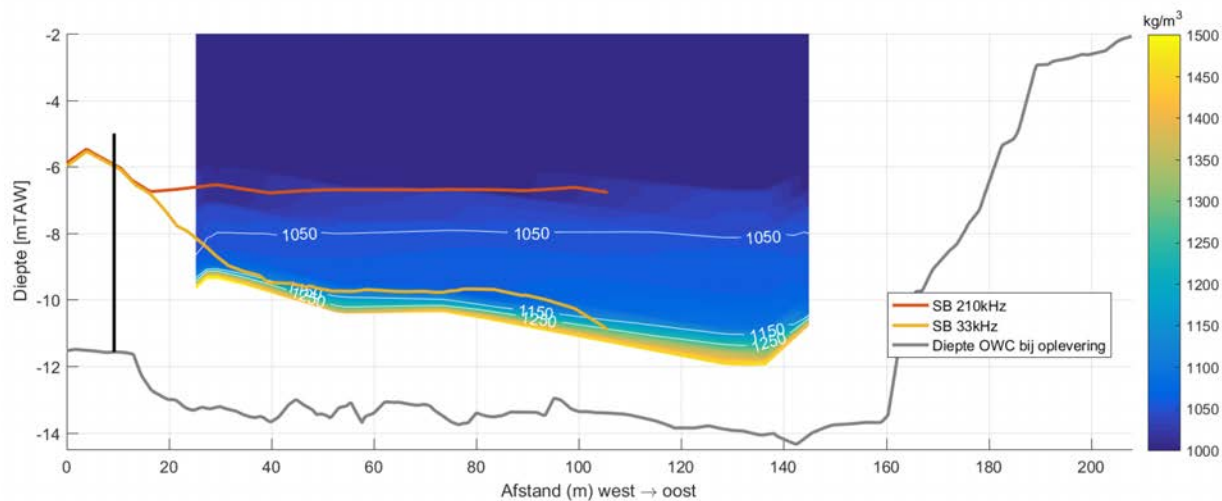
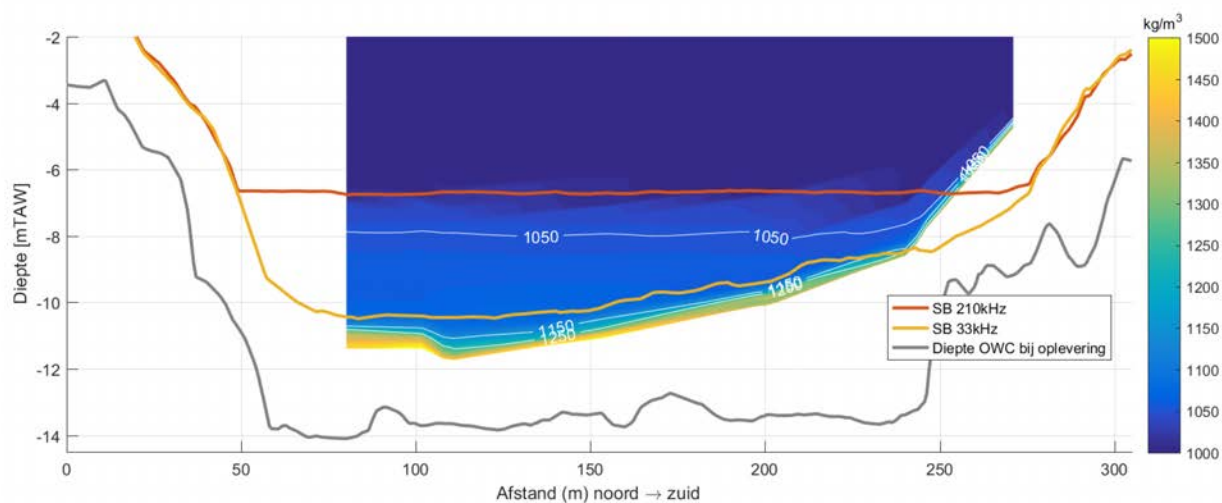


Figuur 79: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (11/04/2016)

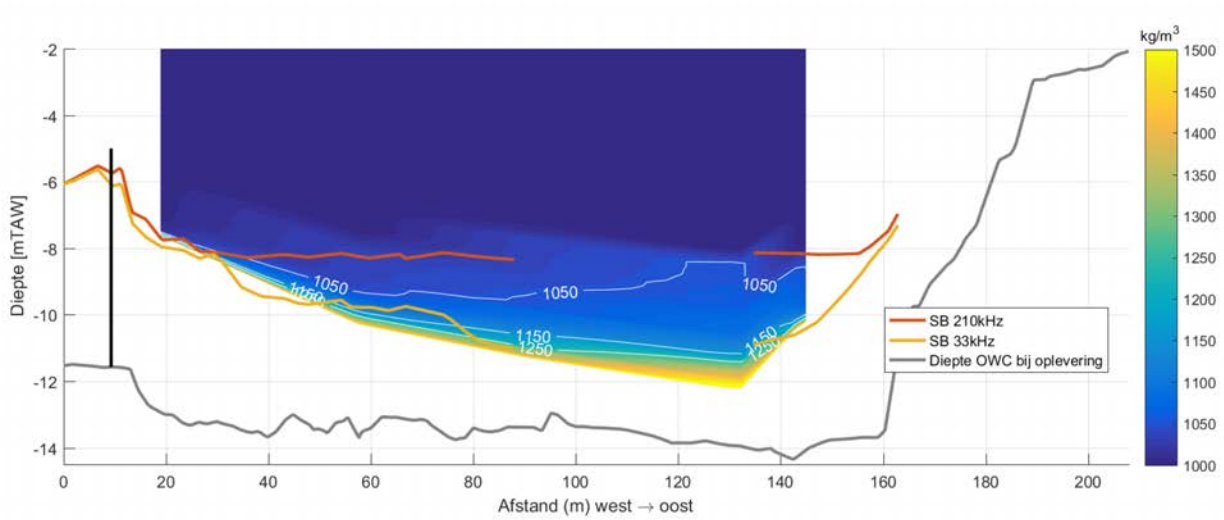


Figuur 80: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (11/04/2016)

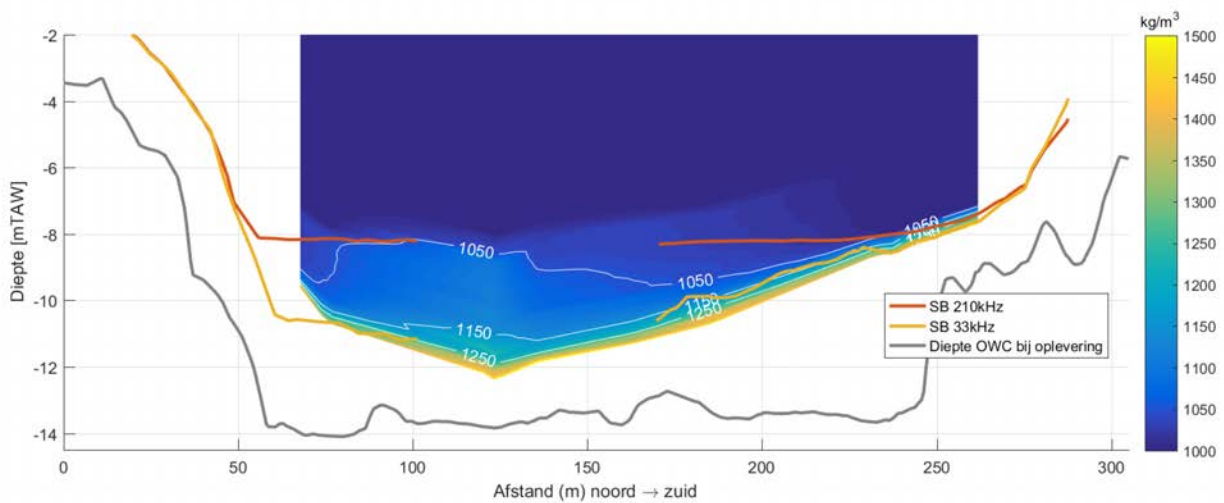


Figuur 81: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (13/04/2016)Figuur 82: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (13/04/2016)

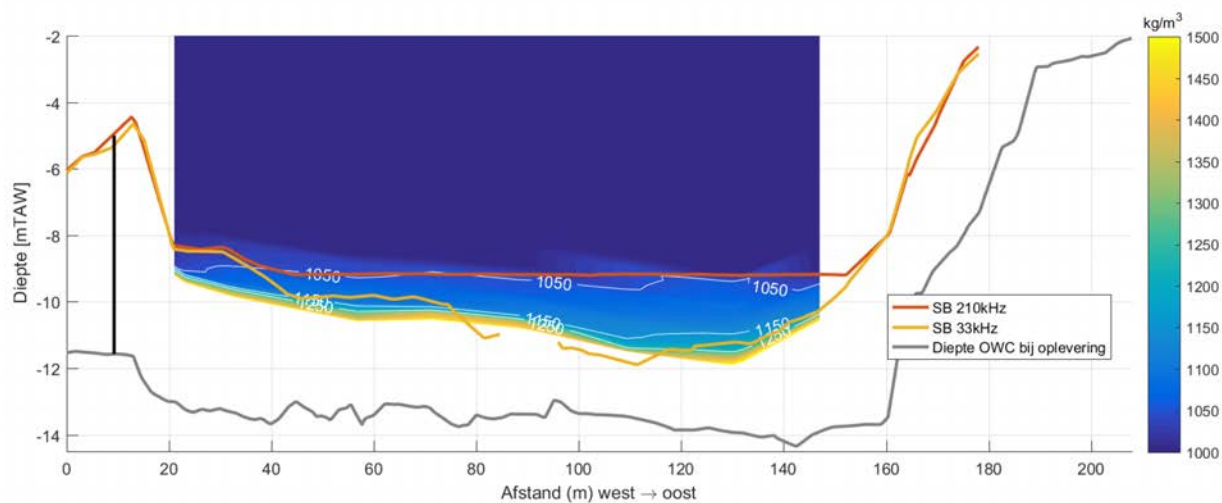
Figuur 83: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (15/04/2016)



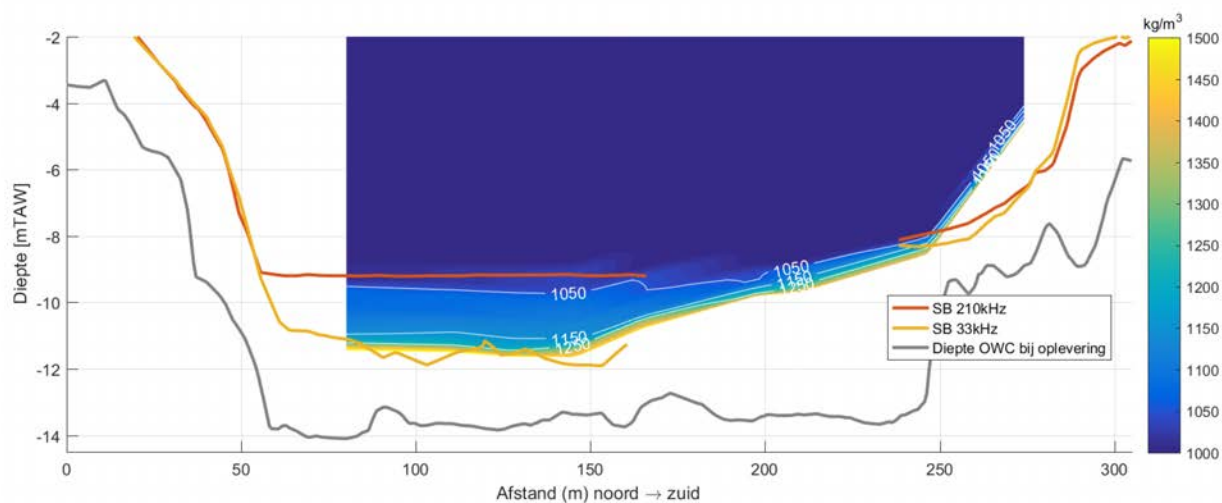
Figuur 84: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (15/04/2016)



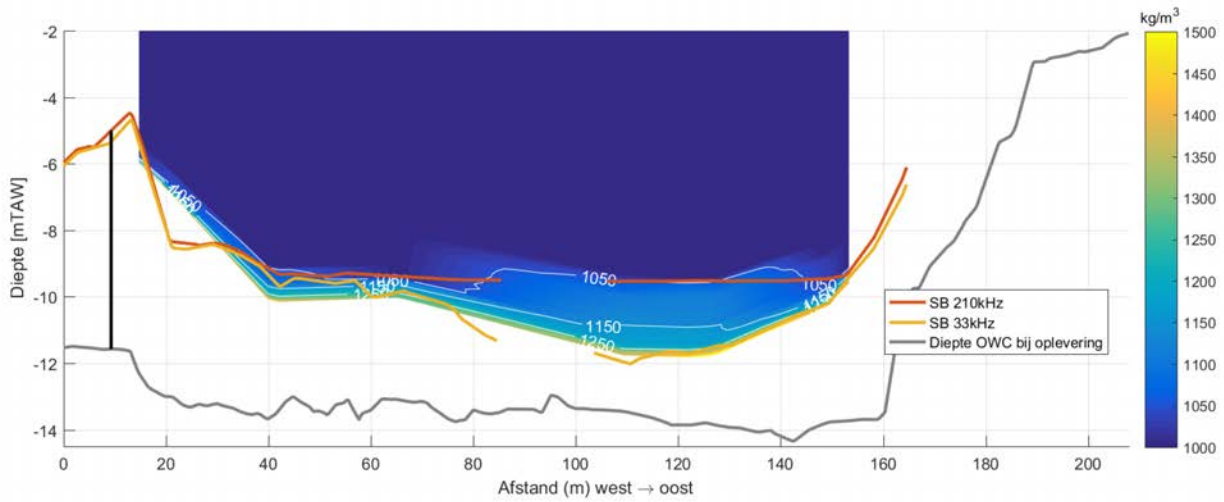
Figuur 85: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (18/04/2016)



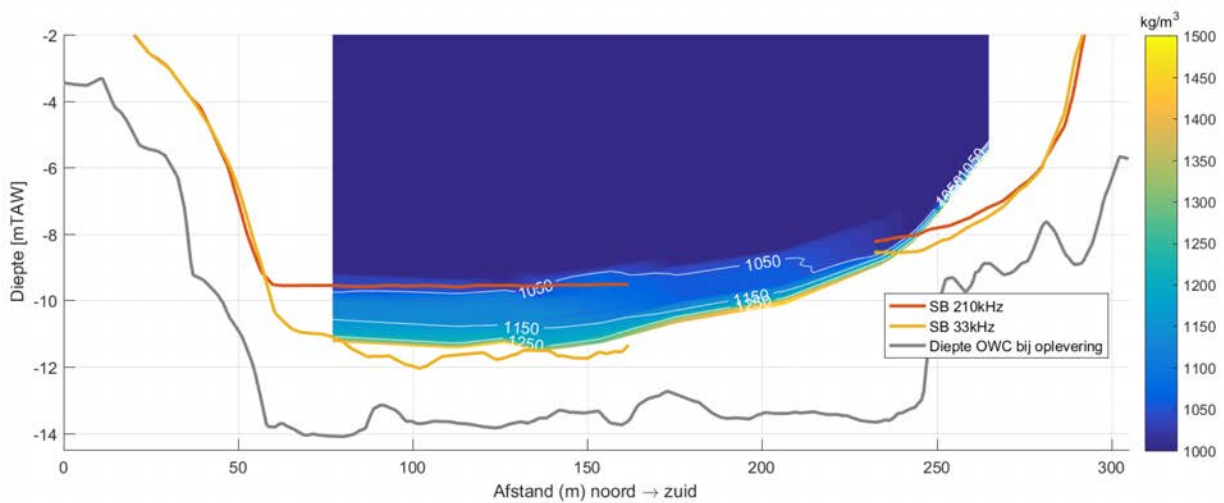
Figuur 86: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (18/04/2016)

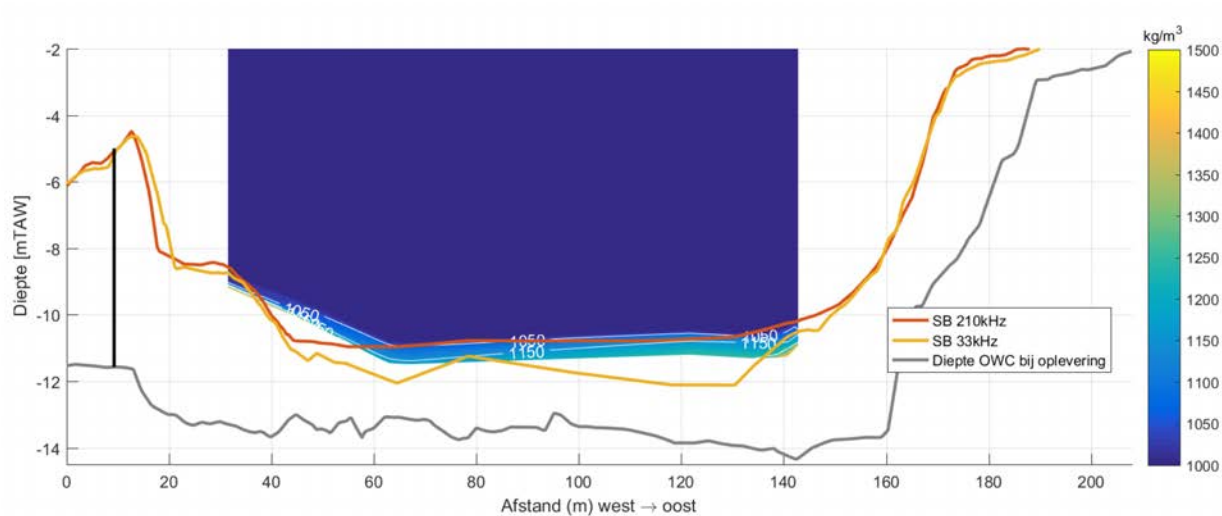
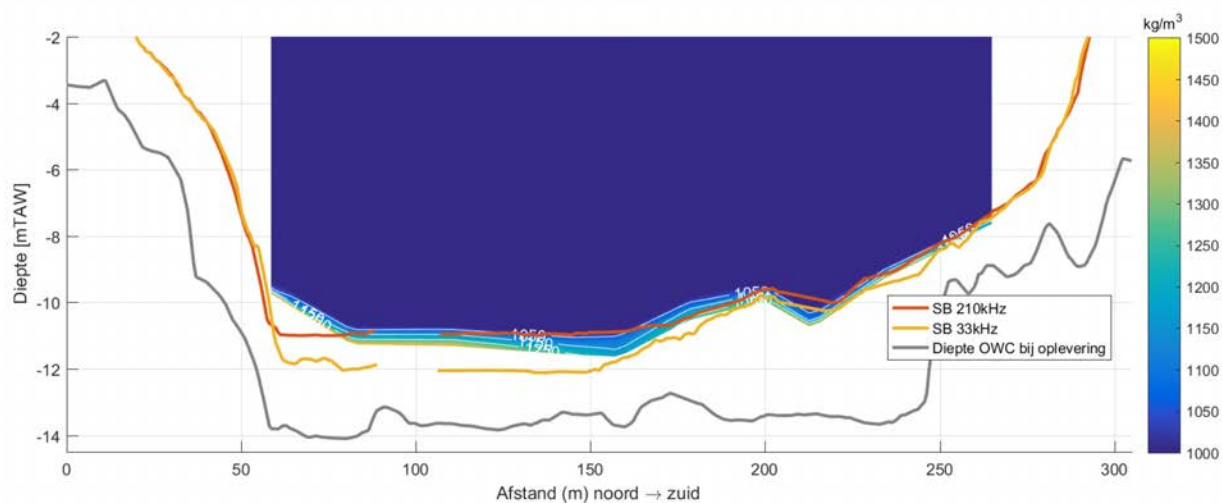


