



Vlaanderen
is wetenschap

18_059_1
WL rapporten

Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken

Deelrapport 1
Overzicht meetinstrumenten en analyse meetcampagne 3
m.b.t. densiteitsinstrumenten

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken

Deelrapport 1: Overzicht meetinstrumenten en analyse meetcampagne 3 m.b.t. densiteitsinstrumenten

Meire, D.; Ibanez, M.; Claeys, S.; 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 2020
D/2020/3241/31

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Ibanez, M.; Claey, S.; Mostaert, F. (2020). Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken: Deelrapport 1: Overzicht meetinstrumenten en analyse meetcampagne 3 m.b.t. densiteitsinstrumenten. Versie 5.0. WL Rapporten, 18_059_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2020R18_059_1
Keywords (3-5):	Slib, meetinstrumenten, densiteitsmetingen, profielprikken,		
Tekst (p.):	104	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s)	Meire, D.; Ibanez, M.
-----------	-----------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Claey, S.	Getekend door: Slyn Claey (Signature) Getekend op: 2020-02-13 10:00:39 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Slyn Claey</i>
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2020-02-13 09:46:30 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-02-13 08:49:26 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

In het kader van de optimalisatie van het opvolgen van baggerwerken heeft afdeling Maritieme Toegang een aantal densiteit-gerelateerd meetinstrumenten aangekocht. Deze instrumenten vertegenwoordigen de verschillende meetprincipes die op de markt ter beschikking zijn voor het bemeten van in-situ densiteit van (bagger)slib. Met deze aankoop en het uittesten van de instrumenten probeert aMT een beheersvraag te beantwoorden: **“Met welk densiteit-instrument (of combinatie van instrumenten), met welke nauwkeurigheid en met welke herhaalbaarheid kunnen we het baggerslib op een praktisch haalbare manier opmeten”**. Naast densiteit werden ook meettoestellen aangekocht om de sterkte van het slib in kaart te brengen.

Een aantal campagnes werden uitgevoerd in Zeebrugge voor het uittesten van de haalbaarheid van het inzetten van een aantal instrumenten. Deze haalbaarheid bestaat uit: gebruiksvriendelijkheid (manipuleerbaarheid: veiligheid, lateraal en temporeel inzetbaarheid, datacaptatie, dataverwerking,...), de nauwkeurigheid, de resolutie en de herhaalbaarheid.

Tijdens de eerste 2 campagnes werd er gefocust op de mobilisatie (aansluiten periferie, aanpassingen van de set-up), demobilisatie, de manipuleerbaarheid, de veiligheid, combinatiemogelijkheid van de verschillende instrumenten. Eveneens werd de integratie van externe parameters, datacaptatie en dataflow getest en op punt gesteld.

Tijdens een derde meetcampagne werd gefocust op de herhaalbaarheid, de resolutie en nauwkeurigheid van de opgenomen data voor densiteit. Voor de nauwkeurigheid is er een staalname nodig die de ground truth vertegenwoordigd. Echter door falen van de bemonsteringsapparatuur kon dit in-situ niet worden uitgevoerd. Als alternatief werd er een validatie meting in de gebouwen van het Waterbouwkundig laboratorium georganiseerd en werd slib met gekende densiteiten opgemeten.

De resultaten van deze metingen en een theoretische beschrijving van de beschouwde meetinstrumenten worden in onderliggend rapport besproken.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
1 Inleiding	1
2 Overzicht van de meetinstrumenten	2
2.1 Admodus USP	2
2.1.1 Introductie	2
2.1.2 Werkingsprincipe.....	3
2.1.3 Software	6
2.1.4 Uitvoeren van metingen	7
2.1.5 Output	9
2.2 DensX.....	11
2.2.1 Introductie	11
2.2.2 Werkingsprincipe.....	12
2.2.3 Software	13
2.2.4 Uitvoering van metingen	16
2.2.5 Output	17
2.3 Graviprobe.....	18
2.3.1 Introductie	18
2.3.2 Werkingsprincipe.....	19
2.3.3 Software	20
2.3.4 Uitvoeren van metingen	21
2.3.5 Output	23
2.4 Rheocable	24
2.4.1 Introductie	24
2.4.2 Werkingsprincipe.....	25
2.4.3 Software	26
2.4.4 Uitvoering van metingen	29
2.4.5 Output	30

2.5	Rheotune	31
2.5.1	Introductie	31
2.5.2	Werkingsprincipe	32
2.5.3	Software	33
2.5.4	Uitvoering van metingen	34
2.5.5	Output	35
2.6	Slibsampler	36
2.6.1	Introductie	36
2.6.2	Software	38
2.6.3	Uitvoeren van metingen	40
2.7	Samenvatting	44
2.7.1	Overzicht van de technische specificaties	44
2.7.2	Post-processing	46
3	Labo validatie van de instrumenten	47
3.1	Meetopstelling voor de validatie	47
3.1.1	Opstelling	47
3.1.2	Meettoestellen	48
3.1.3	Saliniteit	48
3.1.4	Korrelgrootteverdeling	48
3.1.5	Organisch materiaal	48
3.2	Resultaten: validatie slib afkomstig uit Deurganckdok	49
3.3	Resultaten: validatie slib afkomstig uit Zeebrugge	51
3.4	Resultaten: overzicht	53
4	Meetcampagne 3	55
4.1	Introductie	55
4.2	Locatie	56
4.3	Meteorologische condities en getij	58
4.3.1	Getij	58
4.3.2	Wind	60
4.3.3	Golven	61
4.4	Metingen met slibinstrumenten	62
4.4.1	Echosounding	62
4.4.2	Admodus	62
4.4.3	DensX	62
4.4.4	Rheotune	64

4.4.5	Rheocable	64
4.4.6	GraviProbe	64
4.4.7	Slibsampler	65
4.4.8	Praktische werking toestellen	65
5	Data analyse	67
5.1	Introductie	67
5.2	Instrument variabiliteit.....	70
5.2.1	Water densiteit.....	70
5.2.2	Water - slib overgang	79
5.2.3	Slib densiteit	80
5.3	Vergelijking tussen de instrumenten.....	98
6	Conclusies en aanbevelingen	101
7	Referenties	103
Appendix.....		B1
Bathymetrische opname meetzones.....		B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Tabel met belangrijkste karakteristieken van Admodus USP, zoals weergegeven door de producent	3
Tabel 2 – Overzicht van de beschikbare informatie (in '.csv' file formaat) van een Admodus USP meting	9
Tabel 3 – Technische specificaties van de DensX (DensX, 2018) zoals opgegeven door de producent.....	12
Tabel 4 – Output van een DensX meting, in '.csv' formaat	17
Tabel 5 – Technische specificaties van de Graviprobe, zoals weergegeven door de fabrikant	19
Tabel 6 – Technische specificaties van de Rheotune, zoals weergegeven door de fabrikant	32
Tabel 7 – Overzicht van de beschikbare informatie van een Rheotune meting	35
Tabel 8 – Overzichtstabel van de technische specificaties (gegeven door de leveranciers) van de beschouwde meetinstrumenten	44
Tabel 9 – Overzicht van theoretische voor- en nadelen van de verschillende densiteitstoestellen.....	45
Tabel 10 – Overzichtstabel van de technische specificaties (gegeven door de leveranciers) van de beschouwde meetinstrumenten	45
Tabel 11 – Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slibmonster 1.....	49
Tabel 12: Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slibmonster 2.....	49
Tabel 13 – Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slib van Zeebrugge.	51
Tabel 14 – Overzicht van het getij, wind en golven gedurende de meetcampagne.	59
Tabel 15 – Overzicht van praktische zaken met betrekking tot de handeling van de verschillende toestellen, zowel voordelen (links) als nadelen (rechts)	65
Tabel 16 – Overzicht van de gemiddelde, maximale en minimale verschillen voor de transecten in het Albert II dok, opgemeten op 26/04 en 27/04	85

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Afbeelding van de Admodus USP	2
Figuur 2 – Werkingsprincipe van de Admodus USP	4
Figuur 3 – Reflectie van ultrasone geluidssignalen aan linker- en rechterzijde van de sensor.....	5
Figuur 4 – Overzicht van de grafische interface van de Admodus USP.....	6
Figuur 5 – Kalibratie interface in de Admodus software.....	8
Figuur 6 – Afbeelding van het DensX toestel	11
Figuur 7 – Hoofdpagina van de DensX software	14
Figuur 8 – Gedetailleerde weergave van het controlepaneel in de DensX software.....	15
Figuur 9 – Weergave van de Graviprobe, met zijn dimensies.....	18
Figuur 10 – Werkingsprincipe van de Graviprobe.....	20
Figuur 11 – Startpagina van de GraviProbe software.....	20
Figuur 12 – Startpagina van de GraviProbe software – “process” tab.....	21
Figuur 13 – Neerlaten van het gewicht en de GraviProbe	22
Figuur 14 – Output van een Graviprobe meting, in ‘.csv’ formaat.....	23
Figuur 15 – Foto van de Rheocable. Links: Rheocable, rechts: computer en interface	24
Figuur 16 – Illustratie van de positie van een gesleept voorwerp in 2 verschillende media	25
Figuur 17 – Illustratie van het werkingsprincipe van de Rheocable.....	26
Figuur 18 – Slepen van de Rheocable.....	26
Figuur 19 – Weergave van een scherm van de Rheonavigator2 software, met name het “Rheocable” tabblad	27
Figuur 20 – Interface van de NauticDepthEdit verwerkingssoftware	29
Figuur 21 – Afbeelding van de Rheotune	31
Figuur 22 – Hoofdpagina van de Rheotune software.....	34
Figuur 23 – Figuur van de slibsamplers (links en rechts beneden) en lier (rechtsboven)	36
Figuur 24 – Figuur van de slibsamplers, met aanduiding van de verschillende onderdelen	37
Figuur 25 – Figuur met de dimensies van de slibsamplers	37
Figuur 26 – Hoofdpagina van de SMPL-001 software	38
Figuur 27 – Instellingen in de SMPL-001 software	39
Figuur 28 – Foto van de plug voor het hervullen van de druktank	40
Figuur 29 – Foto van de connectie op de eindvork	41
Figuur 30 – Foto van de ontluchtingsplug op de “control pod”	41
Figuur 31 – Foto van de bovenkant van de “control pod” connecties.....	42

Figuur 32 – Foto van de samplebuis met de zuiger en opening met balg.....	42
Figuur 33 – Foto van de onderkant van de “control pod” connectie, met vergrendelingsmechanisme voor het bevestigen van de samplingsbuis	42
Figuur 34 – Foto van de bovenkant van de samplebuis	43
Figuur 35 – Densiteitsprofiel opgemeten met de Admodus (profiel 1, 27-06-2017).....	46
Figuur 36 – Recipiënt en mixen van de samples voor de eerste validatie	47
Figuur 37 – Foto van de pyknometer (links) en de Anton Paar densiteitsmeter (rechts).....	48
Figuur 38 – Gemeten densiteit met Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en pyknometer voor slibmonster 1 uit Deurganckdok en 10 verdunningen	50
Figuur 39 – Gemeten densiteit met Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en pyknometer voor slibmonster 2 uit Deurganckdok en 7 verdunningen.	51
Figuur 40 – Gemeten densiteit met DensX, Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en Pyknometer voor slibmonster uit Zeebrugge en 4 verdunningen.	52
Figuur 41 – Overzicht van het absolute verschil tussen het betreffende meetinstrument en de pyknometer.	53
Figuur 42 – Overzicht van het relatieve verschil tussen het betreffende meetinstrument en de pyknometer.	54
Figuur 43 – Overzicht van het meetprogramma gedurende de in-situ meetcampagne in april – mei 2018..	55
Figuur 44 – Overzicht van de voorhaven van Zeebrugge, met priklocaties in CDNB (rood), Albert-II dok (blauw), ZP1 (geel) en ZP2 (oranje).	56
Figuur 45 – Overzicht van bathymetrische opname in de haven van Zeebrugge, gemeten met single beam	57
Figuur 46 – Verloop van het getij bij de Leopold-II dam te Zeebrugge, gedurende de meetcampagne.	58
Figuur 47 – Overzicht van de gemeten windsnelheid (gemiddelde en maximum windsnelheid per seconde) tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.....	60
Figuur 48 – Overzicht van de gemeten golfhoogtes tijdens de meetcampagne, ter hoogte van Zeebrugge Zandopvangkade	61
Figuur 49 – Densiteitsprofiel op meetlocatie ZP1_10 (X=514133.384 m, Y=5688153.302 m) gemeten met de DensX, Admodus USP en Rheotune.	67
Figuur 50 – Typisch densiteitsprofiel.....	68
Figuur 51 – Typisch densiteitsprofiel, hier opgemeten op locatie A2_72 met de Admodus.	69
Figuur 52 – Gemiddelde waterdichtheid met standaarddeviatie voor alle meetlocaties en alle toestellen..	70
Figuur 53 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Admodus gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.	71
Figuur 54 – Densiteitsprofielen waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.	72
Figuur 55 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de DensX gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.	73
Figuur 56 – Densiteitsprofielen, gemeten met de DensX, waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.	74

Figuur 57 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Rheotune (Vlaamse Hydrografie) gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.....	75
Figuur 58 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Rheotune (GeoXYZ) gedurende de meetcampagne, in ZP1	76
Figuur 59 – Densiteitsprofielen, gemeten met de Rheotune (Vlaamse Hydrografie), waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.....	77
Figuur 60 – Densiteitsprofielen, gemeten met de Rheotune (GeoXYZ), waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.	78
Figuur 61 – Relatie tussen de slib – water overgang gemeten met de densiteitstoestellen en de ligging van de 210 kHz, per meetdag voor van links naar rechts. 17/04; 18/04; 23/04; 24/04; 26/04; 27/04; 2/05 en 3/05.	79
Figuur 62 – $\Delta 1.2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne gemeten met de Admodus USP.....	81
Figuur 63 – Voorbeelden van metingen met de Admodus, waarbij $\Delta 1,2$ (m) groter is dan 0,8m.	82
Figuur 64 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de Admodus.....	83
Figuur 65 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 26/04/2018, gemeten met de Admodus.....	84
Figuur 66 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 27/04/2018, gemeten met de Admodus.....	84
Figuur 67 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in CDNB (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de Admodus.....	85
Figuur 68 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de Admodus.....	86
Figuur 69 – $\Delta 1.2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne gemeten met de DensX.	87
Figuur 70 – Voorbeelden van metingen met de DensX, waarbij $\Delta 1,2$ (m) groter is dan 0,8m.....	88
Figuur 71 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de DensX.....	89
Figuur 72 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 26/04/2018, gemeten met de DensX.....	90
Figuur 73 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 27/04/2018, gemeten met de DensX.....	90
Figuur 74 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in CDNB (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de DensX.....	91
Figuur 75 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de DensX.....	92
Figuur 76 – $\Delta 1,2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne, gemeten met de Rheotune	93
Figuur 77 – $\Delta 1,2$ gemeten door GeoXYZ, met een Rheotune	93
Figuur 78 – Voorbeelden van metingen met de Rheotune, opgemeten door Vlaamse Hydrografie, waarbij $\Delta 1,2$ (m) groter is dan 0,8m.	94

Figuur 79 – Voorbeelden van metingen met de Rheotune, opgemeten door GeoXYZ, waarbij Δ 1,2 (m) groter is dan 0,8m.	95
Figuur 80 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de Rheotune. Links zijn de metingen in CDNB (03/05/2018) weergegeven, rechts in ZP1 (02/05/2018).....	96
Figuur 81 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in CDNB (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de Rheotune	96
Figuur 82 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de Rheotune	97
Figuur 83 – Densiteitsprofiel opgemeten met de DensX (5 metingen) en de Admodus (5 metingen), met het schip vast aan de kade.....	98
Figuur 84 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDNB 58).	99
Figuur 85 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDNB 58): selectie van de meetprofielen.....	99
Figuur 86 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDNB 58).....	100
Figuur 87 – Bathymetrische opname Albert II dok.....	B1
Figuur 88 – Bathymetrische opname CDNB	B2
Figuur 89 – Bathymetrische opname Zwaaiplaats 1 (Z1)	B3
Figuur 90 – Bathymetrische opname Zwaaiplaats 2 (Z2)	B4

1 Inleiding

In het kader van de optimalisatie van het opvolgen van baggerwerken heeft afdeling Maritieme Toegang een aantal densiteit-gerelateerd meetinstrumenten aangekocht. Deze instrumenten vertegenwoordigen de verschillende meetprincipes die op de markt ter beschikking zijn voor het bemeten van in-situ densiteit van baggerslib. Met deze aankoop en het uittesten van de instrumenten probeert aMT een beheersvraag te beantwoorden: **“Met welk densiteit-instrument (of combinatie van instrumenten), met welke nauwkeurigheid en met welke herhaalbaarheid kunnen we het baggerslib op een haalbare manier opmeten”**. Naast densiteit werden ook meettoestellen aangekocht om de (schuif)weerstand van het slib in kaart te brengen en voor het nemen van slibstalen.

Een aantal campagnes werden uitgevoerd in Zeebrugge voor het uittesten van de haalbaarheid van het inzetten van een aantal instrumenten. Deze haalbaarheid bestaat uit: gebruiksvriendelijkheid (manipuleerbaarheid: veiligheid, lateraal en temporeel inzetbaarheid, datacaptatie, dataverwerking,...), de nauwkeurigheid, de resolutie en de herhaalbaarheid van de metingen.

In dit rapport wordt enerzijds een uitvoerige beschrijving van de meetinstrumenten gegeven (hoofdstuk 2), zowel m.b.t. de theoretische achtergrond als een overzicht van het praktisch gebruiksgemak van de toestellen. Hierbij worden alle toestellen besproken die door aMT werden aangekocht, zowel de toestellen voor het opmeten van densiteit als deze voor het meten van sterkte (overgangen) in slib.

Anderzijds wordt ook een uitgebreide analyse weergegeven van de derde meetcampagne te Zeebrugge. In deze campagne, uitgevoerd in de periode april – mei 2018 en beschreven in hoofdstuk 4, werden drie meettoestellen gebruikt, met name de Admodus USP (hoofdstuk 2.1), de DensX (hoofdstuk 2.2) en de Rheotune (hoofdstuk 2.5). De meetresultaten van deze toestellen werden eveneens gevalideerd in het Waterbouwkundig Laboratorium, zoals beschreven in hoofdstuk 3. Een overzicht van de verwerking van de metingen, gefocust op de herhaalbaarheid van de metingen, is weergegeven in hoofdstuk 5.

2 Overzicht van de meetinstrumenten

In dit hoofdstuk worden de verschillende instrumenten besproken die aangekocht zijn door afdeling Maritieme Toegang. Deze toestellen werden enerzijds ontwikkeld voor het meten van de densiteit (Admodus USP, DensX, Rheotune) en anderzijds voor het meten van de sterkte van het slib, de reologie (Graviprobe, Rheocable, Rheotune). Eén toestel werd ontwikkeld voor het nemen van slibstalen, met name de slibsampler. In de beschouwde meetcampagne werd gefocust op de toestellen die gericht zijn op het meten van densiteit, het gaat hier dus om de Admodus USP (sectie 2.1), de DensX (sectie 2.2) en de Rheotune (sectie 2.5). Een overzicht van de karakteristieken van alle instrumenten is weergegeven in sectie 2.7.

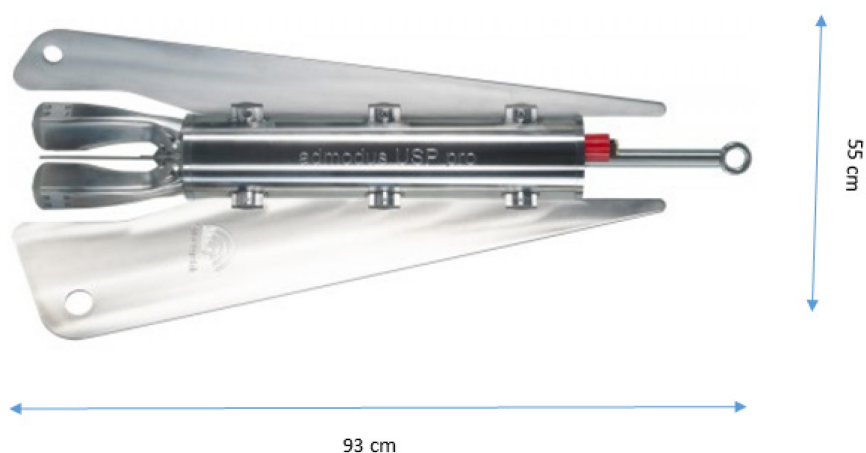
2.1 Admodus USP

2.1.1 Introductie

De “Admodus USP pro” is een meetinstrument ontwikkeld door Synergetik voor het meten van de slibdensiteit (<https://admodus.de/en/products/usp-pro/>), gebaseerd op een akoestisch meetprincipe. De technische informatie die hieronder is weergegeven komt uit de handleiding van het toestel (Synergetik, 2016).

Een foto van de Admodus USP is weergegeven in Figuur 1. De Admodus USP is ca. 0,93 m hoog en 0,55 m breed. Samen met de vleugels, die afneembaar zijn, weegt het instrument 35,8 kg. De belangrijkste karakteristieken van de Admodus zijn weergegeven in Tabel 1.

Figuur 1 – Afbeelding van de Admodus USP (Geo-matching, 2018)



De Admodus USP wordt gebruikt om een diepteprofiel op te meten voor de volgende parameters: densiteit, temperatuur, geluidssnelheid en akoestische damping, afhankelijk van de frequentie. Met behulp van de druk sensor en 3D versnellingsmeter worden ook volgende parameters opgeslagen gedurende het neerlaten van de probe: diepte, daalsnelheid en de hellingshoek. De Admodus USP kan gekoppeld worden aan een externe GPS, waardoor de exacte geografische positie kan worden opgeslagen.

Tabel 1 – Tabel met belangrijkste karakteristieken van Admodus USP, zoals weergegeven door de producent (Synergetik, 2016).
De derde kolom geeft de specificaties weer in éénheden, gebruikt in de meetcampagne

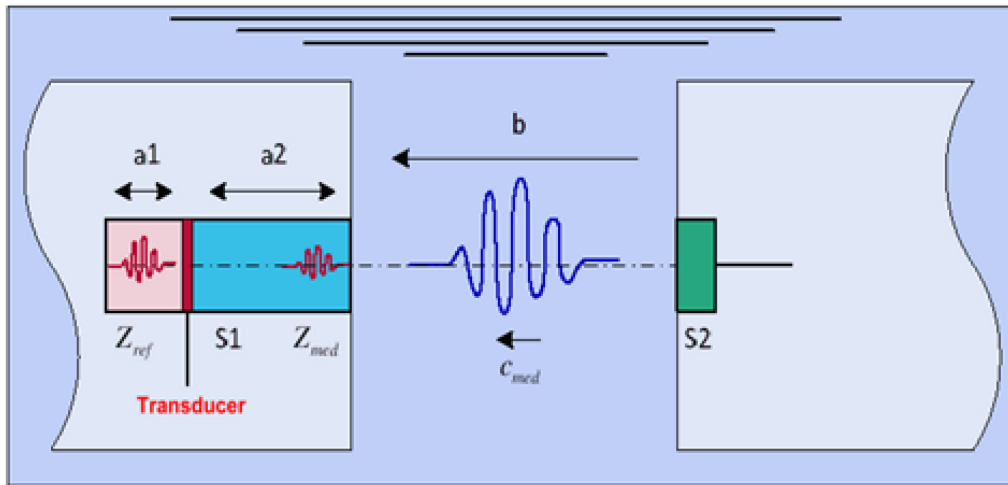
Model	Admodus USP	
Gewicht	35,8 kg (met vleugel) 28,4 kg (zonder vleugel)	
Afmetingen	93 cm x 55 cm (vleugels) 93 cm x 18 cm (zonder vleugels)	
Maximale diepte	40 m	
Interne/externe sampling rate	4 kHz / 50 Hz	
Densiteit: resolutie/nauwkeurigheid	0,001 g/cm ³ / ± 0,005 g/cm ³	
Verticale resolutie	< 1 cm (verticale snelheid : < 0,5 m/s)	
Druk: range	0 tot 5 bar	0 – 50 m
Druk: Resolutie/nauwkeurigheid	0,001 bar / ± 0,0015 bar	0,01 m / ± 0,015 m
Temperatuur: Resolutie/nauwkeurigheid	0,1°C / ± 0,15°C	

2.1.2 Werkingsprincipe

De Admodus USP Pro is een akoestisch instrument, met een operationele frequentie van 2MHz. De Admodus USP Pro meet drie ultrasonische parameters:

- Akoestische impedantie van het medium (Z_{med} [Pa.s/m³])
- Geluidssnelheid binnen het medium (c_{med} [m/s])
- Ultrasonische transmissie karakteristieken van het medium, demping

Figuur 2 – Werkingsprincipe van de Admodus USP (uit Claeys et al., 2013; Greiser et al., 2009)



Een geluidsgolf wordt uitgezonden door de transducer van de linkse sensor, aangeduid in Figuur 2. De uitgezonden geluidsgolven propageren in beide richtingen (a1 en a2) en worden gereflecteerd op beide einden van de sensoren. De amplitude van de gereflecteerde ultrasonische geluidsgolf is afhankelijk van de akoestische impedantie van het referentiemedium binnen de sensor (Z_{ref}) en buiten de sensor (Z_{med}).

De akoestische impedantie van het medium (Z_{med}) wordt berekend met behulp van volgende vergelijking:

$$Z_{med} = \rho_{sensor} \cdot c_{sensor} \cdot \frac{1 + r}{1 - r}$$

hierbij is r de reflectiecoëfficiënt [-], ρ_{sensor} de dichtheid van het sensormedium [kg/m^3] en c_{sensor} de geluidssnelheid binnen het referentiemedium van de sensor [m/s].

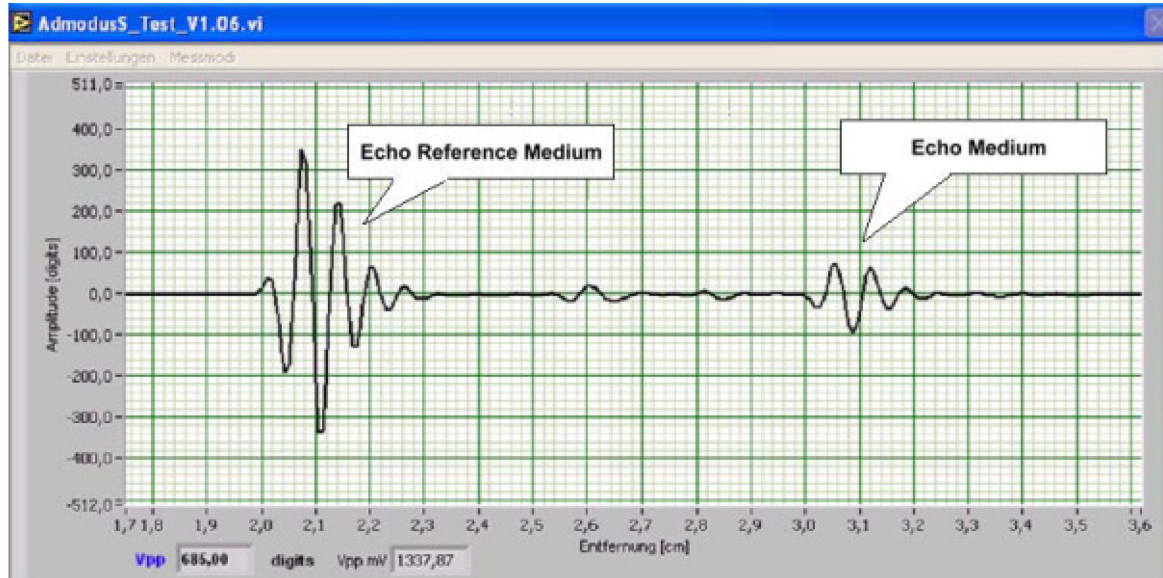
Om de waarde van de reflectiecoëfficiënt r te meten, is het nodig om de amplitude van de gereflecteerde geluidssignalen te registreren, met name A_{med} and A_{ref} [m]. De reflectiecoëfficiënt r wordt berekend aan de hand van:

$$r = \frac{A_{med}}{A_{ref}} \cdot \frac{-1}{k}$$

met k [-] een sensor specifieke kalibratie coëfficiënt, gegeven door de fabrikant.

De geluidssignalen zijn weergegeven in Figuur 3. De x-as in Figuur 3 is de afstand (in cm) binnen de Admodus USP Pro sensor S1 (Figuur 2). Aanvullende berekeningen worden gedaan met behulp van speciale algoritmes, voor de compensatie van temperatuur afhankelijke veranderingen van de geluidssnelheid gemeten binnen het referentiemateriaal. Deze compensaties zullen de waarden voor de amplitudes A_{med} en A_{ref} beïnvloeden (beschreven in het Duitse octrooi DE 101 12 583 C2, uitgegeven door Siemens AG op 27 maart 2003). De bepaling van de temperatuurafhankelijke compensatie is gebaseerd op de relatie tussen de geluidssnelheid en de verzwakking van het sensor referentiemedium. De meest nauwkeurige densiteitsmetingen zullen optreden wanneer de temperatuur van het materiaal van de sensor dezelfde is als de temperatuur van het te bemeten medium buiten de sensor. Voor de metingen in het veld moeten de sensoren “acclimatiseren” voordat de meting start, om er zeker van te zijn dat de temperatuur voor zowel sensoren als medium hetzelfde is.

Figuur 3 – Reflectie van ultrasone geluidssignalen aan linker- en rechterzijde van de sensor (Claeys et al., 2013).



De geluidssnelheid binnen een medium is gebaseerd op de transmissietijd van het ultrasone geluidssignaal uitgezonden door de tweede sensor (S2) naar de ontvanger van de linkse sensor (S1). Deze meting wordt gecorrigeerd door de tijd die de transducer nodig heeft om de maximale signaal intensiteit te bereiken en door de reistijd af te trekken door de sectie van de sensor, aangeduid als a_2 in Figuur 2. De geluidssnelheid binnen het medium wordt gevonden met behulp van volgende vergelijking:

$$c_{med} = \frac{d_b}{t_b}$$

Met t_b [s] de reistijd van S1 naar S2 en d_b [m] de afstand tussen S1 en S2.

De dichtheid [kg/m^3] van het medium, direct gemeten aan de rechterzijde van de impedantiesensor, wordt berekend als:

$$\rho_{med,surface} = \frac{Z_{med}}{c_{med}}$$

De bepaling van de dichtheid op deze manier is geldig voor homogene media. Voor heterogene (meergefasige) media, zal deze dichtheitswaarde niet exact overeenkomen met de gemiddelde dichtheid van een groter volume van het medium. Daarom werd een correctie factor experimenteel bepaald. De correctiefactor wordt bepaald op basis van de veranderingen van de geluidsgolven, uitgezonden door transducer S2, nadat deze het beschouwde medium zijn gepasseerd. In dit verband, is de Admodus output voor dichtheid een combinatie van dichtheitswaarden: één waarde direct gemeten aan de oppervlakte van de sensor en een tweede waarde (integrale dichtheitswaarde) meer direct gelinkt aan de akoestische eigenschappen van het volume van het monster dat gepenetreerd wordt door ultrasone geluidsgolven.

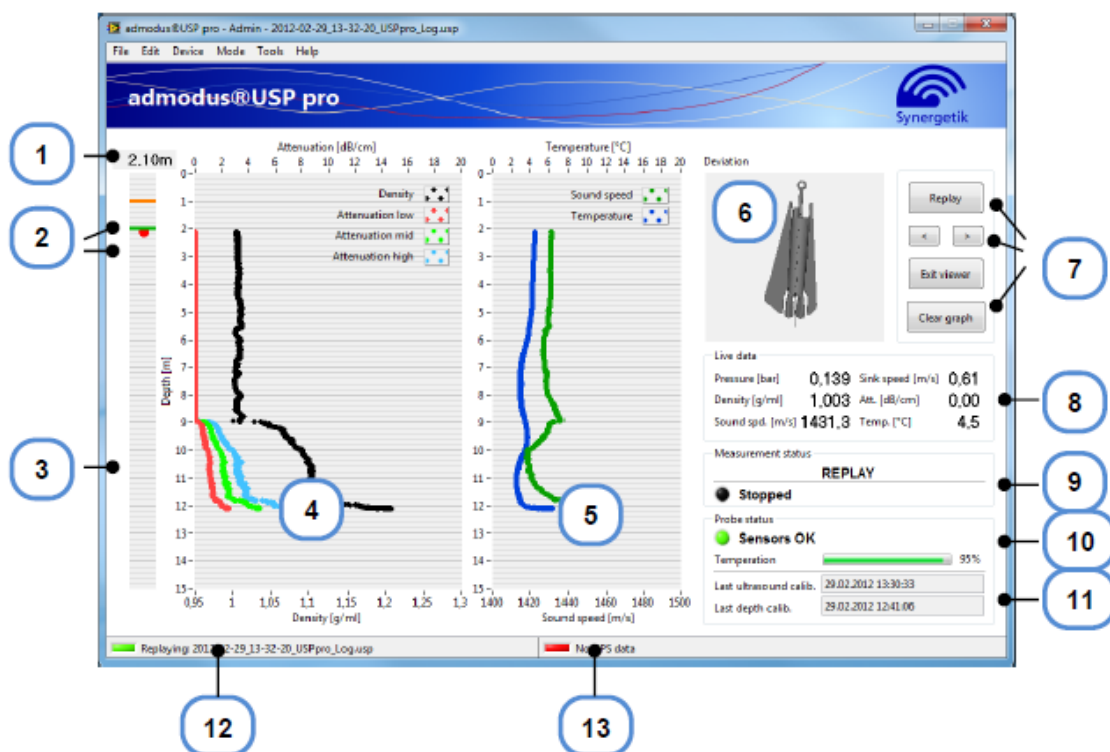
Gedurende een profielmeting, wordt het medium door de Admodus USP continu akoestisch gescand, waardoor een diepteprofiel wordt opgemeten van volgende variabelen: dichtheid, geluidssnelheid, temperatuur en akoestische demping (afhankelijk van de frequentie).

2.1.3 Software

Figuur 4 geeft de grafische interface van de Admodus USP software weer, welke tijdens de metingen beschikbaar is. Deze interface is opgebouwd uit 4 kolommen. De meest linkse kolom geeft de diepte locatie van de sensor aan. In de tweede kolom, wordt in een diepteprofiel het verloop van de densiteit en de akoestische demping weergegeven.

In de derde figuur wordt het verloop van de temperatuur en daaraan gerelateerde geluidssnelheid weergegeven. In de derde kolom worden een aantal actuele meetwaarden meegegeven, net zoals de status van de meting en het meettoestel.

Figuur 4 – Overzicht van de grafische interface van de Admodus USP (uit Synergetik, 2016).



- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | Current depth of US-transducers
Click for depth calibration | 2 | Marker for automatic-mode |
| 3 | Current position of the probe | 4 | Density- and attenuation graph |
| 5 | Temperature- and sound velocity graph | 6 | 3D-orientation of the probe |
| 7 | Control elements | 8 | Realtime data of the probe |
| 9 | Measurement procedure and play-back info | 10 | Sensor status and tempering |
| 11 | Time stamp of last calibration | 12 | Probe connection status, serial number and playback information |

2.1.4 Uitvoeren van metingen

De procedure die gevolgd wordt voor het uitvoeren van metingen wordt hierop volgend weergegeven:

1) Set-up

Het meetinstrument moet via het bevestigingssoog met een geschikte davit worden verbonden. De verbindingkabel moet worden vastgezet (met trekontlasting) in de buurt van de sensorophanging en over een katrol op de kraan worden geleid.

Het oliereservoir van de druksensor (dieptemeting) moet worden geopend met de meegeleverde sleutel. De dop van het oliereservoir en het afgesloten buisje van de stijgleiding moeten schoon zijn. Na het reinigen van het oliereservoir moet het reservoir worden opgevuld met naaimachineolie. De stijgbuis moet vrij zijn van luchtbellens en volledig zijn opgevuld met olie. De blinde stop moet worden verwijderd. De zeewaterbestendige voedingskabel moet vervolgens aan de ene kant worden aangesloten op de sonde en aan de andere kant op het terminalsysteem dat aan boord is geïnstalleerd.

De vier ultrasone transducers en de temperatuursensor moeten zorgvuldig worden gereinigd. Vanwege de temperatuurgevoeligheid van de sensoren, is het nodig de sonde te “acclimatiseren” vóór de kalibratie of een meting uit te voeren. Dit kan eenvoudig gebeuren door de sonde 5 minuten in het water te dompelen.