Figuur 87: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (22/04/2016)

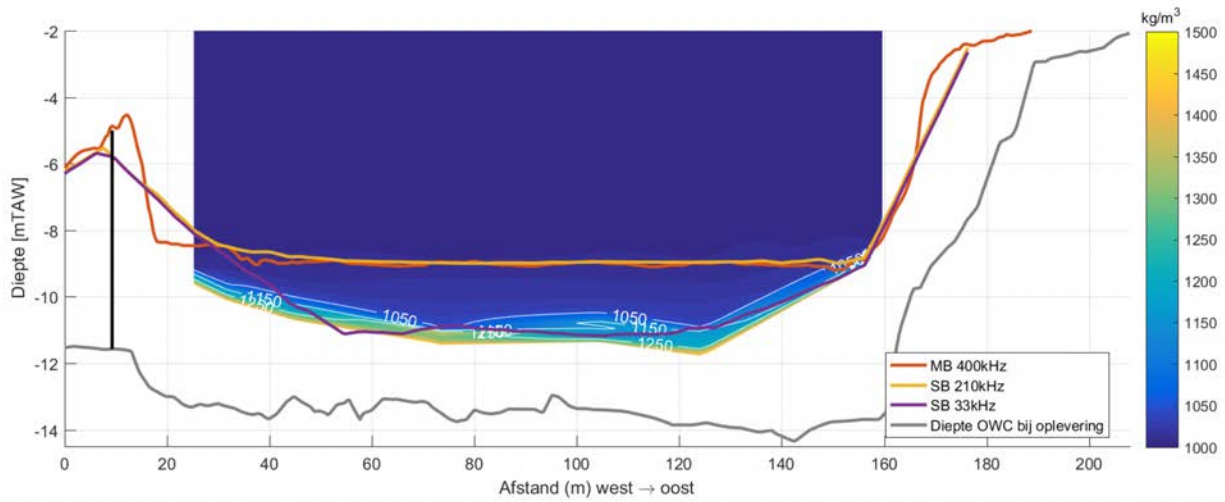


Figuur 88: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (22/04/2016)

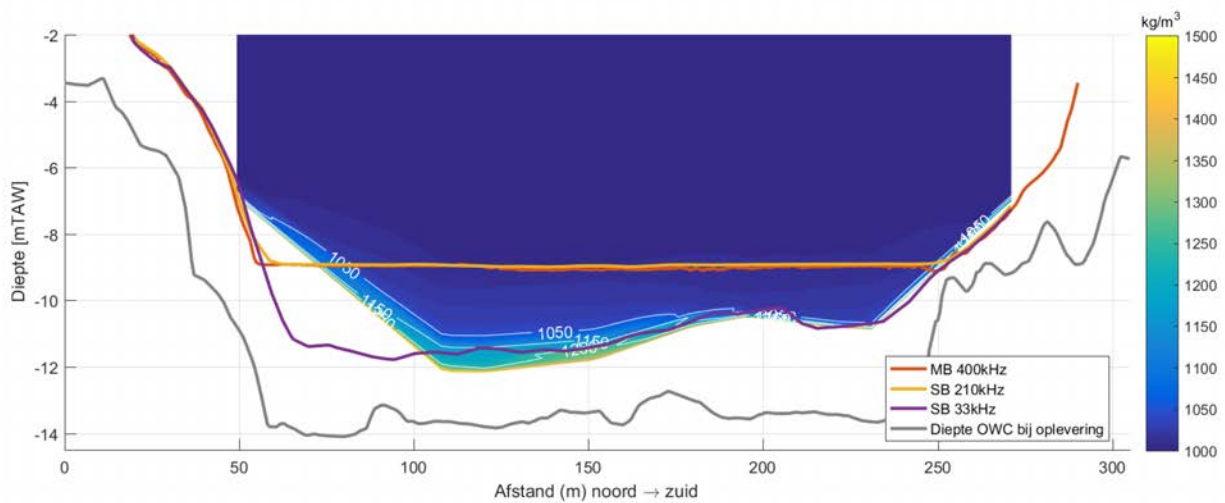


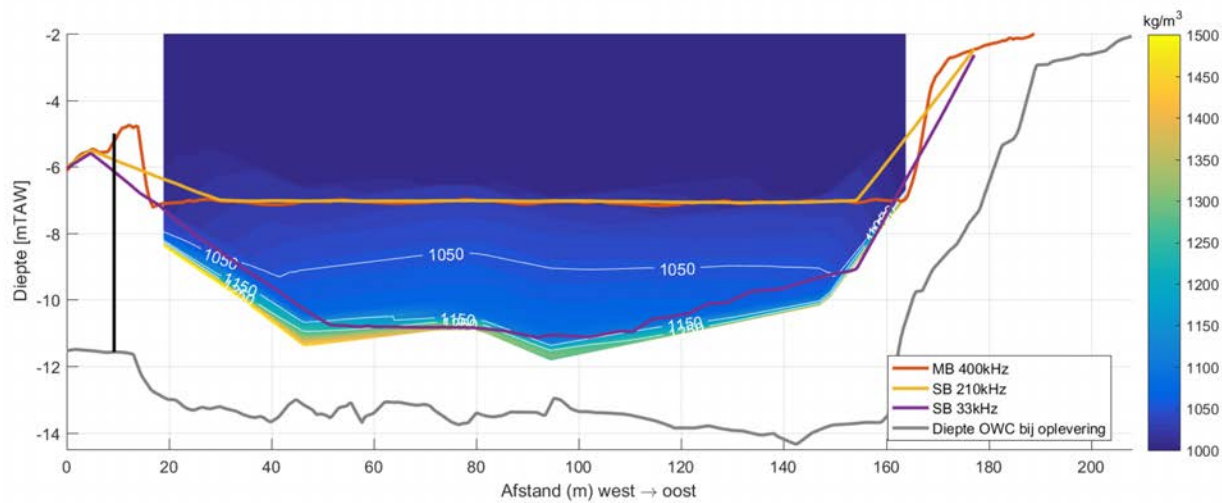
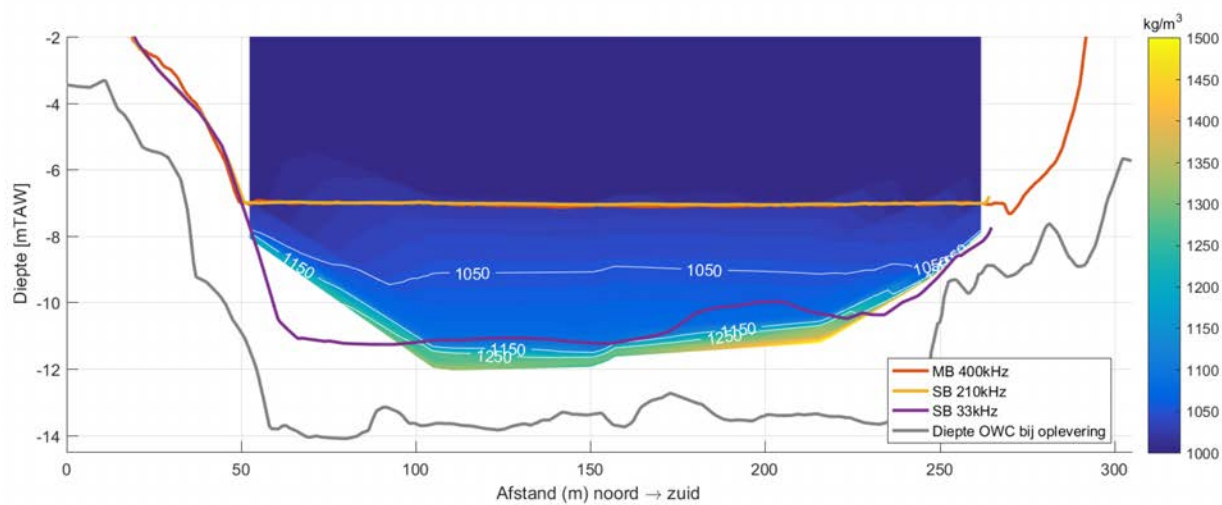
Figuur 89: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (29/04/2016)Figuur 90: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (29/04/2016)

Figuur 91: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (02/05/2016)

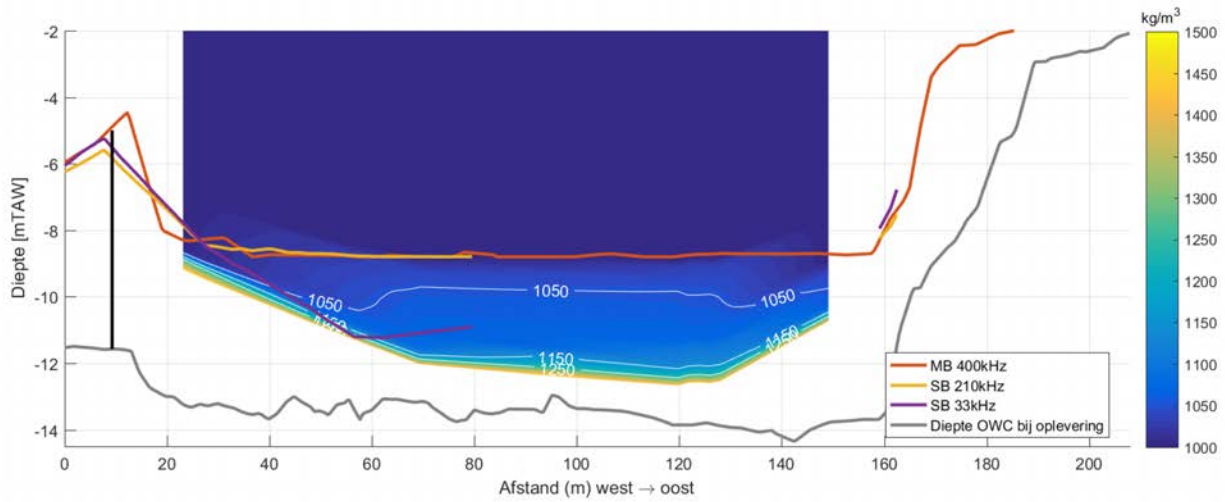


Figuur 92: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (02/05/2016)

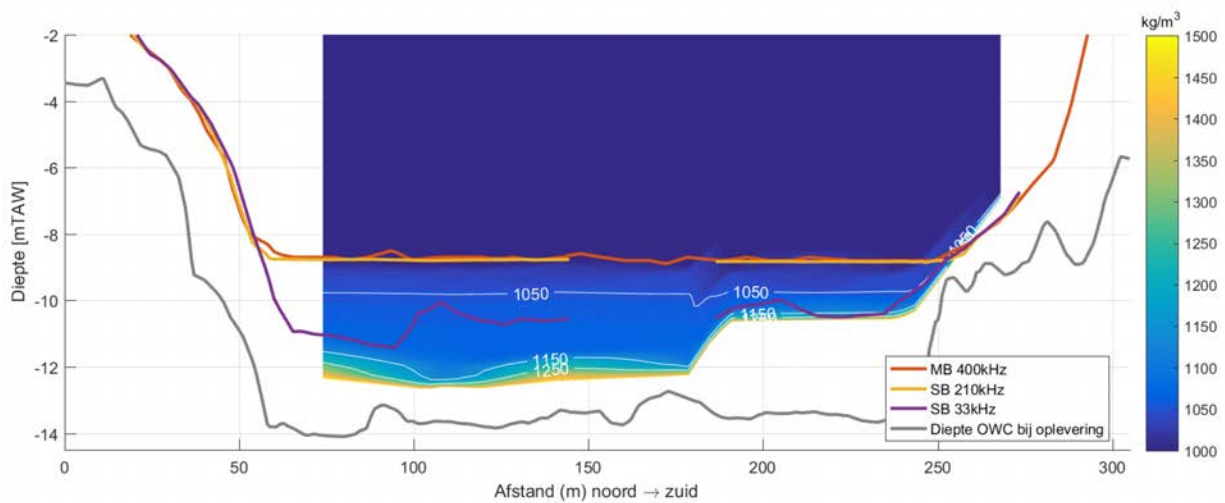


Figuur 93: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (03/05/2016)Figuur 94: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup>] (03/05/2016)

Figuur 95: Dwarsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (04/05/2016)



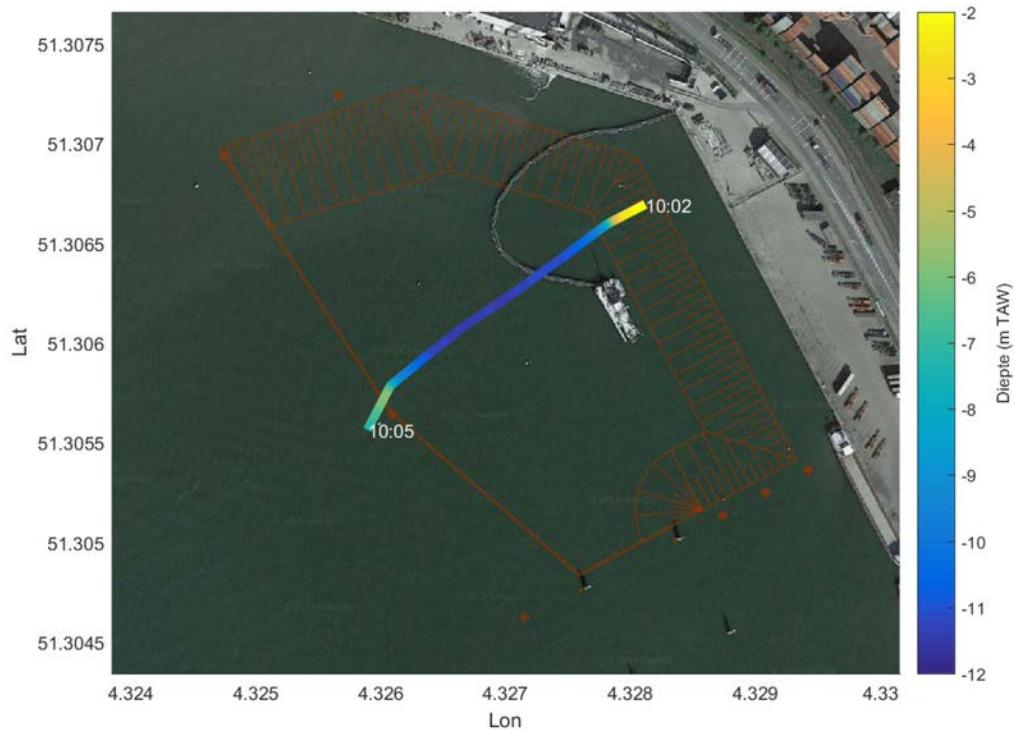
Figuur 96: Langsraai AMORAS OWC: Densiteit [ kg/m<sup>3</sup> ] (04/05/2016)



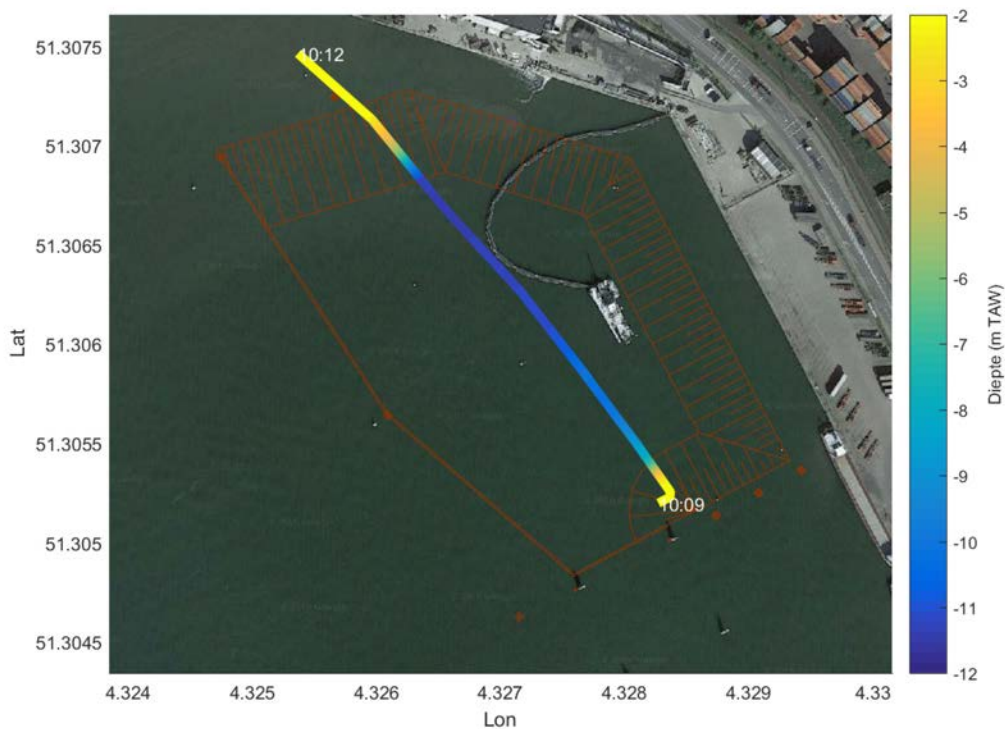
## Bijlage E: ADCP metingen 2/5/2016

### E.1 Raaien bijboot

Figuur 97: Positie bijboot 10:02 - 10:05: T0 dwarsraai (track 000)