2) Kalibratie

Voor het uitvoeren van metingen, moet een kalibratie worden uitgevoerd, om te compenseren voor een verloop van de ultrasone transducers. De volgende stappen worden doorlopen bij het kalibratieproces:

a) Kuisen van de sensoren

Voor aanvang van de kalibratie moeten de vier sensoren worden gekuist, vuil op deze sensoren kan de kalibratie verstoren.

b) Zoutconcentratie

De saliniteit (uitgedrukt in PSU units) moet worden ingegeven in de software

c) Onderdompelen van de probe in de kalibratievloeistof

De probe moet volledig worden ondergedompeld in de vloeistof gedurende de kalibratie van het toestel. Dit medium moet zuiver en helder zijn, deeltjes of luchtbellens kunnen de kalibratie verstoren.

d) Sensor stabilisatie

Om een goede kalibratie te bekomen, wordt door de software de actuele sensorwaarden getest. Enkel wanneer stabiele waarden worden bereikt, kan de ‘Next’ toets worden gebruikt.

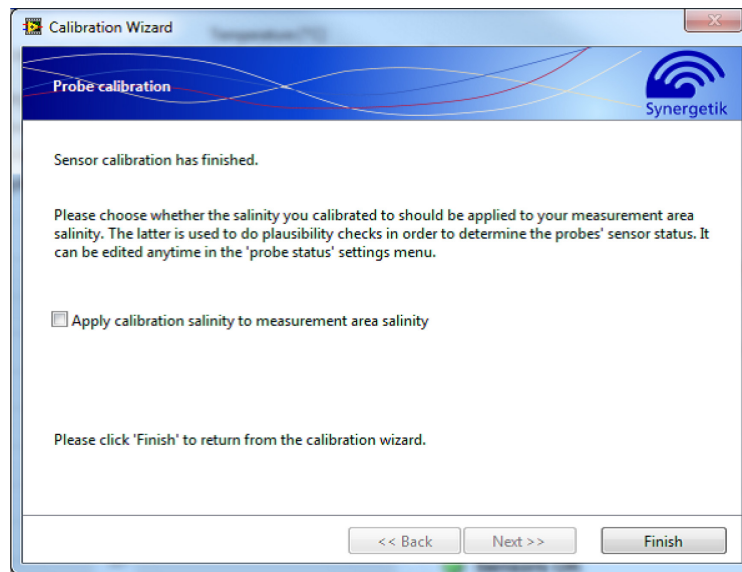
e) Verificatie van de kalibratie

Bij het mislukken van de kalibratie, wordt de laatst geldende kalibratie automatisch hersteld.

f) Afronden van de kalibratie

Na kalibratie kan de Admodus USP worden gebruikt in water met een willekeurig zoutgehalte. Het zoutgehalte van het te meten staal kan verschillen van het zoutgehalte van het staal dat wordt gebruikt voor kalibratie.

Figuur 5 – Kalibratie interface in de Admodus software (Synergetik, 2016)



3) Uitvoeren van metingen

- a. De verwachte waarden zijn afhankelijk van het zoutgehalte van het meetgebied dat moet worden ingesteld in het configuratiemenu. Een onjuist ingevoerde waarde kan ertoe leiden dat de sonde niet kan worden gebruikt voor de meting, omdat de verwachte geluidssnelheid en -dichtheid niet samenvallen met de gemeten waarden.
- b. De sensor wordt neergelaten met een (variabele) snelheid van de kraan/davit
- c. Wanneer de kabelspanning verdwijnt, bereikt de sensor zijn diepste punt en kan hij terug worden opgehaald. De sonde kan met behulp van de kraan/davit met een gedefinieerde snelheid worden neergelaten. Een daalsnelheid van 0,5 m/s leidt tot een verticale resolutie van ongeveer 1 cm. Bij lagere snelheden kan de sonde de volledige sliblaag niet penetreren, bij hogere snelheden kan de sonde worden beschadigd.
- d. De metingen kunnen handmatig worden gestart en gestopt. In de "hands-free" automatische modus wordt starten en stoppen automatisch door het programma uitgevoerd. In de "hands-free" automatische modus worden de zinksnelheid en de hellingshoek van de sonde gebruikt voor het automatisch stoppen van de meting.
- e. Na het stoppen van de meting moet de sonde volledig uit het water worden gehaald
- f. De sensoren moeten tussen de metingen worden gereinigd.
- g. De vier ultrasone transducers, de temperatuursensor en de dieptesensor moeten visueel worden gecontroleerd. Sedimentdeeltjes mogen niet op de sensoren blijven plakken. De stijgbuis van de druksensor moet vrij zijn van vuildeeltjes.
- h. De dieptekalibratie is relatief ten opzichte van de huidige omgevingsdruk, waardoor de sonde niet ondergedompeld mag zijn tijdens de verificatie en kalibratie van de druksensor. De dieptekalibratie moet regelmatig worden gecontroleerd en indien nodig worden uitgevoerd. De verificatie wordt uitgevoerd door de werkelijke drukwaarde te observeren. Het moet in een bereik van $\pm 0,001$ bar (equivalent tot ± 1 cm) zijn. De kalibratie wordt uitgevoerd door de muis boven de "sensor diepte" aan de linker bovenkant van het venster te houden. Het display verandert dan in een roodgekleurde "Calib" -knop waarmee de kalibratie kan worden gestart.
- i. Het bedieningsprogramma geeft de huidige status van de sensoren rechtsonder weer. Nadat de sonde volledig is ondergedompeld, worden de werkelijke sensorwaarden automatisch vergeleken met de verwachte waarden. Zodra de sonde gereed is voor meting, gaat het groene lampje branden.

4) Na de meting

Om mogelijke kortsluitingen te vermijden, wordt de elektriciteit afgezet met behulp van de on/off switch. Het toestel moet gekuist worden en het oliereservoir van de dieptesensor wordt best geleegd. Voordat het toestel opnieuw in de transportkist wordt gestoken, moet nagegaan worden of het toestel volledig droog is. De vleugels van het toestel moeten worden losgemaakt.

2.1.5 Output

De data die worden opgeslagen gedurende een meting met de Admodus USP pro worden opgeslagen in een directory die gedefinieerd wordt in het 'settings' menu. De standaard naamgeving van de file is volgens het volgende formaat: "YYYY-MM-DD_HH-MM-SS_USPpro_Log", bestaande uit een ISO formaat van de datum van de meting ("YYYY-MM-DD") en de starttijd van de meting ("HH-MM-SS"). Afhankelijk van de gebruikte optie in het 'settings' menu kan naast de standaard '.USP' binaire log file, ook een '.csv' file worden geëxporteerd. Een overzicht van de informatie die in dergelijke files wordt weergegeven is te vinden in Tabel 2.

Tabel 2 – Overzicht van de beschikbare informatie (in '.csv' file formaat) van een Admodus USP meting

Label	Description	Unit
Date	Registratiedatum van het meetpunt	YYYY-MM-DD
Time	Registratietijd van het meetpunt	HH:MM:SS
Depth	Diepte op het dichtheidsmeetpunt	m
SinkSpeed	Daalsnelheid van de sonde	m/s
Pressure	Druk ter hoogte van de druksensor	bar
Temp	Omgevingstemperatuur ter hoogte van de sensorkop	°C
TempGrad	Gemiddelde temperatuurgradiënt ter hoogte van de sensorkop	°C/s
SurfDensity	Extra informatie: Dichtheid gemeten aan het oppervlak van de impedantiesensor	g/ml
IntDensity	Gemiddelde dichtheid van het medium tussen de sensorkop (weergegeven dichtheidswaarde)	g/ml
MediumSoundspeed	Gemiddelde snelheid van het geluid in het medium tussen de sensorkop	m/s
Attenuation	Gemiddelde akoestische demping in het medium tussen de sensorkop	dB/cm
Freq0	Frequentie op het eerste knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz
Att0	Verzwakking op het eerste knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Freq1	Frequentie op het tweede knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz
Att1	Verzwakking bij het tweede knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Freq2	Frequentie op het derde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz

Att2	Damping op het derde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Freq3	Frequentie op het vierde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz
Att3	Damping op het vierde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Freq4	Frequentie op het vijfde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz
Att4	Damping op het vijfde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Freq5	Frequentie op het zesde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	kHz
Att5	Damping op het zesde knooppunt van de frequentie-afhankelijke uitdoving	dB/cm
Deviation	Onbalans / pitch van de sonde	°
RelHum	Relatieve vochtigheid in de sonde (lekdetectie)	RH (%)
DepthCalibDate	Datum van de laatste kalibratie van de druksensor	YYYY-MM-DD
DepthCalibTime	Tijdstip van de laatste druksensorijking	HH:MM:SS
UltrasoundCalibDate	Datum van de laatste kalibratie van de ultrasoundsensor	YYYY-MM-DD
UltrasoundCalibTime	Tijdstip van de laatste kalibratie van de ultrasoundsensor	HH:MM:SS
Zone	Zone van de GPS-positie (relevant voor UTM-datum)	-
Easting	Oostelijke coördinaat van de GPS-positie	m
Northing	Noordencoördinaat van de GPS-positie	m
GPSSString	Ruwe gegevensreeks van de GPS-ontvanger (NMEA GPGGA)	-
QualityE1	Echosounder signaalkwaliteit van de eerste echo van de geïmporteerde dieptegegevens	-
DepthE1	Echosounder diepte van de eerste echo van de geïmporteerde dieptegegevens	m
QualityE2	Echosounder signaalkwaliteit van de tweede echo van de geïmporteerde dieptegegevens	-
DepthE2	Echosounder diepte van de eerste seconde van de geïmporteerde dieptegegevens	m
DepthString	Ruwe data string van de geïmporteerde Echosounder gegevens (Echotrac DBT)	-

2.2 DensX

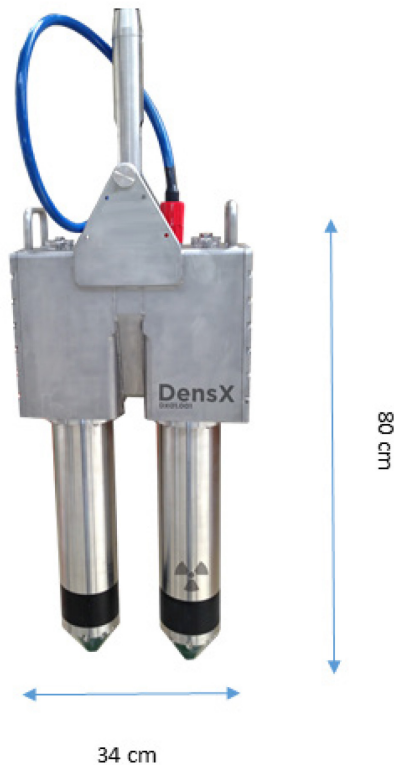
2.2.1 Introductie

Het DensX toestel is een meettoestel ontwikkeld door dotOcean (dotOcean, 2018), voor het opmeten van densiteiten van slib. De DensX is de opvolger van de Navitracker. Dit toestel, eveneens voor het meten van de densiteit van een medium, werkte met hetzelfde meetprincipe als de DensX (Vandecasteele, 2012), maar maakte gebruik van een ander brontype.

De DensX, weergegeven in Figuur 6, wordt gebruikt om densiteitsprofileringen uit te voeren. Gedurende het neerlaten van de probe wordt een diepteprofiel opgemeten van volgende parameters: densiteit, snelheid van de lier, koppel van de lier en de helling van de DensX.

De opgemeten data wordt in real time getoond in de display module (PC) en opgeslagen voor later gebruik.

Figuur 6 – Afbeelding van het DensX toestel (ref: witboek/handleiding leverancier dotOcean (2018))



In Figuur 6 is een afbeelding van de DensX weergegeven. Dit toestel heeft een hoogte van ca. 80 cm en is ca. 35 cm breed. Het gewicht van de DensX probe is 70 kg. In Tabel 3 zijn de technische specificaties, zoals meegedeeld door de producent (dotOcean, 2018), opgelijst.

Tabel 3 – Technische specificaties van de DensX (DensX, 2018) zoals opgegeven door de producent (kolom 2).
De derde kolom geeft de specificaties weer in éénheden, gebruikt in de meetcampagne

Model	DensX	
Type	DX-01003	
Gewicht	70 kg	
Afmetingen	70x34x13 (WxHxD in cm)	
Densiteit: range	1 – 1,5 kg/l	
Densiteit: nauwkeurigheid	-2,5 +2,5 ‰	± 0,003 g/cm ³ (@ 1,2 g/cm ³)
Druk: range	0 – 3.5 bar	0 - 35 m (H ₂ O)
Druk: resolutie	0,00014 bar	0,0014 m (H ₂ O)
Diepte: nauwkeurigheid	± 1.5 ‰	± 0,15 m (@ 10m)
Activatiediepte	5 m	
Stabiliteit	< 0,1 ‰ (5 – 40 °C)	
Straling	1 µSv/h (afstand < 10 cm)	
X-ray voltage	< 30 kV	
Vermogen	< 20 Watt	

2.2.2 Werkingsprincipe

Het werkingsprincipe van de DensX is gebaseerd op de transmissie van X-stralen. In de DensX zijn een X-stralen bron en detector aanwezig, meer bepaald in de “benen” van de DensX. De X-stralen bron is aangeduid met een X-stralen logo (zoals te zien in Figuur 6). De fotonen, die worden uitgezonden door de X-stralen bron, interageren met de elektronen van het medium langs hun pad. Hoe hoger de densiteit van het onderzochte medium, hoe groter het aantal elektronen die aanwezig zijn. Enkel de fotonen die worden opgevangen door de detector, meer bepaald het kristal NaI(Tl), worden geregistreerd. De signalen die door de detector worden opgevangen nemen af volgens een exponentiële functie naarmate het aantal aanwezige elektronen toeneemt.

De relatie tussen de densiteit van het beschouwde medium d [kg/m³] en de waarde van het signaal opgemeten door de detector, is:

$$d = K d_0 + K d_1 \left(\frac{Nc}{N_0} - 1 \right) + K d_2 \ln \left(\frac{Nc}{N_0} \right)$$

met d de densiteit van het beschouwde medium [g/cm³], N_0 het opgemeten signaal in zuiver water en $K d_0$, $K d_1$ en $K d_2$ de kalibratiecoëfficiënten voor de DensX.

De eerste beschouwde term in voorgaande vergelijking, $K d_o$, is gerelateerd aan de saliniteit, de tweede beschouwde term $K d_1 \left(\frac{N_c}{N_0} - 1 \right)$ is gerelateerd aan de verstrooiing van de DensX. Deze laatste term wordt bij de DensX gelijkgesteld aan nul (mondelinge communicatie, dotOcean). De derde term $K d_2 \ln \left(\frac{N_c}{N_0} \right)$ wordt gebruikt voor de transmissie van de DensX. Deze laatste term wordt bepaald met behulp van slib van de te bestuderen locatie (mondelinge communicatie met dotOcean). Er kan nog een correctieterm gebruikt worden om te corrigeren voor het afnemen van de bronsterkte. De kalibratie coëfficiënten zijn specifiek voor het toestel en voor het mediumtype en worden voorzien door de producent. Deze waarden worden opgeslagen in een kalibratiefile en ingeladen in de software. Additioneel kan ook een extra correctieterm worden gebruikt in het geval van het afnemen van de bronsterkte. Het toestel moet voor elke meetcampagne worden nagekeken om de goede werking te garanderen en een accurate kalibratie te verzekeren.

Het driften van de X-stralen bron wordt gecontroleerd door het plaatsen van metalen plaatjes met gekende samenstelling en dikte. Afwijking van de verwachte transmissie van de X-stralen doorheen deze plaatjes geven de drift weer. In de software kan de DensX wordt gecompenseerd worden voor deze drift. Een regelmatige controle dient te gebeuren door gespecialiseerd personeel. Bij deze handeling worden enkele van de veiligheden overbrugd en wordt in de lucht, zonder bovenstaand water, uitgevoerd. Voor dergelijke manipulaties wordt het bedrijf dotOcean ingeschakeld. Eveneens werden stralingsmetingen uitgevoerd door Controlatom in de buurt van het toestel tijdens bovenvermelde kalibratie. Ook worden kalibratie uitgevoerd in recipiënten gevuld met het te meten medium (slib), ook hier worden de veiligheden overbrugd en worden de manipulatie enkele uitgevoerd door gespecialiseerd personeel met de nodige pbm's en dosimeter. Eveneens werden metingen uitgevoerd door Controlatom en werd de veiligheid perimeter bepaald tijdens de meting.

2.2.3 Software

Met behulp van de software kan het DensX toestel worden aan- en afgezet, kan data worden opgeslagen en verwerkt, en kan de lier worden aangestuurd. De kalibratiesettings worden apart opgeslagen en moeten beschikbaar zijn op de gebruikte PC.

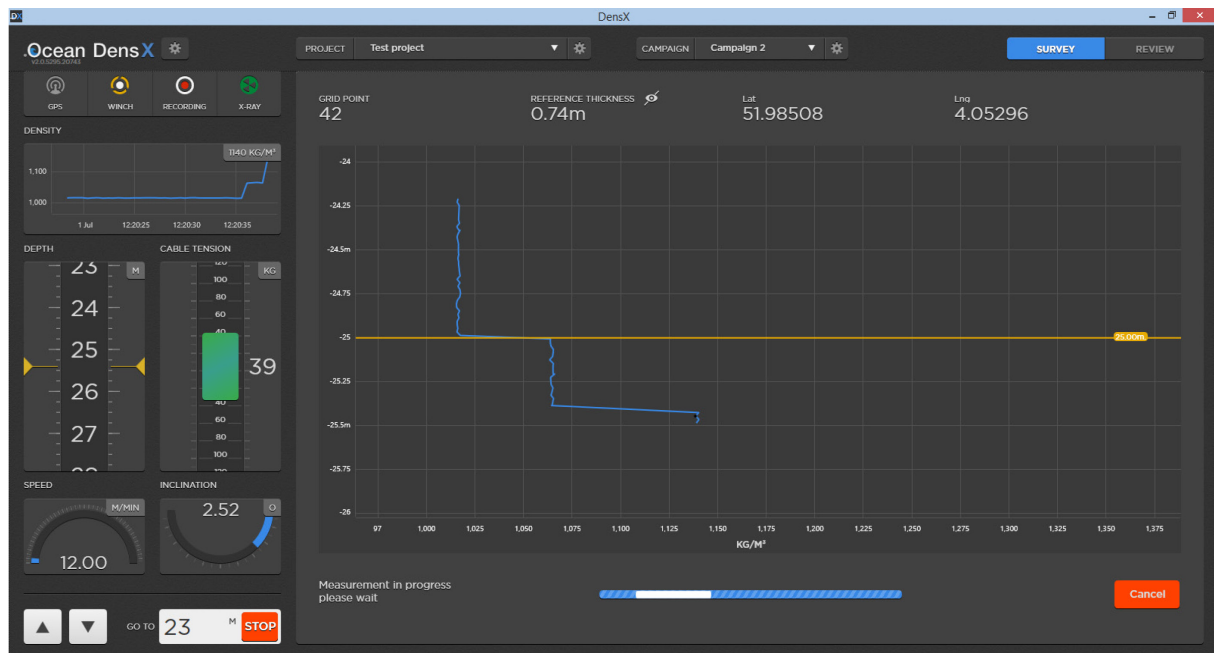
De software is project gebaseerd. Een project wordt opgeslagen in een aangepast file formaat en kan eenvoudig worden geopend. De 'settings' worden opgeslagen in de software. De directory waarin het project geopend is, wordt gebruikt als 'temp' directory. Hierdoor is het niet mogelijk andere directories te gebruiken.

De aanbevolen systeemvereisten zijn:

- +2 Ghz quad core CPU
- 6 GB RAM
- 100 GB vrije ruimte harde schijf
- Windows 7 of Windows 8
- Minimale schermresolutie: 1600x900

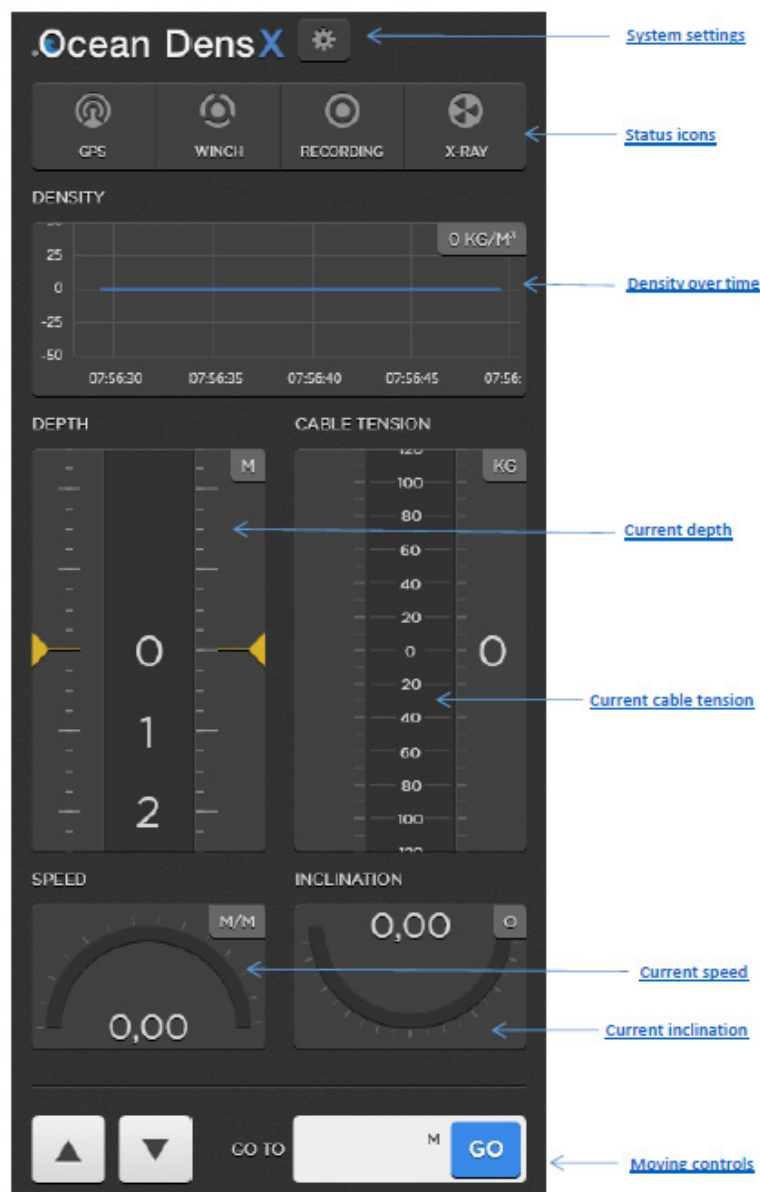
Het DensX systeem gebruikt een IPv4 network range (van 192.46.111.1 tot 192.46.111.254), dus voor de computer te verbinden met de DensX, moet de gebruiker een vast netwerk IP-adres instellen binnen Microsoft Windows.

Figuur 7 – Hoofdpagina van de DensX software (DensX, 2018)



Wanneer de DensX software wordt geopend, verschijnt de hoofdpagina, zoals weergegeven in Figuur 7. Deze bestaat uit twee kolommen. De tweede bevat de naam en locatie (lat en lon) van het meetpunt, naast een grafiek met het densiteitsprofiel. Een meer gedetailleerd overzicht van de linkerkolom, het controlepaneel, is weergegeven in Figuur 8.

Figuur 8 – Gedetailleerde weergave van het controlepaneel in de DensX software (DensX, 2018).



De volgende opties kunnen nog worden geselecteerd of afgelezen in de verschillende onderdelen, van het controlepaneel, zoals getoond in Figuur 8:

- In de stelsel instellingen ('system settings') kunnen volgende opties worden geselecteerd:
 - DensX configuratie scherm:
 - IP adres van het verbonden toestel
 - Aan te passen opties:
 - Minimum en maximum toegestane kabellengte
 - Minimum en maximum toegestane kabelspanning
 - Maximum toegestane helling
 - GPS configuratie: weergave van seriële COM-poort instellingen en status van de GPS.
 - Single-beam configuratie: weergave van seriële COM-poort instellingen en status van de single-beam

- De externe poort is een seriële output met de diepte en densiteit. De externe configuratie geeft de COM instellingen weer.
- Kalibratie instellingen worden gebruikt voor de kalibratie van het toestel.
- Er zijn twee verschillende log files in de software. De system log file slaat de veranderingen en acties in de software op. De kalibratie log file slaat alle kalibratie acties op.
- Iconen waarop de status van de verbinding met de GPS, lier, X-stralen status en registratie (opslaan) van de resultaten zijn weergegeven
- Plot met de densiteit [kg/m^3] in functie van de tijd
- Actuele diepte [m] en kabelspanning [kg] gedurende de metingen
- Snelheid [m/min] en helling [graden] gedurende de metingen. De DensX kan in twee richtingen kantelen, enkel de maximale waarde wordt weergegeven.
- Control om de DensX naar boven of beneden te bewegen

Een nieuw project kan worden gecreëerd voor aanvang van de metingen, of een bestaand project kan worden geopend voor nieuwe metingen. De lijst van opties die in een project kunnen worden gewijzigd (zie handleiding), zijn: maximale helling DensX (10°), topslib threshold ($1,05 \text{ g/cm}^3$), doeldensiteit ($1,20 \text{ g/cm}^3$), minimum sequential values (3 keer), minimale kabelspanning (20 kg), kalibratiedoel (-), coördinatensysteem (ETRS89), interpolatie opties (interpolation grid cell grootte is 5m), kwaliteit settings (met normen) en project specifieke veranderingen. De waarden tussen haakjes geven de instellingen weer tijdens de meetcampagne.

Voor deze projectspecificaties bestaan er templates, met bepaald vooraf gekozen opties. In een bepaald project kan ook een 'survey map' worden ingeladen, een grid met meetposities, waar densiteitsprofielen kunnen worden genomen. Wanneer de positie van het schip dicht bij een gridpunt valt, kan het scherm om een nieuwe meting te starten, automatisch verschijnen. Er kan ook manueel een gridpunt worden geselecteerd.

2.2.4 Uitvoering van metingen

De procedure die gevolgd wordt voor het uitvoeren van metingen wordt hierop volgend weergegeven:

1. Set-up

Het uiteinde van de datakabel moet verbonden worden met de top van de DensX. Het buisje voor de drukmeting kan gevuld worden met gewoon water. Na het vullen dient het onderste schroefje te worden gesloten. Het is belangrijk om luchtbellen in het buisje te vermijden.

2. Kalibratie

De DensX moet gekalibreerd worden met slib van de locatie van de metingen, met een frequentie van tenminste éénmaal per jaar (dotOcean, 2018). Er wordt eveneens een regelmatige kalibratie van de bron aangeraden, met koperelementen. De DensX wordt dan in de kalibratie eenheid geplaatst en koperplaatjes worden tussen de meetbenen geplaatst. Het is nuttig om een offset van de X-stralenbron op te volgen in de tijd.

Voor de kalibratie, moet het systeem worden opgezet en de volgende stappen worden gevolgd:

- a) Zet de lier op 'START' mode
- b) De DensX is in de kalibratietank en deze wordt gesloten.
- c) De sleutel van de controle unit is ingestoken en in positie "I",
- d) De software wordt opgestart in de modus "kalibratie X-stralen sensor"

3. Uitvoeren van metingen

- Instructies voor het starten van een meting:
 - Opstarten van lier om de lier en de DensX te activeren
 - Zet de lier van lokaal naar manueel en beweeg de lier met behulp van de afstandsbediening
 - Plaats de DensX in het water met de afstandsbediening tot op een diepte van (minstens) 5 m
 - Activeer de X-stralen bron van de DensX met de sleutel
 - De lier kan op 'pc mode' gezet worden, zodat de lier gestuurd wordt met behulp van de software
- Starten van de meting

Wanneer het venster m.b.t metingen geopend is, kan een nieuwe meting worden gestart en een profiel worden genomen. De snelheid van de lier wordt aangestuurd door de software. Wanneer een volledig profiel gemeten is, kunnen drie opties worden geselecteerd: de meting kan worden opgeslagen, herstart of geannuleerd.
- Instructies voor het stoppen van een meting:
 - Zet de lier van lokaal tot manueel, en beweeg de lier met de remote control
 - Deactiveer de X-stralen bron van de DensX, met behulp van de sleutel op de controle besturingseenheid
 - Plaats de DensX aan boord met behulp van de remote control
 - Kuis de DensX met zoetwater
 - Stop lier, zodat de lier en DensX toestel worden uitgezet
- Profielen:

Het is mogelijk om de diepteprofielen te herbekijken en editeren na de metingen.

2.2.5 Output

De data die opgeslagen zijn gedurende een meting met het DensX toestel worden opgeslagen in een directory die bepaald wordt in het 'settings' menu. De geselecteerde profielen kunnen geëxporteerd worden in een '.csv' file. Een voorbeeld van dergelijke file is weergegeven in Tabel 4. In deze file zijn de naam van de profielmetingen, de datum en tijdstip van de meting zelf, de densiteit, de meetpositie (latitude en longitude) en de sb_high (210 kHz) en sb_low (33 kHz) parameters weergegeven. Deze laatste twee parameters zijn parameters van de single beam meting.

Tabel 4 – Output van een DensX meting, in '.csv' formaat

Name	Date	Depth	Density	Latitude	Longitude	sb_high	sb_low
18	2017.07.05 13:55:09.012	-9.00407	1025.722	51.35316	3.197122	17.31	
18	2017.07.05 13:55:09.015	-9.0071	1025.787	51.35316	3.197122	17.31	
18	2017.07.05 13:55:09.020	-9.00473	1025.84	51.35316	3.197122	17.31	
18	2017.07.05 13:55:09.028	-9.00401	1025.828	51.35316	3.197122	17.31	
...	...	...	...	...	...	...	...

2.3 Graviprobe

2.3.1 Introductie

De GraviProbe is een instrument om reologische en densiteits-profielen op te meten, vervaardigd door dotOcean (dotOcean, 2015). Het wordt in de eerste plaats gebruikt om sterkte metingen uit te voeren. De GraviProbe wordt gebruikt als een vrije val-instrument en analyseert de sedimentlagen door penetratie van de sliblagen zelf. Onder zijn eigen gewicht versnelt het en dringt het in vloeibare en geconsolideerde sliblagen.

Figuur 9 – Weergave van de Graviprobe, met zijn dimensies (dotOcean, 2015)



Figuur 9 toont een afbeelding van de GraviProbe met de afmetingen van het instrument. Het toestel is ca. 1 m hoog en heeft een diameter van 50 mm. De GraviProbe weegt ongeveer 8 kg. De technische specificaties van de GraviProbe (dotOcean, 2015; Claeys, 2013) staan in Tabel 5.

Tabel 5 – Technische specificaties van de Graviprobe, zoals weergegeven door de fabrikant (dotOcean, 2015).
De derde kolom geeft de specificaties weer in éénheden, gebruikt in de meetcampagne.

Model	GP-R-01	
Gewicht	8 kg	
Dimensies	Ø 50 mm – lengte: 900 mm	
Diepte: range	0 – 3,5 (or 10 bar)	0 – 35 (100 m) H ₂ O
Diepte: accuraatheid	± 1,5% accuracy	± 0,015 m (@10 m)
Penetratieweerstand: bereik	0 – 100000 Pa	
Penetratieweerstand: accuraatheid	1 %	
Schuifspanning: bereik	0 – 10000 Pa	
Schuifspanning: accuraatheid	1 %	
Maximum Impact	0 – 70 G	

2.3.2 Werkingsprincipe

De GraviProbe is een vrije-val meetinstrument dat de sedimentlagen monitort door de indringing in de sliblagen. Het meetinstrument versnelt, na loslaten, onder zijn eigen gewicht en dringt in de vloeibare en geconsolideerde sliblagen. De reologische eigenschappen van deze lagen bepalen het dynamische gedrag van het toestel, dat geregistreerd wordt. De verkregen gegevens, van de ingebouwde accelerometers, inclinometers en druksensoren, wordt gebruikt als input in een dynamisch model dat de reologische parameters (diepteligging, ongedraineerde schuifspanning en viscositeit) van het slib, dat wordt gepenetreerd, bepaalt (dotOcean, 2015).

De GraviProbe meet zijn eigen versnelling (via accelerometers) en druk in de kop van de staart. Op basis van de versnelling en druk kunnen de verschillende sedimentlagen van elkaar worden onderscheiden. Een voorbeeld van de onbewerkte, ruwe gegevens verkregen door de GraviProbe is weergegeven in Figuur 12, hierin wordt de versnelling en snelheid getoond in de waterkolom en vervolgens de (vloeibare) sliblaag.

De dichtheid kan worden bepaald door de poriën (kop) en de diepte (staart) druk, die gemonitord wordt tijdens de meting. Het punt waarop de curves (over de diepte) van de poriëndruk en druk verschillen van de hydrostatische druk, geeft de ligging van de top van de vloeibare sliblaag aan. Het verschil tussen deze curves is een maat voor de dichtheid van het slib, de dichtheid van het vloeibare slib kan dus worden berekend uit de drukmetingen. Densiteit wordt niet opgeleverd als resultaat van de meetprik.

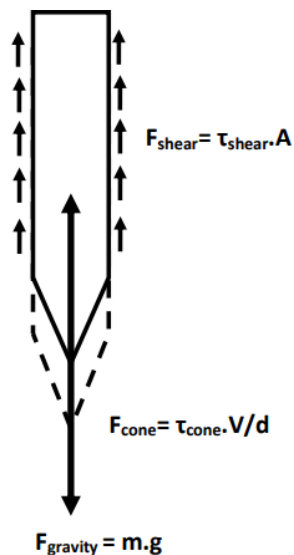
De verschillende krachten op de GraviProbe en gerelateerde verliezen worden berekend om de schuifspanning te bepalen. Dissipatie door de wrijving op de huls is een basis om schuifspanning te bepalen. In Figuur 10 worden de krachten weergegeven op de GraviProbe, tijdens een meting.

Een belangrijke voorwaarde voor het uitvoeren van een betrouwbare meting, is het feit dat de GraviProbe zijn limietsnelheid moet bereiken voordat het punt om rekening mee te houden is dat een eindsnelheid nodig is voordat het instrument de sliblaag binnendringt. De GraviProbe kan dus enkel worden ingezet wanneer de diepte van de waterkolom voldoende groot is, om aan deze voorwaarde te voldoen. Deze limiet of

eindsnelheid is noodzakelijk om stabiele, gecontroleerde initiële meetomstandigheden te verkrijgen, voor de penetratie in de sliblagen.

Figuur 10 – Werkingsprincipe van de GraviProbe.

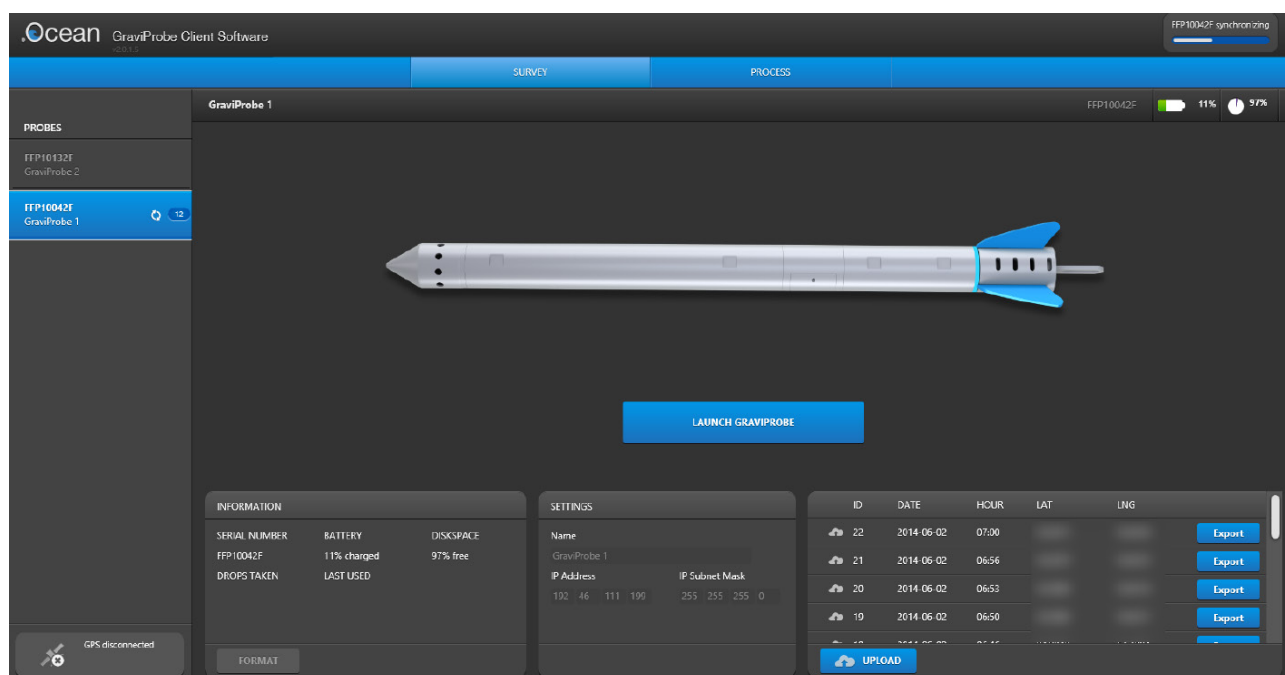
De krachten die tijdens het vallen van het instrument, dus gedurende de meting, optreden, zijn weergegeven (zwaartekracht, schuifspanning en conusweerstand).



2.3.3 Software

De GraviProbe werkt met de GraviProbe v2.0 software. Figuur 11 geeft een screenshot weer van deze software. In deze startpagina zijn 2 submenu's, met name "survey" en "process".

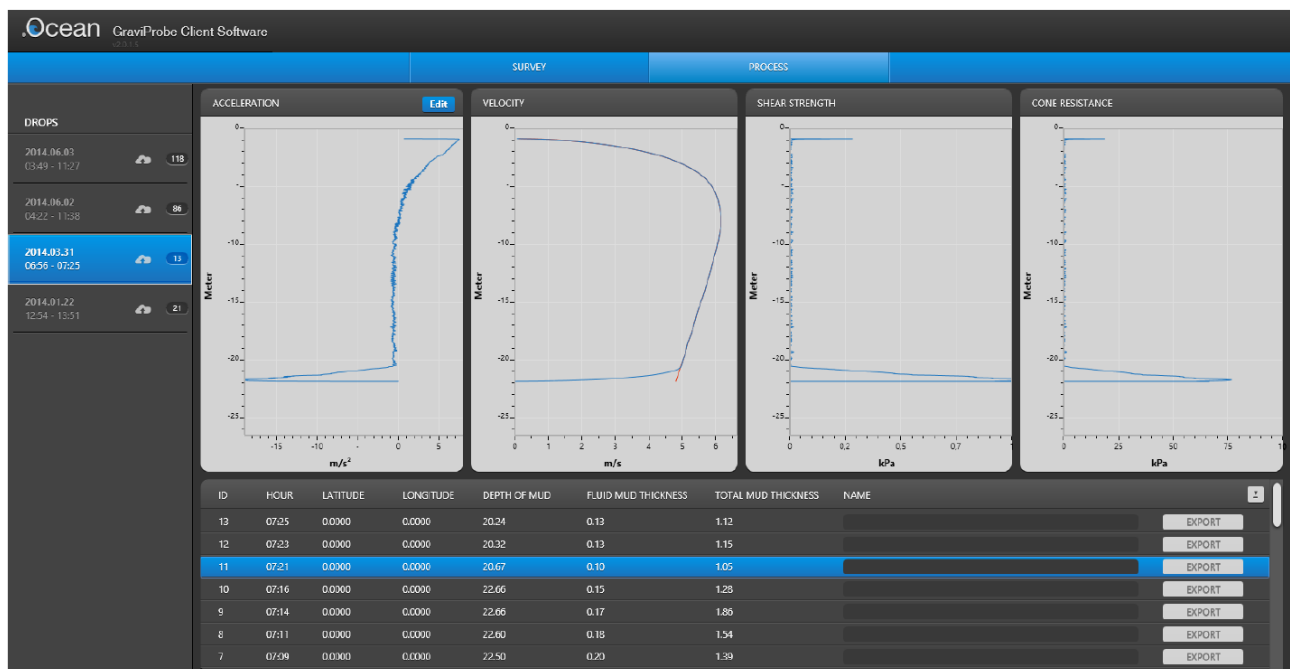
Figuur 11 – Startpagina van de GraviProbe software (uit dotOcean, 2015)



Wanneer de GraviProbe verbonden is met de software, kan linksonder (zie Figuur 11) de batterijstatus worden nagegaan, rechtsonder kunnen de prikken die op het intern geheugen zijn opgeslagen, worden geëxporteerd. Het aantal prikken op het intern geheugen aanwezig kan worden gezien in de linker kolom, naast het probenummer zelf.

Via de tab “process” kunnen de data worden bekeken, zoals weergegeven in Figuur 12. Hier kunnen de data worden geselecteerd per meetdag (linkse kolom). Een lijst van alle prikken op deze meetdag, is weergegeven in de lijst onderaan. De resultaten van een geselecteerde prik worden weergegeven in 4 aparte figuren. Met name de variatie van de versnelling, de snelheid, de schuifspanning en de conusweerstand met de diepte worden gevisualiseerd. Het is ook mogelijk om de meting te editen, bv. om het startpunt van de meetprik aan te passen.

Figuur 12 – Startpagina van de GraviProbe software – “process” tab (uit dotOcean, 2015)



Voor het uitvoeren van een meting moet in de startpagina (Figuur 11) de knop “Launch GraviProbe” worden geselecteerd. Wanneer de ledlampjes op de GraviProbe dan knipperen, is het toestel klaar voor gebruik.

2.3.4 Uitvoeren van metingen

Een introductievideo over het monteren van de GraviProbe is te vinden op Youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=Y1gSLm6ytWQ>) (dotOcean, 2015). De volgende stappen zijn vereist om de sonde te monteren:

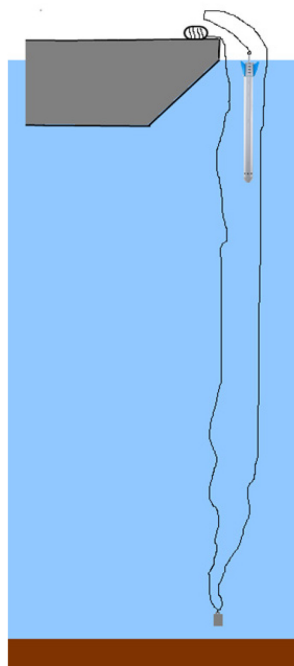
1. De ON-connector (met de rode tip) moet over de pinnen aan de staart van de GraviProbe worden geplaatst. Wanneer de LED's blauw zijn, is het apparaat opgestart.
2. Monteer de GraviProbe:
 - a. Schuif de kleine cilinder over het toestel
 - b. Monteer de vinnen en plaats ze op de GraviProbe

- c. Schuif de grote cilinder over de vinnen en het toestel
 - d. Schroef het hefoog in de achterkant van het apparaat en bevestig de bout met de M17-schroef
 - e. Schroef de gewenste tip op de voorkant van de GraviProbe
3. Steek het touw door het oog van het gewicht en sluit het touw aan op het hooft van de GraviProbe
 4. Bevestig het touw (met een lengte van ongeveer 2 keer de verwachte diepte) aan de davit van de boot
 5. De GraviProbe moet verbonden worden met de software, de "launch GraviProbe" moet worden ingedrukt en de ledlampjes knipperen ongeveer elke 3 seconden. Bij recentere modellen kan het resultaat van de prik direct worden ingeladen.

De meting zelf kan worden gedaan door de volgende stappen te volgen:

1. Laat het gewicht zakken: het gewicht moet worden neergelaten tot een diepte die ongeveer gelijk is aan de meetdiepte (zie Figuur 13).

Figuur 13 – Neerlaten van het gewicht en de GraviProbe



2. Laat de GraviProbe zakken: laat de sonde zakken totdat de staartvinnen zich net onder het wateroppervlak bevinden. Houd een paar seconden vast om de sensoren te stabiliseren (zie Figuur 13).
3. Laat de GraviProbe los: probeer te voorkomen dat het touw en de sonde omhoog of omlaag bewegen.
4. Wacht een paar seconden terwijl de sonde meet: tijdens de vrije-val in het water en het vertragen in de sliblagen.
5. Trek de sonde en het gewicht omhoog.

De duur van de meetcyclus is ± 30 seconden, afhankelijk van de diepte. Het wordt aanbevolen om het meettoestel tijdens het manoeuvreren met het schip op het dek te zetten (om schade en verlies te voorkomen).

2.3.5 Output

De geselecteerde profielen kunnen geëxporteerd worden in een '.csv' file. Een voorbeeld van dergelijke file is weergegeven in Figuur 14. De naamgeving van deze files is een tijds aanduiding, in dit project "Y.M.D_H.M.S". In deze file zijn de diepte weergegeven, de versnelling en snelheid van het toestel, een gesimuleerde snelheid, en de dynamische ongedraineerde schuifspanning en penetratieweerstand van de conus.

Figuur 14 – Output van een Graviprobe meting, in '.csv' formaat



Depth (m.)	Depth Tide corrected (m.)	Accelerations (m/s ²)	Velocity (m/s)	Simulated Velocity (m/s)	Dynamic undrained shear strength (kPa)	Cone penetration resistance(kPa)
-0,86	-0,86	4,621888898	0,019964243	1,099839483	0	0
-0,87	-0,87	9,949423444	1,686677251	1,405527325	-6,154844115	-423,4532751
-0,88	-0,88	6,672981901	1,737518891	1,561645283	0,856141605	58,90254242
-0,89	-0,89	7,400791447	1,774830407	1,684385758	0,791683523	54,46782636
-0,9	-0,9	9,962139091	1,821399701	1,788081308	0,5703091	39,23726611
-0,91	-0,91	6,27995625	1,868636058	1,879826167	0,417345704	28,71338445
-0,92	-0,92	8,642191373	1,902037398	1,962097679	0,459816545	31,6353783
-0,93	-0,93	9,860733948	1,952330184	2,039340132	0,374727244	25,78123436
-0,94	-0,94	9,761756114	2,002333866	2,111688759	0,332041301	22,8444415
-0,95	-0,95	9,283863919	2,050439951	2,179269436	0,29723131	20,44951416
-0,96	-0,96	9,931183065	2,095860796	2,242199056	0,267398418	18,39701115
-0,97	-0,97	9,924690407	2,141868583	2,300585855	0,24682026	16,9812339
-0,98	-0,98	9,928180536	2,187896475	2,356517434	0,245048202	16,85931629

2.4 Rheocable

2.4.1 Introductie

De Rheocable is een meetinstrument ontwikkeld door THV Nautic (THV, 2014). De Rheocable bestaat uit een druksensor die over de bodem gesleept wordt, gevolgd door een array met weerstandsmetingen, om te verzekeren dat de druksensor niet boven de bodem zweeft. Zowel de druksensor als de kabel voor weerstandsmetingen worden getrokken door de surveyboot via een voedingskabel met CTD's (conductiviteit – temperatuur – diepte) meettoestellen. Een afbeelding van de Rheocable en rheoset (computer en interface) zijn weergegeven in Figuur 15. Het slepen van de kabel is wordt getoond in Figuur 18.

Figuur 15 – Foto van de Rheocable. Links: Rheocable, rechts: computer en interface (uit THV, 2014; Claeys et al., 2014)



De Rheocable bestaat uit de volgende elementen (THV, 2014):

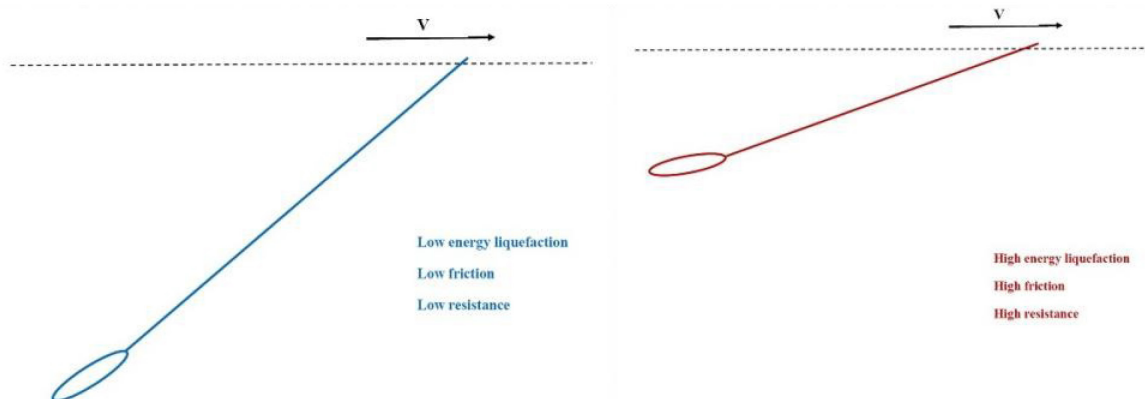
- voedingskabel in staal omhuld, met aan de kant van de zeebodem, een resistiviteitskabel met 4 elektroden en een connector om de druksensor aan te sluiten en, aan de scheepszijde, een connector die aansluit met de modules aan dek
- verbinding tussen de stalen voedingskabel met de “rheoset”-eenheid
- druksensor ATM/N 24 mm 4 bar, precisie: 0,1% (over de volledige schaal)
- waterdichte cilinder met de druksensor
- 2 ontluchtingsbuizen
- 2 sets lood gewichten
- rubberen slang van 1,5 m lang
- stalen Kelm-greep om de kabel achter een inspectievaartuig te slepen
- CTD diver en houder in roestvrij staal

Lengte kabel	3 * verwachte diepte	
Gewicht	20 kg (voor 20 m) (MDCE, 2014)	
Meetfrequentie	1 Hz (diepte) 50 Hz (weerstand)	
Diepte : range & accuraatheid	0 – 4 / 0.1%	0 – 40 m / ± 0.001 m

2.4.2 Werkingsprincipe

Bij de Rheocable methodologie wordt een voorwerp door het slib gesleept, bevestigd aan de survey boot. Het werkingsprincipe hier beschreven is gebaseerd op de beschrijving in Druyts et al. (2012). Bij de Rheocable wordt aan de sleepkabel, naast het loodgewicht, een druksensor bevestigd, waar achter nog een korte resistiviteitskabel (met weerstandsmetingen) bevestigd is. Deze resistiviteitskabel dient om na te gaan of de druksensor zich bevindt in het vaste (geconsolideerde) slib of in het vloeibare slib. Als de kabel zich op deze geconsolideerde sliblaag situeert, worden kenmerkende weerstandswaarden voor geconsolideerd slib gemeten. Wanneer de kabel zich boven de vaste / vloeibare slibovergang bevindt worden weerstandswaarden waargenomen die kenmerkend zijn voor vloeibaar slib of zeewater (Druyts et al., 2012).

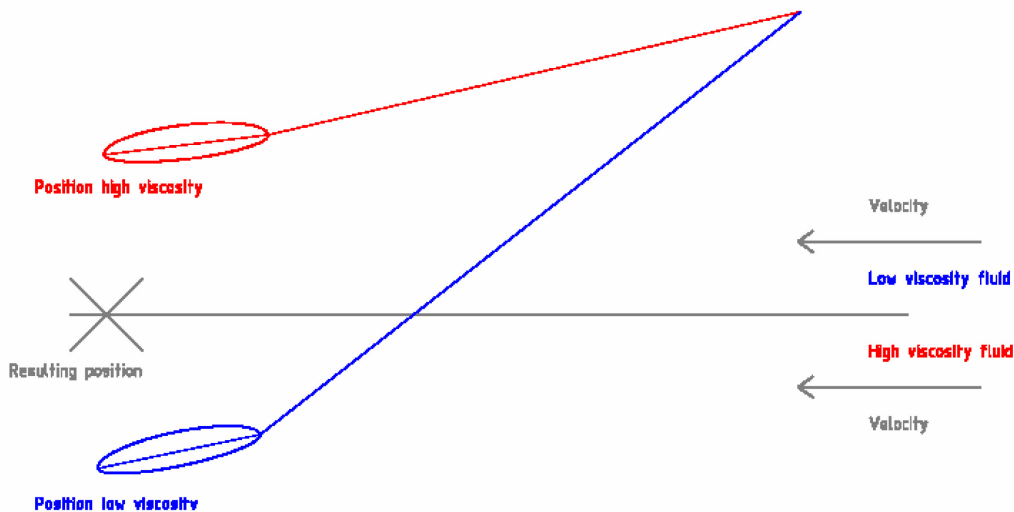
Figuur 16 – Illustratie van de positie van een gesleept voorwerp in 2 verschillende media (uit Druyts et al., 2012)



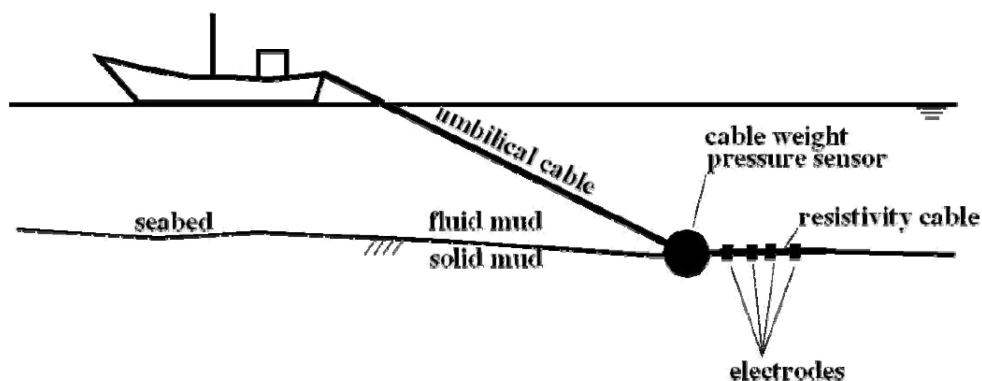
Als een willekeurig object met snelheid v gesleept wordt, zal dit object een lage positie innemen in een medium met lage viscositeit, zoals weergegeven in Figuur 16 (links). De weerstand en bijgevolg sleepkracht zijn laag. Bij eenzelfde actie in een medium met hoge viscositeit (Figuur 16, rechts) zal het voorwerp zich hoger bevinden. Door een hogere vloeispanning ("yield stress") zal de weerstand hoger zijn en bijgevolg de kracht voor het slepen groter. Wanneer er 2 lagen zijn, waarbij uitgegaan wordt dat de twee lagen respectievelijk het vloeibaar slib en het geconsolideerde slib zijn, wordt de scheidingslijn tussen beide de "Reologische gedragsovergang" genoemd (zie Figuur 17).

Ervan uitgaande dat de sleepsnelheid zich tussen een minimale en maximale snelheid ligt, zal het object (Rheocable) zich op deze scheidingslijn positioneren. Het vloeibare en geconsolideerde slib hebben andere, kenmerkende elektrische weerstandswaarden. Door toevoeging van de resistiviteitskabel worden deze weerstandswaarden opgemeten, en kan worden nagegaan of de kabel in aanraking is met het geconsolideerde slib, met name dat de kabel niet aan het zweven is (Druyts et al., 2012). De maximale snelheid van het schip is afhankelijk van de waterdiepte, kabellengte, kabelgewicht en dikte van de vloeibare sliblaag. Een normale snelheid van 4 à 5 knopen wordt vooropgesteld (MDCE, 2015). De diepte van de positie van de kabel wordt gemeten door het opmeten van de hydrostatische druk.

Figuur 17 – Illustratie van het werkingsprincipe van de Rheocable (uit Druyts et al., 2012)



Figuur 18 – Slepen van de Rheocable (uit THV, 2014)



2.4.3 Software

Voor het uitlezen van divers wordt gebruik gemaakt van diver-office, uitgebracht door van Essen instruments (<https://www.vanessen.com/products/software/diver-office/>). Deze software wordt hier niet verder besproken.

Rheonavigator2 is de gegevensverwerking software geleverd bij de Rheocable, die gebruikt wordt voor het bedienen van de Rheocable. Een GPS en echosounder kunnen op de computer worden aangesloten via afzonderlijke, seriële poorten. Een Rheoset, ofwel met SCXI-1600 ofwel “CompaqDaq technology”, moet aangesloten zijn via USB poort.

De volgende conventies en formaten worden gebruikt in de Rheonavigator software:

1. Gegevensbestand

Een gegevensbestand bevat coördinaat informatie van gegevenspunten, in volgende indeling:

- Nr: nummer van meting
- X-coördinaat
- Y-coördinaat
- Data - waarde
- String (optioneel): tekst

2. Lijnbestand

Een lijnbestand is een speciaal gegevensbestand, waarbij de datapunten waarden hebben met een specifieke betekenis:

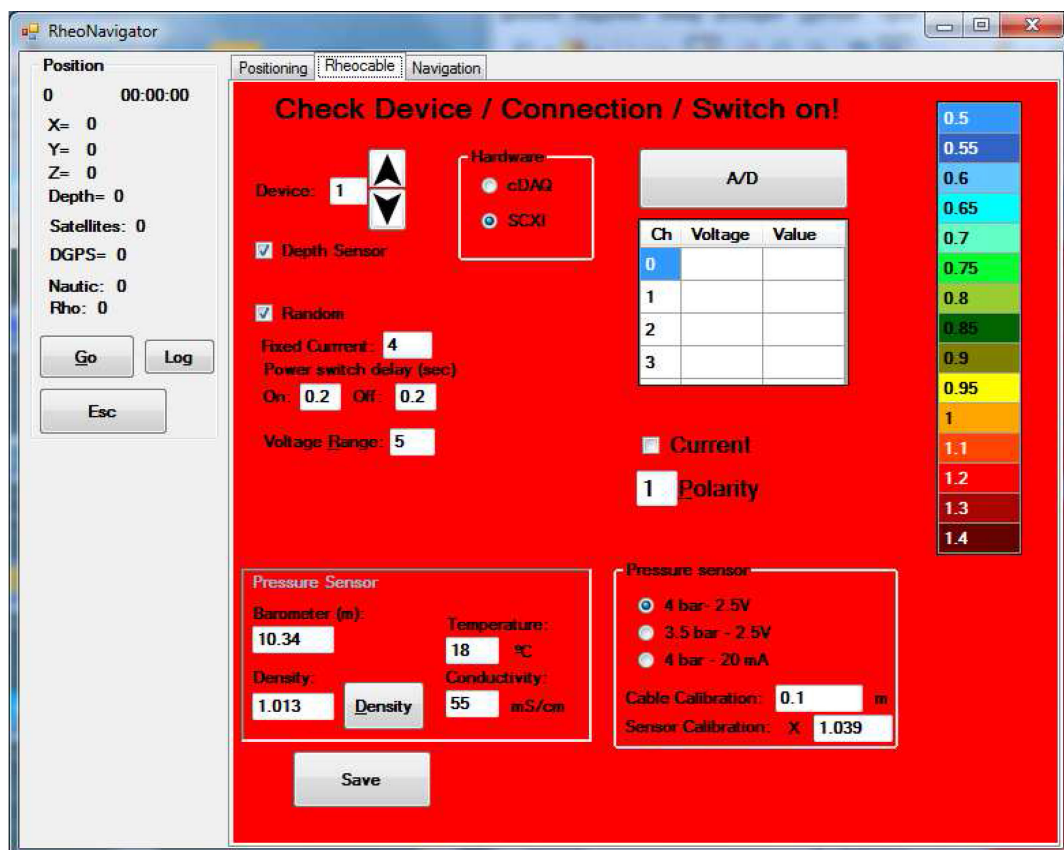
- 0: begin van een nieuwe regel
- -1: einde van een gesloten regel. De lijn is gesloten voor het laatste gegevenspunt met een puntnummer gelijk aan "0".
- Elke andere waarde: geen betekenis

Er kunnen drie tabbladpagina's worden geselecteerd in het Rheonavigator2 software. Een eerste tabblad bevat de instellingen en waarden voor de positionering, een tweede bevat parameters voor de Rheocable en een derde heeft betrekking op de navigatie en gegevensverzameling.

Het tabblad m.b.t. de positionering bevat parameters zoals de kabellengte, afstand tussen hek van het schip en gps locatie, hoogte van het hek boven zeeniveau, voor het goed bepalen van de positie van de kabel. Deze parameters worden opgeslagen in een "ctd-gps.par" bestand.

Het tabblad "Rheocable" wordt gebruikt om de instellingen van de Rheoset-eenheid te definiëren. Zowel "CompaqDaq" als "SCXI-1600" hardware wordt geaccepteerd. Zolang het toegewezen apparaat (zoals te vinden in "Measurement & Automation") of het hardware type onjuist is, wordt de schermkleur rood en kan het systeem niet werken (zie Figuur 19). Als de verbindingsparameters correct zijn ingesteld, kan het systeem worden getest door op "A/D" te drukken om de spanningen op de 4 kanalen te controleren en door het selectievakje "Current" in te schakelen en de polariteit te wijzigen.

Figuur 19 – Weergave van een scherm van de Rheonavigator2 software, met name het "Rheocable" tabblad (uit THV, 2014)



Bij het werken met de Rheocable moet het selectievakje van de dieptesensor worden gecontroleerd. Voor testdoeleinden kunnen willekeurige gegevens worden gegenereerd door het selectievakje "Random" in te schakelen. De geïnjecteerde vaste stroom kan worden aangegeven evenals de vereiste vertraging van de stroomschakelaar en het spanningsbereik. Drukwaarden kunnen worden omgezet in dieptes na het invullen van de barometrische druk en de dichtheid van water (deze kan worden berekend na het meten van de watertemperatuur en geleidbaarheid) en het indrukken van de "Density" knop.

Een kalibratiefactor voor de sensor en een kabel kalibratie kunnen worden ingevuld zoals aangegeven, evenals het type druksensor. Onder normale omstandigheden is de kalibratiefactor gelijk aan 1. Voor 2.5V-sensoren bedraagt de kalibratie van de kabel 0,1 m voor een 80 m lange standaardkabel. Voor 20 mA-druksensoren is de kalibratie van de kabel 0 m.

Het tabblad "Navigation" tenslotte, wordt gebruikt om de positie te monitoren, samen met de (nautische) diepte. Data wordt uiteindelijk in een

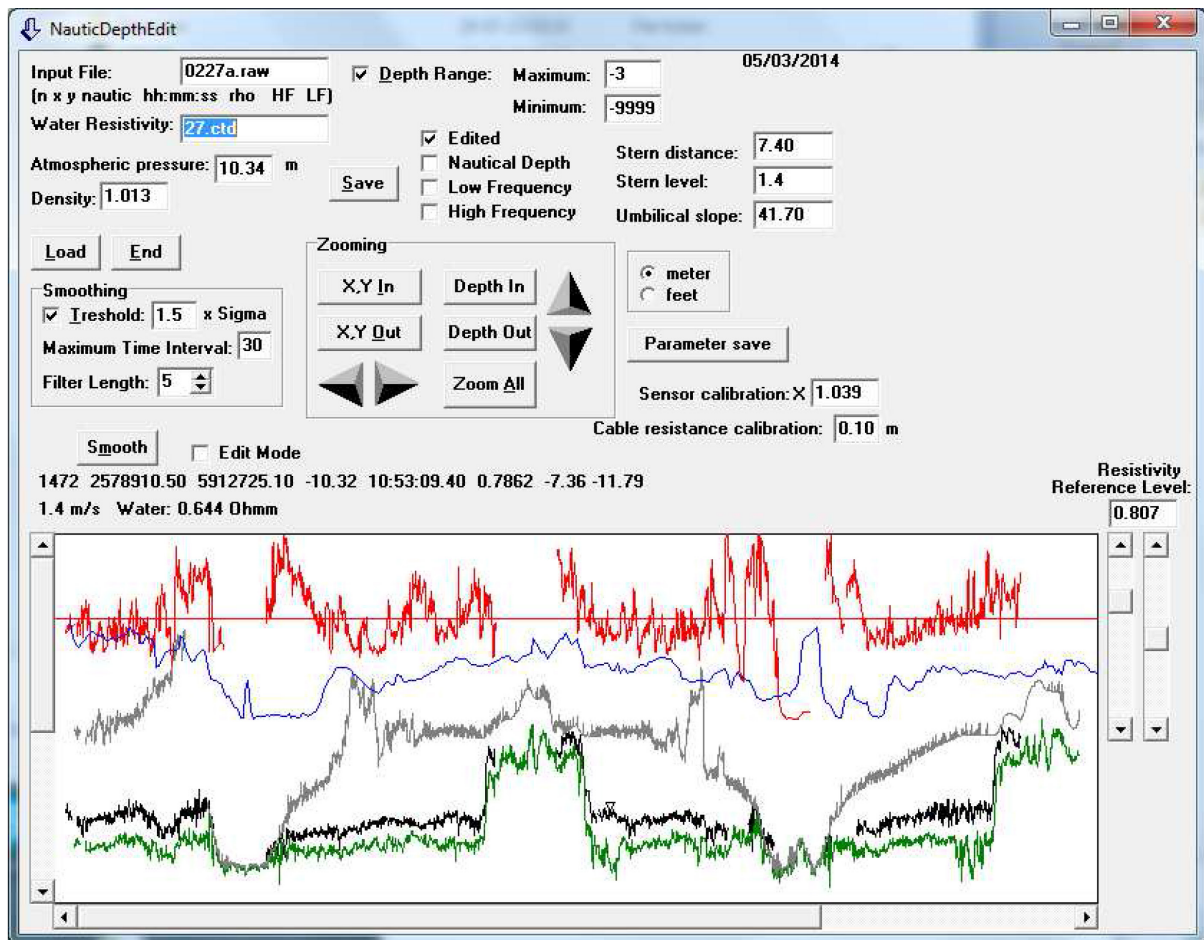
N X Y P Tijd Rho HF LF

Met:

- N: integer
- X: easting
- Y: northing
- P: druk druksensor (in m)
- Tijd: "uu: mm: ss" op basis van de GPS-tijd
- Rho: weerstandswaarde gemeten door de Rheocable
- LF: diepte echosounder (lage frequentie)
- HF: diepte echosounder (hoge frequentie)

Het programma "NauticDepthEdit" wordt gebruikt voor het bewerken van nautische diepte-informatie. Het invoerbestand is een bestand met hetzelfde format als het output bestand hierboven beschreven. Een overzicht van de GUI van het programma is weergegeven in Figuur 20. In dit programma kunnen de data worden ingeladen, bekeken, geëditeerd (uitschieters verwijderen, smoothing). Na verwerking kunnen de data worden opgeslagen in eenzelfde format als de output van de Rheonavigator software (".raw" extensie). Additioneel kan ook de data van de Rheocable zelf (".NAUT") en van de SB 33 kHz en 210 kHz apart (respectievelijk extensies (".LOWF" en ".HIGHF") worden opgeslagen.

Figuur 20 – Interface van de NauticDepthEdit verwerkingssoftware



2.4.4 Uitvoering van metingen

Te volgen stappen voor het voorbereiden van de Rheoset-eenheid en de computer voordat de metingen starten (THV, 2014):

1. Start de computer op voordat de GPS- en / of dieptemeter-signalen worden aangesloten
2. Installeer NIDAQ-software 'Measurement & Automation' volgens NI-instructies
3. Sluit de Rheoset-eenheid aan op een USB-poort en schakel de Rheoset-eenheid in
4. Open Measurement & Automation, klik op 'Devices and Interfaces' en controleer of de Rheoset unit wordt herkend als een NI SCXI-1000-eenheid of een NI cDAQ-9174-eenheid. Als een SCXI-1000-eenheid wordt herkend, klikt u op 'Configureren' en stelt u de versterking voor alle kanalen in op een waarde 1
5. Installeer Rheonavigator2, SetDirectory en Diver-Office-software volgens de instructies.
6. Definieer een working directory (met ten minste 1 bestand erin) met behulp van SetDirectory
7. Start het Rheonavigator2-programma op en ga naar het tabblad "Rheocable"
8. Selecteer cDAQ- of SCXI-hardware volgens de situatie. De standaard is cDAQ, de nieuwere technologie
9. Selecteer het juiste apparaatnummer uit 'Measurement & Automation' of met "try & error" totdat de Rheoset wordt herkend door de software en de rode kleur van het menu verdwijnt
10. Controleer de communicatie met de Rheoset door op het selectievakje 'Huidig' en / of het tekstvak 'Polariteit' te klikken en luister naar het relais dat in de Rheoset-eenheid klikt
11. Sluit de Rheocable aan op de Rheoset-eenheid

12. Vul de juiste barometerdruk in met behulp van de Baro Diver en bereken de waterdichtheid op basis van de watertemperatuur en geleidbaarheidswaarden van de CTD diver
13. Klik op de opdrachtknop 'A / D' om de voltages te controleren die worden gemeten langs de 4 kanalen genummerd van 0 tot 3. Kanaal 0 toont de spanning die wordt gemeten op de weerstandskabel terwijl kanaal 3 de resultaten van de druksensor toont.
14. Een geschikte waarde voor de Fixed current' kan worden geselecteerd door de weerstandskabel overboord te hangen en de stroombegrenzingsknop aan te passen totdat een acceptabel spanningsniveau is verkregen. Het wordt aanbevolen om de spanning niet hoger in te stellen dan ca. 30 V hoger dan nodig voor een constante stroominjectie
15. Ga naar het tabblad Positionering en sluit zo nodig USB-naar-seriële apparaten aan.
16. Sluit GPS- en echolood-seriekabels aan op de seriële poorten van de computer. De 12 VDC-voeding (banaanstekkers) kan worden gebruikt om de GPS van stroom te voorzien
17. Met de commandotoets 'Comport' kunt u zien welke baudrate en pariteit u moet gebruiken voor het ontvangen van GPS- en echoloodinformatie en welke poort is gekoppeld aan de GPS en / of de echolood. Als dieptes van de dieptemeter al gecorrigeerd zijn voor de trekkracht van de transducer en de geluidssnelheid, moeten de overeenkomstige waarden voor offset en snelheid '0' en '1500' zijn.
18. Er moeten geschikte waarden voor het niveau van het hek van het schip, etc. worden gekozen om de positie van de druksensor op het navigatietabblad correct te visualiseren.
19. Nadat u de juiste projectieparameters hebt geselecteerd, kunt u de communicatie met het hydrografisch systeem testen door op 'Go' te klikken en de waarden voor oostelijk, noordwaarts en diepte te controleren. Tegelijkertijd wordt de computer gesynchroniseerd met de GPS-tijd
20. Programmeer de CTD diver en Baro diver met behulp van Diver-Office. Zorg ervoor dat deze gesynchroniseerd zijn met de computertijd
21. Indien nodig kan een sensor kalibratiefactor worden gedefinieerd door de barometerdruk te meten en vergelijken met de druk direct aangesloten op de Rheoset-eenheid. De kalibratiefactor is onder normale omstandigheden gelijk aan "1". Het is gepast om deze factor te controleren bij het veranderen van de sensor.
22. Definieer de kabelkalibratie door de verkregen dieptewaarde te vergelijken terwijl u de druksensor eerst rechtstreeks aansluit op de Rheoset-eenheid en vervolgens op de kabelconnector. Voor 2,5 V-druksensoren is deze verschuiving ongeveer 0,1 m voor een standaard 80 m rheocable terwijl het 0 m is voor 20 mA druksensoren.
23. Alvorens de Rheocable naar de zeebodem te laten zakken, moeten de ontluchttingsbuisjes met water worden schoongespoeld totdat alle luchtbelletjes zijn verdwenen

2.4.5 Output

De Rheocable metingen leveren uiteindelijk een file met volgende informatie op:

N X Y P Tijd Rho HF LF

Met:

- N: integer
- X: easting
- Y: northing
- P: druk druksensor (in m)
- Tijd: "uu: mm: ss" op basis van de GPS-tijd
- Rho: weerstandswaarde gemeten door de Rheocable
- LF: diepte echosounder (lage frequentie)
- HF: diepte echosounder (hoge frequentie)

2.5 Rheotune

2.5.1 Introductie

De Rheotune is een toestel, gebaseerd op trilvork technologie, om de densiteit te meten door de analyse van zijn trillingen in het slib (Stema, 2017). De Rheotune is een variant op de Densitune Silt Density probe (Stema, 2017).

De Rheotune, ontwikkeld door Stema, wordt gebruikt om de densiteit en reologische karakteristieken te meten van het omgevende medium. De respons van de geproduceerde trilling van ene trilvork op de andere trilvork (zowel de frequentie als de amplitude) wordt bepaald door de reologische karakteristieken van dit medium. Het toestel is gemaakt voor het opmeten van verticale densiteitsprofielen in vloeibare tot half vloeibare media zoals sliblagen.

De opgemeten data wordt in real time getoond in de display module (PC) en opgeslagen voor later gebruik.

Figuur 21 – Afbeelding van de Rheotune (Stema, 2017)



In Figuur 21 is een foto weergegeven van de Rheotune. Het toestel is ca. 65 cm hoog en 15 cm breed. Het totale gewicht van de Rheotune is ca. 15 kg. In Tabel 6 zijn de technische specificaties van de Rheotune weergegeven.

Tabel 6 – Technische specificaties van de Rheotune, zoals weergegeven door de fabrikant (Stema, 2017).
De derde kolom geeft de specificaties weer in éénheden, gebruikt in de meetcampagne.