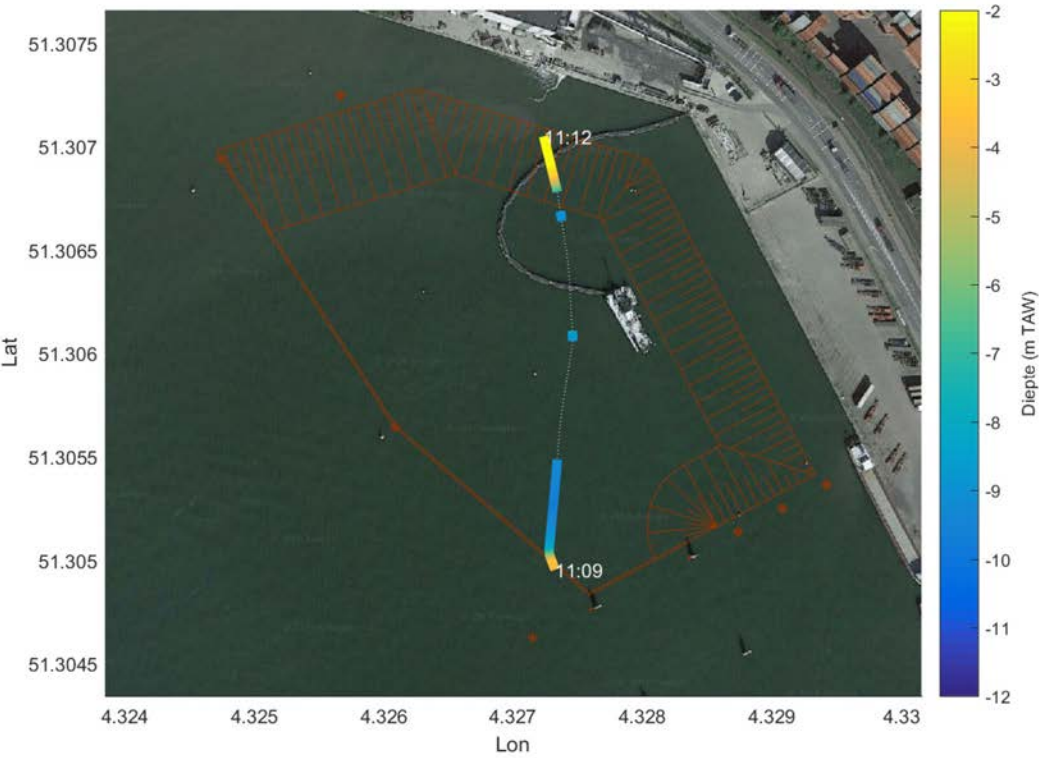
Figuur 98: Positie bijboot 10:09 - 10:12: T0 langsraai (track 001)



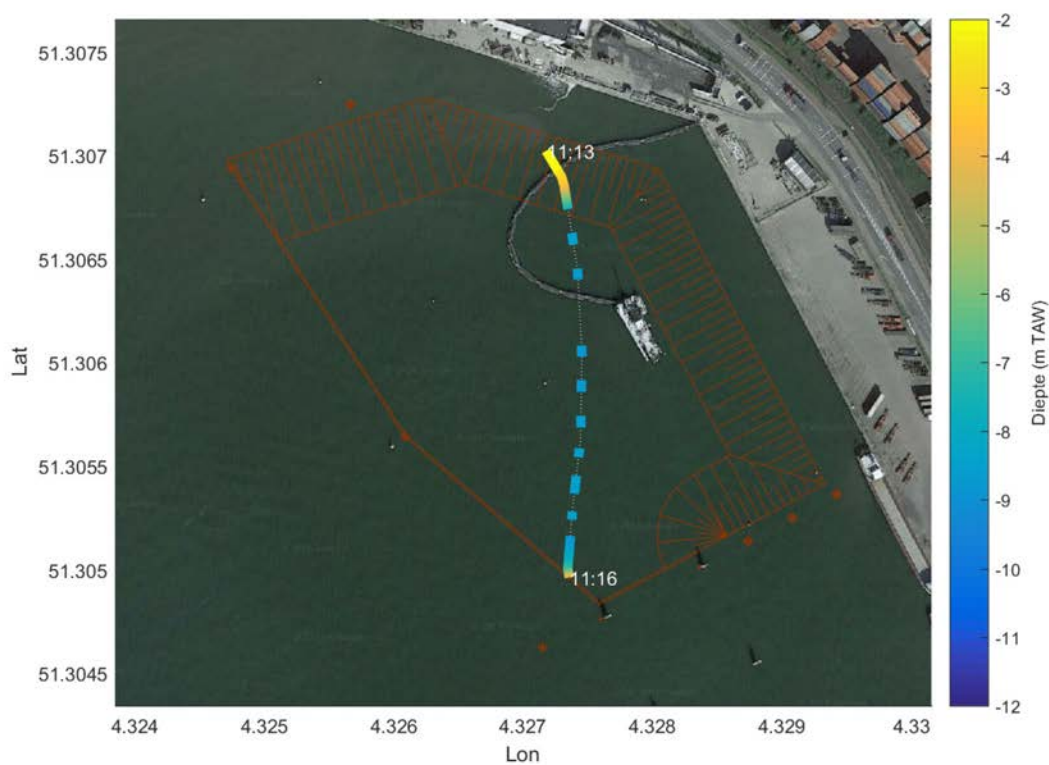
Figuur 99: Positie bijboot 10:34 - 10:50: T0 kalibratie: bijboot naas Pier Petit (track 002)



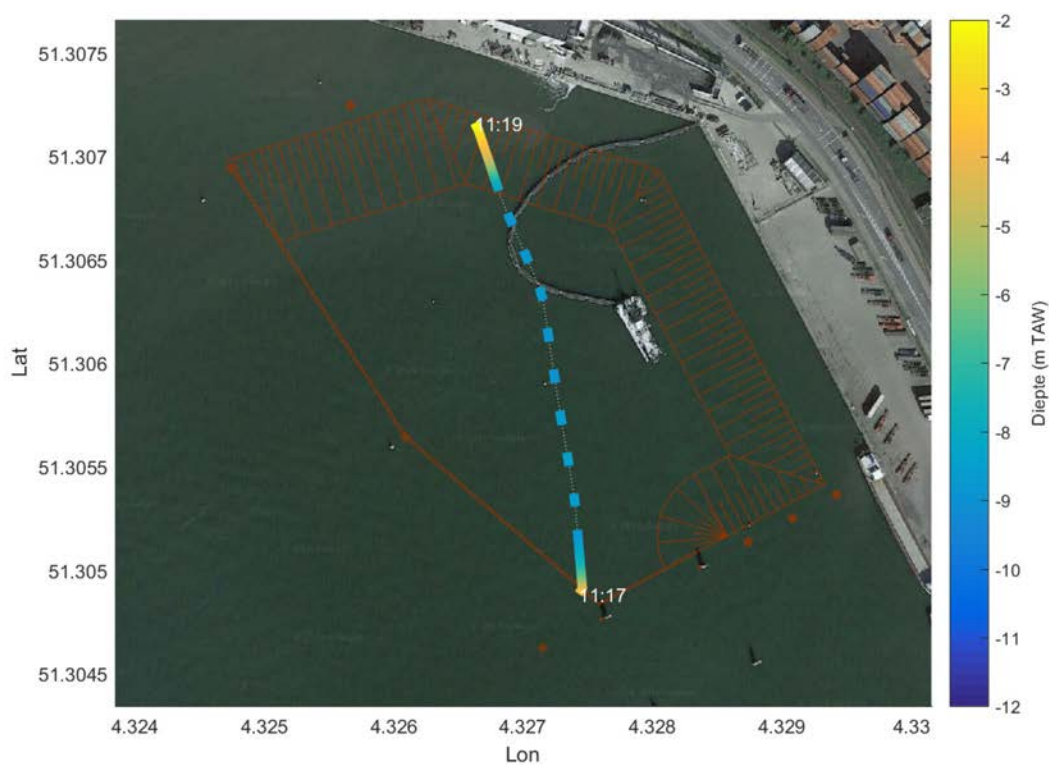
Figuur 100: Positie bijboot 11:09 - 11:12: Lossing 1 (track 003)



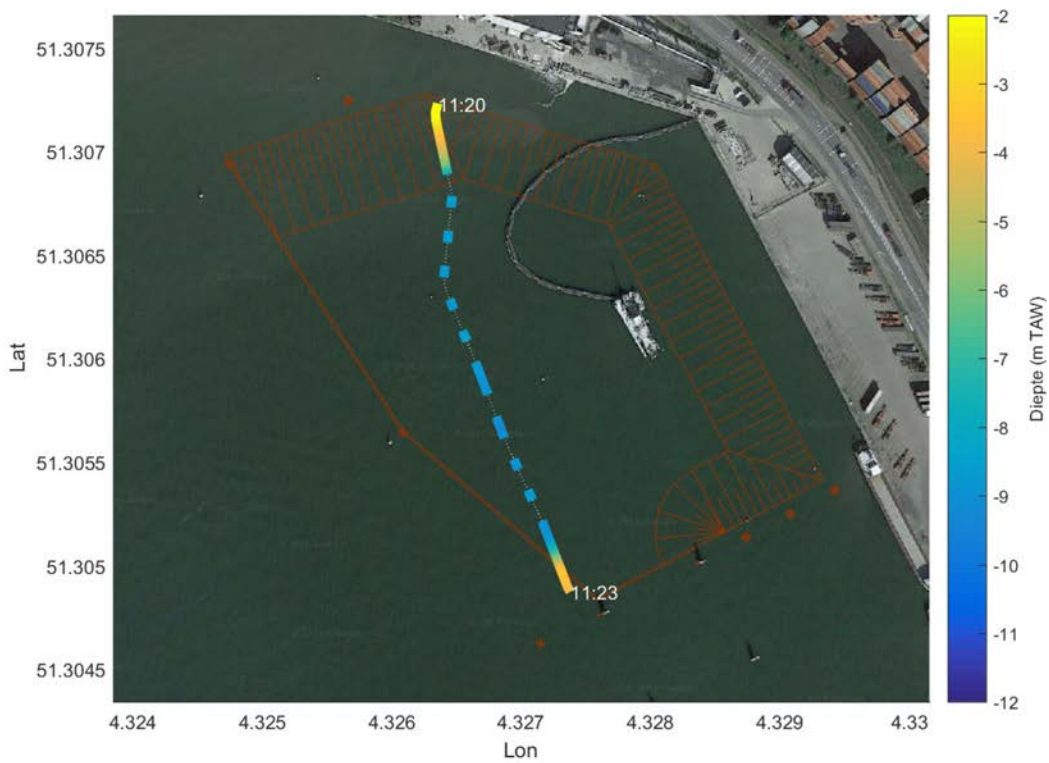
Figuur 101: Positie bijboot 11:13 - 11:16: Lossing 1 (track 004)



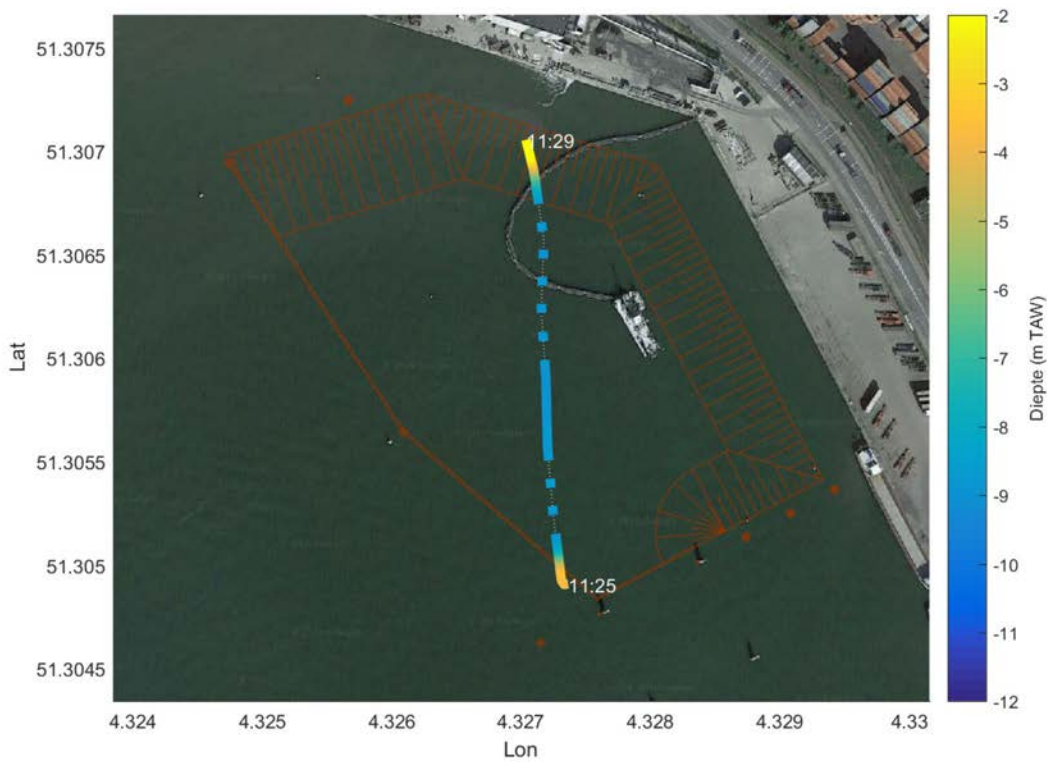
Figuur 102: Positie bijboot 11:17 - 11:19: Lossing 1 (track 005)



Figuur 103: Positie bijboot 11:20 - 11:23: Lossing 1 (track 006)



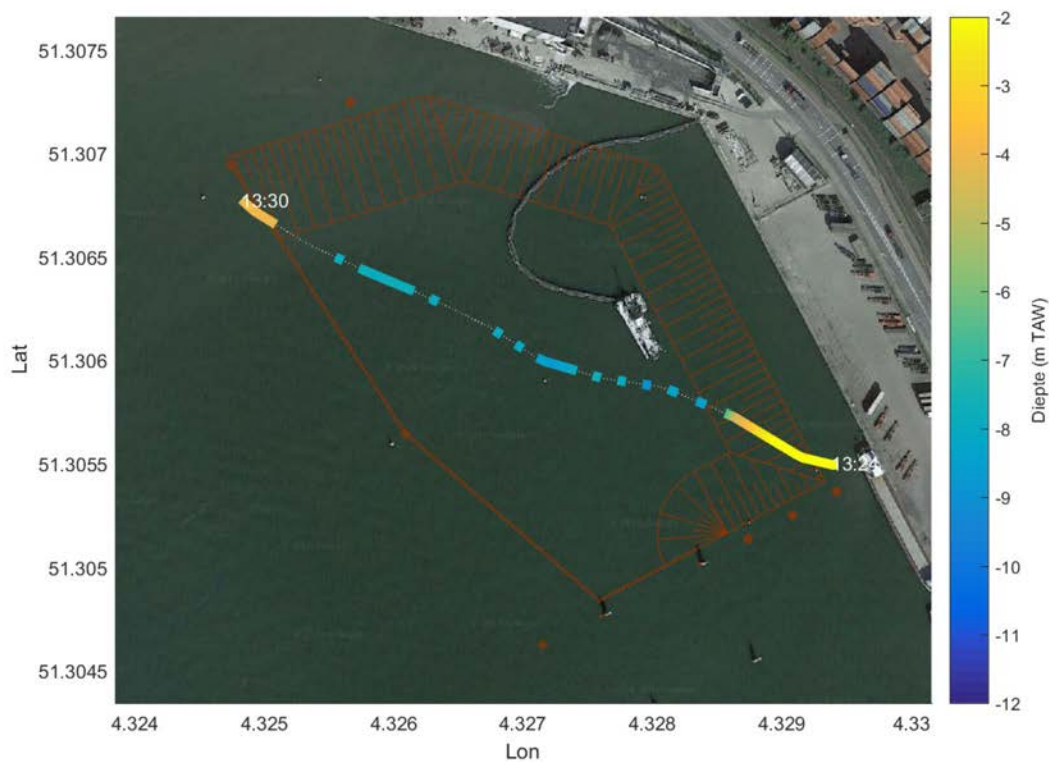
Figuur 104: Positie bijboot 11:25 - 11:29: Lossing 1 (track 007)



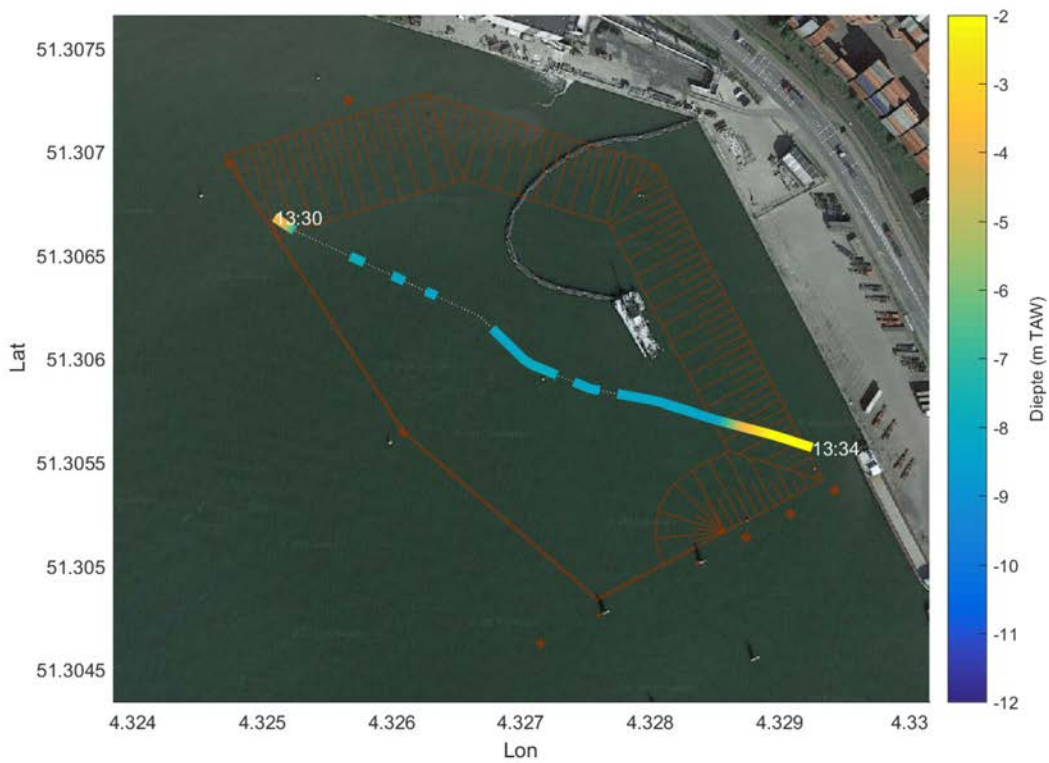
Figuur 105: Positie bijboot 11:47 - 12:08: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 008)