Dimensies	650 mm x 150 mm Ø	
Gewicht	15 Kg	
Densiteit: range	1000-1800 g/l 800 – 1500 g/l (indien Bingham vloeispanning < 1kPa)	1,00 – 1,80 g/cm ³
Densiteit: accuraatheid	<1% (Newtonian fluids)	± 0, 012 g/cm ³
Densiteit: resolutie	1 g/l	0,001 g/cm ³
Viscositeit: range	0-600 Pa s	
Viscositeit: resolute	1 Pa.s	
Vloeispanning: range	0 – 500 Pa	
Vloeispanning: Resolutie & accuraatheid	1 Pa – ca 5 %	
Diepte: range	VI0-60 m	
Diepte: accuraatheid	< 0,15%	± 0,015 m (@ 10m)
Temperatuur: range	0-60° C	
Update frequentie	20 Hz	
Hoekmeting	2 inclinometers	
Housing	Roestvrij staal	
Voeding	110-220 VAC, 35 W	
Output	Ethernet UDP	

2.5.2 Werkingsprincipe

Het werkingsprincipe van de Rheotune is gebaseerd op het trilvork principe om densiteiten te meten. De geïnduceerde harmonische beweging in het in-situ materiaal, veroorzaakt door de trilvork, wordt hierbij gerelateerd aan de dichtheid, weerstand en viscositeit van het slib.

De trilvork wordt met een instelbare frequentie geforceerd door een piëzo-elektrisch element dat zich bevindt aan de basis van de trilvork, terwijl de verandering van dit signaal doorheen het te meten medium wordt gemeten door een ander piëzo-elektrisch element in het toestel. De door het instrument opgelegde

frequentie ω wordt aangepast opdat een bepaald faseverschil tussen de opgelegde forcering en de puntverplaatsing van de trilvork wordt verkregen (Groposo, 2014). Op basis van de resultaten van Allwright (2002), kan de beweging van de punt kan worden weergegeven als een gedwongen oscillator met een frequentie ω :

$$F = -M_0\omega^2 x - \rho V_0\omega^2 x + B_0 j\omega x + (1-\alpha)(i\omega)^{3/2} \sqrt{\mu\rho A_0} x + K_0 x + \alpha A_0 k x.$$

met F de amplitude van de externe forcering ($F \exp(i\omega t)$); x de complexe amplitude van de gedetecteerde verplaatsing $x \exp(i\omega t)$, met i een imaginaire eenheid en t [s] de tijd; M_0 , V_0 , B_0 , K_0 , en A_0 zijn de massa [kg], volume [m³], demping [N s/m], elasticiteit [kg/s²] en oppervlakte [m²] van de trilvork; ρ , μ , and k geven de densiteit [kg/m³], viscositeit en elasticiteit van het slib weer; α is een parameter met een waarde tussen 0 en 1, en karakteriseert de respons van het slib. Wanneer $\alpha = 0$ dan gedraagt het slib zich als een viskeuze vloeistof, een waarde $\alpha = 1$ geeft een elastische karakteristiek van het slib weer. Een waarde van α gelegen tussen 0 en 1 weerspiegelt een gedeeltelijke viskeuze en gedeeltelijk elastisch gedrag van het slib.

Het is, zoals vermeld, mogelijk om de frequentie van de opgelegde forcering aan te passen tot een waarde ω_B , zodat de forcering in fase is met de viskeuze demping van het slib. Dit geeft volgende vergelijkingen voor respectievelijk de frequentie ω_B en de modulus van de verplaatsing $A_B = |x/F|$ van de trilvork (Valentina Groposo, 2014).

$$\omega_B = \frac{B_0 + \sqrt{B_0^2 + 4(M_0 + \rho V_0)(K_0 + \alpha k A_0)}}{2(M_0 + \rho V_0)},$$

$$A_B = \left[\sqrt{2} B_0 \omega_B + (1-\alpha) \omega_B^{3/2} \sqrt{\mu \rho A_0} \right]^{-1}$$

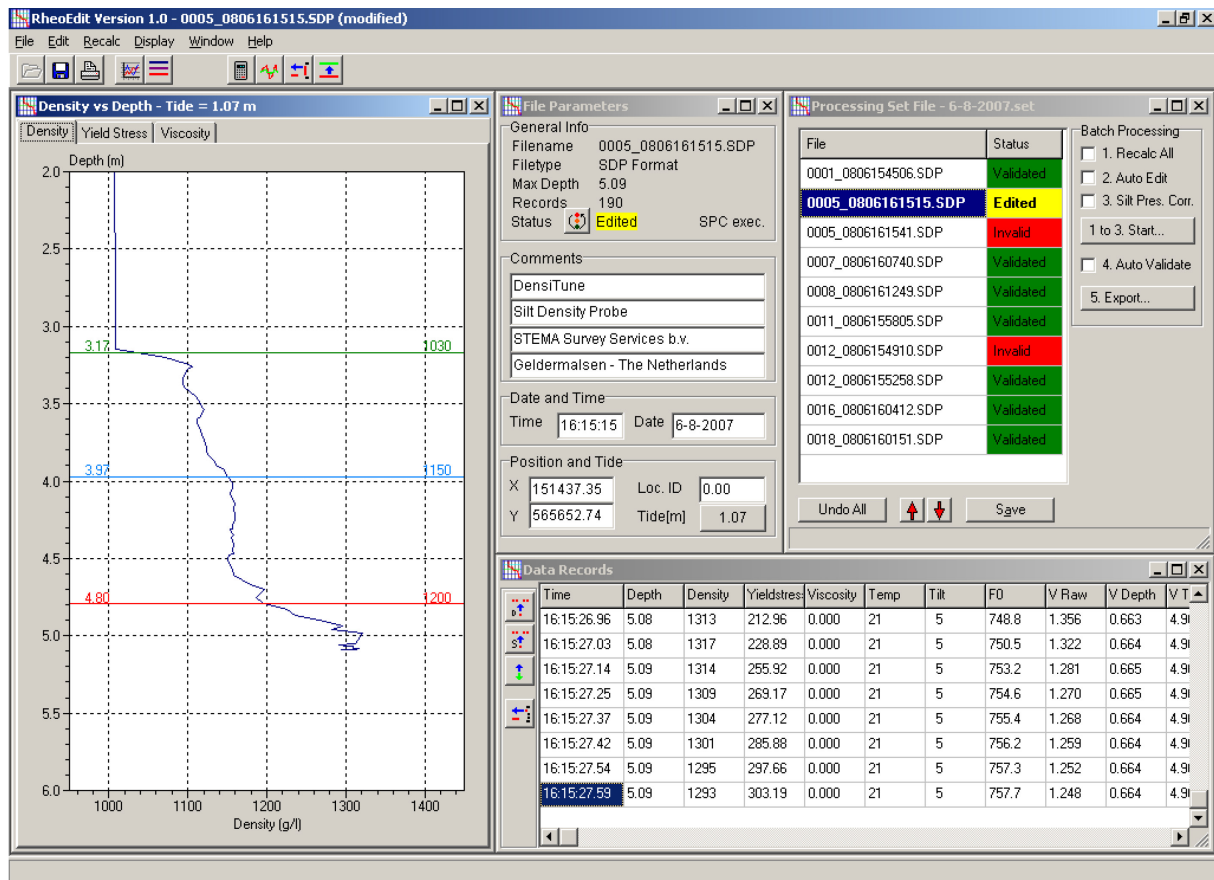
Het is duidelijk uit voorgaande vergelijking dat ω_B afhankelijk is van de elastisch respons van het slib, door de term $\alpha k A_0$. De modulus A_B is afhankelijk van de viscositeit van het slib, de densiteit en de elasticiteit. Dit laatste zowel expliciet door de aanwezigheid van factoren ρ , μ en α in de vergelijking, als impliciet door ω_B .

2.5.3 Software

Een data-acquisitie en dataverwerking software werd ontwikkeld door Stema (Stema, 2017). De parameters die worden geregistreerd in de applicatie zijn diepte, tijd, temperatuur, schuifspanning en densiteit. In Figuur 22 is de GUI van deze Rheotune software weergegeven.

De interface van de software bestaat uit een aantal blokken. Links kan een diepteprofiel van de densiteit, spanning en viscositeit worden weergegeven. Rechtsboven zijn er twee blokken, die respectievelijk de metadata van de meting bevatten (datum, tijd, locatie, filenaam) en een overzicht van voorgaande metingen. Rechtsonder zijn de data weergegeven in de vorm van een tabel of datasheet. Bij elke nieuwe meting wordt een nieuwe file aangemaakt, met een specifieke naamgeving.

Figuur 22 – Hoofdpagina van de Rheotune software (Claeys S, 2009)



2.5.4 Uitvoering van metingen

De procedure die gevolgd wordt voor het uitvoeren van metingen wordt hierop volgend weergegeven:

1) Set-up

De kabel van de kraan of davit moet met behulp van het bevestigingssoog op de bovenkant van de Rheotune worden aangesloten.

2) Kalibratie

De Rheotune kan gekalibreerd worden met slib, afkomstig van de locatie waar de metingen worden uitgevoerd. Op deze manier kunnen meer accurate metingen verkregen worden (Stema, 2017). In het algemeen worden metingen uitgevoerd met een universele kalibratieformule.

3) Uitvoeren van metingen

- Instructies om een meting te starten:
 - Plaats de Rheotune in het water m.b.v. een kraan of davit
 - Start de metingen in de software
- Software:

Wanneer de software geopend is, verschijnt het hoofdmenu zoals weergegeven in Figuur 22. Op dit moment kunnen de metingen gestart worden.

- Instructies om een meting te stoppen:
 - Controleer kabel tot toestel bodem bereikt en spanning wegvalt
 - Stop de meting in de software
 - Haal de Rheotune terug naar boven met behulp van de kraan
 - Kuis de Rheotune met water, zodat het slib tussen de trilvork volledig wordt weggespoeld

2.5.5 Output

De data die worden opgeslagen gedurende de metingen met de Rheotune, worden opgeslagen in een directory gedefinieerd in het 'settings' menu. De profielen die geselecteerd worden in de tabel kunnen worden geëxporteerd in een file met een '.sdp' extensie. Een voorbeeld van zo'n file is weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 – Overzicht van de beschikbare informatie van een Rheotune meting

```

YAV 1
CM1 Rheotune
CM2 Silt Density Probe
CM3 Vlaamse Hydrografie
CM4 Oostende
LIM 2.85 18.00

DAT 38742.11 0 3.01 1017 0.000 12.1 4.2 732.37 0.00 732.37 7.926 0.630 3.011 5.034 5.367
DAT 38742.54 0 3.20 1017 0.000 12.1 3.3 732.33 0.00 732.33 7.933 0.665 3.011 5.073 5.318
DAT 38742.54 0 3.20 1017 0.000 12.1 3.3 732.33 0.00 732.33 7.933 0.665 3.011 5.073 5.318
DAT 38742.55 0 3.20 1017 0.000 12.1 3.3 732.33 0.00 732.33 7.933 0.665 3.011 5.073 5.318
DAT 38742.55 0 3.20 1017 0.000 12.1 3.3 732.33 0.00 732.33 7.933 0.665 3.011 5.073 5.318
...

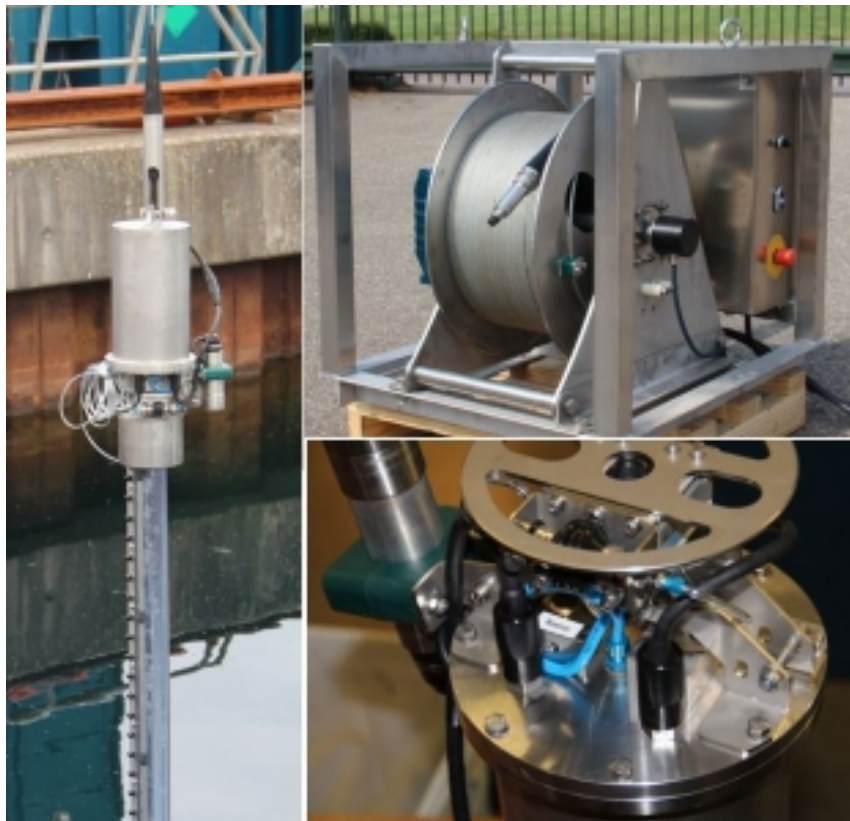
```


2.6 Slibsampler

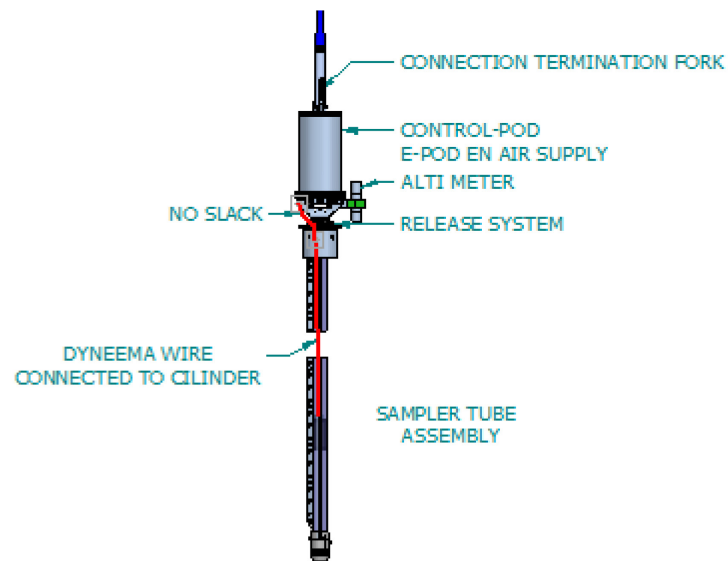
2.6.1 Introductie

De SMPL-002 slibsampler is een vanop afstand te bedienen instrument voor het nemen van slibsamples, met behulp van een speciaal ontworpen buis voor het nemen van de samples. Deze buis is voorzien van meetpunten, om de 50 mm, inclusief een Beekersampler snijkop met geïntegreerde opening voor penetratie van de sliblagen en balg voor het vasthouden van het monster. Dit apparaat kan op afstand worden bediend en is ontworpen voor een maximale waterdiepte tot 50 m. De sampler wordt aan boord gecombineerd met een LIER-036-liersysteem (Seatec, 2015).

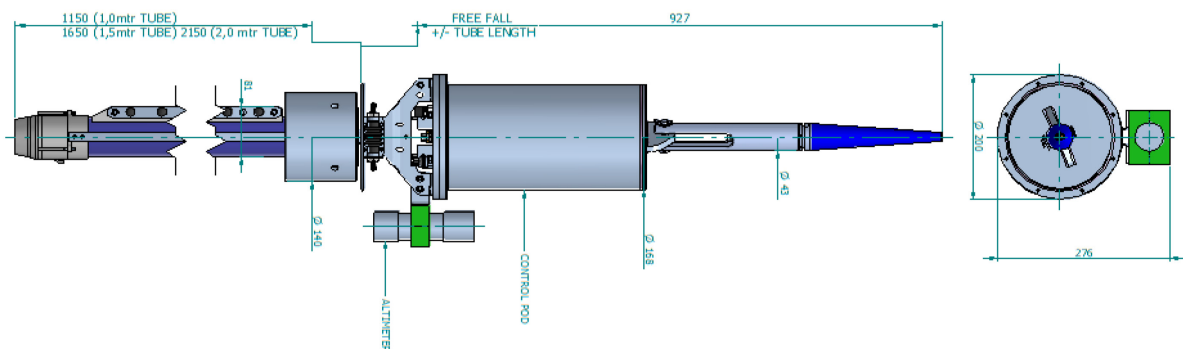
Figuur 23 – Figuur van de slibsampler (links en rechts beneden) en lier (rechtsboven) (Seatec, 2015)



Figuur 24 – Figuur van de slibsamplers, met aanduiding van de verschillende onderdelen (uit Seatec, 2015)



Figuur 25 – Figuur met de dimensies van de slibsamplers (uit Seatec, 2015).



Slib sampler pod:

- Materiaal: AISI 316L-fles
- Diepterange: max. 50 m
- Gewicht: ca . 25 kg
- Luchtaansluiting: 531664 KS2-CN-4-S fitting voor hervullen
- Elektrische aansluiting: Seacon MCBH-8M / SS
- Overdrukbeveiliging: overdrukventiel geïntegreerd
- Geïntegreerde sensoren: hoogtemeter 0-15 m bereik Pitch & Roll-sensor
- Externe cycli: 4-5 vrijgavecycli met volle luchttanks (8 bar)

Slib-samplerbuis

- PVC-buis met op maat gemaakte poortjes van elk 50 mm voorzien van Beekersample-snijkop

Het SMPL-002-systeem bestaat uit een op Windows gebaseerde besturingscomputer met vooraf geïnstalleerde slib sampler-software. De RS232-communicatie-interface loopt door het LIER-036-liersysteem naar de slibsampler. De slibsampler bestaat uit een “control pod” die is uitgerust met zowel elektronica als pneumatiek, waaruit de samplerbuis wordt bediend.

2.6.2 Software

De software die wordt gebruikt om metingen uit te voeren met de slibsampler, is de SMPL-001-software (Seatec, 2015). Voordat de software opstart, moet ervoor gezorgd worden dat de slibsampler aangesloten is en de lier is ingeschakeld

1. Start de SMPL-001-software. De software begint met het scannen van de seriële poort en toont het resultaat via een pop-upschermb. Dit scherm sluiten wanneer de handeling voltooid is.
2. Het hoofdschermb wordt nu weergegeven (Figuur 26). Dit scherm heeft de volgende kenmerken:
 - drukknop “Release Sampler Unit”
 - drukknop “Close Sampler Orifice”
 - weergave van luchtdruk, hoogtemeter, roll en pitch

Figuur 26 – Hoofdpagina van de SMPL-001 software (uit Seatec, 2015)



Het scherm met de instellingen (Figuur 27) kan bereikt worden door vanuit het hoofdschermb op het tabblad “Instellingen” te klikken. In dit scherm worden de parameters van de sensoren ingevoerd evenals de OK-drempelwaarden voor de verschillende signalen. Eens de gegevens zijn ingevoerd, klikt u op “Wijzigingen opslaan” om de instellingen naar het bestand “epod.ini” te schrijven. Tijdens het opstarten leest de SMPL-001-software deze instellingen uit het bestand “epod.ini”, dat zich in de programmamap bevindt.

Figuur 27 – Instellingen in de SMPL-001 software (uit Seatec, 2015)

The screenshot shows the 'Settings' tab of the 'SMPL-001 Slib Sampler' software. The interface is organized into sections for different sensors: Air Pressure, Altimeter, Roll, Pitch, and Temperature. Each sensor section contains input fields for 'Raw Value', 'Range', 'Span', 'Zero', 'Offset', and 'Eng Value'. Below these sections, there is a checkbox for 'Enable Sample Logging with GPS coordinates' and a 'Save Changes' button. At the bottom, there are three input fields for 'Altimeter Signal OK Threshold', 'Roll Signal OK Threshold', and 'Pitch Signal OK Threshold'.

Sensor	Raw Value	Range	Span	Zero	Offset	Eng Value
Air Pressure	4.01 [mA]	10.0 [Bar]	0.6250	4.0 [mA]	0.0 [Bar]	0.0 [Bar]
Altimeter	0.00 [m]	10.0 [Mtr]	0.6250	4.0 [m]	0.0 [Mtr]	-2.5 [Mtr]
Roll	2.35 [V]	40.0 [Deg]	10.0000	0.5 [V]	-20.0 [Deg]	-1.5 [Deg]
Pitch	2.62 [V]	40.0 [Deg]	10.0000	0.5 [V]	-20.0 [Deg]	1.2 [Deg]
Temperature	2.02 [V]	70.0 [°C]	10.0000	0.0 [V]	0.0 [°C]	20.2 [°C]

Enable Sample Logging with GPS coordinates ☐

Altimeter Signal OK Threshold: 0.2 [Mtr]
Roll Signal OK Threshold: 2.0 [Deg]
Pitch Signal OK Threshold: 2.0 [Deg]

Save Changes

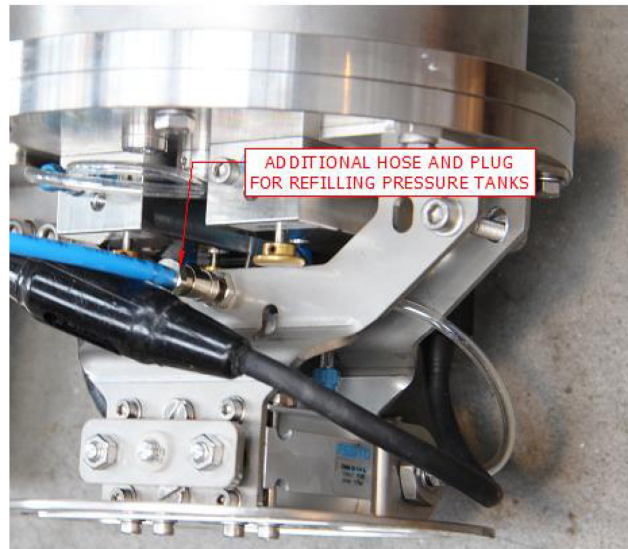
3. Wanneer de knop “Release sampler unit” wordt aangevinkt, wordt de slibsamplert in vrije val losgelaten totdat de kabel is opgespannen. Op het hoofdscherm geeft een lichtje aan of deze functie actief is. Door opnieuw op de knop te drukken kan dit ontgrendelingssysteem gedeactiveerd worden. De cilinder blijft ingeschakeld totdat de reset-klep wordt gebruikt om de opgebouwde luchtdruk af te voeren. Wanneer het selectievakje “Enable Sample Logging” wordt ingeschakeld, wordt de actuele GPS-locatie samen met het nummer van de sample vastgelegd.

4. Met behulp van de lier kan het monster bovengehaald worden. De indicator op het scherm geeft aan wanneer deze functie actief is. Druk opnieuw op de knop om de functie uit te schakelen. De opening wordt gesloten door een balg op te blazen.

Als de slibsamplert recht naar beneden hangt, gaan de indicatoren op het hoofdscherm groen branden om aan te geven dat de sampler klaar is om te worden losgelaten. De drempelwaarden voor de indicatoren kunnen worden ingesteld in de tab “Instellingen”.

De altimeter geeft de afstand weer tussen de slibsamplert en de slibbodem. In het tabblad “Instellingen” kan de nulwaarde van de altimeter-offset worden aangepast. De indicatie van de druk geeft de feitelijke druk van de pneumatiek aan in de “control pad”.

Figuur 28 – Foto van de plug voor het hervullen van de druktank



2.6.3 Uitvoeren van metingen

Voor het nemen van slibsamples met het meetinstrument moeten volgende voorbereidingen worden getroffen:

1. Aansluiten van alle vereiste kabels:

- sampling instrument verbonden met eindvork
- communicatiekabel tussen lier en PC (COM3)
- survey string kabel (indien van toepassing)
- voedingskabels (voor pc en lier)

2. Zorg ervoor dat de eindvork is vastgemaakt aan de “pad-eye” op de “control pod” (Figuur 29)

3. Installeer de kabel tussen de eindvork en de “control pod” (Figuur 29)

4. Controleer of de ontluchtingsplug (A) gesloten is (Figuur 30)

5. Schakel zowel de lier- als besturings-pc in en start de sampler-software (SMPL-001)

6. Controleer alle sensorwaarden in de software (hoogtemeter, pitch en rol, luchtdruk).

7. Breng lucht aan op het luchtreservoir tot een maximum van 8 bar

8. Zorg ervoor dat de luchtslang van de samplerbuis is aangesloten op de “control pod” (Figuur 31)

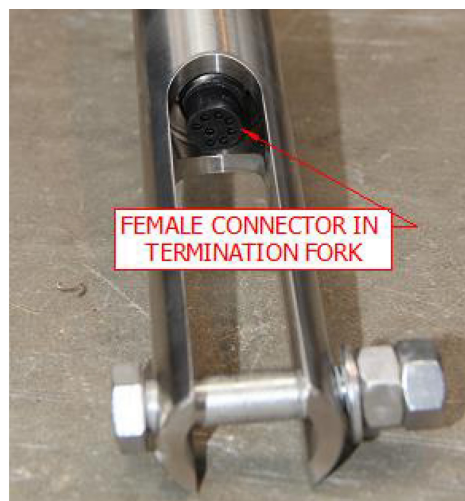
9. Zorg ervoor dat de opening van de samplerbuis (orifice) vacuüm getrokken is, met behulp van de vacuümpomp:

- Verbind de vacuümpomp met de connectie voor de vacuümpomp (Figuur 31)
- Start de vacuümpomp en druk tegelijkertijd op de resetklep (O) totdat de opening van de samplerbuis volledig vacuüm gezogen is
- Verwijder de pomp en laat de reset-klep (O) los. Zorg ervoor dat de piston in de buis zich in de laagste positie bevindt (Figuur 32), hiervoor kan de meegeleverde staaf worden gebruikt
- Zorg ervoor dat alle meetpunten op de samplerbuis gesloten zijn

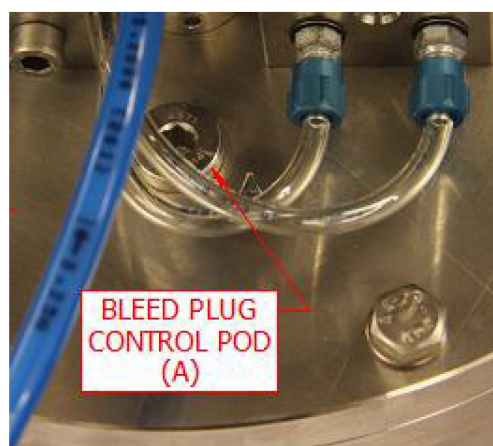
10. Bevestigen van monsterbuis aan “sample pod”:

- Klik in de software op de knop "release sampler unit". Hierdoor wordt het vergrendelingsmechanisme op de “sample pod” geopend
- Klik opnieuw op de knop "release sampler unit" om de functie te deactiveren
- Plaats het bovenste uiteinde van de buis (Figuur 34) in de ingang van het vergrendelmechanisme (Figuur 33).
- Druk op de knop van de ontgrendelingsklep van het ontgrendelingssysteem (R) om het vergrendelingsmechanisme te sluiten (Figuur 31 en Figuur 33). De buis is nu vergrendeld onder de “sample pod”.
- Verbind de karabijnhaak (die via een aramidekabel (Figuur 34) met de zuiger is verbonden) met de bevestigingsbout op de “sampler pod”, die wordt geïllustreerd in Figuur 33.
- Het meettoestel is nu klaar voor het nemen van samples

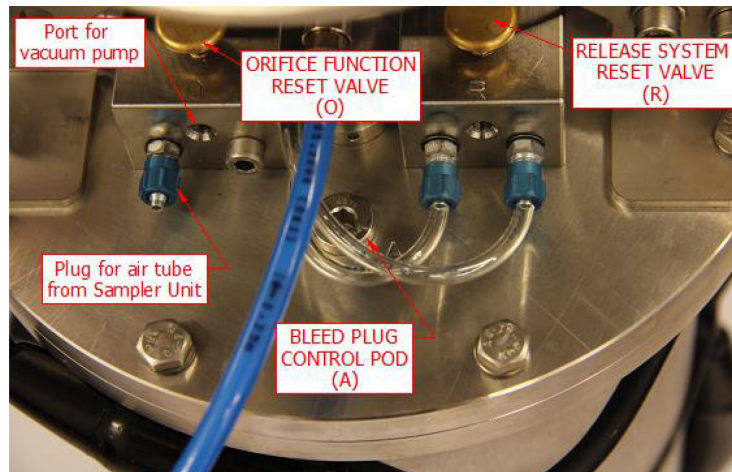
Figuur 29 – Foto van de connectie op de eindvork



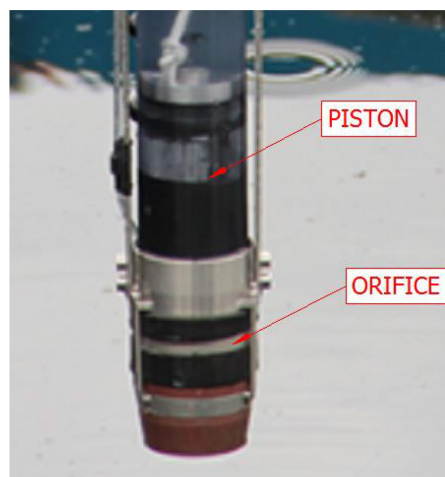
Figuur 30 – Foto van de ontluuchtingsplug op de “control pod”.



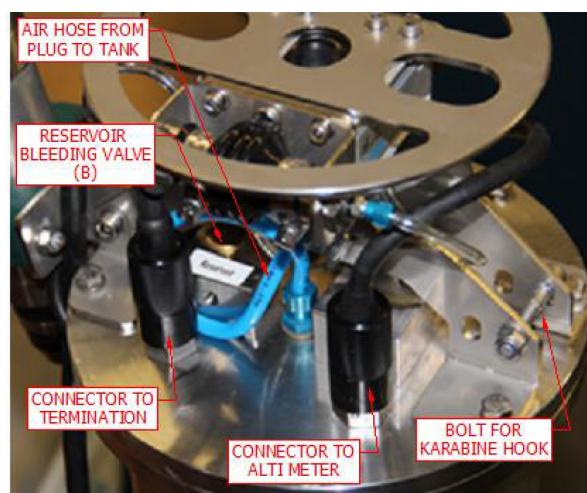
Figuur 31 – Foto van de bovenkant van de “control pod” connecties



Figuur 32 – Foto van de samplebuis met de zuiger en opening met balg



Figuur 33 – Foto van de onderkant van de “control pod” connectie, met vergrendelingsmechanisme voor het bevestigen van de samplingsbuis



Figuur 34 – Foto van de bovenkant van de samplebuis (punt van connectie met de “sample pod”)



Na de voorbereidingen, kan het nemen van een sample met de slibsampler op volgende wijze worden samengevat:

1. Zorg ervoor dat het volledige systeem is ingesteld: de slibsampler is aangesloten en de lier ingeschakeld
2. Start de SMPL-001-software. Het hoofdscherm wordt vervolgens weergegeven (Figuur 26)
3. Plaats het instrument buitenboord en laat het in het water zakken.
4. Wanneer de knop “release sample button” wordt ingedrukt, wordt de slibsampler in vrije val losgelaten totdat de kabel is opgespannen. Op het scherm geeft een indicator aan wanneer deze functie actief is. Dezelfde knop moet opnieuw worden ingedrukt om dit “release systeem” te deactiveren; dit voorkomt opwarmen van de magneten. De cilinder blijft ingeschakeld totdat de resetklep wordt gebruikt om de opgebouwde luchtdruk af te voeren. Wanneer het selectievakje “Enable Sample Logging” is geactiveerd, wordt de daadwerkelijke GPS-locatie samen met het monsternummer vastgelegd.
5. Druk op de knop “close sampler orifice”. De opening aan het uiteinde (onderaan) van de samplerbuis wordt gesloten zodat het slibsample vastzit.

Het terughalen aan boord bestaat uit de volgende stappen:

1. Met behulp van de lier wordt het toestel naar boven gehesen. Een indicator op het scherm geeft aan wanneer de functie “release sample unit” geactiveerd is. Druk opnieuw op de knop om de functie uit te schakelen. De opening wordt gesloten door een balg op te blazen.
2. Wanneer de sampler weer aan dek wordt gehesen, hangt slibsampler aan één touwtje vast
3. Open de “Sampler Tube Unit” vanaf de bovenkant.
4. De cilinder en opening zijn nog steeds geactiveerd. Druk op de openingsklep van de openingsfunctie (O) en laat de systeem resetklep op de “control pod” los om de luchtdruk te verlagen (Figuur 28). Herhaal indien nodig.
5. De druk op de “control pod” moet regelmatig worden aangevuld (elke 4-5 cycli)

2.7 Samenvatting

2.7.1 Overzicht van de technische specificaties

Densiteitstoestellen

Een overzicht van de werkingsprincipes en technische specificaties van de drie meetinstrumenten die densiteit meten en waarvan de resultaten in dit rapport worden besproken, met name Admodus, DensX en Rheotune, is weergegeven in Tabel 8. Het is duidelijk in deze tabel dat de range van densiteiten die door de verschillende toestellen kunnen gemeten worden, zoals opgegeven door de producent, ruim voldoende is voor de toepassingen hier beschreven. Maximale gemeten densiteiten van ca. 1,3 g/cm³ worden verwacht en opgemeten. De opgegeven resolutie van de densiteitsmeting is voor alle meettoestellen groot, met 3 cijfers na de komma, wat ruim voldoende is voor onze toepassingen. Hierbij dient wel vermeld te worden dat voor de Rheotune deze nauwkeurigheid gegeven wordt met de vermelding dat deze geldig is voor Newtoniaanse vloeistoffen. Voor niet-Newtoniaanse vloeistoffen, zoals slib, wordt geen aparte nauwkeurigheid vermeld. De densiteitsmeting van de Rheotune is afgeleid van een weerstandsmeting. Zowel voor de DensX als de Admodus is de densiteitsmeting een directe meting van het toestel. De dieptereange van de toestellen is eveneens duidelijk voldoende voor de toepassingen in dit rapport getest, waar maximale waarden rond de 20 m werden geregistreerd. De vooropgestelde dieptenauwkeurigheid van deze meting is voor de DensX duidelijk lager dan voor de andere toestellen.

Tabel 8 – Overzichtstabel van de technische specificaties (gegeven door de leveranciers) van de beschouwde meetinstrumenten

	Eenheid	Admodus	DensX	Rheotune
Werkingsprincipe		Akoestiek	Transmissie van X-stralen	Trilvork
Gewicht	kg	35,8 (met vleugels)	70	15
Meetfrequentie	1/s	50	10	20
Densiteit: range	g/cm ³	1,00-1,50	1,00-1,50	1,00-1,80
Densiteit: nauwkeurigheid	g/cm ³ (@1,2)	± 0,005	± 0,003	± 0,001
Diepte: range	m	0 - 40	0 - 35 of 100	0 – 60
Diepte: nauwkeurigheid	m (@10m)	± 0,015	± 0,15	± 0,015

In Tabel 9 is een overzicht weergegeven van de theoretische voor- en nadelen van de verschillende meettechnieken.

Tabel 9 – Overzicht van theoretische voor- en nadelen van de verschillende densiteitstoestellen

	Voordeel	Nadeel
Admodus USP	– Rechtstreekse dichtheidsmeting	– Licht toestel: moeilijk(er) te profileren in meer geconsolideerd slib. Maar zou kunnen verzwaard worden.
DensX	– Rechtstreekse dichtheidsmeting – Groot meetvolume	– Radioactieve bron (met verlies stralingswaarde met tijd) – Invloed van bepaalde elementen (b.v.) zware metalen in slib en m.a.w. afhankelijk van het type slib – Keuring Controlatom vereist
Rheotune	– Universele meettechniek	– Nauwkeurigheid enkel voor Newtoniaanse vloeistoffen – Geen directe dichtheidsmeting – Licht toestel: moeilijk(er) te profileren in meer geconsolideerd slib

Reologie toestellen

In Tabel 10 is een overzicht weergegeven van de werkingsprincipes en de technische specificaties van de meetinstrumenten waarmee sterkte eigenschappen van het slib kunnen worden opgemeten. De analyse van de resultaten van deze toestellen wordt in dit rapport niet besproken. In het algemeen is het vergelijken van de reologische karakterisatie moeilijk aangezien verschillende meetprincipes tot verschillende resultaten zullen leiden, en een duidelijke referentie meting niet beschikbaar is. Op het Waterbouwkundig Laboratorium wordt een protocol gebruikt voor het analyseren van substalen, welke als referentie kan gebruikt worden.

Tabel 10 – Overzichtstabel van de technische specificaties (gegeven door de leveranciers) van de beschouwde meetinstrumenten

	Eenheid	Graviprobe	Rheocable	Rheotune
Werkingsprincipe		Vrije val	Trekkabel	Trilvork
Gewicht	kg	8	20 kg (per 20 m)	15
Meetfrequentie	1/s		1	20
Diepte: range	m	0 - 35	0 - 40	0 – 60
Diepte: nauwkeurigheid	m (@10m)	± 0,015	± 0,001	± 0,015

Bij de Rheotune en de GraviProbe wordt een profiel opgemeten, bij de Rheocable wordt geen profiel opgemeten maar de positie van de “reologische overgang” bepaald. Het is onduidelijk welke positie dit toestel zal aannemen wanneer geen duidelijke overgang in sterkte van het slib aanwezig is. Deze veronderstelling, van een duidelijke directe overgang (“de reologische gedragsovergang”), is echter niet bewezen en wordt voorlopig niet gevolgd door het Waterbouwkundig Laboratorium

Bovendien kan vermoed worden dat ook de vorm en aerodynamica van de kabel en meetbol een invloed kunnen hebben op de meting. Ook zal de snelheid van bewegen van Rheocable in het slib het gedrag van de kabel en het veranderen van het gedrag van het slib (dynamische viscositeit) zelf beïnvloeden. Er wordt eveneens geen fysische parameter (behalve druk (diepte)) opgemeten, waardoor vergelijken met een sterkte-waarde, bv. uit een reologische standaardmeting, niet mogelijk is. Voor de GraviProbe en Rheotune kan nagegaan worden of er een voorspelbare relatie is tussen de gemeten waarden en gestandaardiseerde reologische metingen, op verzamelde (sub)stalen.

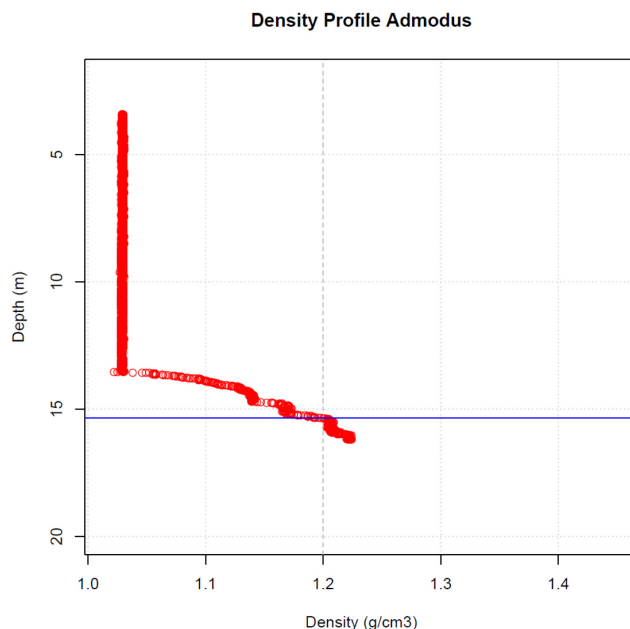
2.7.2 Post-processing

Op het einde van een meetdag gedurende de meetcampagne worden de ruwe data gekopieerd van de computer op een externe harde schijf.

Nadien wordt een Excel bestand per dag en per toestel gecreëerd. In deze post-processing stap worden de data van de ruwe data file genomen, zonder smoothing of aanpassingen aan de data. Elke datasheet in het Excel bestand komt overeen met één meetprofiel. In elke datasheet worden volgende data opgelijst: meetpositie, datum, tijd, diepte, densiteit, schuifspanning (indien gemeten), meting met echosounder (210 kHz en 33 kHz), getij, diepte waarop de $1,2 \text{ g/cm}^3$ wordt bereikt. Deze laatste diepte waarop een densiteit van $1,2 \text{ g/cm}^3$ wordt bereikt, wordt berekend met Excel als de eerste diepte waarde waarop de densiteit de grens van $1,2 \text{ g/cm}^3$ overschrijdt. Deze data worden door Dienst Hydrografie ter beschikking gesteld op een gemeenschappelijke dataschijf.

De Excel files worden ingelezen met behulp van R scripts. Gebruik makend van R scripts worden verschillende files gecreëerd per meting. In elke file wordt de tijd, diepte en densiteit weergegeven. Eveneens worden figuren aangemaakt waarin de diepte versus de densiteit zijn weergegeven, zoals weergegeven in Figuur 35.

Figuur 35 – Densiteitsprofiel opgemeten met de Admodus (profile 1, 27-06-2017)



3 Labo validatie van de instrumenten

Een validatie van de meetinstrumenten werd uitgevoerd op het Waterbouwkundig Laboratorium. Voor een dergelijke validatie wordt de densiteit van een slibmonster geanalyseerd met de meetinstrumenten die gebruikt worden in het veld. Tegelijkertijd wordt de densiteit ook gemeten met een pyknometer en een Anton Paar densiteitsmeter DMA 500. Deze metingen worden beschouwd als referentiemetingen voor densiteit. Eén validatie werd uitgevoerd met slib afkomstig uit het Deurganckdok, een tweede validatie werd uitgevoerd met slib afkomstig van de haven van Zeebrugge. Voor beide validaties werden geen extra kalibratiestappen uitgevoerd, m.a.w. de instellingen van het toestel, zoals gebruikt in de meetcampagne, werd gebruikt.

3.1 Meetopstelling voor de validatie

3.1.1 Opstelling

In een eerste validatiestap werd gewerkt in een klein recipiënt (Figuur 36). Dit was voldoende aangezien enkel met de kleinere toestellen (Rheotune en Admodus) werd gemeten. Bovendien kon sneller gewerkt worden en was de benodigde hoeveelheid slibmateriaal kleiner. Vanwege de DensX werd in de tweede validatiecampagne gewerkt in een groter recipiënt, met name de IBC, zodat het toestel volledig in het slib kon ondergedompeld worden. Door dotOcean werd meegedeeld (persoonlijke communicatie) dat enkel de benen van de DensX in het slib moeten, waardoor voor een volgende keer ook voor dit instrument kan gewerkt worden in een kleiner recipiënt.

Figuur 36 – Recipiënt en mixen van de samples voor de eerste validatie



3.1.2 Meettoestellen

Pyknometer

Naast de hierboven beschreven meetinstrumenten die in het veld gebruikt worden (zie hoofdstuk 2 voor hun beschrijving) werd tijdens de validatie gebruikt gemaakt van de pyknometer en de Anton Paar densiteitsmeter. Een pyknometer is een ISO gestandaardiseerde cilinder met dekseltje (uitgerust met gaatje), gefabriceerd in roestvrij staal (Figuur 37). Bij het plaatsen van het dekseltje loopt het overtollige staal via de opening in het dekseltje naar buiten. Dit overtollige staal dient te worden verwijderd van de cilinder en het deksel dient te worden gereinigd voor het afwegen. De inhoud van deze cilinder is een vast volume van 50 ml, met een tolerantie van 0,1 %. Wanneer het volume van de vloeistof gekend is, kan de densiteit worden afgeleid na meting van het gewicht. Het gewicht wordt bepaald met een Mettler Toledo XP204 weegschaal.

Anton Paar densimeter

De Anton Paar DMA 500 densiteitsmeter werd gebruikt tijdens de validatiemeting. Een slibmonster wordt, met behulp van een spuitje, geïnjecteerd in de densiteitsmeter. Met behulp van een scherm kan in detail gekeken worden of er geen luchtbelletjes of onzuiverheden de metingen beïnvloeden (zie Figuur 37).

Figuur 37 – Foto van de pyknometer (links) en de Anton Paar densiteitsmeter (rechts)



3.1.3 Saliniteit

Met behulp van een YSI multiparametersonde werd de saliniteit opgemeten.

3.1.4 Korrelgrootteverdeling

Op alle stalen werd een korrelgrootteverdeling uitgevoerd met de Mastersizer 2000. Er werd een d50 van 8 – 9 µm waargenomen voor Zeebrugge, met een fractie < 2 µm van ca 10 % en een fractie tussen 2 µm en 63 µm van ca. 80 %. Voor Deurganckdok is de korrelverdeling nagenoeg identiek.

3.1.5 Organisch materiaal

Het organisch gehalte wordt gemeten met behulp van een Prepash 229. Het organisch gehalte wordt bepaald op basis van het verschil in gewicht van een monster, dat opgewarmd wordt van 110° tot 550° C. Met behulp van volgende vergelijking (Borovec, 1996) wordt dit verschil in gewicht omgezet naar een organisch koolstofgehalte (OC):

$$OC = 0.0902 + (0.465 * ((M_{110} - M_{550})/M_{110}) * 100)$$

Voor het slib van Zeebrugge werd een organisch koolstofgehalte van $7,0 \pm 0,3$ % bepaald.

3.2 Resultaten: validatie slib afkomstig uit Deurganckdok

Voor de eerste validatie werd, m.b.v. een Van Veen grijper, slib verzameld in Deurganckdok op 2 verschillende locaties. Een overzicht van de testresultaten is weergegeven in Tabel 11 voor het eerste slibmonster en in Tabel 12 voor het tweede slibmonster. Voor het eerste slibmonster werd een range getest van ca. 1,25 g/cm³ tot ca. 1,11 g/cm³. Voor het tweede slibmonster was de initiële densiteit lager, en bijgevolg bedroeg de range van de validatietest van ca. 1,20 g/cm³ tot 1,1 g/cm³. Voor het eerste monster werden 10 densiteiten getest, voor het tweede monster 7. Zoals hierboven vermeld, werd in deze validatietest enkel de Admodus en Rheotune gebruikt.

Tabel 11 – Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slibmonster 1.
De getallen in de tabel zijn uitgedrukt in g/cm³.

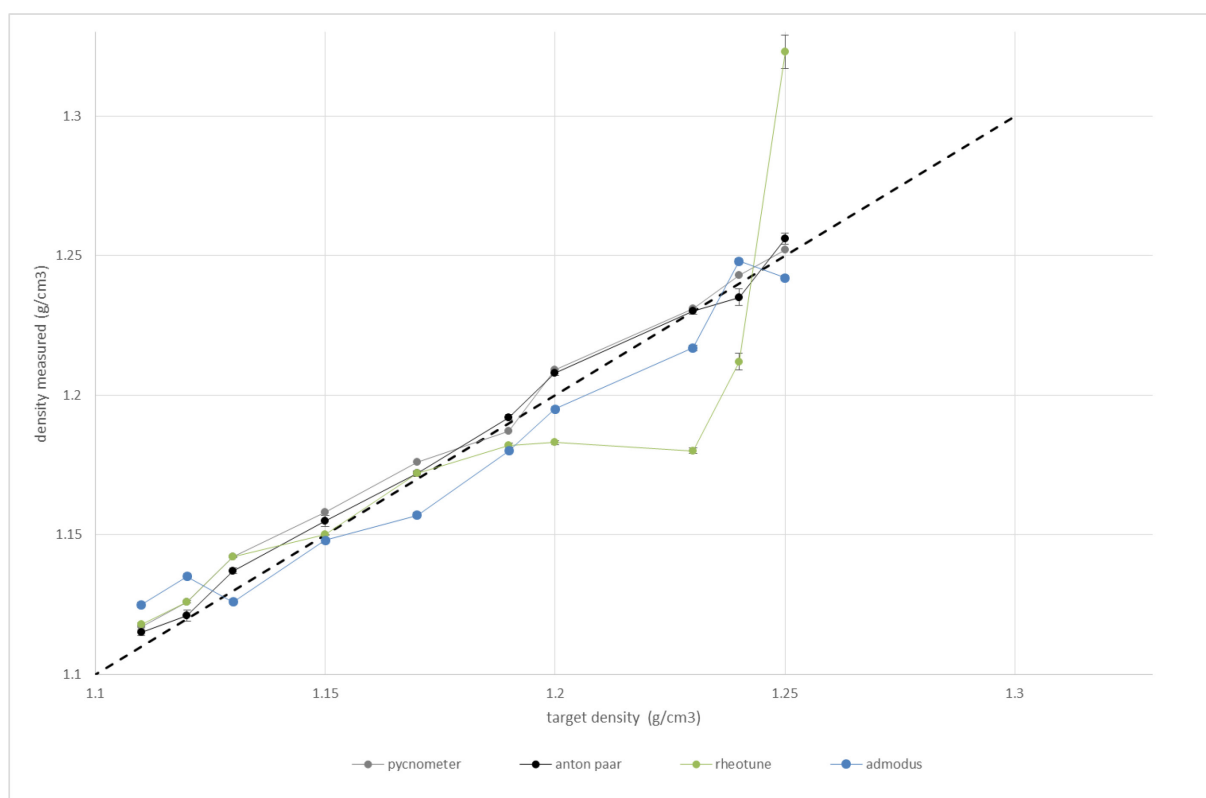
Doel	1,11	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,20	1,23	1,24	1,25
Pyknometer	1,117	1,126	1,142	1,158	1,176	1,187	1,209	1,231	1,243	1,252
Anton Paar	1,115 ±0,001	1,121 ±0,002	1,137 ±0,001	1,155 ±0,002	1,172 ±0,001	1,192 ±0,001	1,208 ±0,001	1,230 ±0,001	1,235 ±0,003	1,256 ±0,002
Rheotune	1,118 ±0,004	1,126 ±0,005	1,142 ±0,001	1,150 ±0,001	1,172 ±0,003	1,182 ±0,007	1,183 ±0,007	1,180 ±0,001	1,212 ±0,003	1,323 ±0,006
Admodus	1,125 ±0,001	1,135 ±0,001	1,126 ±0,001	1,148 ±0,001	1,157 ±0,001	1,18 ±0,001	1,195 ±0,001	1,217 ±0,001	1,248 ±0,001	1,242 ±0,001

Tabel 12: Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slibmonster 2.
De getallen in de tabel zijn uitgedrukt in g/cm³.

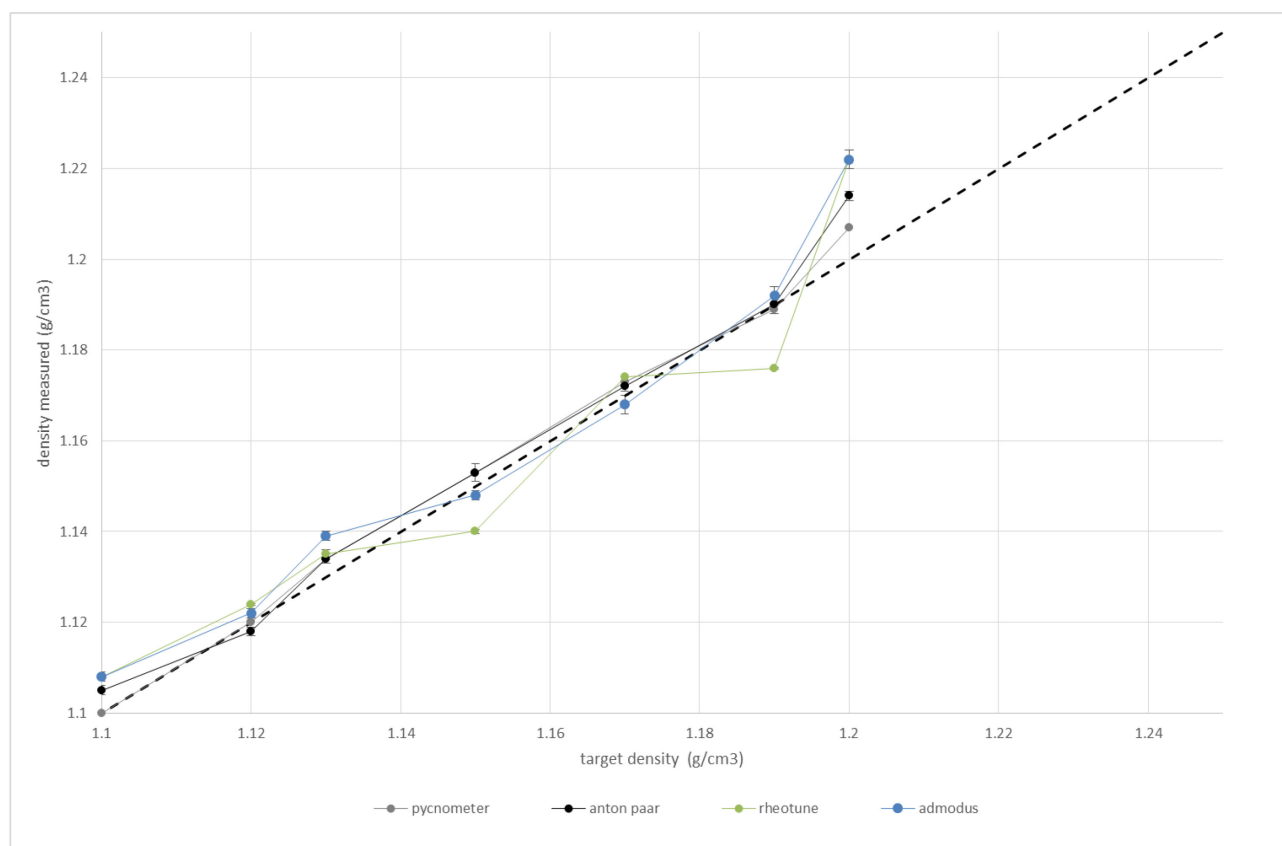
Doel	1,1	1,12	1,13	1,15	1,17	1,19	1,20
Pyknometer	1,100	1,120	1,134	1,153	1,173	1,189	1,207
Anton Paar	1,105 ±0,001	1,118 ±0,001	1,134 ±0,001	1,153 ±0,001	1,172 ±0,002	1,190 ±0,002	1,214 ±0,001
Rheotune	1,108 ±0,001	1,124 ±0,001	1,135 ±0,001	1,140 ±0,001	1,174 ±0,002	1,176 ±0,002	1,222 ±0,02
Admodus	1,108 ±0,001	1,122 ±0,001	1,139 ±0,001	1,148 ±0,001	1,168 ±0,002	1,192 ±0,002	1,222 ±0,002

In Figuur 38 en Figuur 39 is een overzicht gegeven van de resultaten, voor respectievelijk de twee slibmonsters. In Figuur 38 kan worden opgemerkt dat de metingen van de verschillende instrumenten goed overeenkomen van een densiteit $1,1 \text{ g/cm}^3$ tot een densiteit van ca. $1,19 \text{ g/cm}^3$. Voor het meetbereik van $1,20$ tot $1,25 \text{ g/cm}^3$ liggen de metingen met de Rheotune sterk onder de referentiemeting van de pyknometer. Voor de hoogste densiteit, ca. $1,25 \text{ g/cm}^3$ overschat de Rheotune de densiteit. Voor de verdunningsreeks van slibmonster 2, weergegeven in Figuur 39, lijkt de overeenkomst tussen de verschillende meetinstrumenten groter. Er werden voor de tweede reeks stalen geen densiteiten hoger dan $1,2 \text{ g/cm}^3$ opgemeten omdat het genomen staal een start-densiteit heeft van $1,2 \text{ g/cm}^3$.

Figuur 38 – Gemeten densiteit met Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en pyknometer voor slibmonster 1 uit Deurganckdok en 10 verdunningen



Figuur 39 – Gemeten densiteit met Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en pyknometer voor slibmonster 2 uit Deurganckdok en 7 verdunningen.



3.3 Resultaten: validatie slib afkomstig uit Zeebrugge

Voor de tweede validatie werd m.b.v. een baggerschip slib verzameld in haven van Zeebrugge. Een overzicht van de testresultaten is weergegeven in Tabel 13. Er werd een range getest van ca. 1,22 g/cm³ tot ca. 1,11 g/cm³. Voor de hoogste densiteit werden twee metingen uitgevoerd, één voor homogenisatie met de mixer (niet gemixt in Tabel 13), en één na het mixen van het initiële slibmengsel. Voor de laagste densiteit werd getest of er een verschil is tussen een meting waarbij een meettoestel wordt bewogen gedurende de proeven (standaard) of deze gewoon stil hangen in het recipiënt. In totaal werden 4 verschillende densiteiten bemeaten.

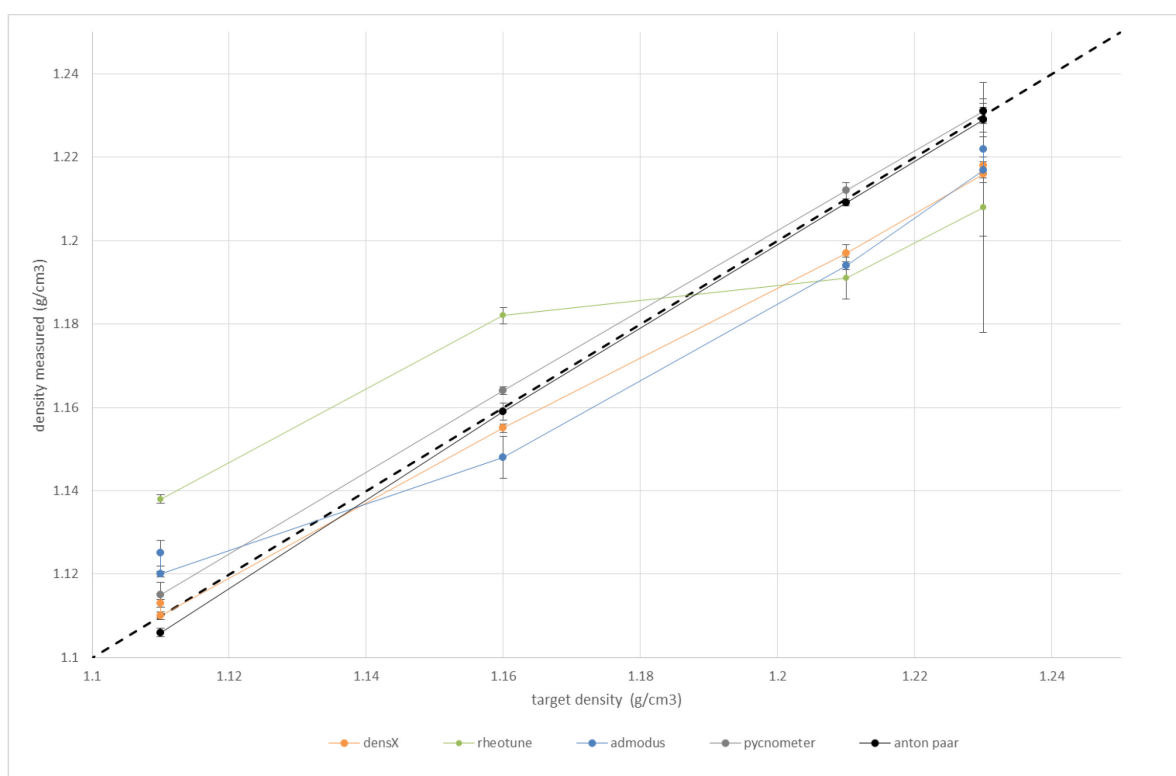
Tabel 13 – Overzicht van de resultaten van densiteitsmetingen m.b.v. de verschillende meetinstrumenten, voor slib van Zeebrugge. De getallen in de tabel zijn uitgedrukt in g/cm³.

Doel	1,11 (stil)	1,11	1,16	1,21	1,22	1,22 (niet gemixt)
Pyknometer		1,115 ±0,003	1,164 ±0,001	1,212 ±0,002	1,231 ±0,003	1,229 ±0,003
Anton Paar		1,106 ±0,001	1,159 ±0,002	1,209 ±0,006	1,229 ±0,006	1,231 ±0,002

Rheotune		1,138 ±0,001	1,182 ±0,002	1,191 ±0,005	1,208 ±0,03	1,208 ±0,007
Admodus	1,125 ±0,003	1,120 ±0,006	1,148 ±0,005	1,194 ±0,001	1,217 ±0,001	1,222 ±0,003
DensX	1,113 ±0,001	1,11 ±0,001	1,155 ±0,001	1,197 ±0,002	1,216 ±0,002	1,218 ±0,002

In Figuur 40 zijn de resultaten van de validatiemeting weergegeven. Voor de Admodus is de meting van de laatste densiteit iets hoger dan de referentiemetingen, voor de hogere densiteiten iets lager. Deze onderschatting is maximaal ca. 0,02 g/cm³. Voor de DensX liggen de metingen iets dichter tegen de referentiemeting, maar vergroot het verschil naarmate de densiteiten hoger worden. De Rheotune vertoont algemeen de hoogste afwijkingen. Bij de lagere densiteiten is er een overschatting van de metingen, bij de hogere densiteiten een onderschatting. De afwijkingen tijdens deze validatiemetingen zijn groter dan voor voorgaande.

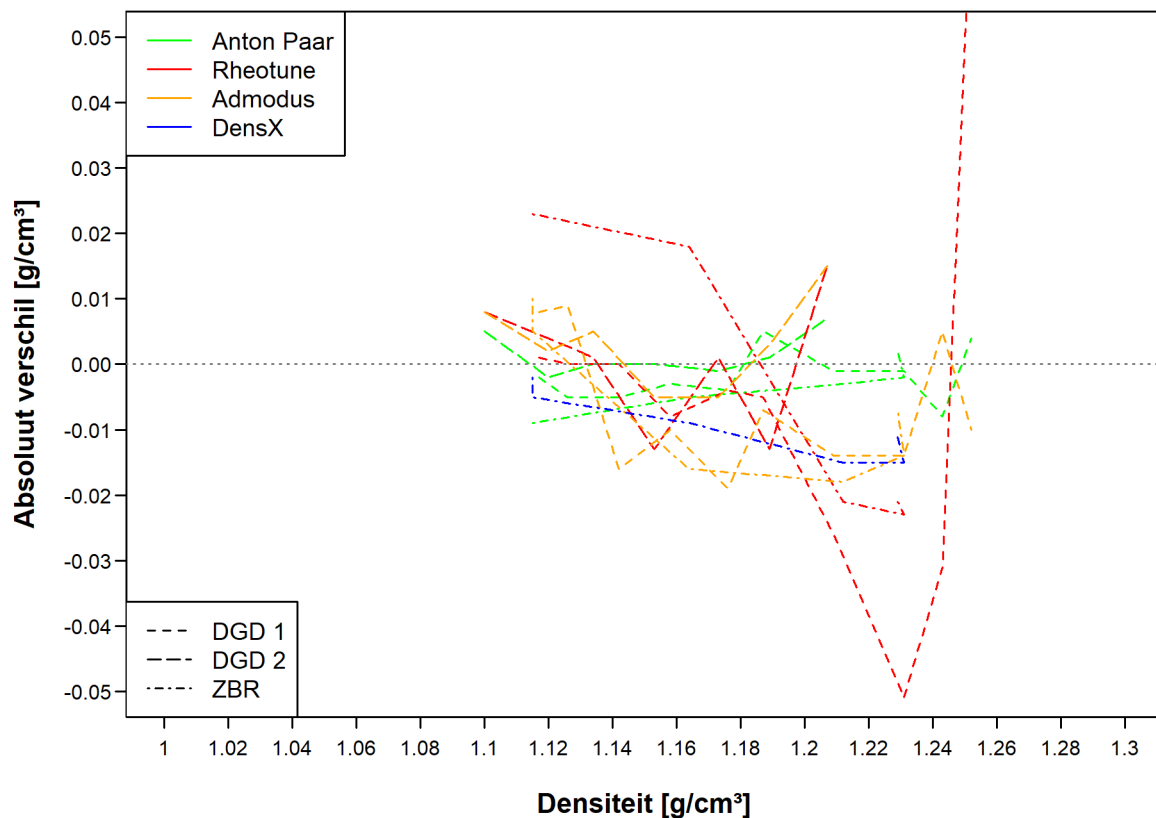
Figuur 40 – Gemeten densiteit met DensX, Admodus, Rheotune, Anton Paar densimeter en Pyknometer voor slibmonster uit Zeebrugge en 4 verdunningen.



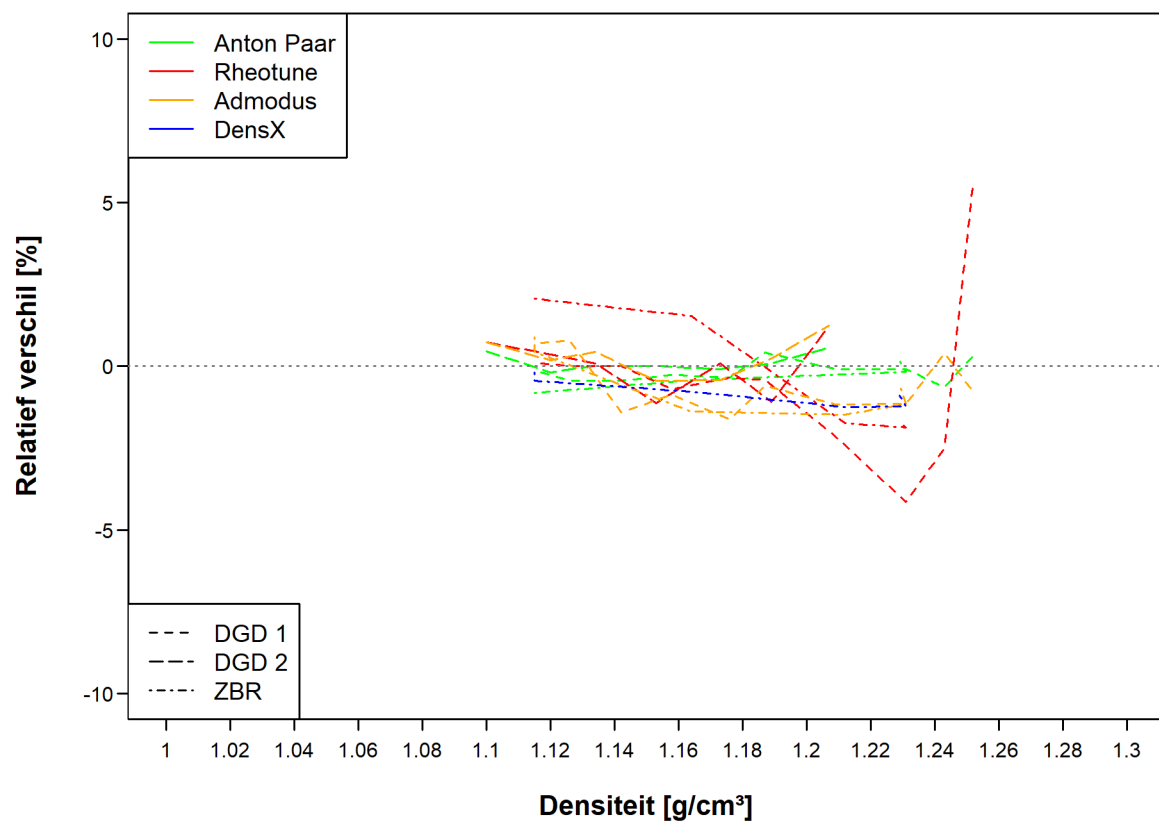
3.4 Resultaten: overzicht

In Figuur 41 en Figuur 42 is een overzicht gegeven van de resultaten van de verschillende validatiemetingen in het Waterbouwkundig Laboratorium. In Figuur 41 zijn de absolute verschillen weergegeven t.o.v. een referentiemeting, waarbij de pyknometer metingen als referentie beschouwd werden. Het is hierbij duidelijk dat de Anton Paar densiteitsmeting steeds binnen $0,01 \text{ g/cm}^3$ van deze waarden liggen. Er kan geen grotere afwijkingen bij lagere of hogere densiteiten worden vastgesteld, wel lijkt de densiteit meestal iets onderschat. Voor de DensX zijn de afwijkingen t.o.v. de referentie tussen $0,01$ en $0,02 \text{ g/cm}^3$, waarbij eerder een onderschatting van de dichtheid wordt vastgesteld. Voor de Rheotune lijken de verschillen het grootst, over alle validatiemetingen beschouwd. Er kan evenwel geen eenduidige vaststelling van onder of overschatting gemaakt worden. Voor de Admodus zijn de verschillen variërend positief en negatief, en beperkt tot maximaal $0,02 \text{ g/cm}^3$ verschil met de pyknometerwaarden. Er kon geen relatie tussen de fout en densiteitswaarde worden vastgesteld.

Figuur 41 – Overzicht van het absolute verschil tussen het betreffende meetinstrument en de pyknometer.
De verschillende validatiemetingen zijn aangeduid met een andere lijntype.



Figuur 42 – Overzicht van het relatieve verschil tussen het betreffende meetinstrument en de pyknometer.
De verschillende validatiemetingen zijn aangeduid met een andere lijntype.



4 Meetcampagne 3

4.1 Introductie

Een derde in-situ meetcampagne werd uitgevoerd van 16 april 2018 tot 5 mei 2018. Een overzicht van de meetcampagne is weergegeven in Figuur 43. Tijdens deze meetcampagne werden drie meettoestellen gebruikt, met name deze toestellen die ontwikkeld zijn voor het opmeten van densiteit: de Admodus, DensX en Rheotune. Gedurende 1 dag (23/04) werd eveneens gemeten door Geo-XYZ, met hun Rheotune. De andere instrumenten, besproken in hoofdstuk 2, werden getest in andere meetcampagnes en worden hier eveneens besproken met betrekking tot hun praktische werking. De resultaten van de metingen worden in dit rapport echter niet besproken.

Figuur 43 – Overzicht van het meetprogramma gedurende de in-situ meetcampagne in april – mei 2018.

	11/apr	12/apr	13/apr	14/apr	15/apr	16/apr	17/apr	18/apr	19/apr	20/apr	21/apr	22/apr
Slibsampler						0						
Admodus	v	v	v				v	v	v			
DensX	v	v	v				v	v	v			
Rheotune								v	v			
GeoXYZ												
	23/apr	24/apr	25/apr	26/apr	27/apr	28/apr	29/apr	30/apr	1/mei	2/mei	3/mei	4/mei
Slibsampler			0									
Admodus	v			v	v					v	v	
DensX	v	v		v	v					v	v	
Rheotune	v									v	v	
GeoXYZ	v											

Voor de slibsampler, een toestel dat dient voor het rechtstreeks nemen van ongestoorde slibstalen, werd een opleidingsdag voorzien op 16/04, maar gedurende de meetcampagne werden geen geslaagde staalnames uitgevoerd met dit meetinstrument.

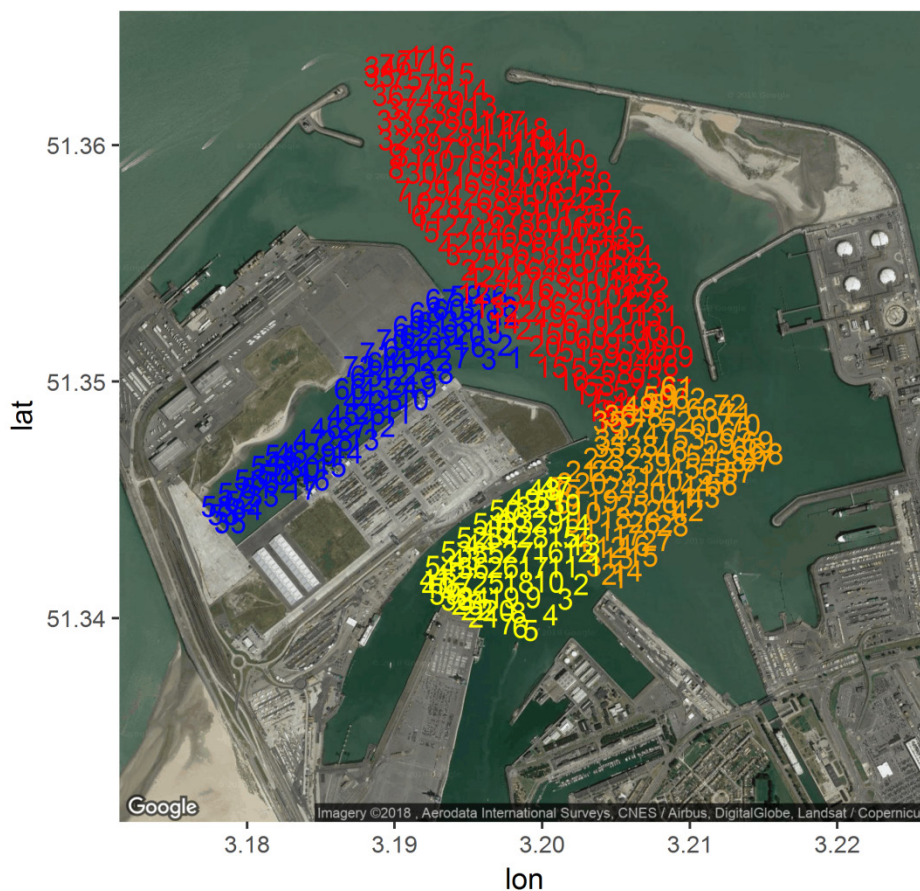
De DensX werd gedurende iedere dag aan boord gebruikt, met in totaal 12 meetdagen. De Admodus werd enkele dagen niet gebruikt, vanwege een technisch defect met de datakabel. Ook voor de Rheotune was er een technisch defect met de omvormer, maar deze defecten konden snel worden verholpen. In totaal werden met deze meetinstrumenten respectievelijk 11 en 5 dagen gemeten.