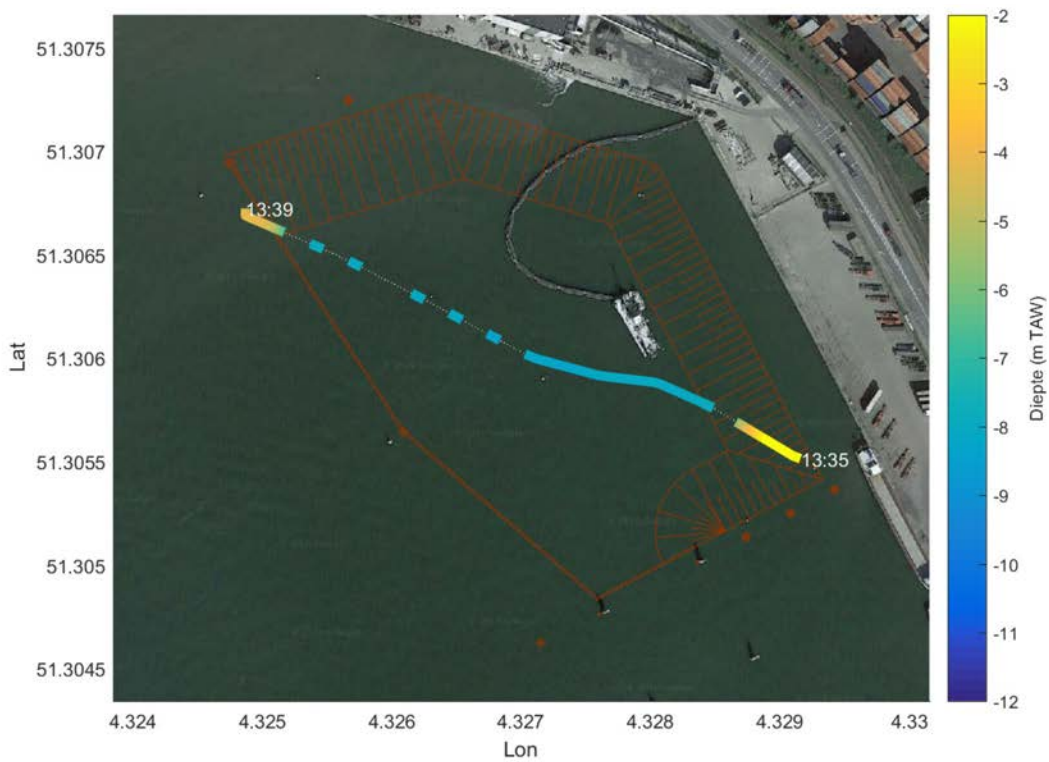
Figuur 106: Positie bijboot 13:24 - 13:30: Lossing 2 (track 010)



Figuur 107: Positie bijboot 13:30 - 13:34: Lossing 2 (track 011)



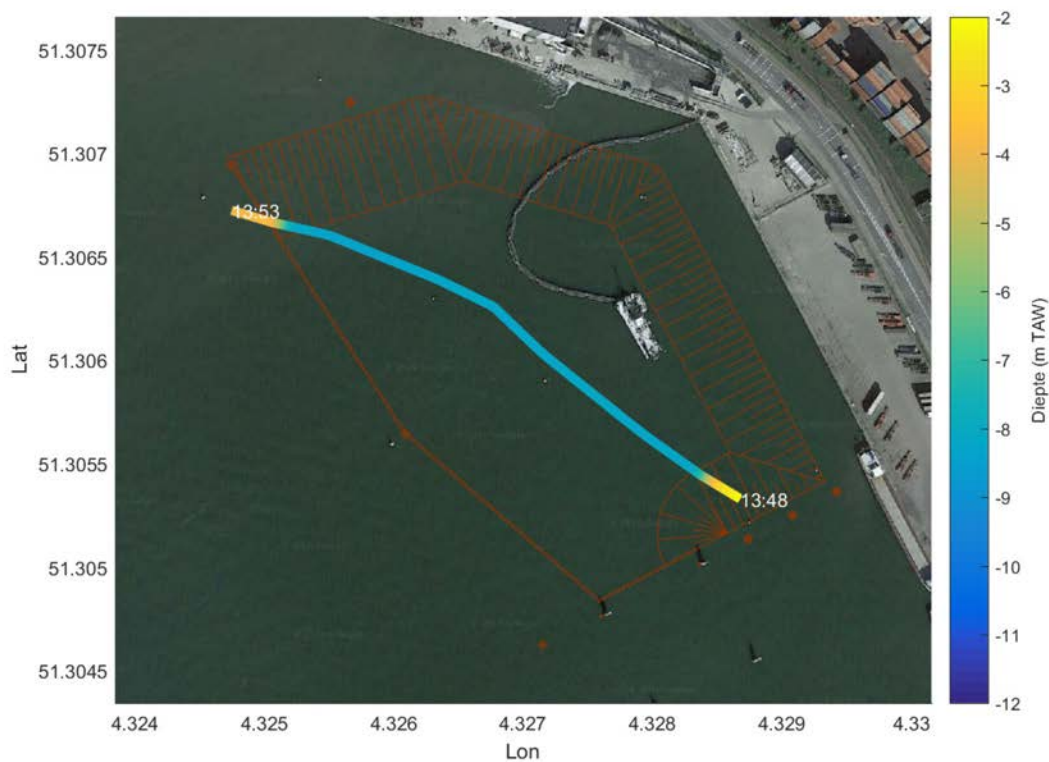
Figuur 108: Positie bijboot 13:35 - 13:39: Lossing 2 (track 012)



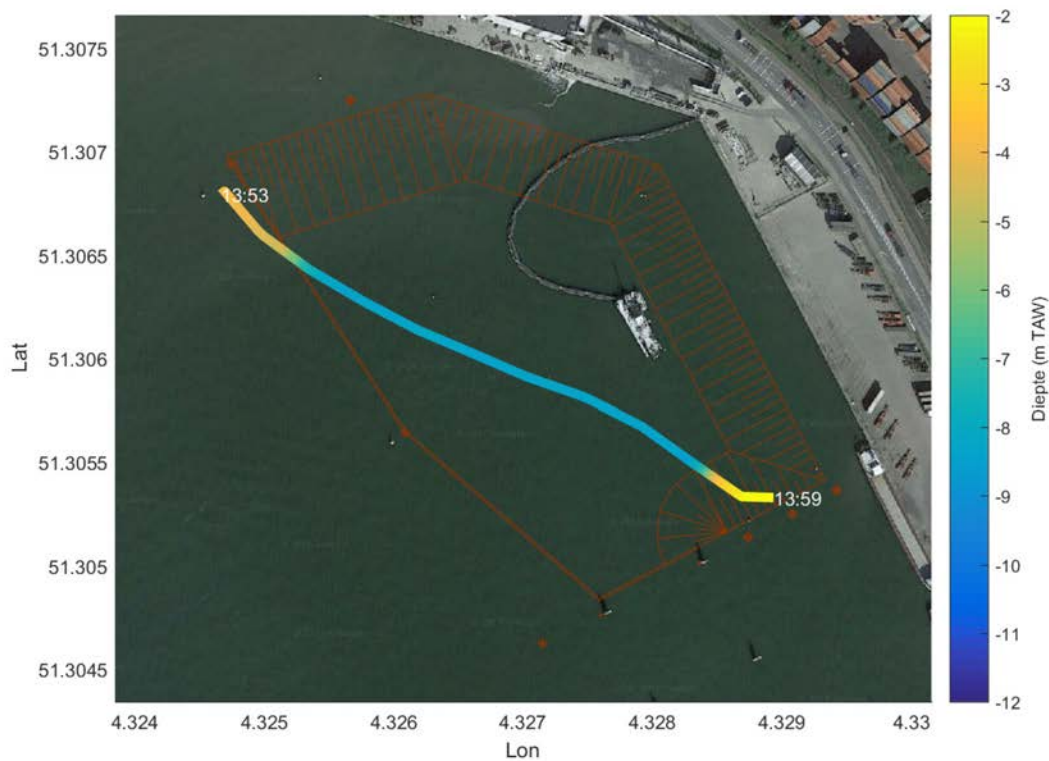
Figuur 109: Positie bijboot 13:41 - 13:47: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 013)



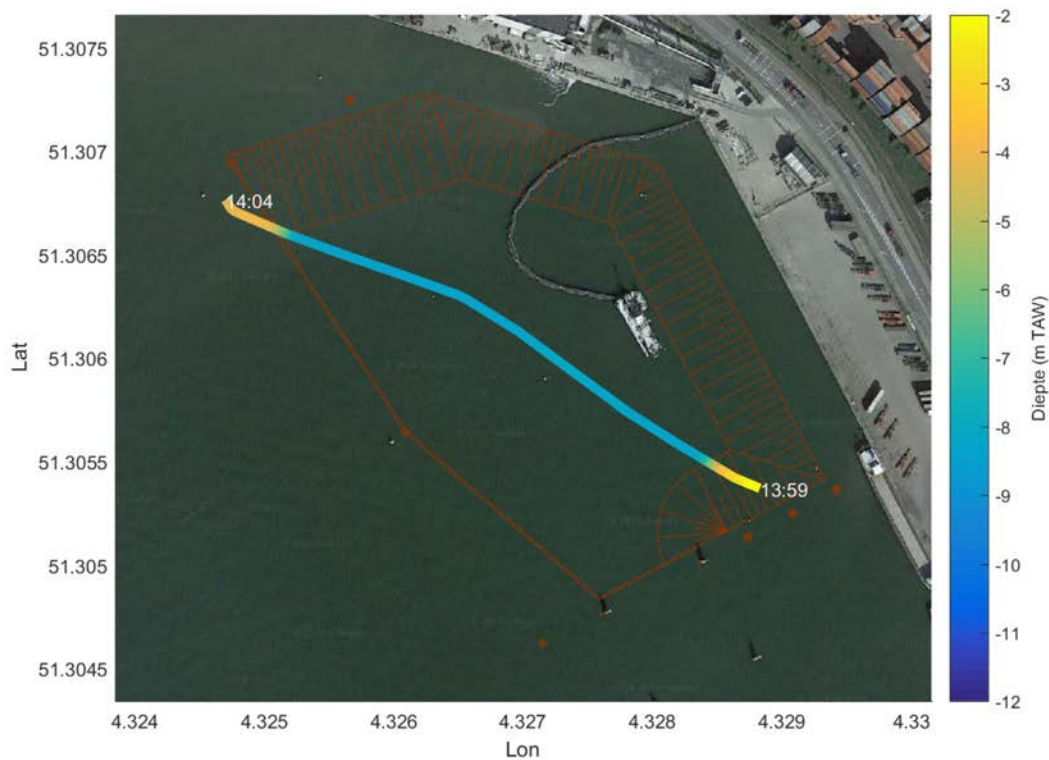
Figuur 110: Positie bijboot 13:48 - 13:53: Lossing 2 (track 014)



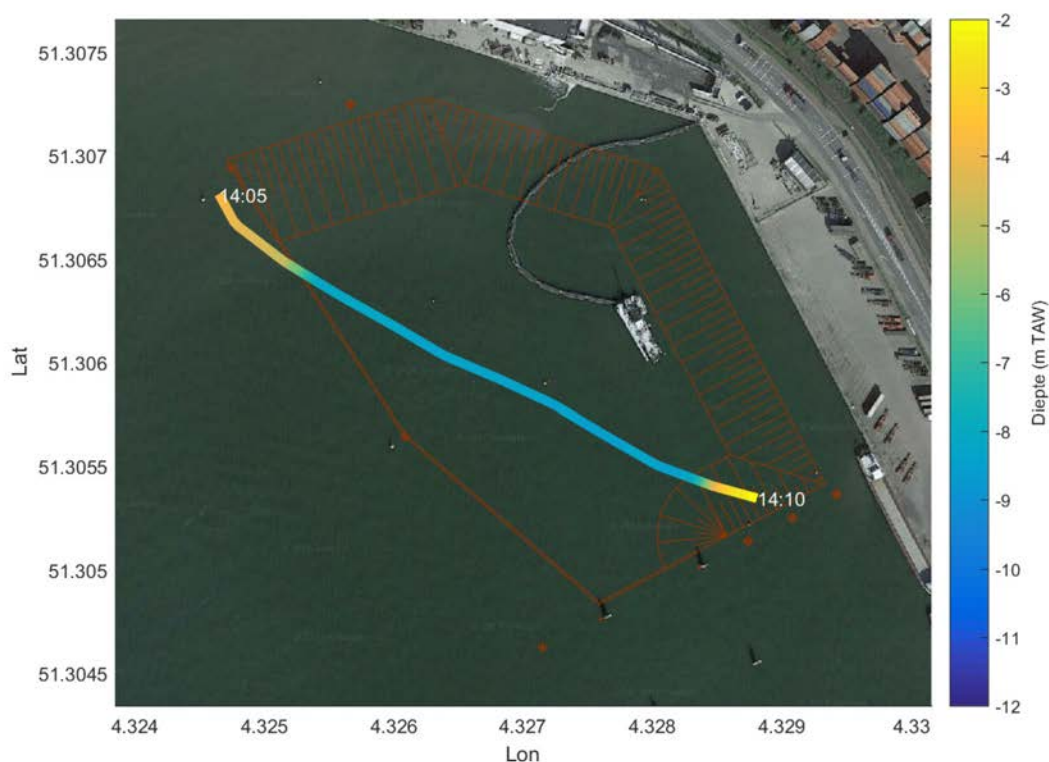
Figuur 111: Positie bijboot 13:53 - 13:59: Lossing 2 (track 015)



Figuur 112: Positie bijboot 13:59 - 14:04: Lossing 2 (track 016)



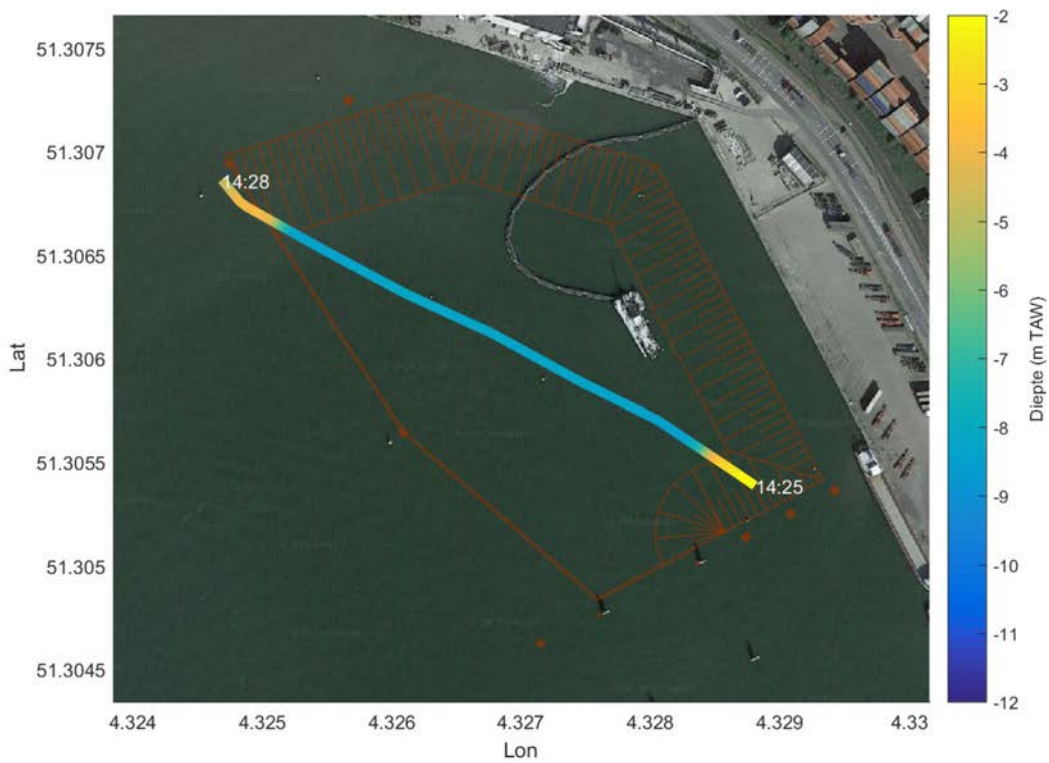
Figuur 113: Positie bijboot 14:05 - 14:10: Lossing 2 (track 017)



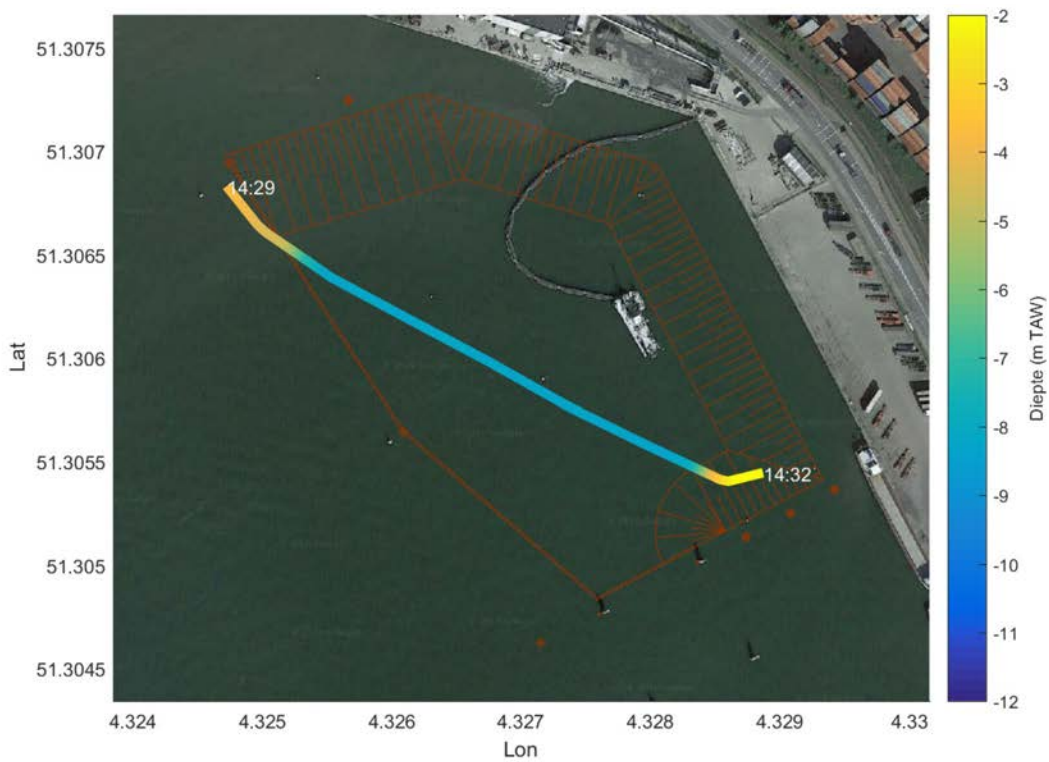
Figuur 114: Positie bijboot 14:12 - 14:22: Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 018)