Er is over de volledige meetcampagne dus 1 dag waarop metingen beschikbaar zijn van 4 verschillende instrumenten. Voor 6 dagen zijn er meetresultaten beschikbaar van Admodus en DensX samen, voor 4 extra dagen was extra ook de Rheotune beschikbaar.

4.2 Locatie

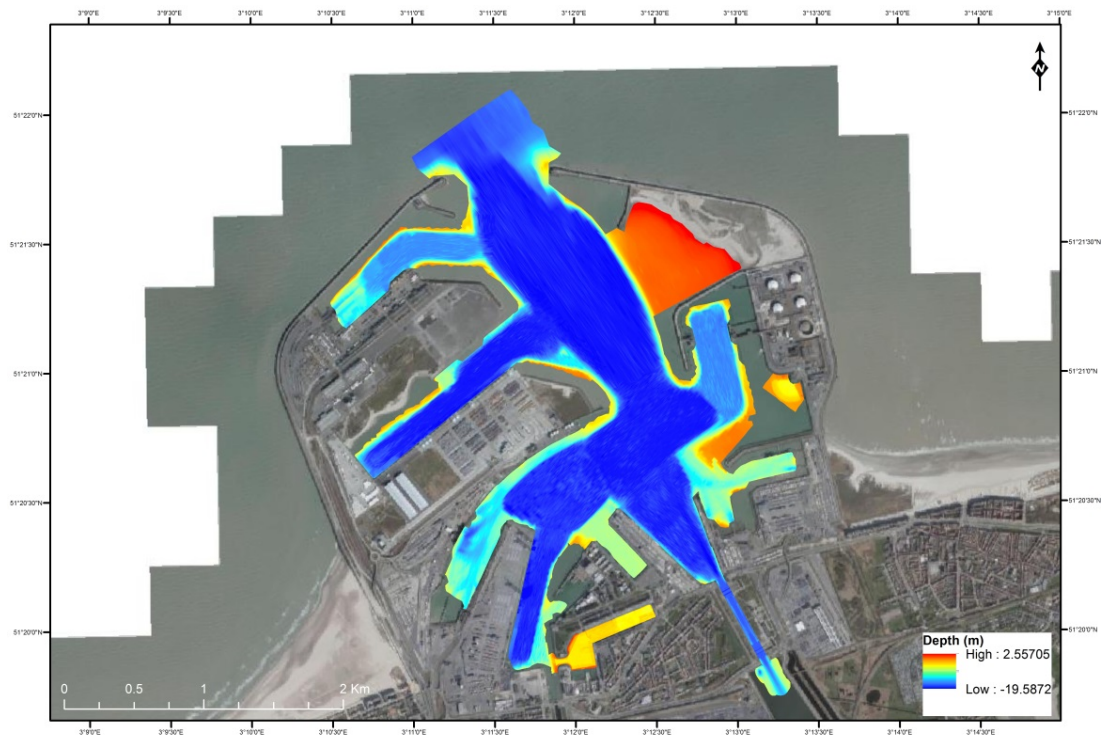
De meetcampagne werd uitgevoerd in de haven van Zeebrugge. De voorhaven van Zeebrugge wordt opgedeeld in een aantal secties. De belangrijkste secties hier, gedurende de meetcampagne, zijn het Albert-II dok (A2), Zwaaiplaats 1 (Z1) en Zwaaiplaats 2 (Z2) en CDNB. Deze zones, met bijhorende priklocaties, zijn weergegeven op kaart in Figuur 44. Een zoom van elke zone is weergegeven in Appendix 8.1.

Figuur 44 – Overzicht van de voorhaven van Zeebrugge, met priklocaties in CDNB (rood), Albert-II dok (blauw), ZP1 (geel) en ZP2 (oranje).



Een overzicht van de bathymetrische opnames is weergegeven in Figuur 45. Een detail van de verschillende zones van de survey (Albert II dok, CDNB en Z1 en Z2) kan teruggevonden worden in Appendix 8.1, met name Figuur 87 tot en met Figuur 90.

Figuur 45 – Overzicht van bathymetrische opname in de haven van Zeebrugge, gemeten met single beam

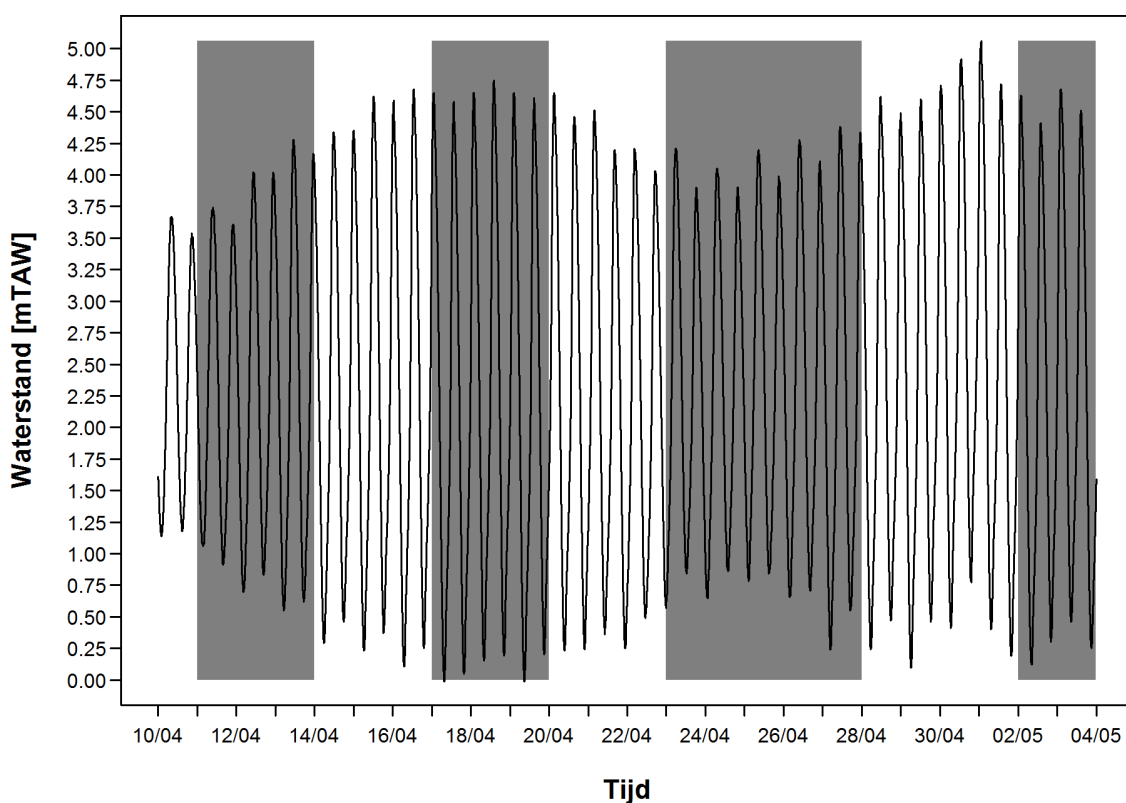


4.3 Meteorologische condities en getij

4.3.1 Getij

In Figuur 46 is het getij weergegeven gedurende de meetcampagne, gemeten ter hoogte van de Leopold II dam. Metingen zijn beschikbaar elke 5 minuten. De data werden bekomen via de website van Meetnet Vlaamse Banken. De dagen waarop gemeten werd gedurende de campagne zijn aangegeven met een grijze achtergrond.

Figuur 46 – Verloop van het getij bij de Leopold-II dam te Zeebrugge, gedurende de meetcampagne.
De grijze achtergrond duidt de dagen aan waarop de metingen werden uitgevoerd.



De maximale waterhoogte tijdens de meetcampagne is 4,75 m TAW, de minimale waterhoogte -0,01 m TAW. In Tabel 14 is een overzicht gegeven van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden op de meetdagen zelf, evenals het gemiddeld tijverschil. Het is duidelijk dat de dag met gemiddeld de laagste hoogwaters, hoogste laagwaters en kleinste tijverschil de eerste meetdag is, met name 11/04. De dag met gemiddeld het grootste tijverschil, en laagste laagwater is 17/04. Het gemiddeld hoogste hoogwater wordt waargenomen op 18/04. De grootste getijverschillen worden waargenomen in week 2 en 4 van de meetcampagne, de kleinste verschillen in de eerste en derde week.

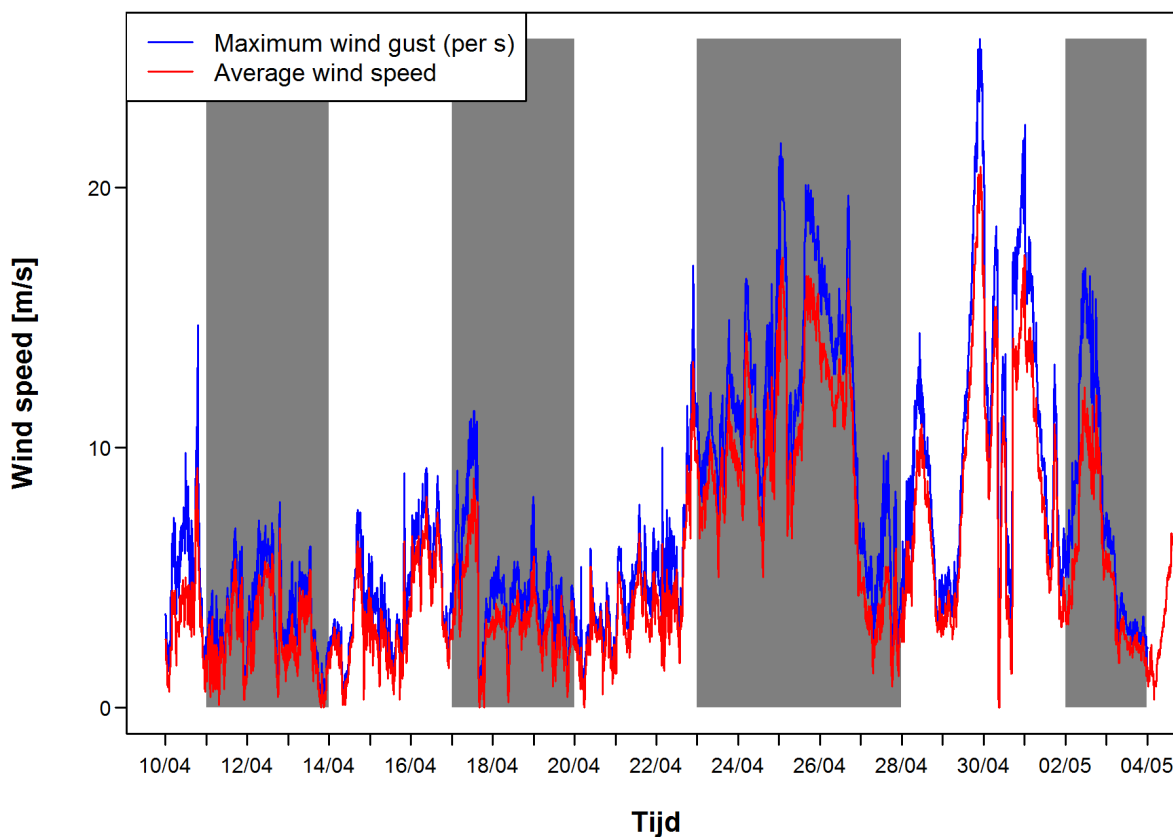
Tabel 14 – Overzicht van het getij, wind en golven gedurende de meetcampagne.
Voor wind en golven werden de gemiddelde waarden berekend tussen 8u 's morgens en 17u 's avonds,
ongeveer overeenkomend met het tijdstip van de effectieve metingen.

	Getij			Wind		Golven	
	[m TAW]			[m/s]		[cm]	
	HW	LW	GTV	Gem	Max	H _{1/3}	H _{max}
11/04	3,67	0,98	2,69	2,30	2,84	31,46	40,12
12/04	4,02	0,76	3,25	4,77	5,89	35,75	45,58
13/04	4,22	0,58	3,64	3,50	4,25	26,06	33,22
17/04	4,61	0,02	4,59	6,53	8,98	10,76	13,71
18/04	4,70	0,17	4,53	3,05	4,00	13,02	16,60
19/04	4,63	0,09	4,53	2,74	4,18	11,43	14,58
23/04	4,05	0,84	3,22	8,51	10,03	16,58	21,14
24/04	3,97	0,75	3,22	9,39	11,16	20,69	26,38
25/04	4,09	0,81	3,29	10,06	11,96	26,87	34,26
26/04	4,19	0,68	3,51	11,88	13,96	31,18	39,75
27/04	4,36	0,39	3,97	3,33	5,43	16,79	21,41
02/05	4,52	0,21	4,31	9,39	13,63	14,67	18,70
03/05	4,59	0,35	4,24	2,62	3,34	18,70	23,84

4.3.2 Wind

In Figuur 47 is een overzicht weergegeven van de gemiddelde windsnelheid en maximale windsnelheid gedurende de meetcampagne. De temporele resolutie van de data is 10 minuten. De data worden opgemeten ter hoogte van meetlocatie 'Zeebrugge Daminstrumentatie' en werden bekomen via de website van Meetnet Vlaamse Banken. De dagen waarop gemeten werd is aangegeven met een grijze achtergrond. De windsnelheden tijdens de meetdagen waren over het algemeen niet zo groot. In Tabel 14 is een overzicht gegeven van de gemiddelde windsnelheid per meetdag (tussen 8 en 17u) en de gemiddeld maximale windsnelheden. Maximale gemiddelde windsnelheden werden opgemeten op 26/04, de minimale gemiddelde snelheid op 11/04. De wind-gegevens werd opgenomen in het rapport om mogelijke drift in horizontale positie toe te wijzen aan windsnelheid en windrichting.

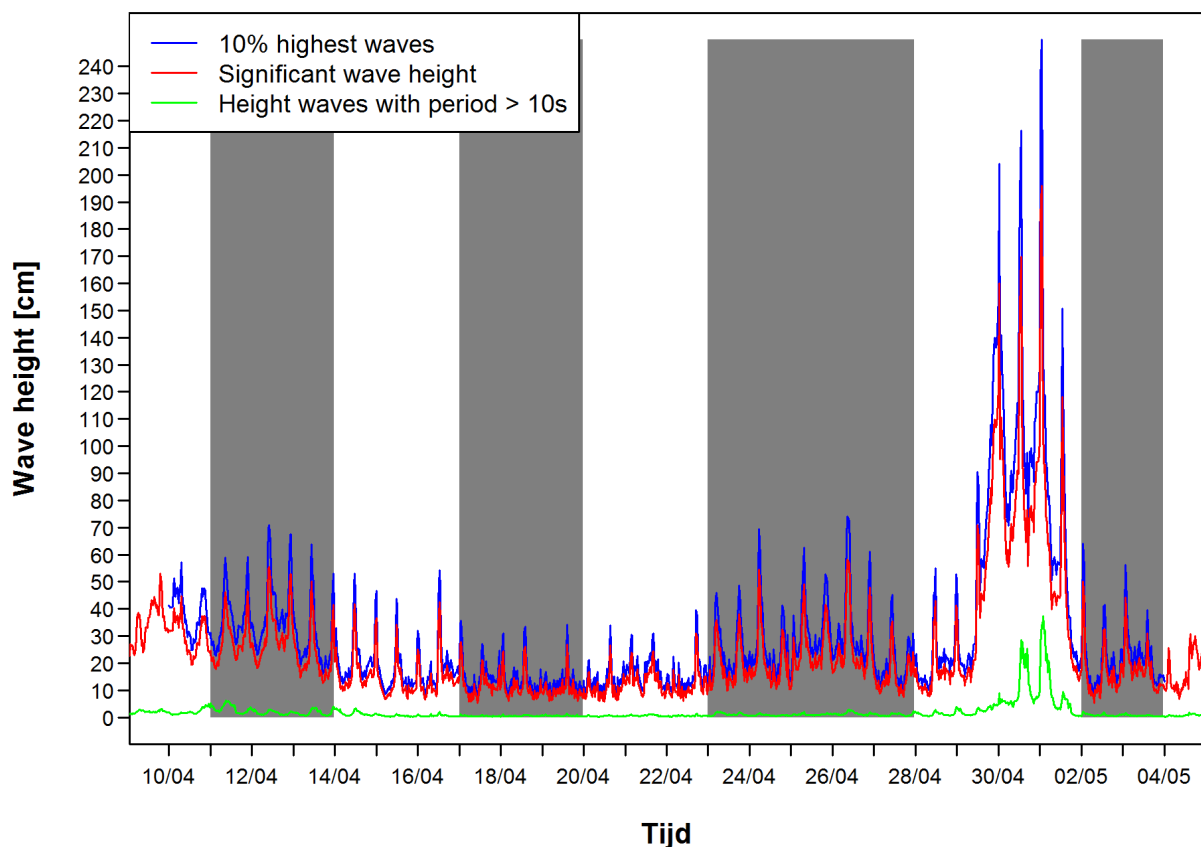
Figuur 47 – Overzicht van de gemeten windsnelheid (gemiddelde en maximum windsnelheid per seconde) tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.



4.3.3 Golven

In Figuur 48 is het verloop van de golfhoogtes ter hoogte van meetpost 'Zeebrugge Zandopvangkade' weergegeven. De data werden bekomen via de website van Meetnet Vlaamse Banken. In de figuur zijn respectievelijk de gemiddelde golfhoogte van de 10% hoogste golven, de significante golfhoogte $H_{1/3}$ (het gemiddelde van de 33% hoogste golven) en de gemiddelde hoogte van golven met een golfperiode groter dan 10 s weergegeven. Voor deze metingen is 1 meting beschikbaar per half uur. Het is duidelijk uit de grafiek dat het golfklimaat gedurende de metingen beperkt was. Een maximale gemiddelde significante golfhoogte van ca. 35 cm werd opgemeten 12/04 (zie Tabel 14). Een laagste significante golfhoogte van 11 cm werd opgemeten op 17/04. De golfgegevens werd opgenomen in het rapport om mogelijke onnauwkeurigheid in verticale positie (diepte) toe te wijzen aan golfbewegingen.

Figuur 48 – Overzicht van de gemeten golfhoogtes tijdens de meetcampagne, ter hoogte van Zeebrugge Zandopvangkade



4.4 Metingen met slibinstrumenten

4.4.1 Echosounding

Tijdens de meetcampagnes werden voor elke prik ook de 33 kHz en 210 kHz waarden genoteerd. Om een goede schatting van de geluidssnelheid te krijgen, werden dagelijks saliniteitsmetingen uitgevoerd bij aanvang van de metingen.

4.4.2 Admodus

Kalibratie

De druksensor wordt bij aanvang van de metingen steeds opnieuw gekuist en de olie vervangen. Het is belangrijk om de onzuiverheden die zich hier kunnen verzamelen goed te verwijderen, zodat de sensor juiste diepte meetwaarden weergeeft. Er wordt tijdens een meetdag regelmatig nagegaan of de weergegeven druk "0" aangeeft wanneer het instrument juist boven het wateroppervlak wordt gebracht.

Bij het opstarten van de metingen, werd de Admodus steeds gekalibreerd met behulp van demi-water of zeewater. Bij dit demi-water, waarvan de saliniteit gekend is (PSU = 0) moet de PSU waarde in de software worden ingegeven. Bij gebruik van zeewater bij de kalibratie, moet de saliniteit (die ook de densiteit van het zeewater bepaalt), worden opgemeten. Dit werd gedaan met behulp van een multiparametersonde van Dienst Hydrografie en ingegeven in de software.

Praktisch

Tijdens de meetcampagnes werd het toestel met behulp van een davit buiten boord gehangen en verticaal geprofileerd in de water en slibkolom. Bij het dalen van het toestel wordt automatisch een nieuwe meting gestart in de software. Deze software is eenvoudig in gebruik.

Het toestel werd na elke prik, steeds tot boven opgehaald, om na te gaan of er geen slib meer tussen de sensoren aanwezig was. Deze controle is zeer belangrijk om de nauwkeurigheid van de resultaten te waarborgen. In het geval van klevend slib aan de sensoren, worden deze schoon gespoten met een waterstraal. Eveneens kan, wanneer de sensor boven water zit, de nulmeting van de druk worden geverifieerd, en indien nodig worden gereset om een drukverloop tijdens de meetdag te vermijden.

Tijdens een meetdag werd een defect van de datakabel vastgesteld bij de Admodus, door een snelle interventie van de producent, kon na slechts 1 meetdag zonder Admodus, opnieuw gemeten worden. Deze vlotte levering en goede opleiding geven een positieve indruk over de support van de leverancier. Door het ontbreken van een automatische winch zijn 3 man nodig voor de bediening (lier, datakabel en survey pc).

4.4.3 DensX

Kalibratie

De dieptesensor van de DensX wordt dagelijks voor de metingen opnieuw gekalibreerd. Op een diepte van 5 meter wordt de sensor gekalibreerd. Deze diepte is aangeduid op de datakabel, en in de software wordt de waarde manueel aangepast. Als extra validatie van de dieptemeting worden de resultaten van de dieptesensor ook op 10 meter diepte nagegaan.

Voor de densiteit wordt met de DensX geen dagelijkse kalibratie uitgevoerd. Bij elke meetcampagne wordt een kalibratie uitgevoerd met koperplaatjes. Met deze kalibratie wordt nagegaan of de sterkte van de radioactieve bron gelijkaardig is gebleven, zodat de originele kalibratiecurve kan behouden blijven. Een

kalibratie met slib afkomstig van de haven van Zeebrugge, werd uitgevoerd op 04/07/2017. Het wordt aangeraden om een nieuwe kalibratie uit te voeren wanneer op een andere locatie wordt gemeten of wanneer de voorgaande kalibratie reeds lang geleden was.

Praktisch

De DensX werd zowel gebruikt aan boord als in het labo. In labo omstandigheden is het toestel duidelijk groter dan de andere toestellen, waardoor grotere recipiënten nodig zijn voor metingen met de DensX bij volledige onderdompeling. Dit betekent dat meer slib nodig is voor het uitvoeren van een validatie, en bijgevolg nemen de handelingen meer tijd in (verdunnen van slib, opmengen, ...). Bij de validatie in het labo (zie hoofdstuk 3) werd door dotOcean meegedeeld dat tijdens de kalibratie/validatie enkel de benen van het toestel moeten ondergedompeld zijn bij overbrugging. Dit compenseert gedeeltelijk de noodzakelijkheid van grote recipiënten.

De belangrijkste belemmering voor het uitvoeren van deze kalibratiemetingen is het ontbreken van een aparte (losse) datakabel en sleutel. Er is op dit moment slechts één datakabel en sleutel aanwezig, maar deze zijn vast gemonteerd met de lier aan boord van de Pierre Petit. Hierdoor moet steeds iemand van dotOcean aanwezig zijn, met kabel en sleutel, wat de metingen duur maakt, minder flexibel, en moeilijker in te plannen. Bovendien is de support en bereikbaarheid van dotOcean slechts beperkt. Extra veiligheidsmaatregelen, volgens vaste regels, werden toegepast voor het manipuleren van een radioactieve bron bij het uitvoeren van de proeven, maar dit veroorzaakte verder geen moeilijkheden bij het uitvoeren van de validatiemetingen.

Aan boord werd het toestel veelvuldig ingezet. Voor het uitvoeren van prikken is het toestel geschikt. De tijd die nodig is voor het nemen van één prik, is iets langzamer dan de andere instrumenten, maar kan niet als hinderlijk worden ervaren. Met een gemiddeld aantal prikken van 54 per dag lijkt de snelheid voldoende voor het uitvoeren van metingen. Het duurt ongeveer een drietal minuten voor het uitvoeren van 1 meting, uiteraard afhankelijk van de totale diepte. Door het grotere gewicht van de DensX wordt deze opgehangen in de kraan van de Pierre Petit. De vereiste infrastructuur (kraan) op een meetschip voor het gebruik van de DensX zijn groter dan voor de andere instrumenten, maar eenmaal aanwezig kan het niet als hinderlijk beschouwd worden.

Het is voornamelijk tijdens het varen tussen de verschillende prikposities, dat de DensX een minder praktisch/handig instrument is. Het is dus voor de schipper een moeilijk toestel om mee te werken. Er zijn met name twee beveiligingen in het gebruik van het toestel. Enerzijds moet er minstens 5 m water boven het toestel staan, anderzijds is er een grens op de toegelaten trekkracht die op de kabel wordt uitgeoefend. Bij overschrijding van één van deze criteria slaat het toestel af. Door de minimale waterdiepte van 5 m moet veel kabel worden gevierd aan boord, wat bij het varen altijd meer risico's inhoudt met betrekking tot de schroef. De restrictie van de kracht op de kabel houdt in dat er ook traag gevaren moet worden. Het uitzetten van het toestel tussen meetlocaties is geen optie, aangezien dan ca. 5 min nodig is voor het opnieuw opstarten van de radioactieve bron. Bij sterke stroming of bij slechter weer (wanneer meer kracht nodig is om de boot te bewegen of zelfs ter plaatse te houden voor het uitvoeren van prikmetingen), lijkt meten met de DensX niet mogelijk. Voor deze meetcampagne vormde dit geen probleem, aangezien de omstandigheden van golven en wind (sectie 4.3.2 en 4.3.3) gunstig waren.

Naast deze restricties dient regelmatig een controlemeting te gebeuren door Controlatom. Eveneens moet het verval van de bron regelmatig worden nagegaan (via bovenvermelde justering). Tot slot moet per locatie (slib soort) een aparte kalibratiefunctie worden ingegeven in het toestel. De support van de leverancier voor het uitvoeren van de kalibratie is gebrekkig (laattijdig, onduidelijke of geen communicatie), waardoor de inzetbaarheid van het toestel nog verder beperkt wordt.

Tot slot moet er bij het gebruik van het toestel goed op gelet worden om de druksensor en aangesloten darmpje voldoende te reinigen (uitspuiten met water), aangezien hier gemakkelijk vuil kan in ophopen.

4.4.4 Rheotune

GeoXYZ

De Rheotune metingen van GeoXYZ zijn uitgevoerd met een gestuurde winch, in tegenstelling tot de eigen metingen die handmatig werden aangestuurd met de lier van de davit. De snelheid van dalen tijdens de meting is hoger.

Kalibratie

Elke meetdag wordt de druksensor van de Rheotune opnieuw gejusteerd. Dit gebeurt op basis van een tweepunten kalibratie, waarbij het toestel geijkt wordt op een diepte van 2 en 10 m.

Voor de densiteit wordt met de Rheotune geen dagelijkse kalibratie uitgevoerd. Een kalibratie van de Rheotune (Vlaamse Hydrografie) werd uitgevoerd met behulp van kaoliniet, en dus niet met slib van lokale afkomst. Een laatste kalibratie werd uitgevoerd door Stema in januari 2018. De gegevens van deze kalibratie zijn weergegeven in Appendix.

Praktisch

Tijdens de meetcampagnes werd het toestel met behulp van een davit en winch buiten boord gehangen en naar beneden gelaten. Bij het dalen van het toestel wordt handmatig een nieuwe meting gestart in de software. Het toestel werd na een prik, steeds tot boven opgehaald, om na te gaan of er geen slib meer tussen de trilvork aanwezig is. In de meeste gevallen moet de trilvork worden afgespoten met een waterslang vanop boord, om het resterende materiaal te verwijderen. Tijdens de meetcampagne was er een probleem met het interfacedoos waarin voeding en data binnenkomen. Aangezien geen oplossing werd gevonden door de producent, werd een nieuwe interfacedoos besteld en opgehaald bij de producent.

4.4.5 Rheocable

Kalibratie

Voor aan de metingen begonnen kan worden moet de densiteit berekend worden in de software, op basis van de gegevens van de CTD diver. Een kalibratiewaarde voor de sensor (default waarde 1) en een kalibratiewaarde voor de kabel dient in de software te worden ingegeven.

Praktisch

De Rheocable is geen evident toestel om te gebruiken. Door de lange kabel (3 maal de lengte van de verwachte diepte) te slepen achter het schip, is het manoeuvreren met het surveyschip geen sinecure. Dit maakt de toepassing van dergelijk meting in een haven, met veel scheepsbewegingen, bijna onmogelijk. Daarnaast moet de kabel manueel worden binnengehaald, wat zwaar werk vereist. De software waarmee het toestel wordt bediend is onduidelijk en moeilijk te gebruiken. De software werd door de leverancier op de pc geïnstalleerd, wat de overdraagbaarheid ervan ook niet evident maakt. Tevens werden nog aanpassingen uitgevoerd tijdens de opstart, waardoor de maturiteit in vraag wordt gesteld.

4.4.6 GraviProbe

Kalibratie

Voor de GraviProbe is geen kalibratie vereist voorafgaand aan de meting

Praktisch

De GraviProbe is een zeer hanteerbaar, licht en mobiel toestel. Het is gemakkelijk inzetbaar. De duur van een meting is kort, waardoor een groot aantal metingen kan genomen worden binnen een beperkte tijd. Het toestel dient manueel over boord gezet te worden. Verder moet voldoende touw gevierd worden, met een gewicht laag in het water, waarbij goede communicatie met de schipper vereist is om het toestel niet te verliezen en touw in de schroeven te vermijden. Het grootste nadeel van de huidige (aangekochte) versie van het toestel is het feit dat de data pas achteraf kunnen worden ingelezen, en het mogelijks niet of slecht functioneren pas laat kan worden bemerkt. In recente versies van het toestel lijkt dit te zijn verholpen door een draadloze communicatie van het toestel met een tablet/laptop.

Het toestel levert veel data op voor heel wat parameters (zie hoger). Echter zijn deze parameters nog niet eenduidig te relateren aan de in-situ opbouw van het slib. Het relateren is een toekomstige uitdaging.

4.4.7 Slibsampler

Praktisch

De slibsampler is enkel geschikt om te gebruiken wanneer de weersomstandigheden goed zijn, stroming beperkt is en stationair. De bijgeleverde vacuümpompjes zijn van slechte kwaliteit en kunnen bijgevolg aan boord niet gebruikt worden. Een degelijke compressor kan dit probleem verhelpen. De connectie tussen de "controlpad" en samplingbuis is gemaakt met een eenvoudig touwtje, dat niet voldoet. Het breken van dit ene touwtje zou resulteren in het verlies van de samplingbuis met Beeker snijkop. De samplingbuizen, met gaatjes om de 5 cm, sluiten nauwelijks af waardoor reeds een groot deel van het staal leegloopt tijdens het naar boven brengen en een correcte dieptebepaling van de water-slib overgang met deze buizen niet mogelijk is. Bovendien vertonen veel buizen reeds scheuren. Het werken met een gesloten buis kan, maar het losmaken van de buis uit het toestel is niet eenvoudig aan boord, waardoor dit vanuit praktisch oogpunt geen oplossing biedt. Buizen waaruit direct gesampled (voor densiteitsmetingen) kan worden zijn noodzakelijk in combinatie met dit toestel. Het ophalen van slibstalen voor reologische metingen (waarbij de buis moet uitgehaald worden en subsamples worden genomen) is met dit toestel niet handig.

4.4.8 Praktische werking toestellen

In Tabel 15 is een overzicht weergegeven van de beoordeling van de praktische handelingen van de verschillende toestellen, de theoretische afweging tussen de toestellen wordt gemaakt in Tabel 9.

Tabel 15 – Overzicht van praktische zaken met betrekking tot de handeling van de verschillende toestellen, zowel voordelen (links) als nadelen (rechts)

	Voordeel	Nadeel
Admodus USP	– Licht – Software eenvoudig in gebruik – Stevige koffer voor transport – Goede support door producent – Overal inzetbaar	– 3 man nodig voor bediening – Vastkleven van slib, onzuiverheden op sensor kunnen meting verstoren

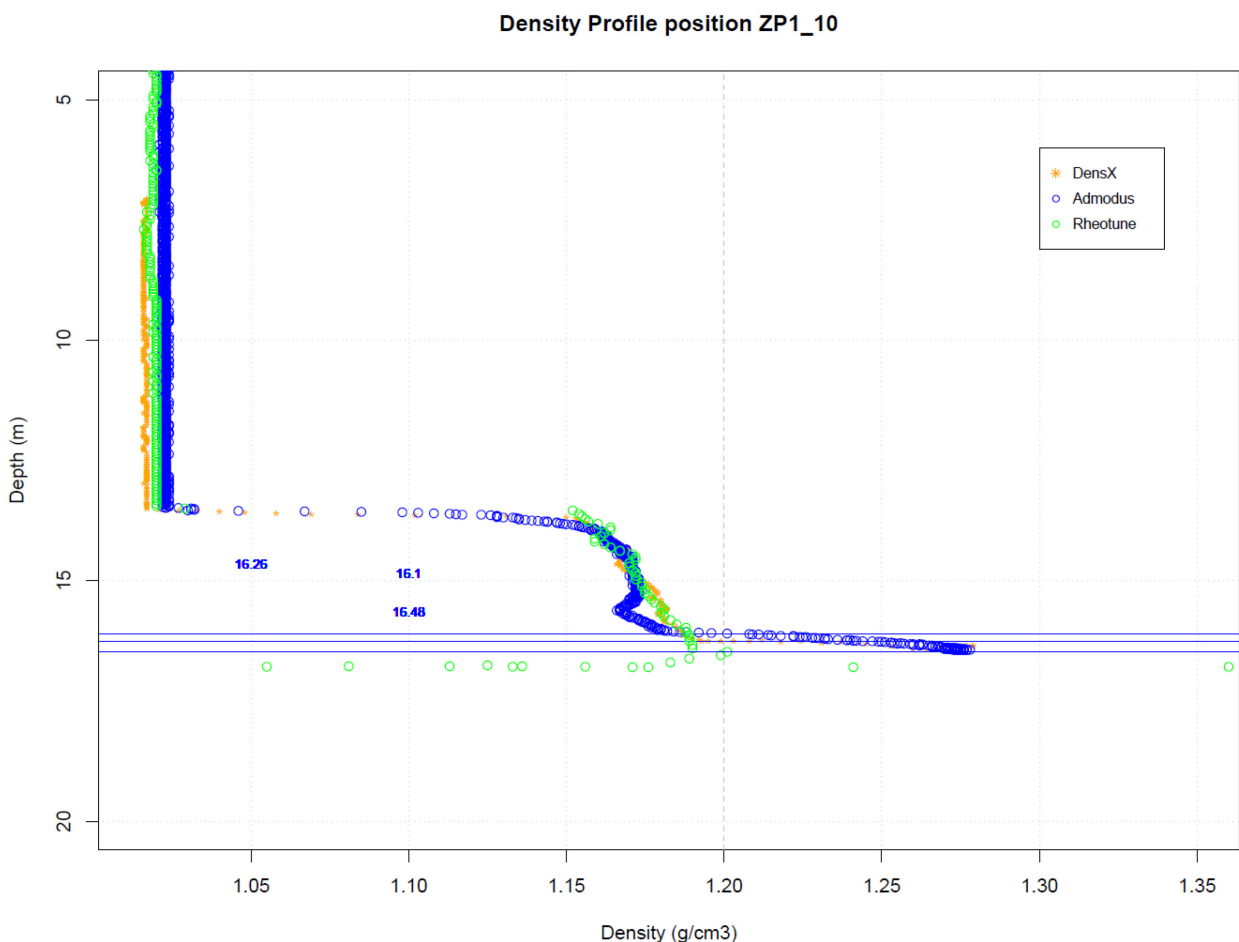
DensX	- Robuust - Geen kalibratie aan boord nodig - Automatische winch - 1 survey - persoon voldoende tijdens meting - 1 kabel (data/voeding + trek)	- Radioactief - geen aparte datakabel voor labo validatie - lange opstarttijd toestel - winch niet zomaar verplaatsbaar, dus meting is scheepsafhankelijk - beperkte surveysnelheid - geen koffer, moeilijk te verplaatsen, beperkte manoeuvreer-mogelijkheden schip tijdens meting (snelheidsrestrictie) - Enkel te gebruiken bij goede omstandigheden (weer, stroming) - Niet bruikbaar in ondiep water - weinig support door producent
Rheotune	- Licht - Eenvoudig in gebruik (software) - Stevige koffer voor transport - Overal inzetbaar	- 3 man nodig voor bediening - Vastkleven van slib tussen trilvork, onzuiverheden op sensor kunnen meting verstoren
GraviProbe	- Licht - Snelle meting - Geen kalibratie vereist - Stevige koffer voor transport - Overal inzetbaar	- Manueel in & uit water te halen - Resultaten meting pas zichtbaar bij inlezen/postprocessing van de data
Rheocable	- Geen	- Niet zichtbare kabel achter schip beperkt manoeuvreermogelijkheden schip en bijgevolg gevaarlijk voor scheepvaart - Kabel aan boord halen zwaar werk - Software niet gebruiksvriendelijk - Geen eenvoudige handeling - Enkel te gebruiken bij goede omstandigheden (weer / stroming)
Slibsampler		- Enkel te gebruiken bij goede omstandigheden (weer / stroming) - Geen druksensor voor bepaling diepte (enkel afstand naar bodem wordt gemeten) - Samplingbuizen lek en breekbaar - Touw voor connectie samplingbuis en "controlepad" fragiel

5 Data analyse

5.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van de drie instrumenten waarmee densiteit kan worden opgemeten: Admodus, DensX, Rheotune, en die beschreven zijn in hoofdstuk 1. De verschillen en gelijkenissen in de resultaten bekomen met de verschillende instrumenten wordt geëvalueerd. Op elke meetlocatie werden minstens 2 prikken genomen, met eenzelfde meettoestel. Op deze manier werd getracht om de robuustheid, nauwkeurigheid en herhaalbaarheid van de meetresultaten na te gaan.