Figuur 115: Positie bijboot 14:25 - 14:28: Lossing 2 (track 019)

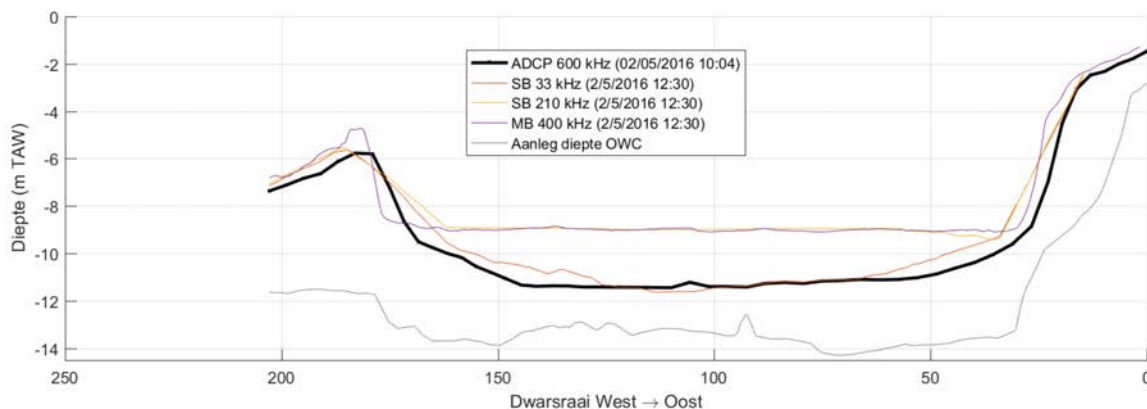


Figuur 116: Positie bijboot 14:29 - 14:32: Lossing 2 (track 020)

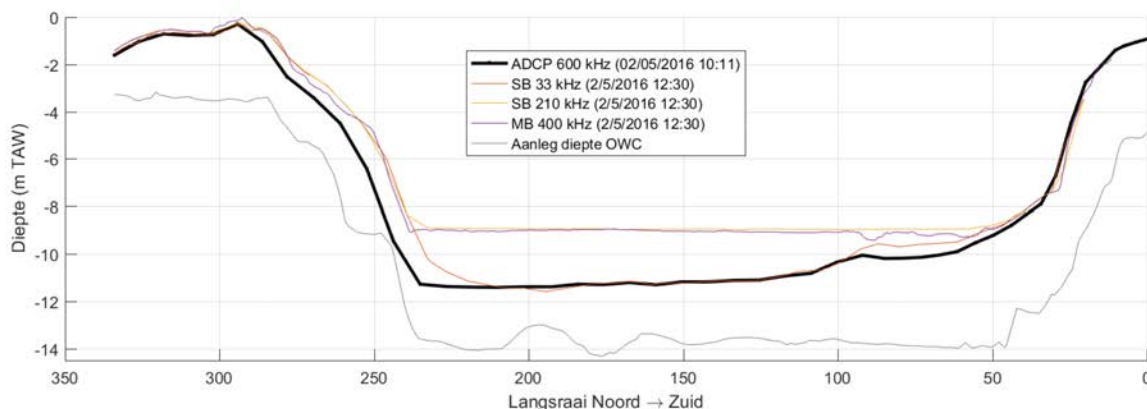


## E.2 Diepteprofielen langsheen de gevaren raaien

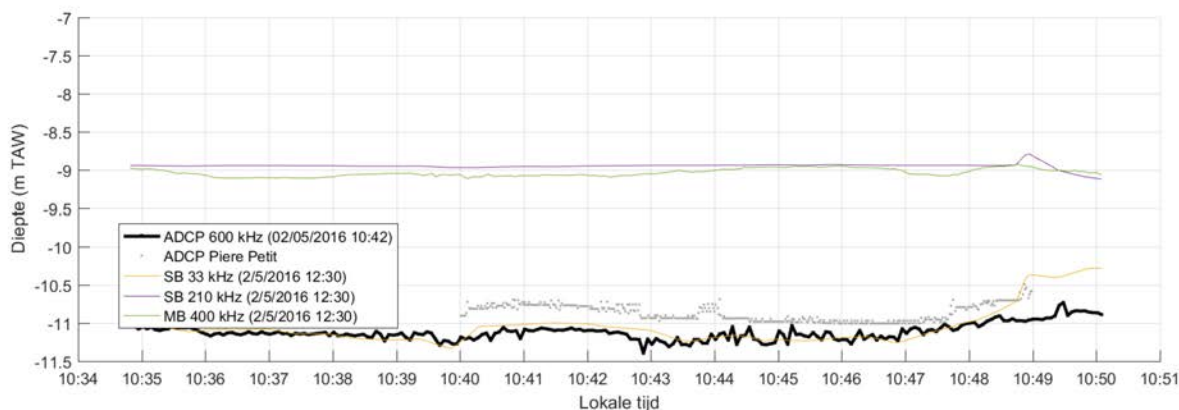
Figuur 117: Diepte van de cel, T0 dwarsraai (track 000)



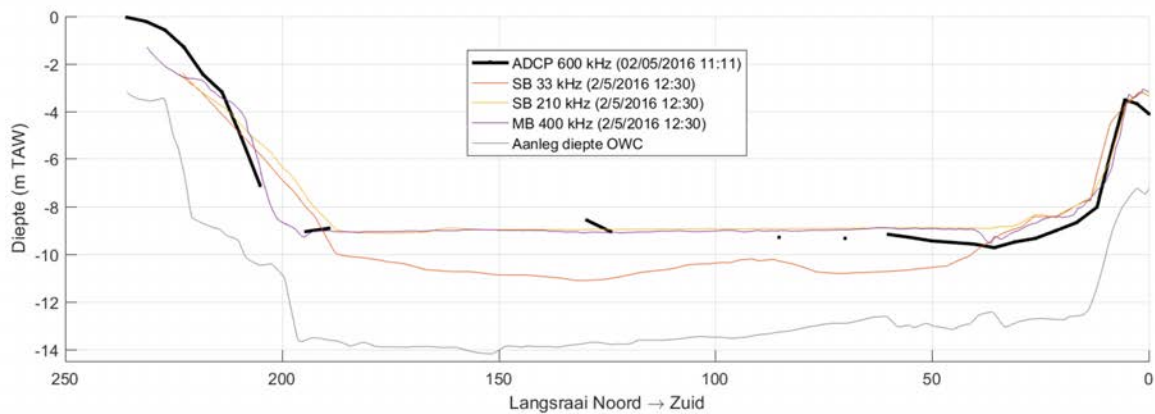
Figuur 118: Diepte van de cel, T0 langsraai (track 001)



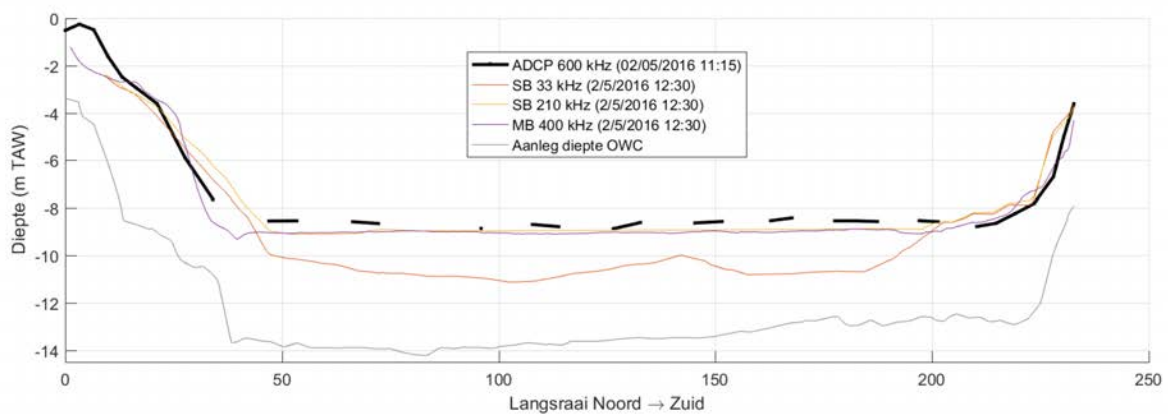
Figuur 119: Diepte van de cel, T0 kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 002)



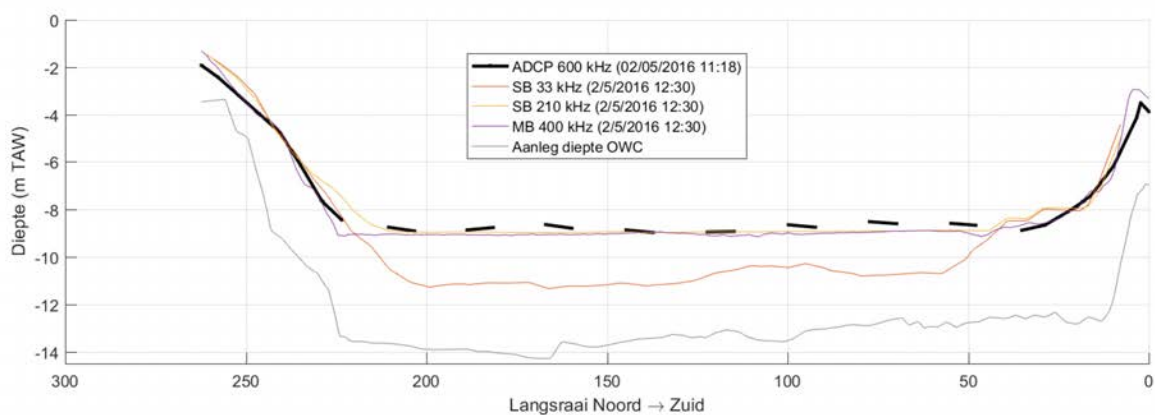
Figuur 120: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 003)



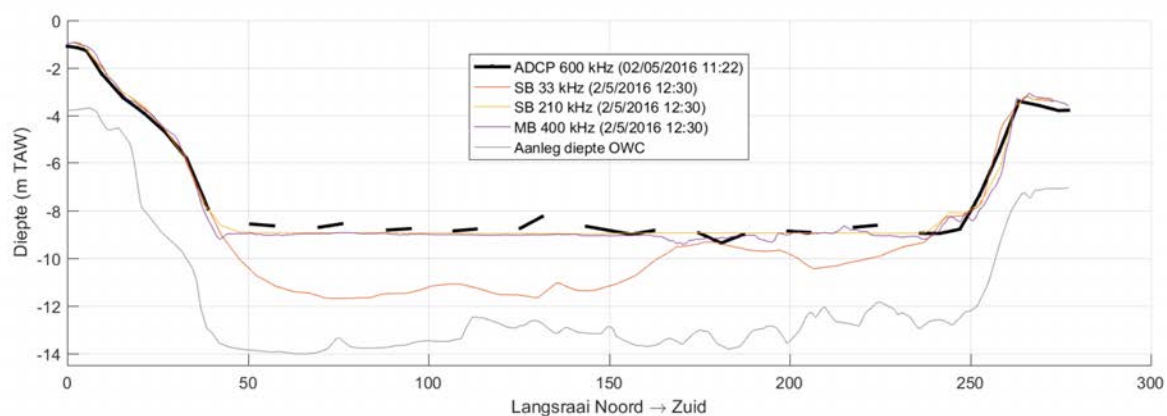
Figuur 121: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 004)



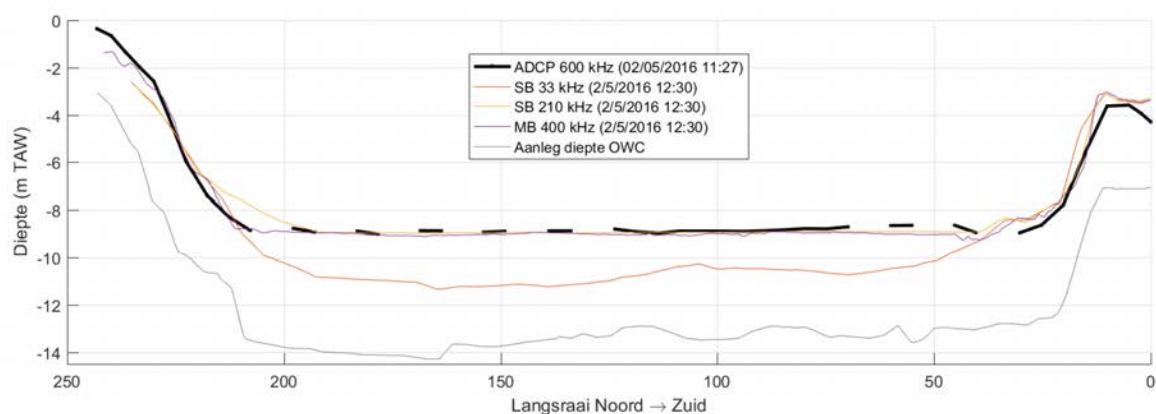
Figuur 122: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 005)



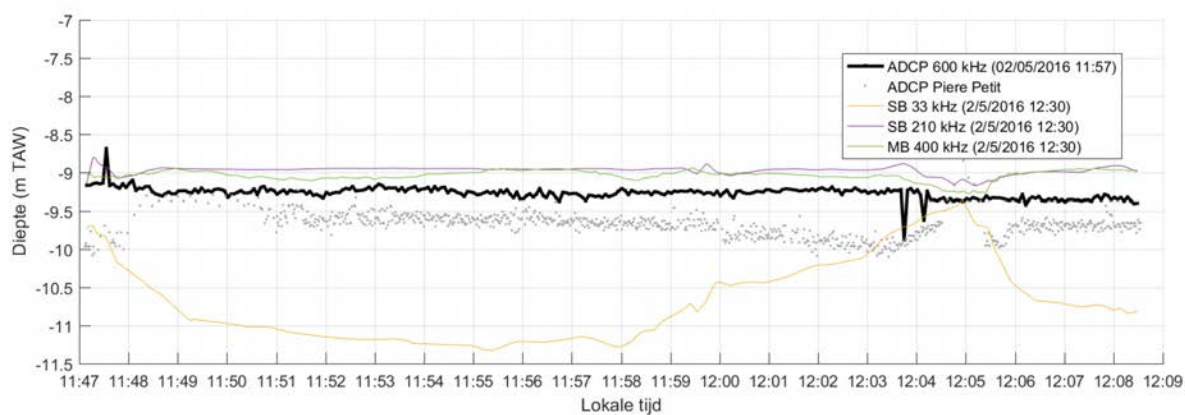
Figuur 123: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 006)



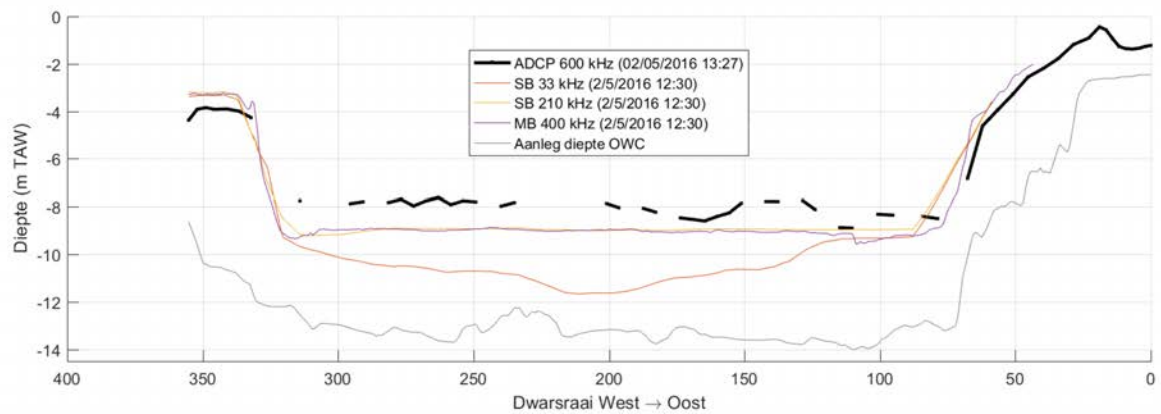
Figuur 124: Diepte van de cel, Lossing 1 (track 007)



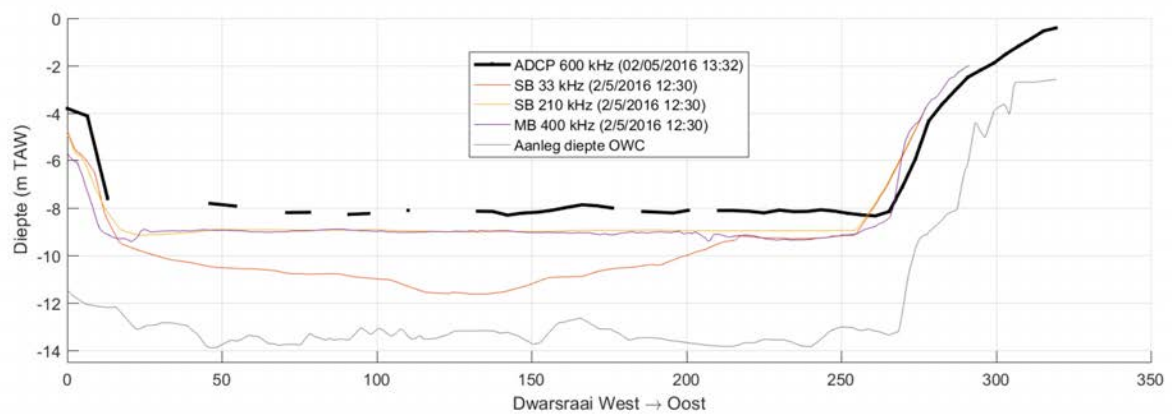
Figuur 125: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 008)



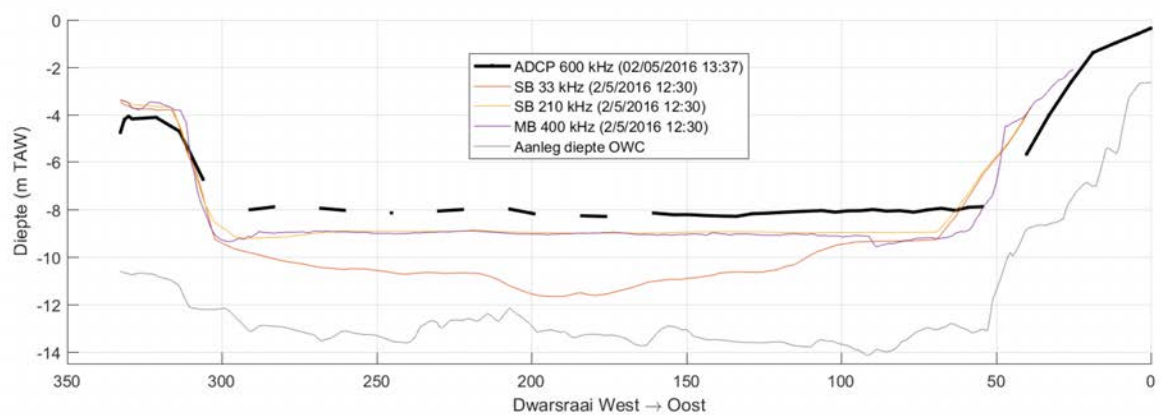
Figuur 126: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 010)



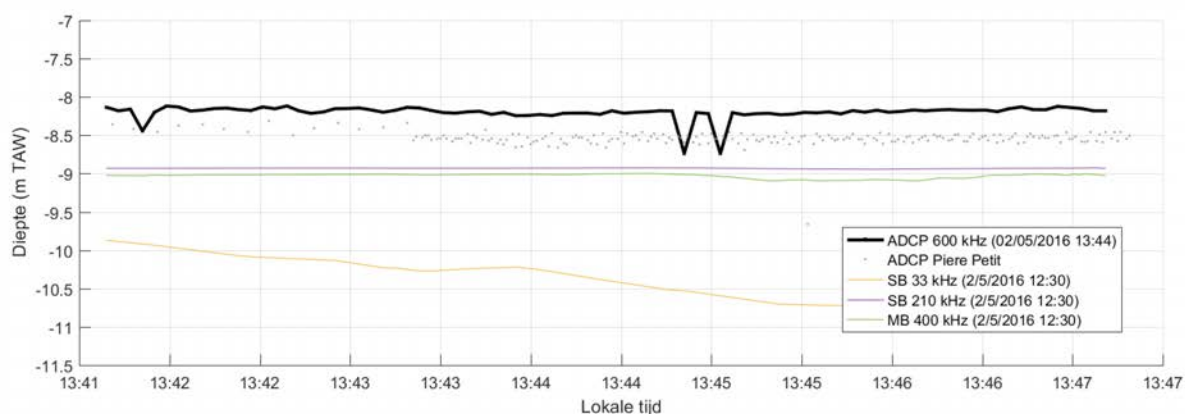
Figuur 127: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 011)



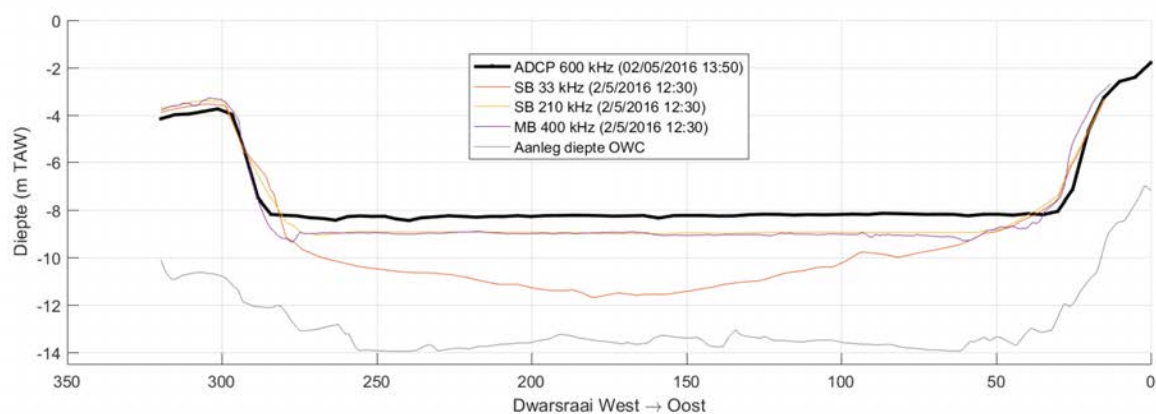
Figuur 128: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 012)



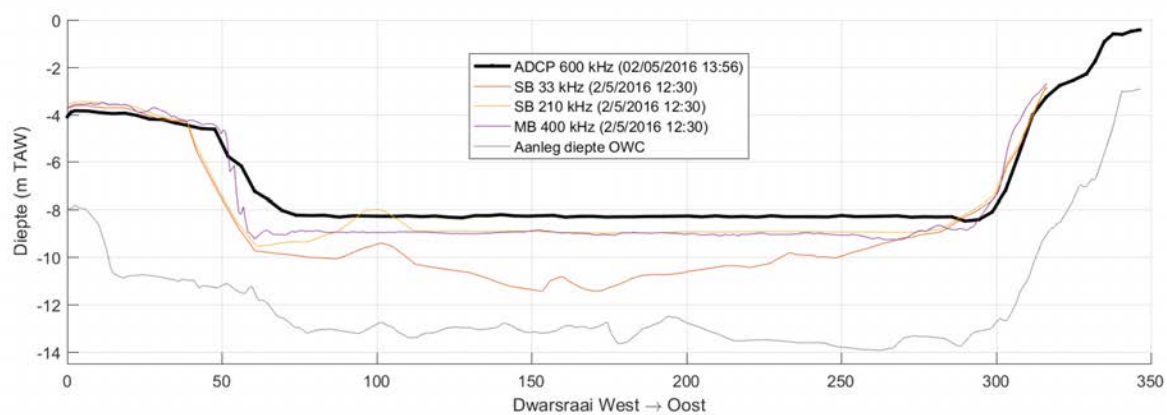
Figuur 129: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 013)



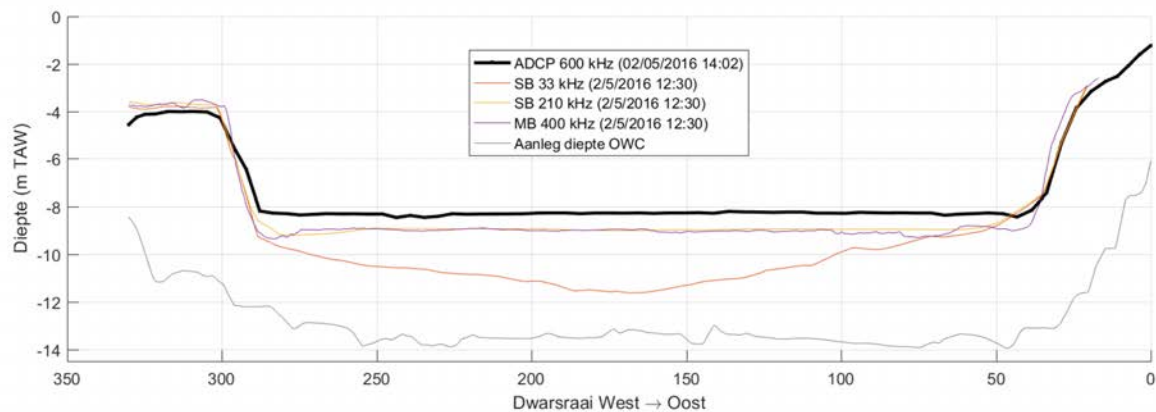
Figuur 130: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 014)



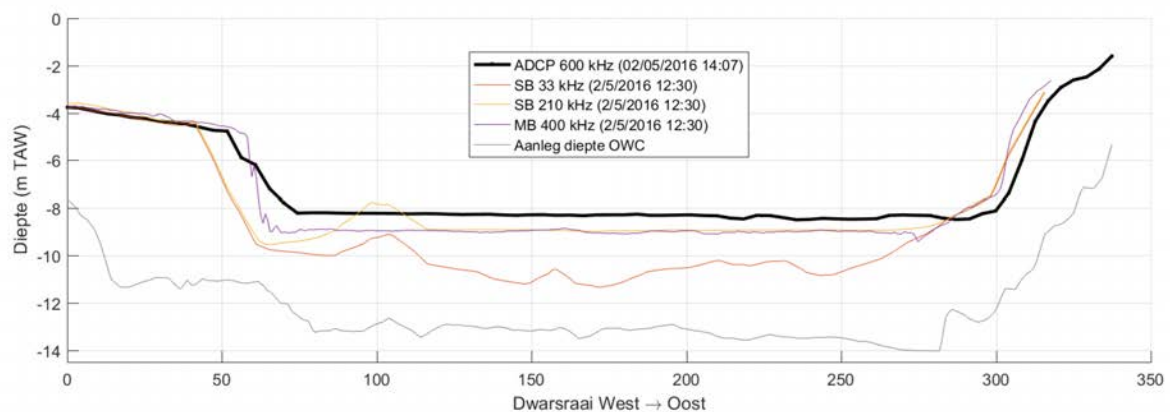
Figuur 131: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 015)



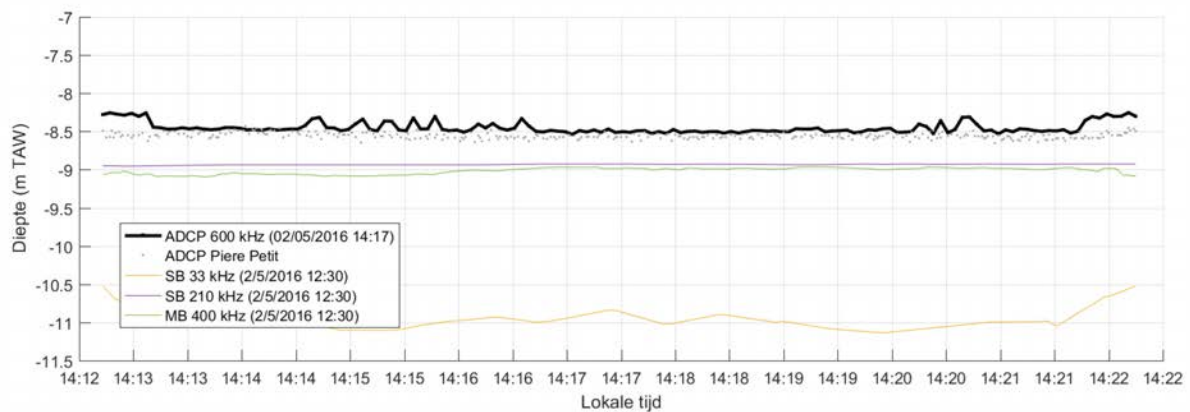
Figuur 132: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 016)



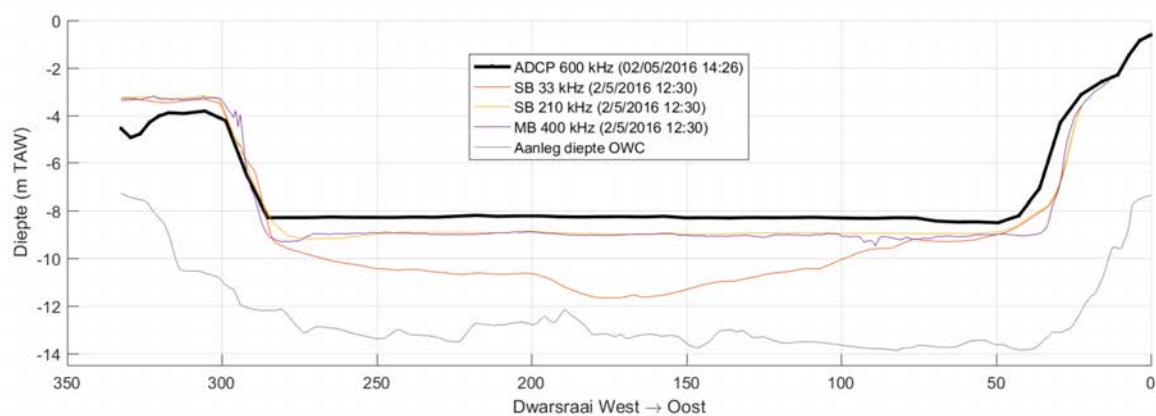
Figuur 133: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 017)



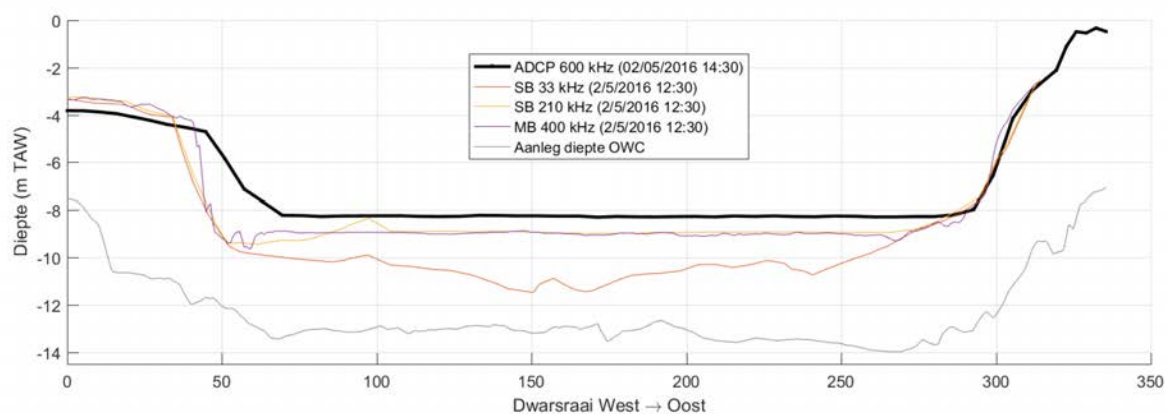
Figuur 134: Diepte van de cel, Kalibratie: bijboot naast Pier Petit (track 018)



Figuur 135: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 019)



Figuur 136: Diepte van de cel, Lossing 2 (track 020)



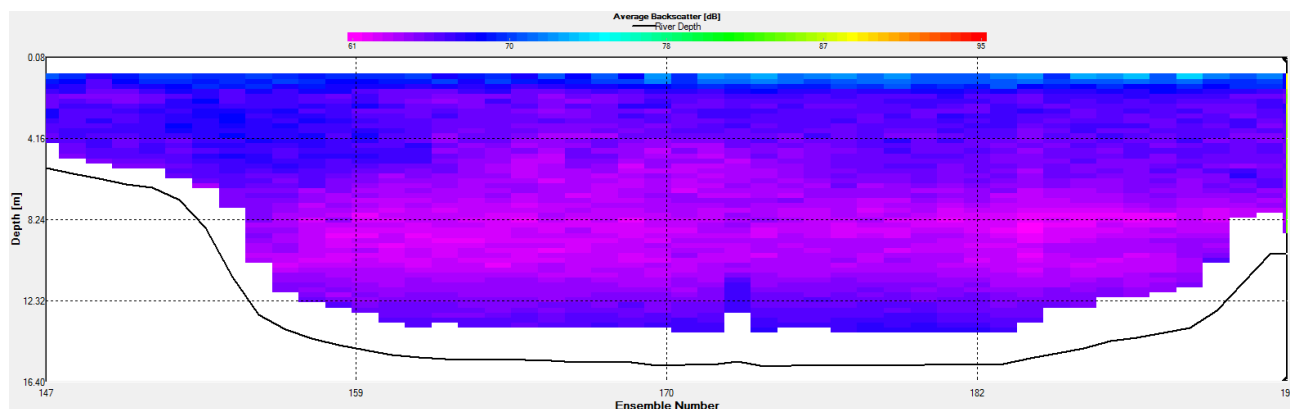
## Bijlage F: Backscatter ADCP raaien 2/5/2016

### F.1 T0-Peiling

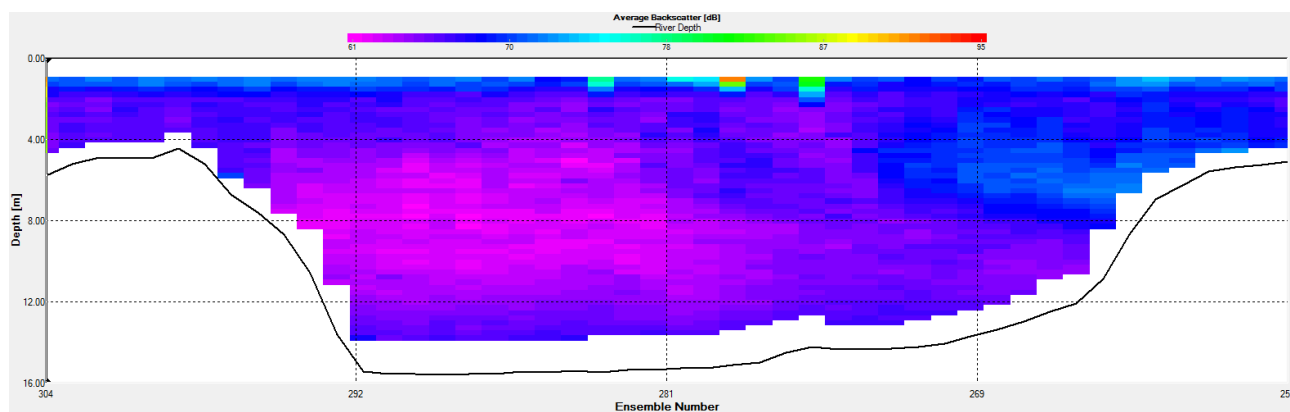
Figuur 137: Gevaren raaien T0-peiling



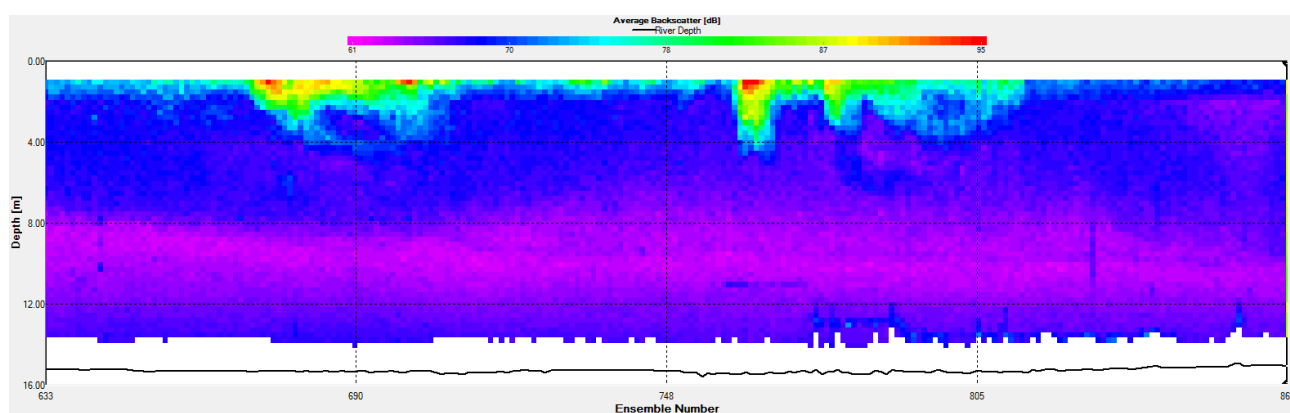
Figuur 138: Bijboot track 000 – T0-peiling, 2/5/2016 11:04, dwarsraai NO – ZW.