Figuur 49 – Densiteitsprofiel op meetlocatie ZP1_10 (X=514133.384 m, Y=5688153.302 m) gemeten met de DensX, Admodus USP en Rheotune. Op de x-as is de densiteit weergegeven (g/cm^3), op de y-as de diepte in m LAT (m).

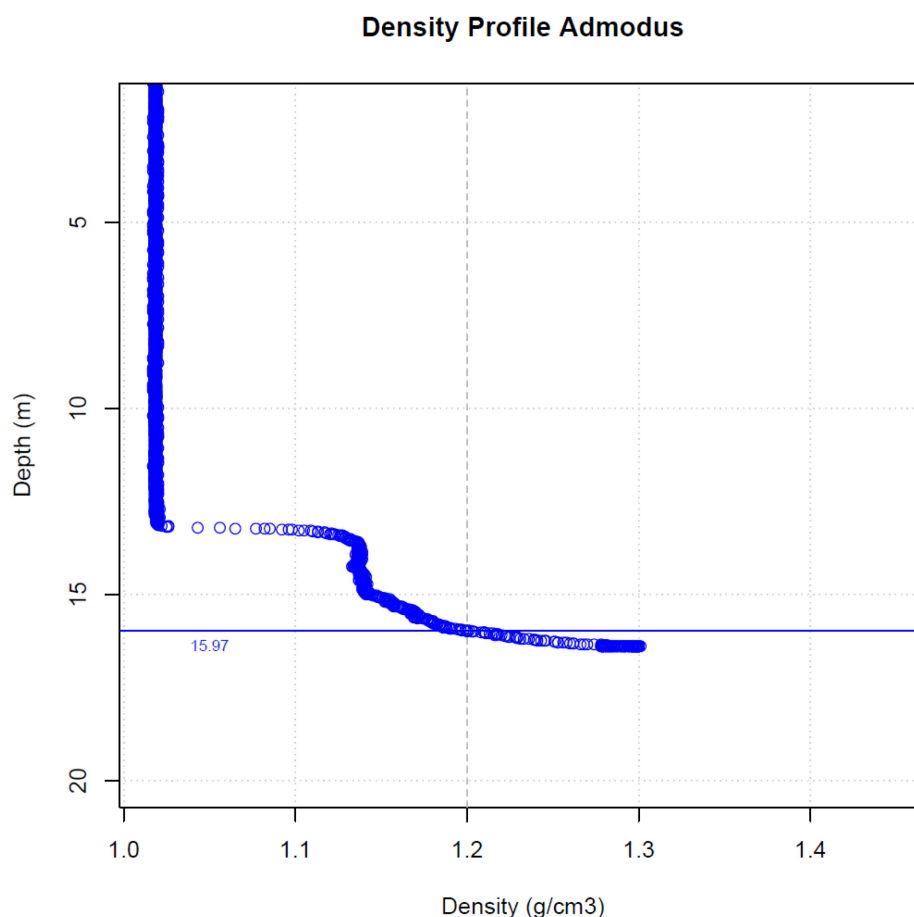


In Figuur 49 zijn de densiteitsprofielen weergegeven op meetpositie ZP1_10 (X=514133,384 m, Y=5688153,302 m), gemeten met de verschillende toestellen. De werkelijke locatie waarop gemeten werd is respectievelijk (X=514131,36 m, Y=5688154,58 m) voor de DensX, (X=514144,03m, Y=5688165,13 m) voor de Admodus en (X=514133,38 m, Y=5688153,30 m) voor de Rheotune. Dit is op respectievelijk 2,4 m; 16 m en 0,004 m van de theoretische priklocatie. In Figuur 49 weerspiegelt, zoals voor elk densiteitsprofiel in dit

rapport, de y-as de diepte in m LAT en de x-as de dichtheid in g/cm^3 . Een oranje symbool staat voor DensX, blauw staat voor Admodus en groen voor de Rheotune.

Figuur 50 toont het dichtheidsprofiel gemeten in A2 punt 27 met de Admodus USP. Zoals uitgelegd in Figuur 49, geeft de y-as de diepte weer in m LAT en staat de x-as voor dichtheid in g/cm^3 . Het profiel begint met een quasi verticale lijn, die de (nagenoeg constante) dichtheid van de waterkolom weer geeft. Op een bepaalde diepte varieert de helling van deze verticale lijn sterk. De instrumenten beginnen de sliblaag binnen te dringen en hogere densiteiten worden waargenomen. De diepte van het afbuigen komt overeen met de positie van het top slib. De toestellen blijven verder zakken, en hogere densiteiten bereiken, tot ze niet verder kunnen zakken. Op dit moment stopt de meting en wordt het toestel terug naar boven gehaald. De blauwe horizontale lijn, weergegeven Figuur 50, geeft de diepte weer waarop een dichtheid van $1,20 \text{ g/cm}^3$ bereikt wordt.

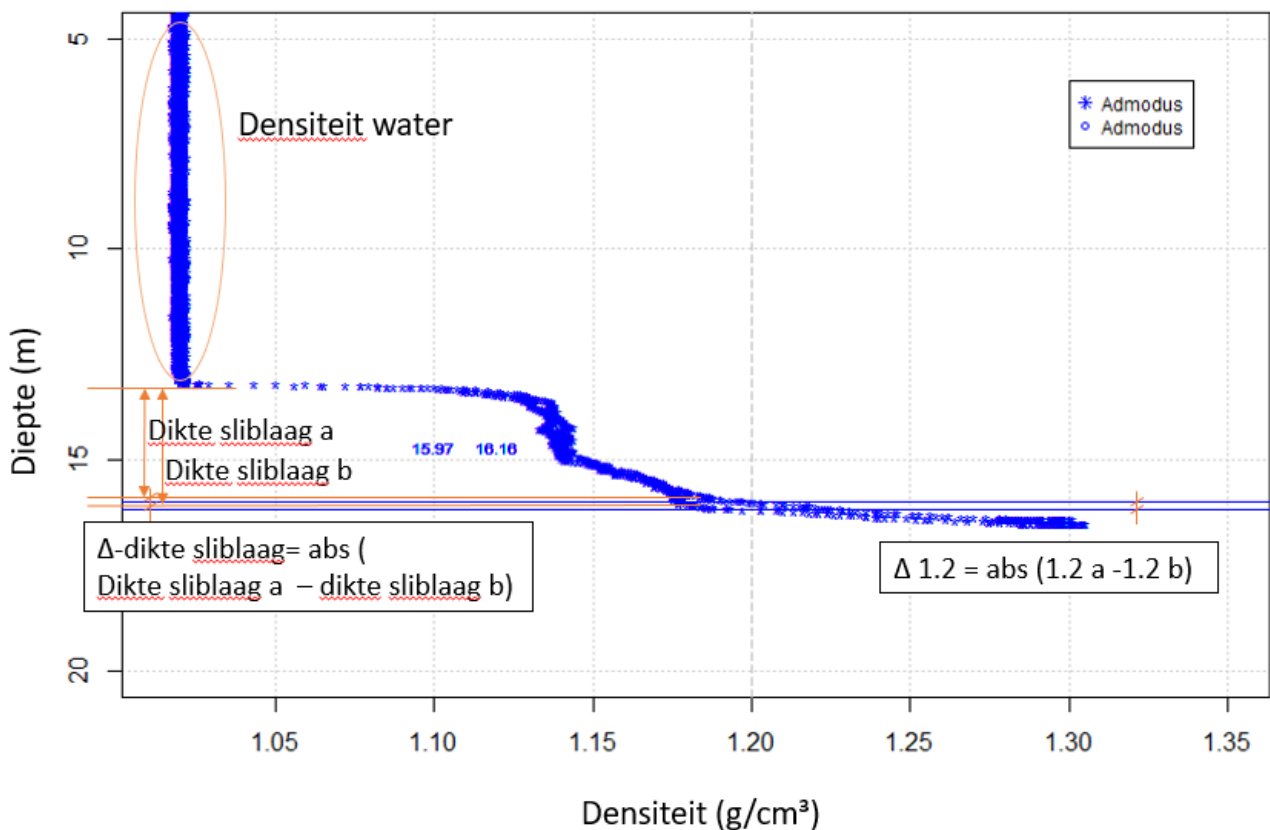
Figuur 50 – Typisch densiteitsprofiel (opgemeten met Admodus op locatie A2 point 27).



In Figuur 51 is een typisch densiteitsprofiel weergegeven, die in dit geval opgemeten is op locatie A2_27 met de Admodus. Zoals op elke locatie werd het profiel twee keer opgemeten met de Admodus (aangeduid in Figuur 51 met ° en * symbool). In Figuur 51 zijn de parameters die gebruikt worden in de analyse geschetst weergegeven, deze zijn:

- waterdensiteit: de gemiddelde waterdichtheid gemeten in de waterkolom. Deze waarde wordt berekend door de gegevens uit het profiel.
- positie van 1,2 g/cm³ : is de diepte waarbij de dichtheid van 1,2 g/cm³ voor de eerste keer wordt bereikt. Deze waarde wordt overgenomen uit de post-processing door Vlaamse Hydrografie.
- dikte sliblaag: dit is de afstand van het top slib (visueel door het buigpunt in het densiteitsprofiel) tot de diepte van 1,2 g/cm³.
- 210 KHz diepte: de diepte waarop de 210 KHz wordt terugkaatst, deze waarde wordt gegeven door de echosounding. Deze diepte is de top van het slib (het einde van de waterkolom).
- Δ 1.2: is het absolute verschil tussen de 1,2 g/cm³ dieptemetingen die op hetzelfde punt zijn uitgevoerd door eenzelfde instrument (zoals aangegeven in Figuur 51)
- Δ-dikte sliblaag: is het absolute verschil tussen de dikte van de sliblaag van de verschillende profielen op hetzelfde punt en opgemeten met hetzelfde meettoestel (zie Figuur 51)

Figuur 51 – Typisch densiteitsprofiel, hier opgemeten op locatie A2_72 met de Admodus.
De verschillende parameters (pwater, Δ1.2 en Δ-dikte sliblaag) die gebruikt worden in de analyse zijn aangeduid.

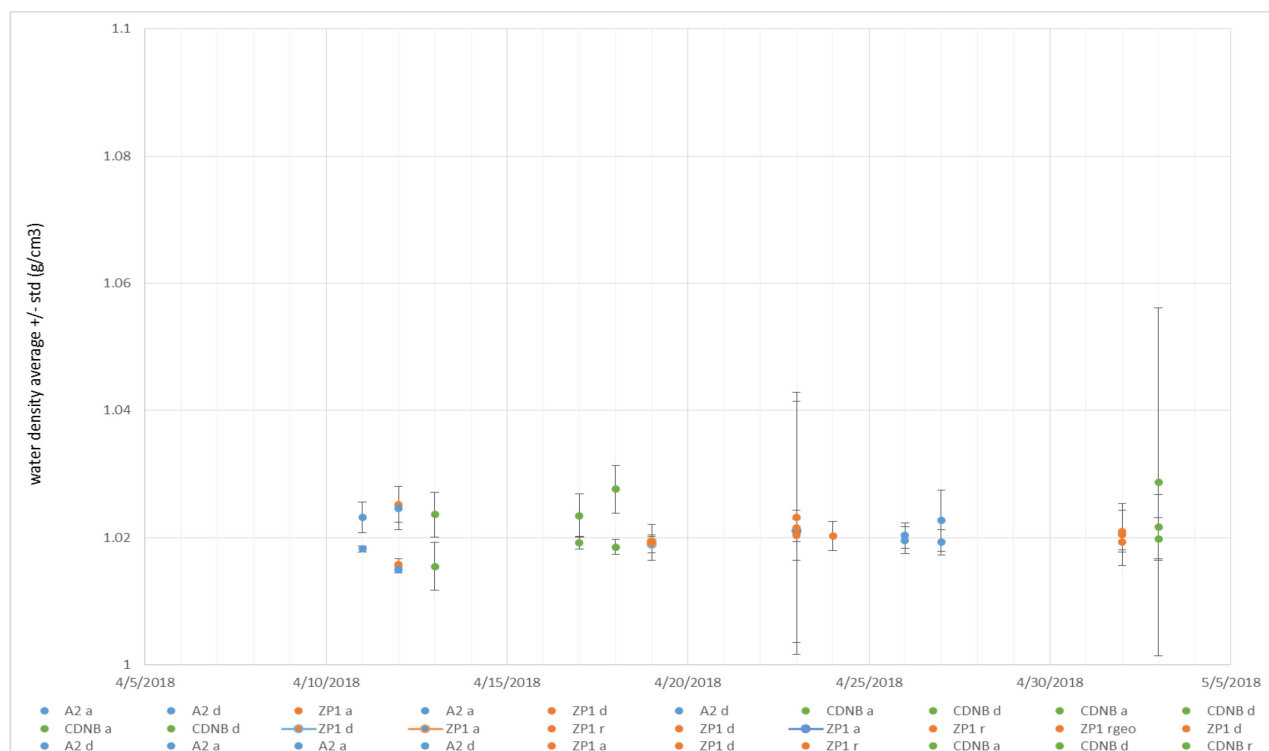


5.2 Instrument variabiliteit

5.2.1 Water densiteit

Een eerste analyse op de meetresultaten is een detailanalyse van de opgemeten waterdensiteit, door de verschillende toestellen. Een visuele en manuele analyse van de densiteitsdata in de waterkolom wordt gemaakt om de gemiddelde dichtheid van de waterkolom in elke meetlocatie en elk meetpunt van de campagne te bepalen. Uit deze gemiddelde waterdichtheid van elk profiel wordt de gemiddelde waterdichtheid per positie (een profiel wordt ten minste twee keer per instrument gemeten) berekend. Figuur 52 toont de gemiddelde waterdichtheid van alle locaties waar de dichtheid tijdens de veldcampagne werd opgemeten. 23% van de metingen ligt boven de gemiddelde waterdichtheid van $1,021 \text{ g/cm}^3$. De maximale gemiddelde waarde verkregen uit de metingen is $1,029 \text{ g/cm}^3$, 10% van de metingen heeft een waarde lager dan $1,021 \text{ g/cm}^3$, met een minimumwaarde van $1,015 \text{ g/cm}^3$.

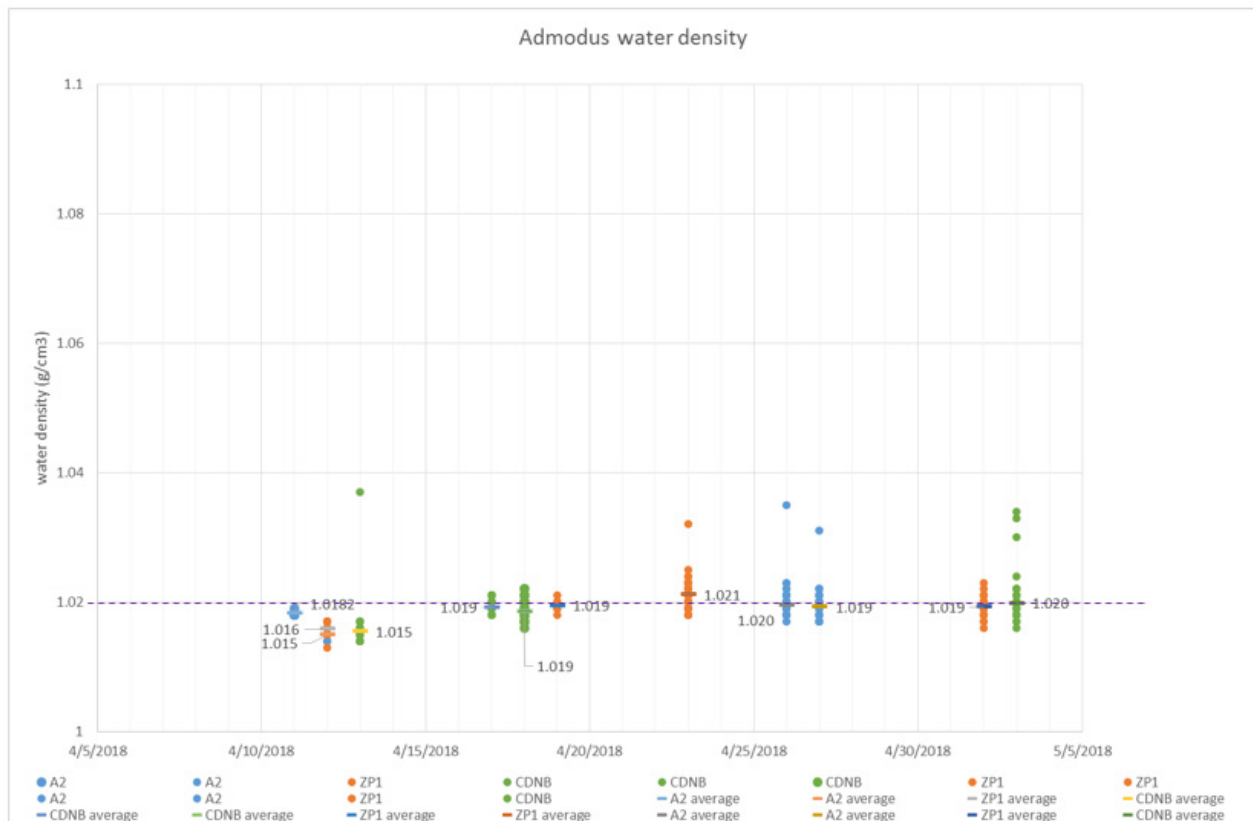
Figuur 52 – Gemiddelde waterdichtheid met standaarddeviatie voor alle meetlocaties en alle toestellen.



Admodus

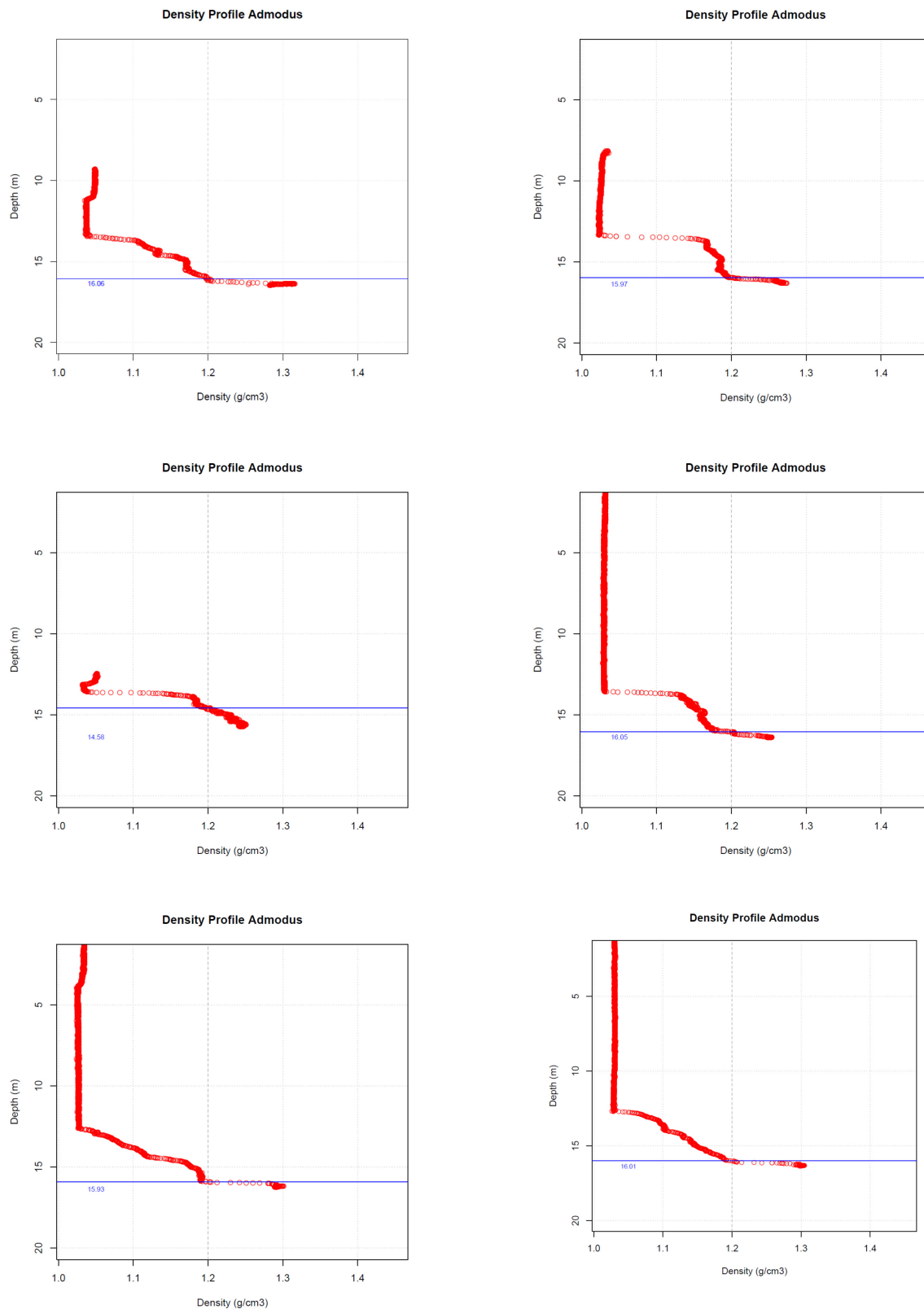
Figuur 53 toont de gemiddelde opgemeten waterdensiteit opgemeten met Admodus tijdens de meetcampagne op de verschillende locaties. Van 11-04-2018 tot 16-04-2018 is de gemiddelde waterdichtheid $1,016 \text{ g/cm}^3$, tijdens deze dagen werd de kalibratie van de apparaten aan boord uitgevoerd met behulp van gedestilleerd water. Vanaf 17-4-2018 werd de kalibratie van Admodus uitgevoerd met lokaal zeewater. In het geval waarin gedestilleerd water wordt gebruikt als kalibratievloeistof, is de dichtheid iets lager dan verwacht, met name 12 & 13 – 4, maar het verschil is beperkt tot ca. $0,003 \text{ g/cm}^3$. De spreiding op de data is voor de Admodus kleiner dan de andere twee toestellen. Er zijn enkele profielen waarop de waterdichtheid duidelijk hoger ligt, dicht bij $1,04 \text{ g/cm}^3$. Deze profielen worden hieronder meer in detail bestudeerd.

Figuur 53 – Gemiddelde waterdichtheid gemeten met de Admodus gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.



In Figuur 54 zijn de dichtheitsprofielen weergegeven van metingen waarbij een hoger dan verwachte dichtheid in de waterkolom werd waargenomen. De metingen kunnen niet gekoppeld worden aan een bepaalde locatie, aangezien zowel afwijkende waarden werden gevonden in CDNB (profiel 1, 5, 6), Albert II dok (profiel 3 en 4) en Zwaaiplaats I (profiel 2). In de meeste gevallen (Figuur 54) vertoont het dichtheitsprofiel in het bovenste deel hogere waarden en, na een plotse knik, valt deze waarde terug op lagere (en verwachte) waarden. Dit patroon kan worden herkend in profielen 1, 3 en 5. Vermoedelijk kleeft er in deze gevallen nog sediment aan de sensoren, die door de neerwaartse beweging van het instrument vanzelf wordt verwijderd, waardoor de meetwaarden terugvallen naar realistischere waarden. In profiel 2 is dit minder duidelijk, de (automatische) meting lijkt hier later te zijn opgestart, maar is er toch een vermoeden van hetzelfde fenomeen. Voor profielen 4 en 6 kan dergelijke knik niet worden waargenomen, het profiel vertoont hoge dichtheitswaarden maar lijkt voor het overige normaal. Mogelijke oorzaken die door Synergetik, de producent van de Admodus, worden aangehaald zijn vuil op de sensor (slibdeeltjes) of luchtbelletjes die vast hangen aan de sensor. Aangezien geen knik kan worden waargenomen, werden in dit geval niet verwijderd door de neerwaartse beweging van het toestel.

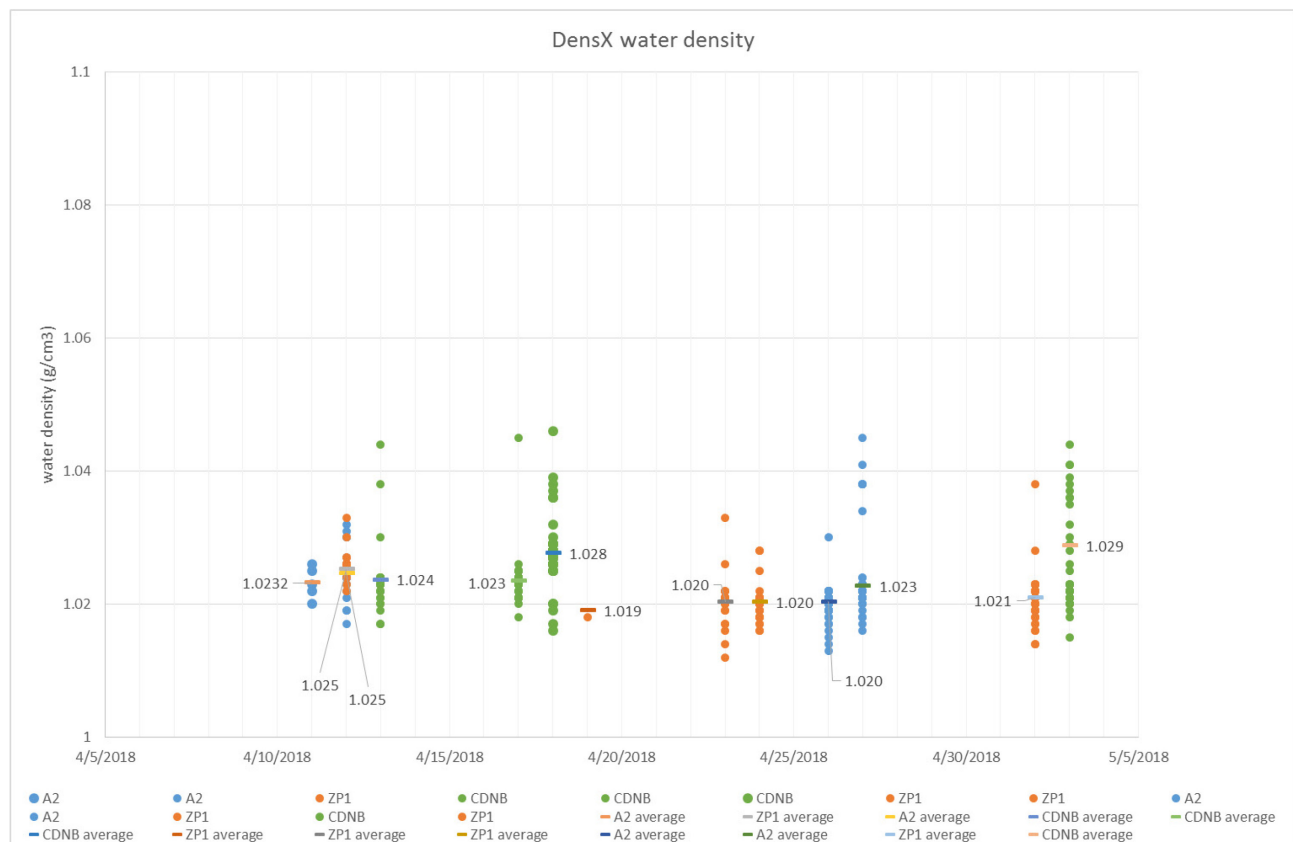
Figuur 54 – Densiteitsprofielen waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.
Respectievelijk werden volgende, gemiddelde densiteiten opgemeten:
1,037 g/cm³, 1,032 g/cm, 1,035 g/cm³, 1,031 g/cm³, 1,034 g/cm³ en 1,03 g/cm³.



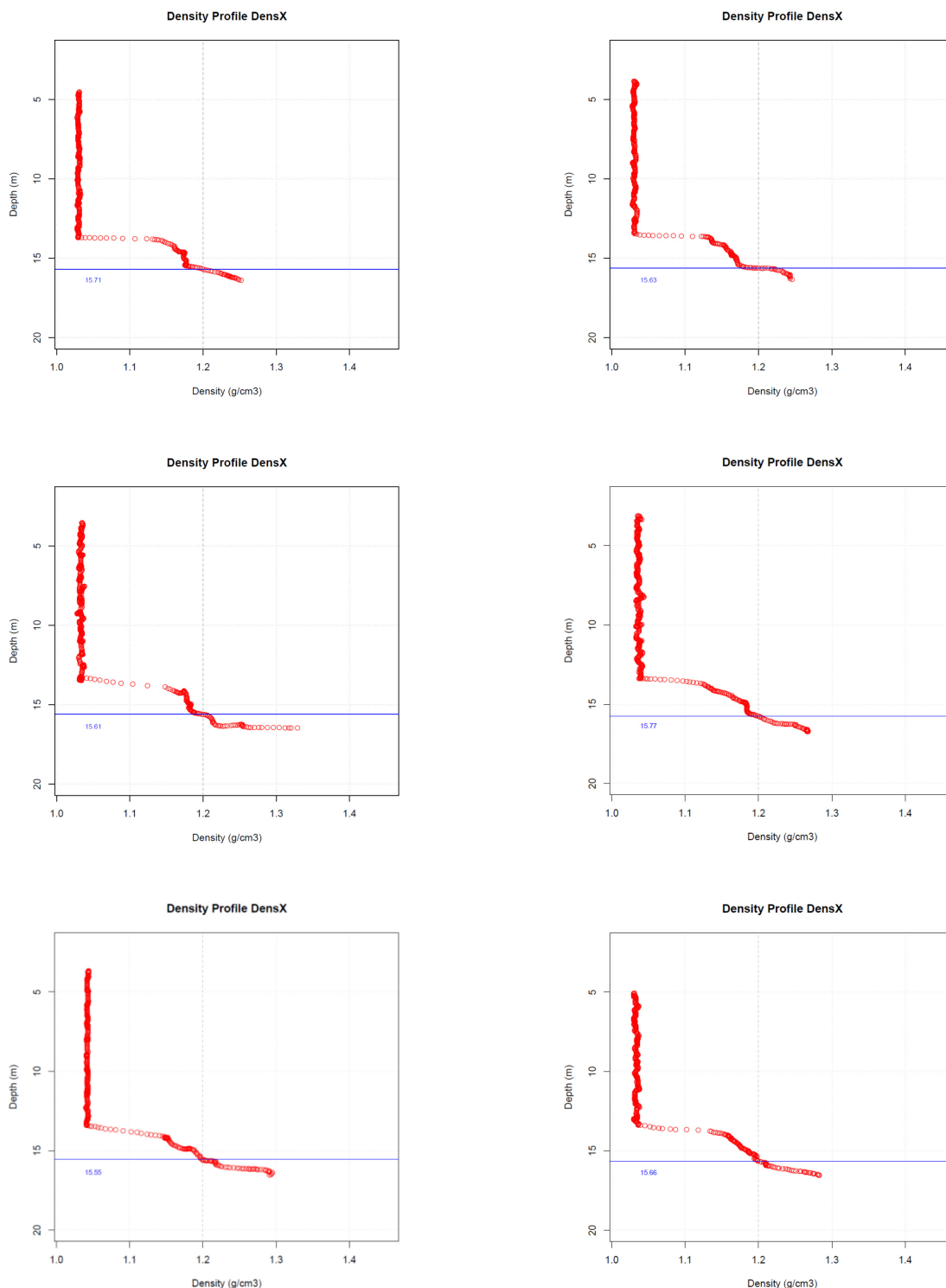
DensX

In Figuur 55 toont de gemiddelde densiteit van het water op elke positie gemeten met de DensX tijdens de meetcampagne. De gemiddelde waterdensiteit gemeten met de DensX is iets hoger dan voor Admodus-metingen. De waarden van de waterdichtheid gemeten met de DensX tonen een spreiding van 1,014 tot 1,046 g/cm³. Er zijn enkele profielen waarbij de waterdichtheid rond 1,040 g/cm³ ligt, deze profielen zijn weergegeven in Figuur 56. In geen van deze profielen kan een duidelijke knik of fout worden opgemerkt. In een aantal voorbeelden, zoals profielen 3, 4 en 6, lijkt de variabiliteit in de meting wel groter dan gemiddeld bij de DensX.

Figuur 55 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de DensX gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.



Figuur 56 – Densiteitsprofielen, gemeten met de DensX, waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.
Respectievelijk werden volgende densiteiten opgemeten:
1,03 g/cm³; 1,032 g/cm³; 1,033 g/cm³; 1,038 g/cm³; 1,044 g/cm³ en 1,03 g/cm³.