Figuur 139: Bijboot track 001 – T0-peiling, 2/5/2016 10:11, langsraai ZO – NW.



Figuur 140: Bijboot track 002 - stationaire peiling, bijboot naast Pierre Petit voor kalibratie T0, 10:34 – 10:52

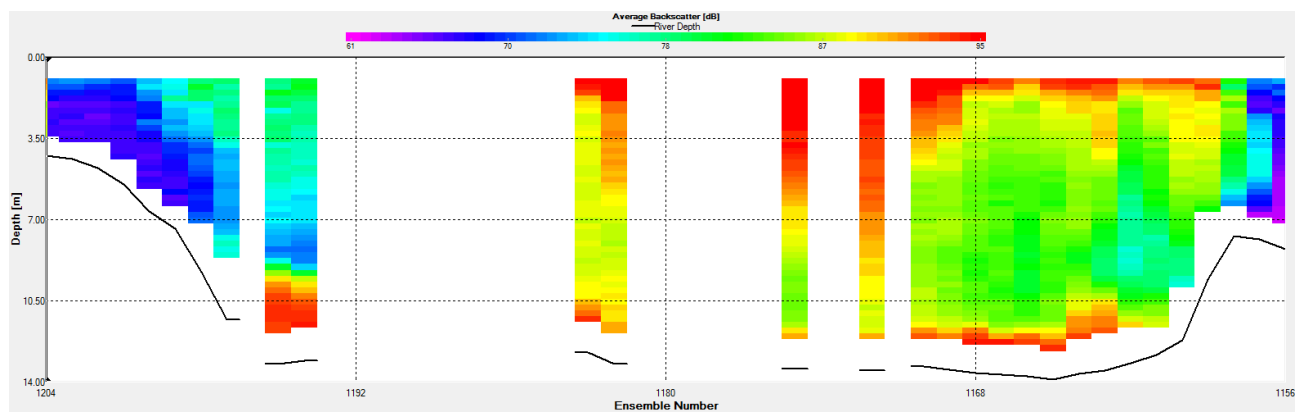


## F.2 Lossing 1 (MS Artevelde, 5446m<sup>3</sup>, 11:00)

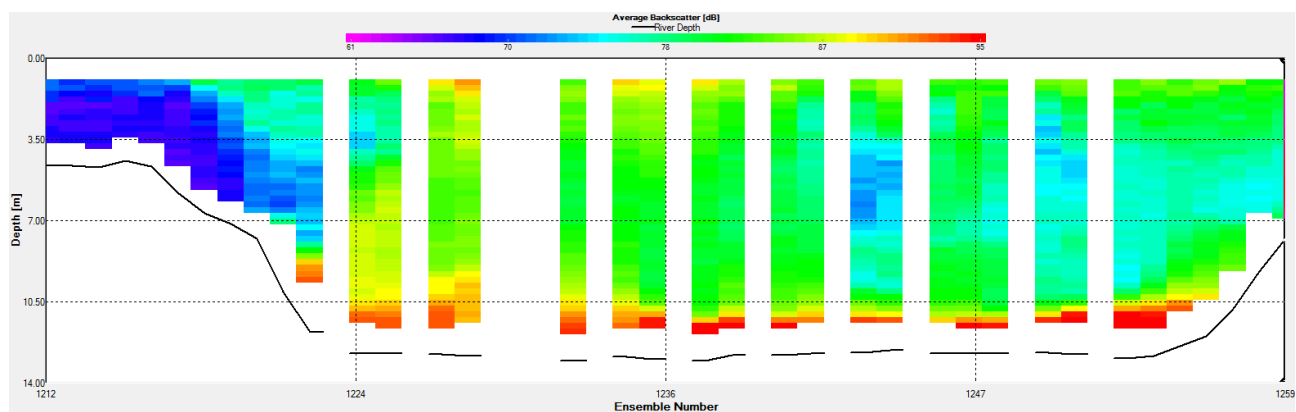
Figuur 141: Gevaren raaien Lossing 2



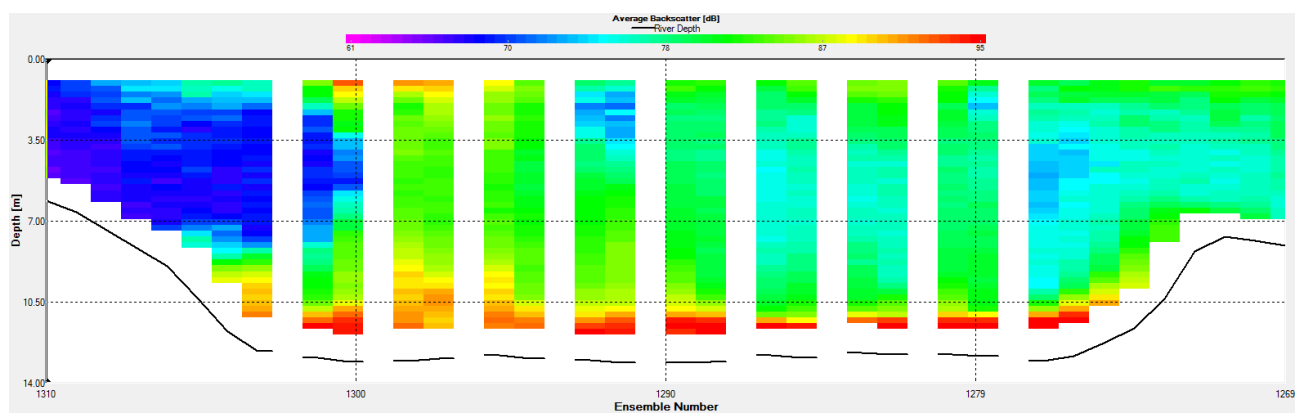
Figuur 142: Bijboot track 003, 11:11 (11 minuten na kleppen), orientatie Noord-Zuid



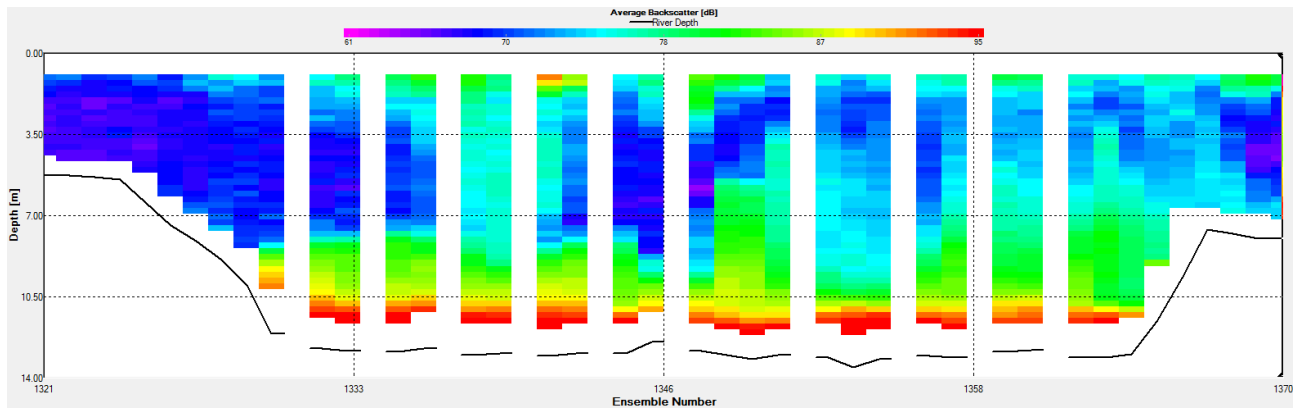
Figuur 143: Bijboot track 004, 11:15 (15 minuten na kleppen), orientatie Noord-Zuid



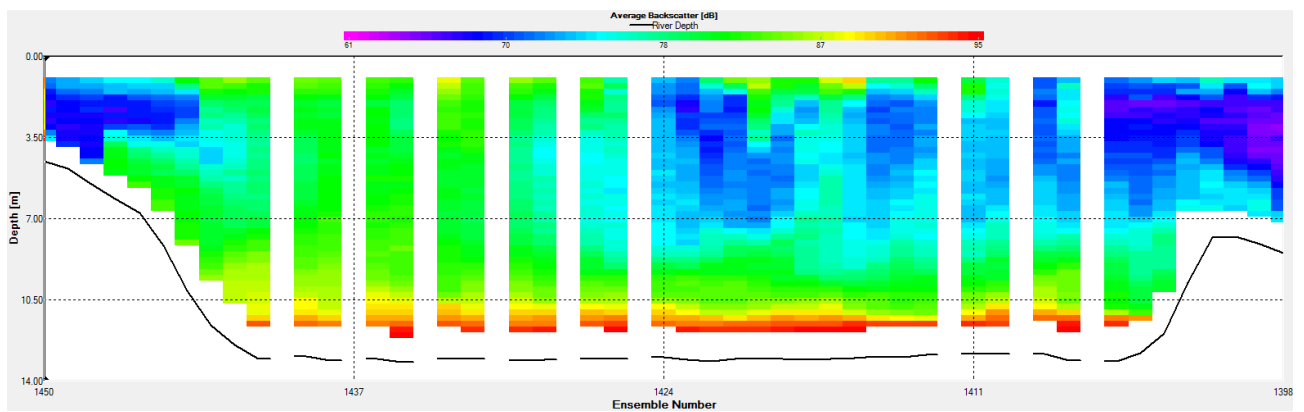
Figuur 144: Bijboot track 005, 11:18 (18 minuten na kleppen), orientatie Noord-Zuid



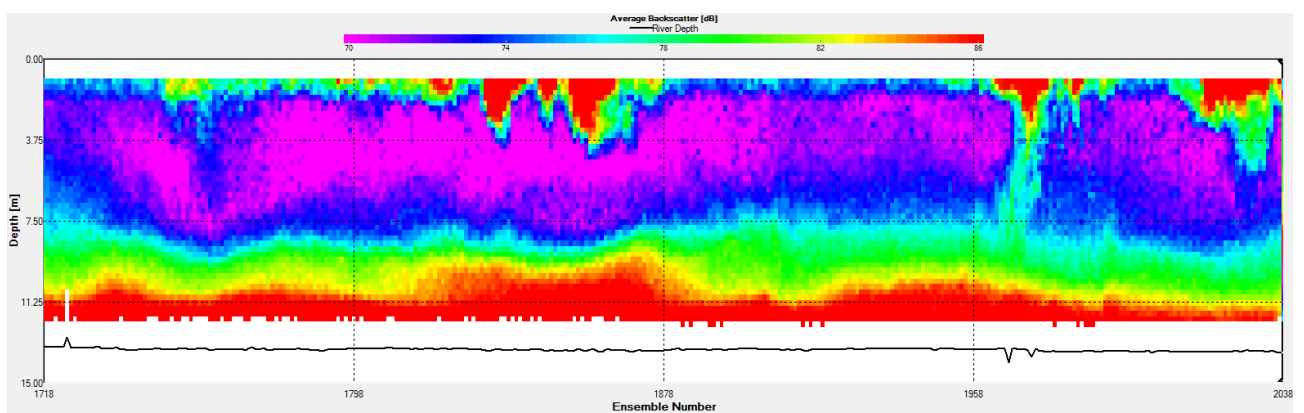
Figuur 145: Bijboot track 006, 11:22 (22 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid



Figuur 146: Bijboot track 007, 11:27 (27 minuten na kleppen) , orienatatie Noord-Zuid



Figuur 147: Bijboot track 008 - stationaire peiling, bijboot naat Pierre Petit, 11:47 – 12:08

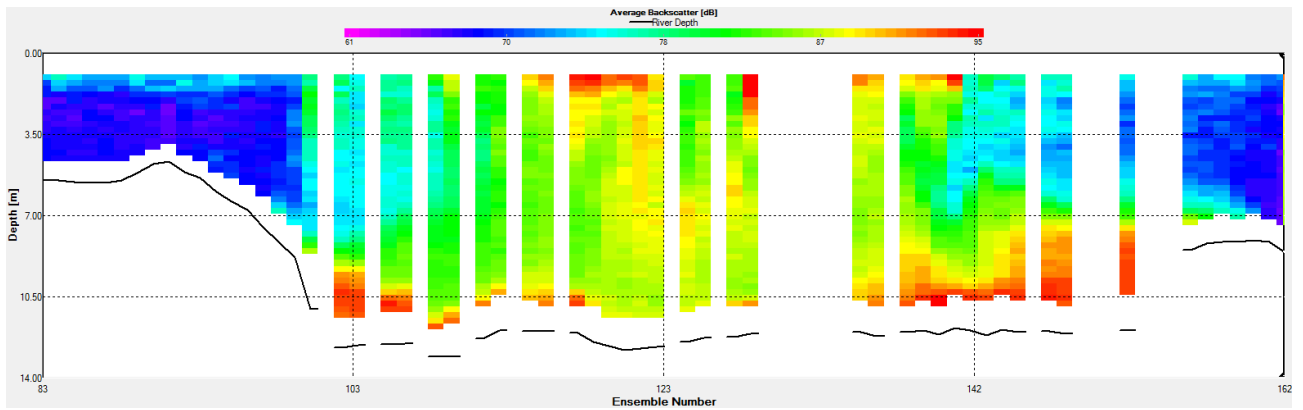


### F.3 Lossing 2 (MS Artevelde, 5424m<sup>3</sup>, 13:16)

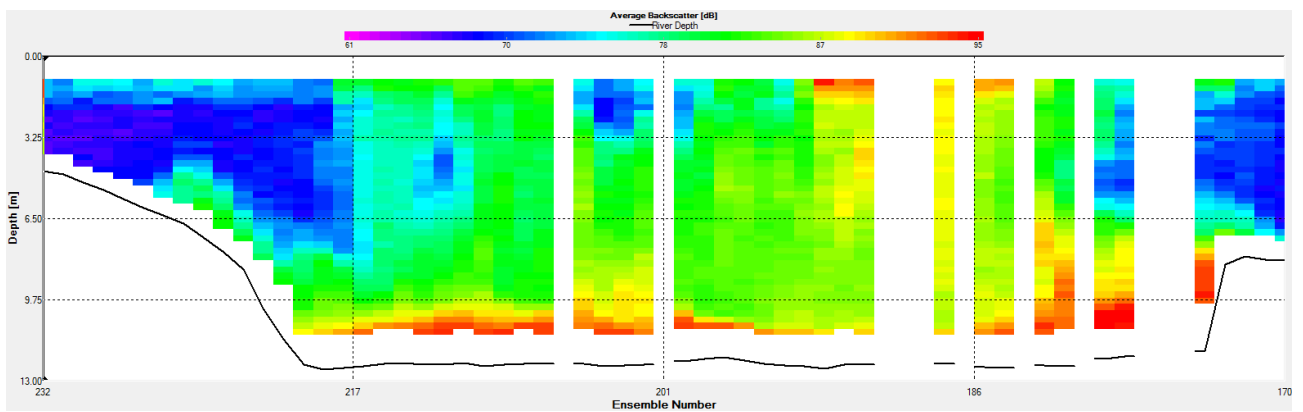
Figuur 148: Gevaren raaien na lossing 2



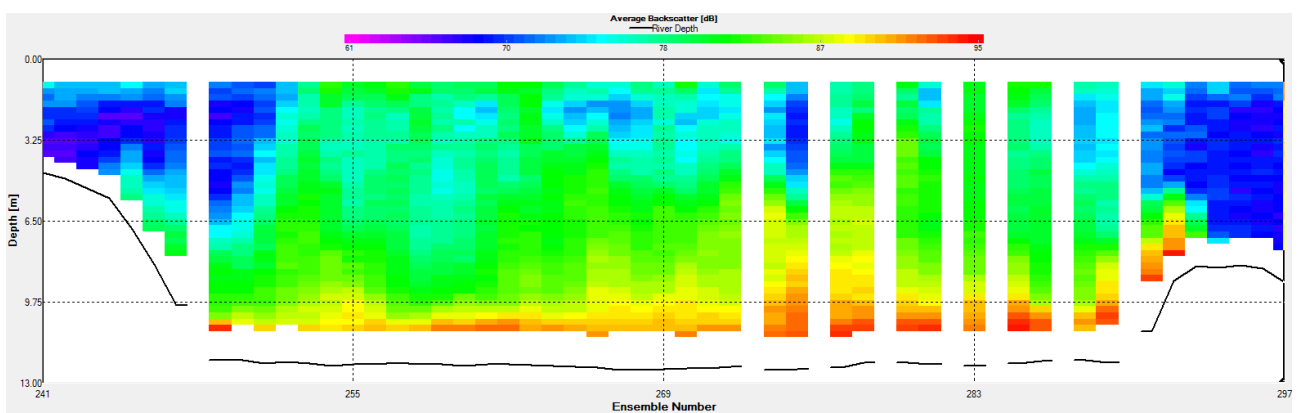
Figuur 149: Bijboot track 010, 13:27 (11 minuten na kleppen), oriëntatie ZO – NW.



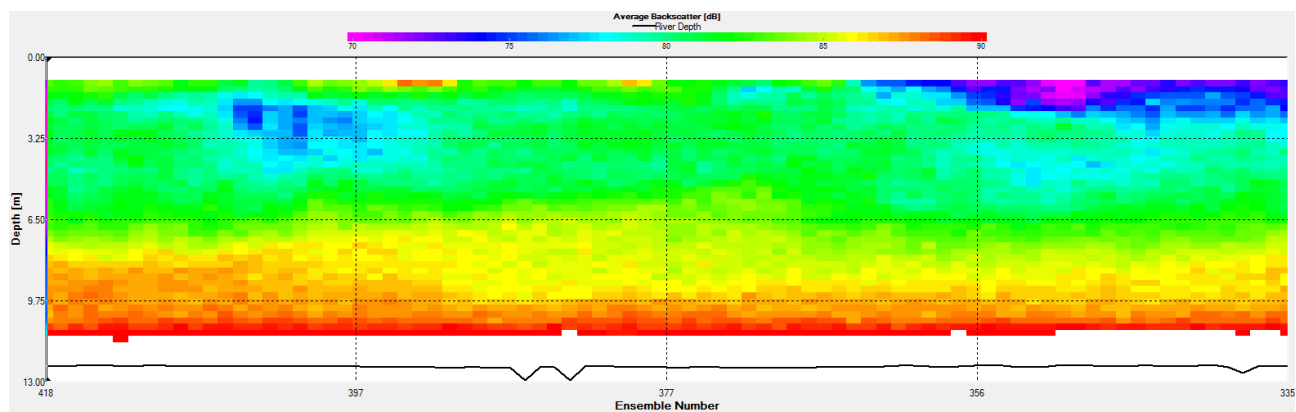
Figuur 150: Bijboot track 011, 13:32 (16 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



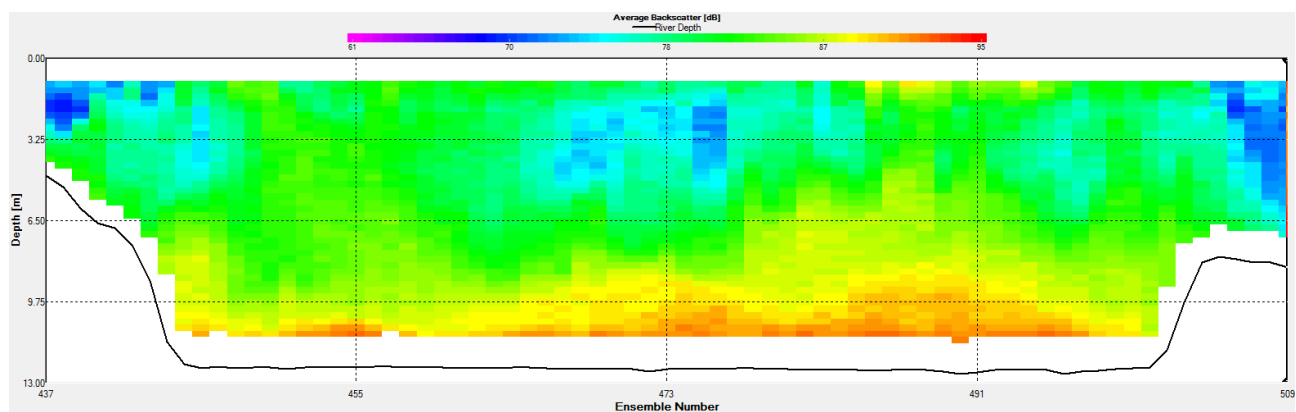
Figuur 151: Bijboot track 012, 13:37 (21 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



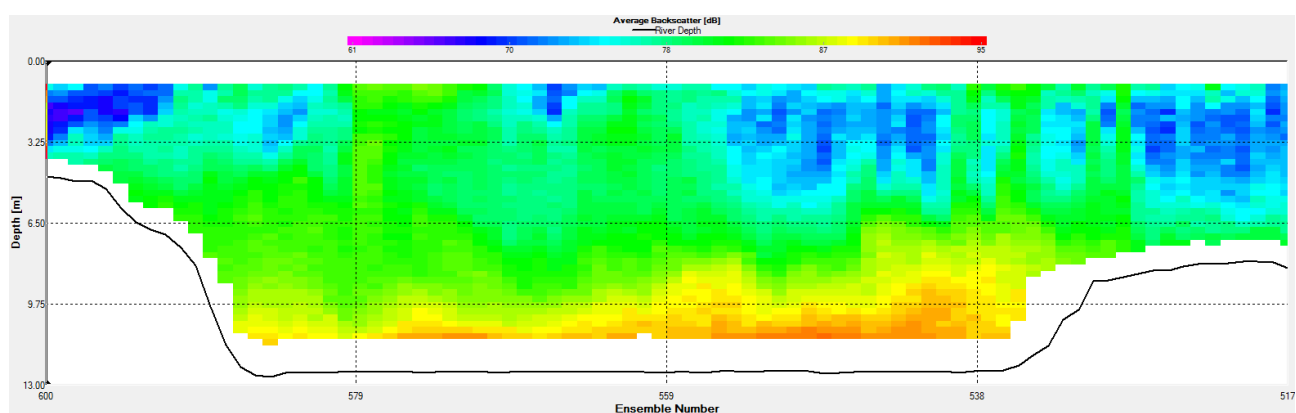
Figuur 152: Bijboot track 013 - Stationaire peiling, bijboot naast Pierre Petit, 13:41 – 13:47



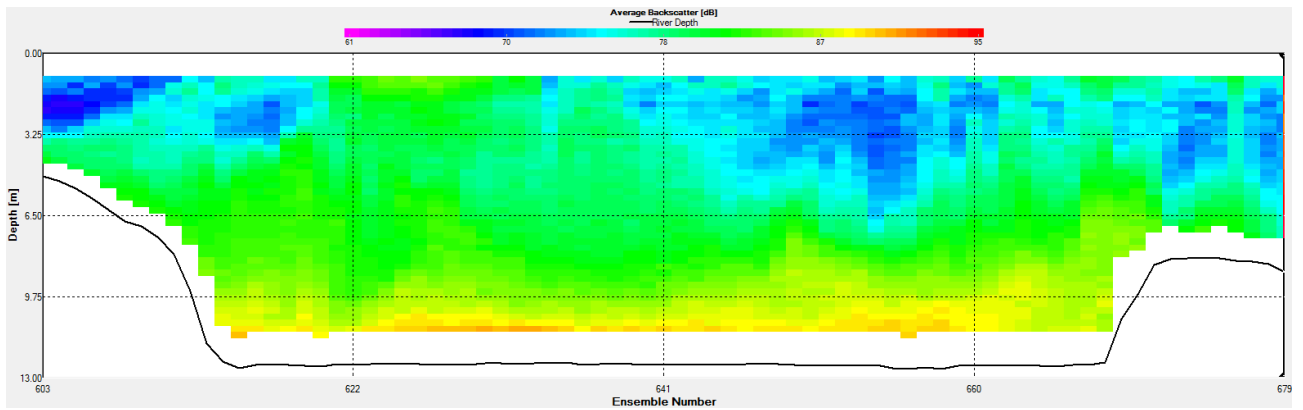
Figuur 153: Bijboot track 14, 13:50 (40 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



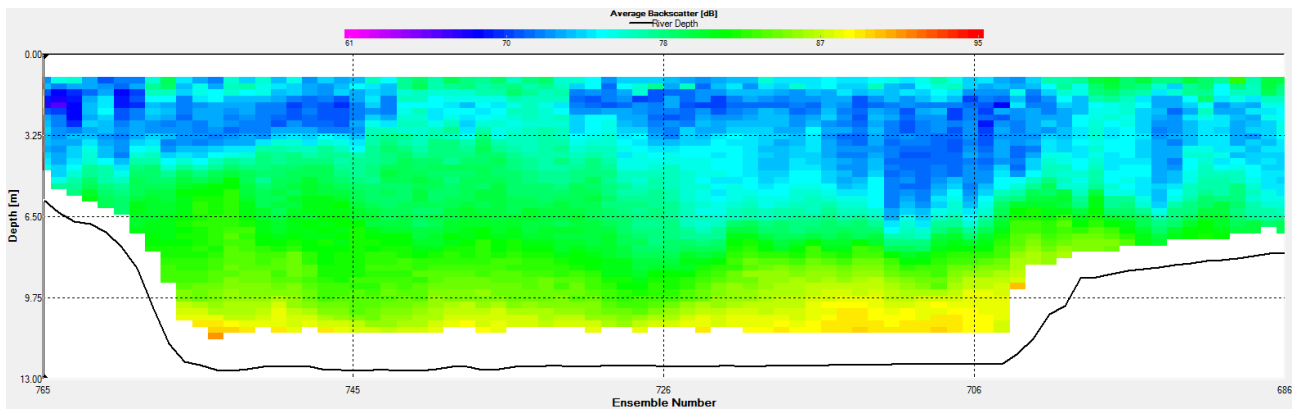
Figuur 154: Bijboot track 015, 13:56 (40 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



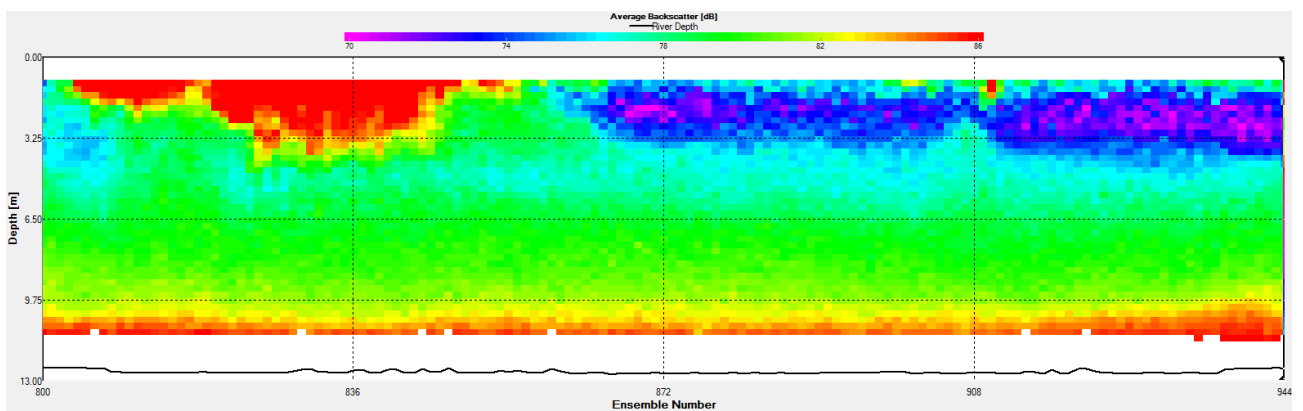
Figuur 155: Bijboot track 016, 14:02 (46 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



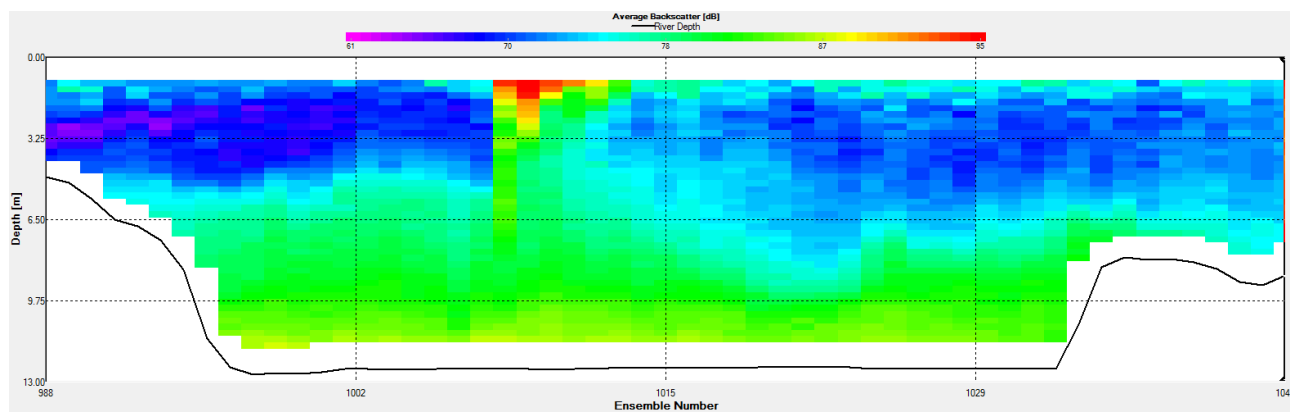
Figuur 156: Bijboot track 017, 14:07 (51 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



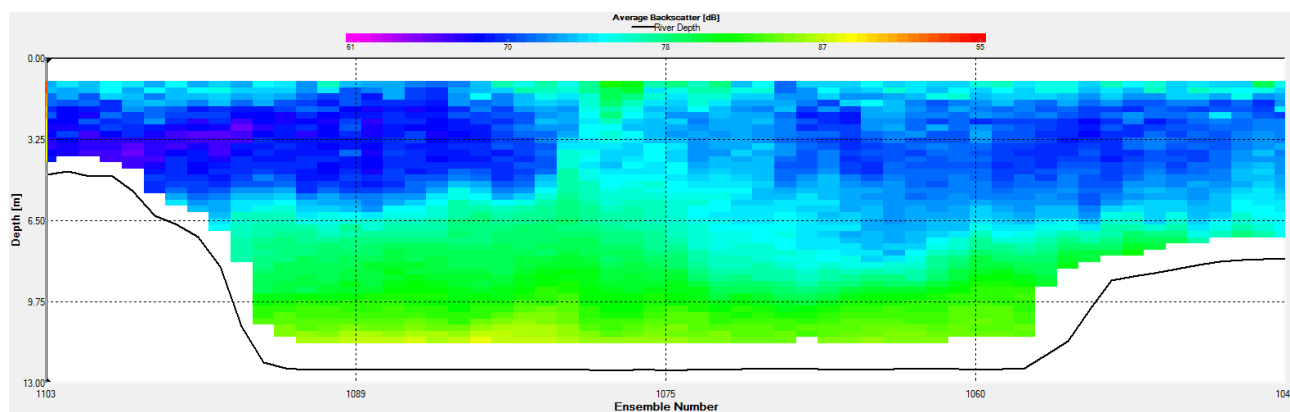
Figuur 157: Bijboot track 018 - Stationaire peiling, bijboot langsij Pierre Petit, 14:12 – 14:22



Figuur 158: Bijboot track 019, 14:26 (70 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



Figuur 159: Bijboot track 020, 14:30 (74 minuten na kleppen) , oriëntatie ZO – NW.



## Bijlage G: Pompstalen

### G.1 T0 - Peiling

Tabel 9: Pompstalen T0-meting

| Pompstaal | Lokale tijd (UTC+2) | Waterdiepte (m) | Diepte (m TAW) | Concentratie (mg/l) | Densiteit (Ton/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 1001      | 10:40:00            | 3               | 1,2            | 8                   | 1,004                           |
| 1002      | 10:42:00            | 6               | -1,8           | 8                   | 1,004                           |
| 1003      | 10:42:00            | 8               | -3,8           | 9                   | 1,004                           |
| 1004      | 10:43:15            | 10              | -5,8           | 7                   | 1,004                           |
| 1005      | 10:44:30            | 12              | -7,8           | 8                   | 1,004                           |
| 1006      | 10:47:38            | 14              | -9,8           | 8                   | 1,004                           |

### G.2 Lossing 1

Tabel 10: Pompstalen genomen 16 tot 24 minuten na de eerste lossing (11:00). De stalen gemarkeerd in grijs zijn dieper dan de onderwaterdam. De stalen gemarkeerd in donkergrijs zijn genomen in de top van de sliblaag

| Pompstaal | Lokale tijd (UTC+2) | Waterdiepte (m) | Diepte (m TAW) | Concentratie (mg/l) | Densiteit (Ton/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 1007      | 11:16:50            | 2               | 2,2            | 101                 | 1,004                           |
| 1008      | 11:17:53            | 4               | 0,2            | 54                  | 1,004                           |
| 1009      | 11:18:55            | 6               | -1,8           | 99                  | 1,004                           |
| 1010      | 11:20:10            | 8               | -3,8           | 214                 | 1,004                           |
| 1011      | 11:22:09            | 10              | -5,8           | 353                 | 1,004                           |
| 1012      | 11:22:28            | 12              | -7,8           | 8110                | 1,009                           |
| 1013      | 11:24:08            | 14              | -9,8           | 31466               | 1,024                           |

Tabel 11: Pompstalen genomen ongeveer een uur na de eerste lossing (11:00). De stalen gemarkeerd in grijs zijn dieper dan de onderwaterdam. De stalen gemarkeerd in donkergrijs zijn genomen in de top van de sliblaag

| Pompstaal | Lokale tijd (UTC+2) | Waterdiepte (m) | Diepte (m TAW) | Concentratie (mg/l) | Densiteit (Ton/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 1014      | 11:53:39            | 8               | -3,8           | 20                  | 1,004                           |
| 1015      | 11:55:00            | 10              | -5,8           | 118                 | 1,004                           |
| 1016      | 11:56:03            | 12              | -7,8           | 7333                | 1,009                           |
| 1017      | 11:57:11            | 14              | -9,8           | 49043               | 1,034                           |

## G.3 Lossing 2

Tabel 12: Pompstalen genomen ongeveer een half uur na de tweede lossing (13:16). De stalen gemarkeerd in grijs zijn dieper dan de onderwaterdam. De stalen gemarkeerd in donkergrijs zijn genomen vlak boven de top van de sliblaag

| Pompstaal | Lokale tijd (UTC+2) | Waterdiepte (m) | Diepte (m TAW) | Concentratie (mg/l) | Densiteit (Ton/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 1018      | 13:42:15            | 6               | -1,8           | 101                 | 1,004                           |
| 1019      | 13:43:03            | 8               | -3,8           | 167                 | 1,004                           |
| 1020      | 13:44:19            | 10              | -5,8           | 533                 | 1,004                           |
| 1021      | 13:47:39            | 12              | -7,8           | 24740               | 1,019                           |

Tabel 13: Pompstalen genomen ongeveer een uur na de tweede lossing (13:16). De stalen gemarkeerd in grijs zijn dieper dan de onderwaterdam. De stalen gemarkeerd in donkergrijs zijn genomen vlak boven de top van de sliblaag

| Pompstaal | Lokale tijd (UTC+2) | Waterdiepte (m) | Diepte (m TAW) | Concentratie (mg/l) | Densiteit (Ton/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------------------|
| 1022      | 14:14:21            | 6               | -1,8           | 44                  | 1,004                           |
| 1023      | 14:15:36            | 8               | -3,8           | 45                  | 1,004                           |
| 1024      | 14:16:38            | 9               | -4,8           | 66                  | 1,004                           |
| 1025      | 14:17:41            | 10              | -5,8           | 102                 | 1,004                           |
| 1026      | 14:18:37            | 11              | -6,8           | 185                 | 1,004                           |
| 1027      | 14:19:33            | 12              | -7,8           | 29442               | 1,022                           |

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

**T** +32 (0)3 224 60 35

**F** +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)