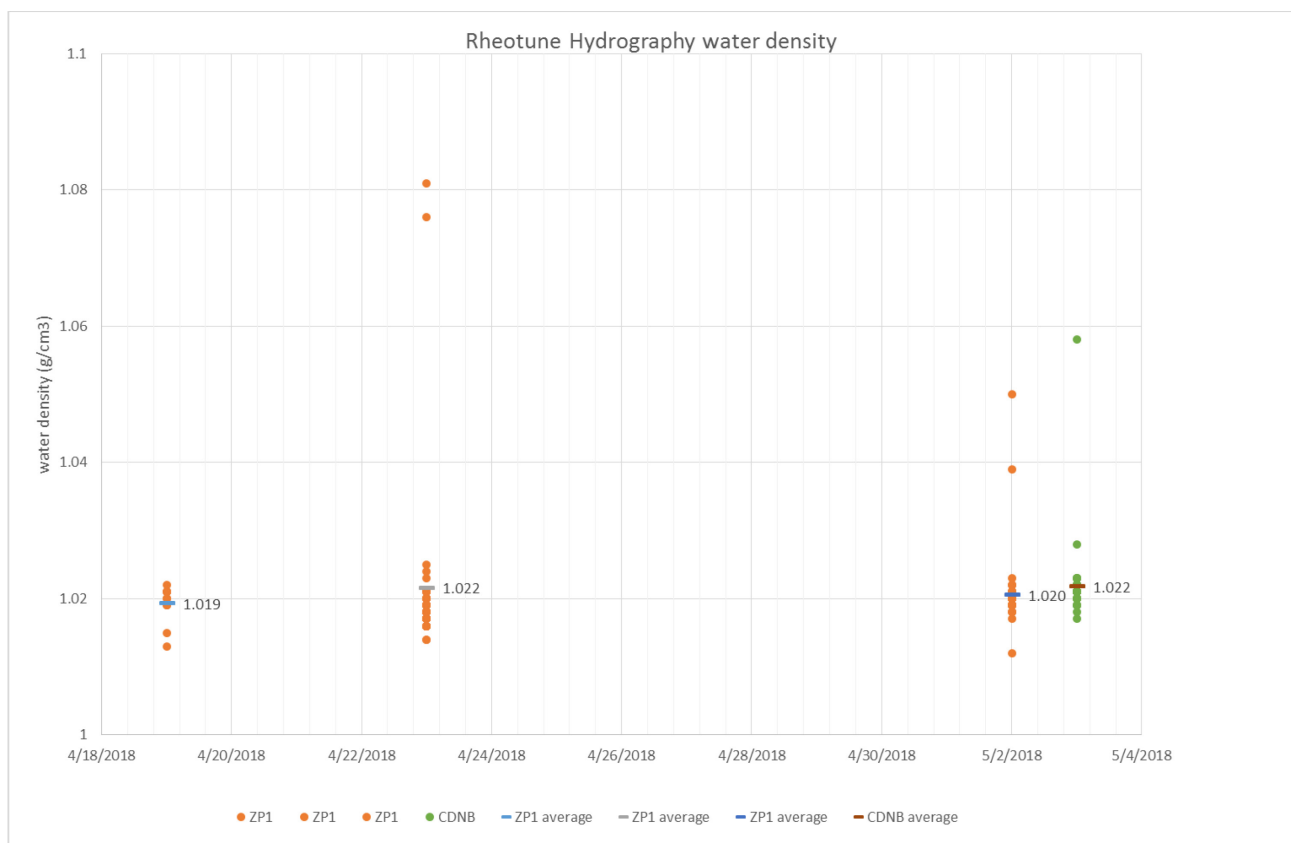


Rheotune

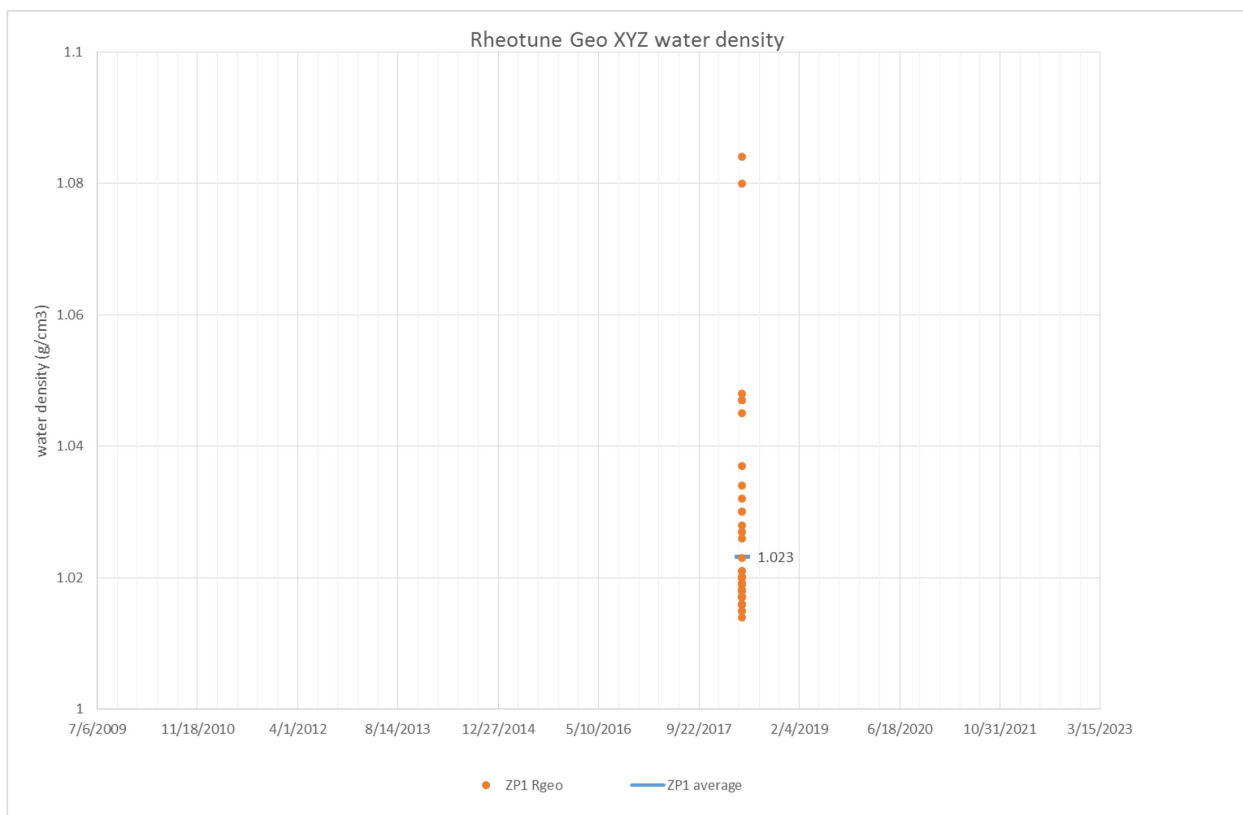
In Figuur 57 is de gemiddelde waterdensiteit voor elke positie gemeten tijdens de meetcampagne met de Rheotune weergegeven. In Figuur 58 is deze eveneens weergegeven voor de Rheotune, maar opgemeten door GeoXYZ op 23/04/2018. De gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Rheotune per locatie komt goed overeen met de werkelijke waterdichtheidswaarde van 1,021 g/cm³. Op enkele uitzonderingen na, is de spreiding op de resultaten uitgevoerd door Vlaamse Hydrografie beperkt, de metingen uitgevoerd door GeoXYZ vertonen een grote(re) spreiding. De waarden van de waterdichtheid gemeten door Rheotune (Vlaamse Hydrografie) variëren tussen 1,012 tot 1,081 g/cm³, waarbij rond 1,08 g/cm³ 2 duidelijke uitschieters kunnen worden geobserveerd. Een aantal voorbeelden van meetpunten waarin de waterdichtheid groter is dan 1,03 g/cm³ worden in respectievelijk Figuur 59 en Figuur 60 in meer detail weergegeven.

In Figuur 59 kunnen geen duidelijk ‘verkeerde’ profielen worden onderscheiden, ondanks de (te) hoge opgemeten waterdensiteit. In voorbeeld 1 lijkt de meetwaarde zeer constant, voor de andere profielen is er iets meer spreiding op de meetdata. In Figuur 60 zijn de metingen van GeoXYZ weergegeven. Hier zijn heel duidelijke afwijkingen op te merken ten opzichte van een normale meting van de densiteit. In twee gevallen zit er een duidelijke uitschietende knik in de curve, die langzaam kleiner wordt met de diepte (voorbeeld 1 en 3). Voor de andere voorbeelden is de opgemeten densiteit veel te hoog en lijkt de densiteit langzaam af te nemen met de diepte, het meest uitgesproken in voorbeeld 6. Deze profielen zijn vermoedelijk uitgevoerd met een instrument dat niet goed werd gekuist, waardoor slib tussen de meetvork blijft vastkleven.

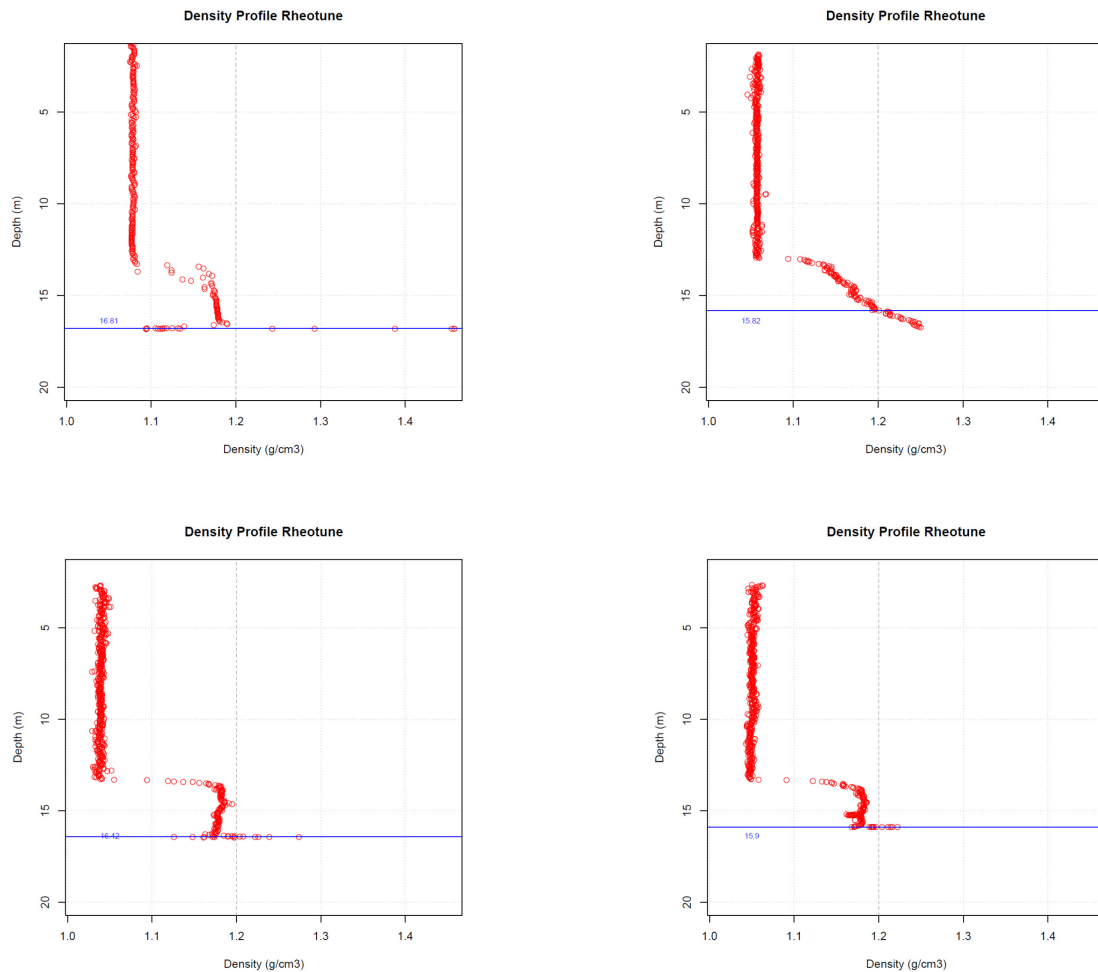
Figuur 57 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Rheotune (Vlaamse Hydrografie) gedurende de meetcampagne, voor de verschillende locaties.



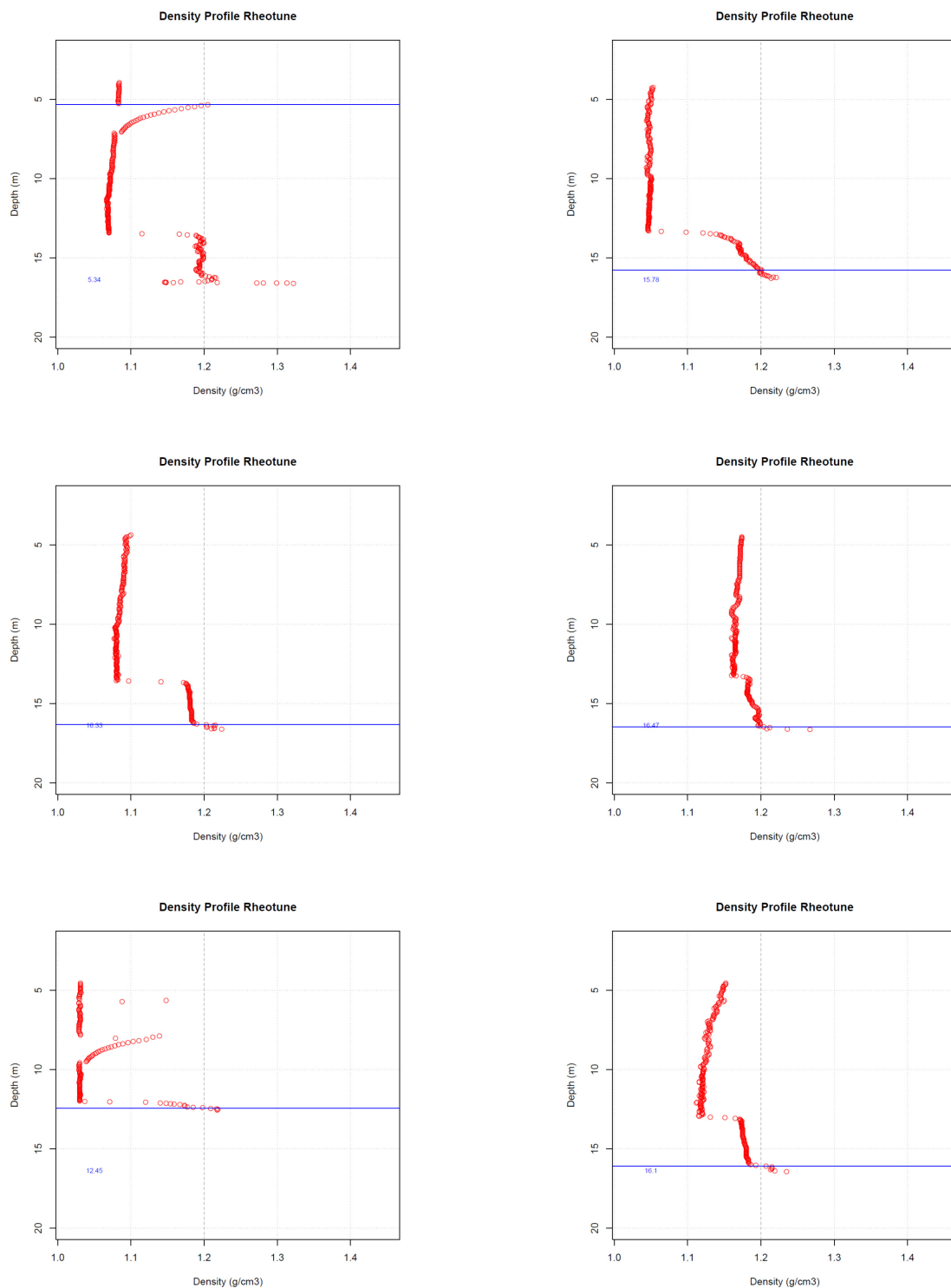
Figuur 58 – Gemiddelde waterdensiteit gemeten met de Rheotune (GeoXYZ) gedurende de meetcampagne, in ZP1



Figuur 59 – Densiteitsprofielen, gemeten met de Rheotune (Vlaamse Hydrografie), waarin een hoge
waterdensiteit werd opgemeten.
Respectievelijk werden volgende densiteiten opgemeten: 1,081 g/cm³; 1,058 g/cm³; 1,039 g/cm³; 1,05 g/cm³.



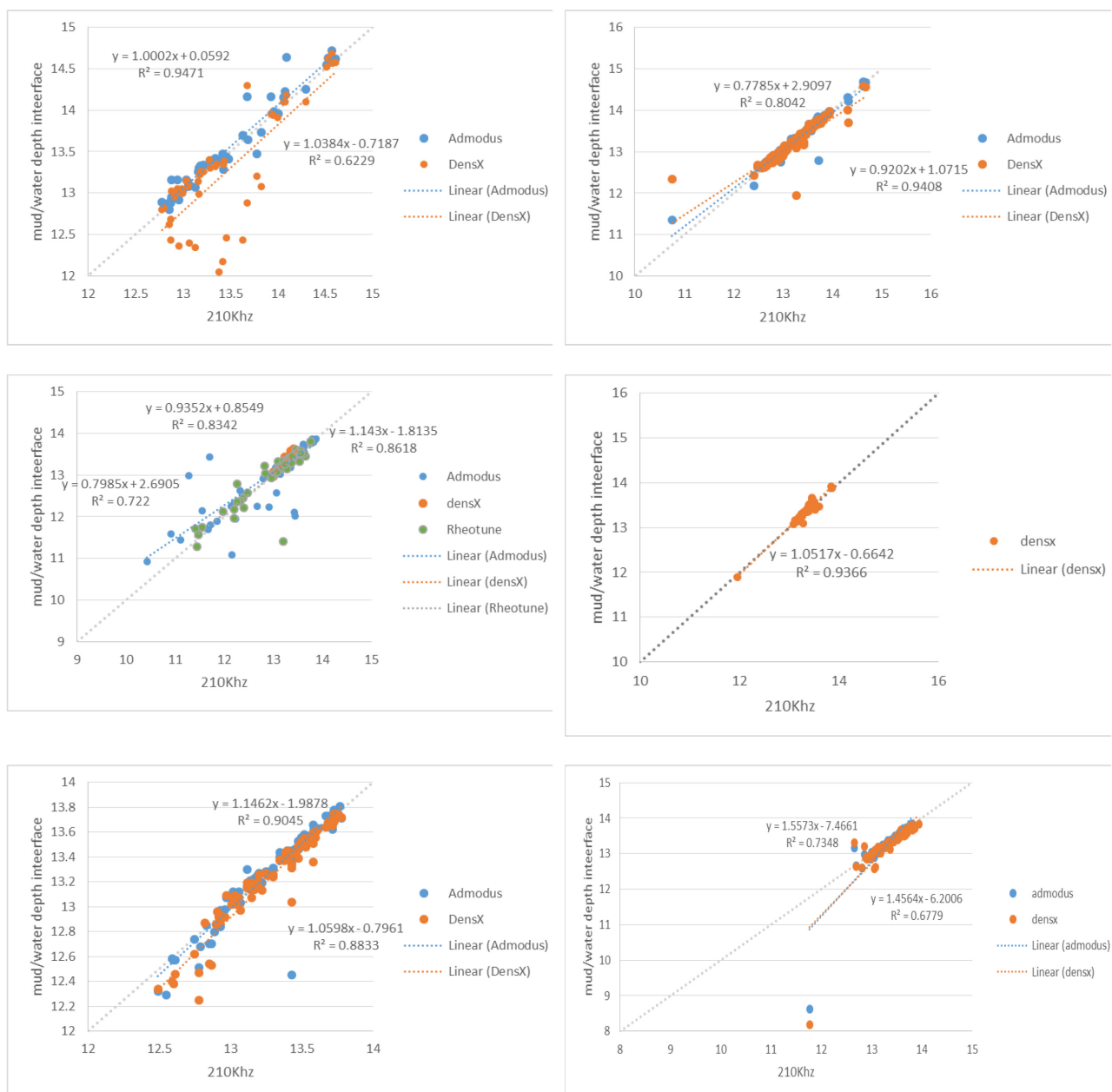
Figuur 60 – Densiteitsprofielen, gemeten met de Rheotune (GeoXYZ), waarin een hoge waterdensiteit werd opgemeten.
Respectievelijk werden volgende densiteiten opgemeten:
1,084 g/cm³; 1,047 g/cm³; 1,08 g/cm³; 1,163 g/cm³; 1,03 g/cm³ en 1,145 g/cm³.

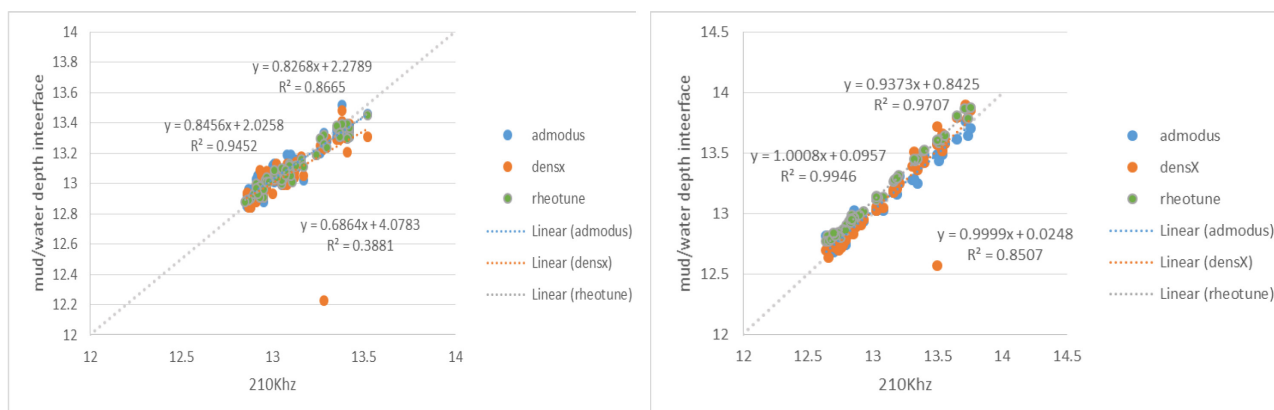


5.2.2 Water - slib overgang

In de verschillende densiteitsprofielen kan het begin van de sliblaag worden opgemerkt wanneer de curve begint uit te wijken, zoals aangeduid in Figuur 50. Bij de echolood metingen, wordt de reflectie van de 210 kHz aanzien als de reflectie op de water – slib overgang. In Figuur 61 wordt een link gelegd tussen beide metingen, met op de x as steeds de 210 kHz meting en op de y as de overgang van water naar slib, bepaald op basis van het densiteitsprofiel. In het algemeen kan gesteld worden dat de meeste metingen zich dicht bij de 1:1 lijn bevinden. Voornamelijk op 17/04 lijkt er een groter aantal afwijkingen bij de DensX metingen. Een duidelijke verklaring kan hiervoor niet worden gevonden.

Figuur 61 – Relatie tussen de slib – water overgang gemeten met de densiteitstoestellen en de ligging van de 210 kHz, per meetdag voor van links naar rechts. 17/04; 18/04; 23/04; 24/04; 26/04; 27/04; 2/05 en 3/05.





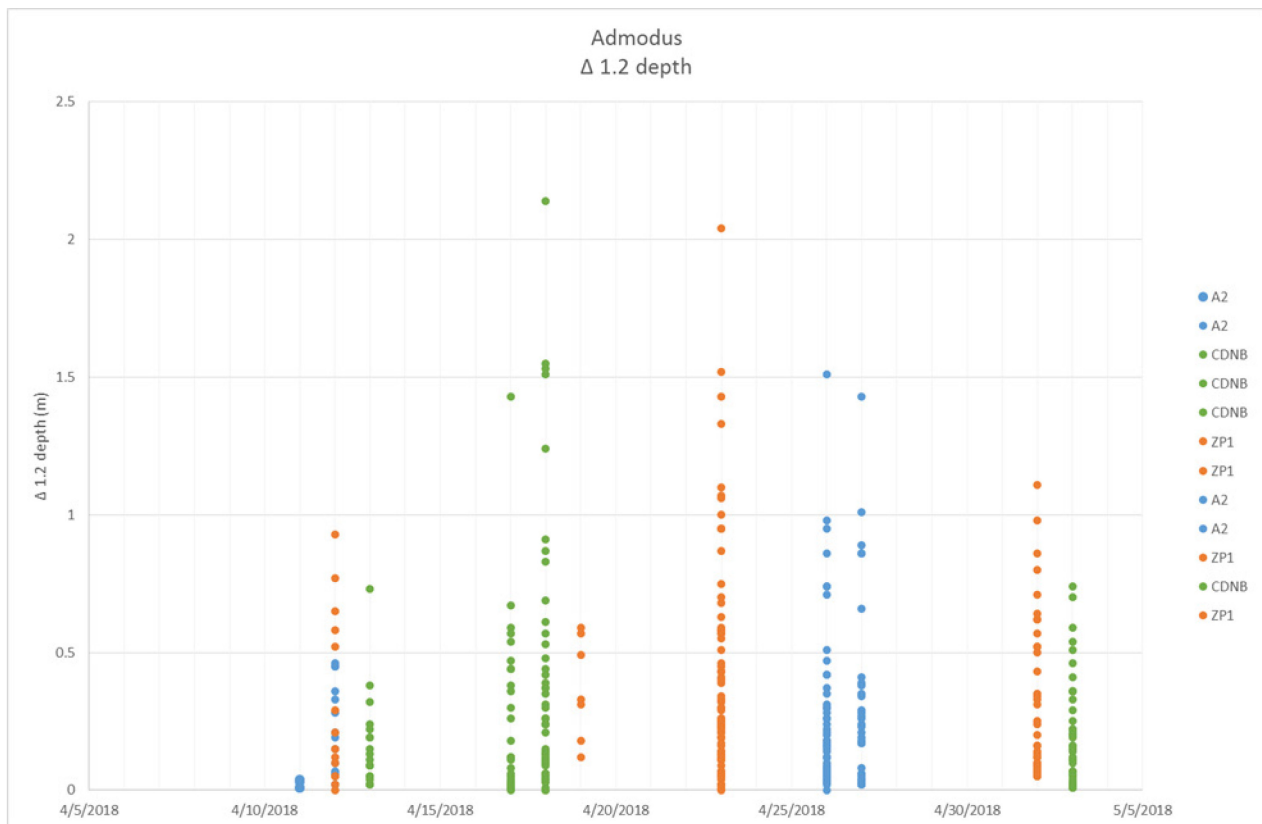
5.2.3 Slib densiteit

Van de drie instrumenten die tijdens de meetcampagne werden gebruikt, zijn de verkregen slibdata in detail bestudeerd. De onderzochte parameters zijn gedefinieerd in paragraaf 5.1. In de huidige sectie zal de analyse zich concentreren op de relatie tussen de parameters van elk instrument afzonderlijk.

Admodus

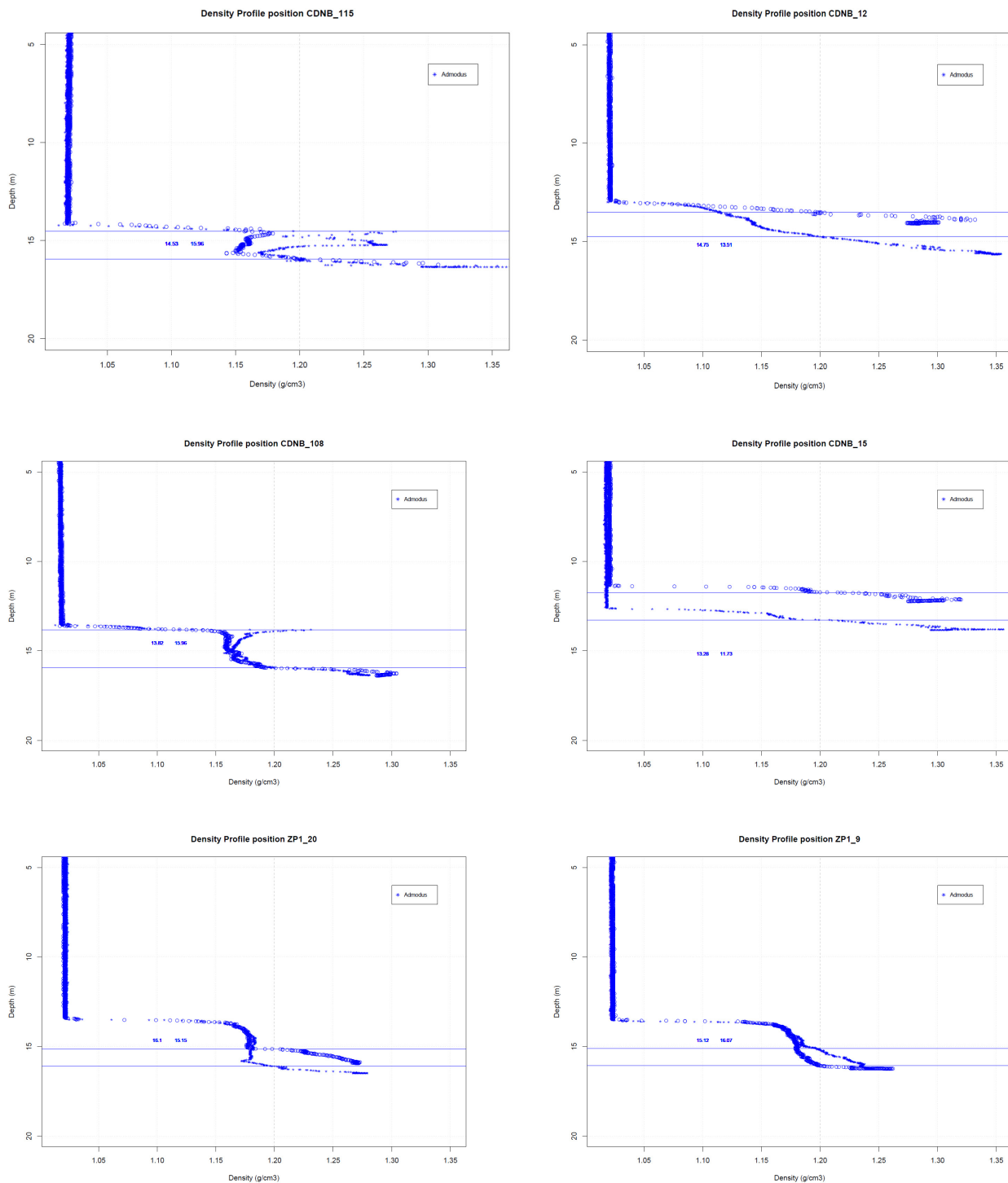
De eerste parameter die bestudeerd wordt is de $\Delta 1.2$, die in sectie 5.1 gedefinieerd werd (Figuur 51), en het absolute verschil is tussen de dieptemetingen van de 1,20 g/cm³ voor dezelfde meetlocatie met eenzelfde instrument uitgevoerd. In Figuur 62 is de $\Delta 1,2$ (m) parameter weergegeven voor alle locaties en alle meetdagen van de campagne, opgemeten met de Admodus. Het valt op in deze figuur dat het verschil tussen twee (of meerdere) opeenvolgende metingen heel groot kan zijn, net zoals de spreiding van dit verschil. Er kunnen geen duidelijke zones of dagen onderscheiden worden waar de spreiding veel kleiner is. De uitzondering hierop is meetdag 1, 11/05, waarbij het schip vastgemeerd was aan de kade. De maximale opgemeten afwijking is ca. 2.2 m. In ongeveer 4% van de meetlocaties is het verschil in de 1.2 ligging tussen 2 metingen groter dan 1 m, in ongeveer 15 % van de metingen is het verschil groter dan 0,5 m.

Figuur 62 – $\Delta 1.2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne gemeten met de Admodus USP.



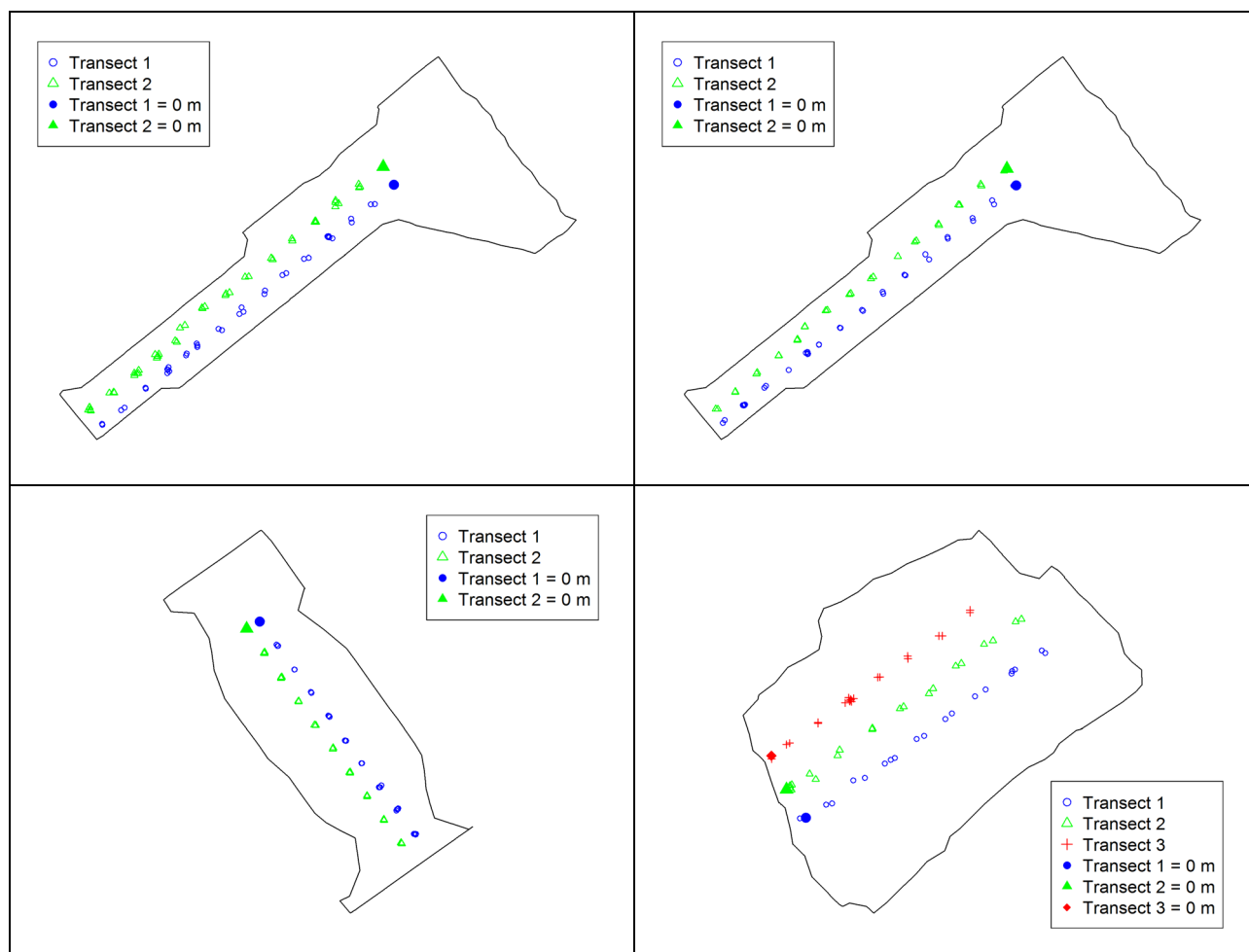
In Figuur 63 zijn een aantal voorbeelden van profielen weergegeven waarin het diepteverschil van de $1,20 \text{ g/cm}^3$ grens tussen de twee herhalingen groter is dan 0,8 m. Er kunnen verschillende oorzaken voor de verschillen worden afgeleid. In voorbeeld 1 en 3 zijn duidelijke verschillen waar te nemen, die veroorzaakt worden door het plots uitschieten van de densiteitswaarden, kort nadat het instrument in het slib is gepenetreerd. Hierna vallen de densiteitswaarden terug, en lijken de twee curves sterk op elkaar. De positie waar de curve een tweede keer kruist met de $1,20 \text{ g/cm}^3$ komt wel sterk overeen tussen beide curves. In voorbeeld 4 is de diepte waarop de densiteit begint uit te wijken duidelijk verschillend, waardoor ook het resultaat. Dit is te wijten aan de locatie van het meetpunt, dichtbij een talud en het licht verschuiven van de positie van het meetschip. Voor een selectie van het juiste (meest representatieve) profiel kan hier eventueel gebruik gemaakt worden van de dieptemeting met de 210 kHz, afhankelijk van de terreinkennis van de operator/verwerker. In voorbeelden 5, 6 en ook 2 kan geen duidelijk fout profiel worden onderscheiden. Beide curves vertonen een logisch verloop, maar resulteren toch in een groot verschil in de opgemeten ligging van de $1,2 \text{ g/cm}^3$, van $> 0,8 \text{ m}$. Voorbeelden 5 en 6 zijn profielen in ZP1, waar baggersporen meer aanwezig blijven. Dit zou een oorzaak kunnen zijn van de afwijking bij hogere densiteiten, en bijgevolg de positie van de $1,20 \text{ g/cm}^3$ diepte.

Figuur 63 – Voorbeelden van metingen met de Admodus, waarbij Δ 1,2 (m) groter is dan 0,8m.

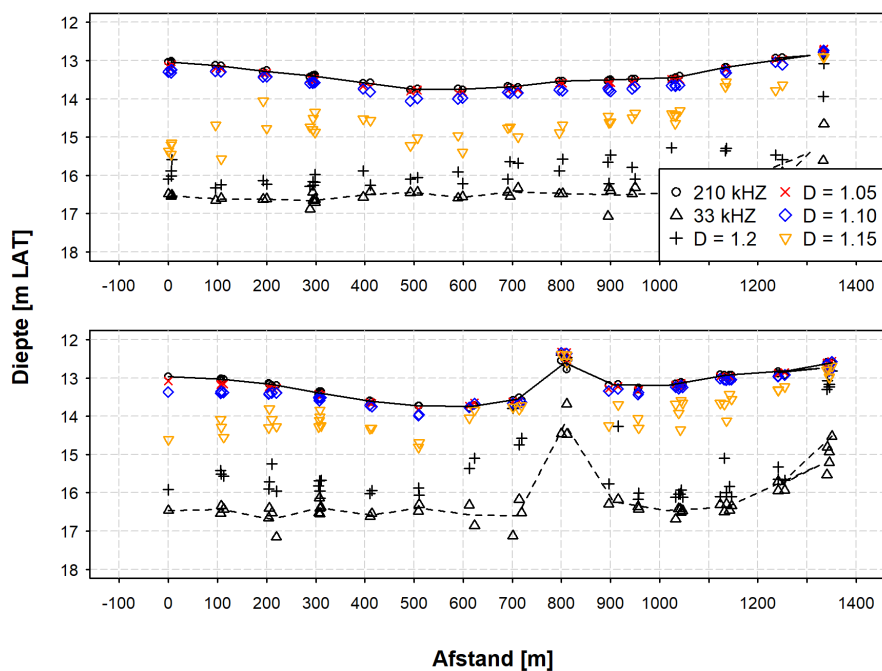


Naast deze algemene beschrijving van de metingen is ook naar de ruimtelijke verdeling gekeken van de metingen. Hiervoor werden een aantal raaien (“transecten”) geselecteerd in de verschillende regio’s waarin metingen zijn uitgevoerd. Een overzicht van de transecten is weergegeven in Figuur 64. Metingen werden gedaan in het Albert II dok, op 26 en 27 april (Figuur 64 boven, respectievelijk links en rechts), in CDBN (Figuur 64, linksonder) op 3/05/2018 en ZP1 (Figuur 64, rechtsonder) op 2/05/2018.

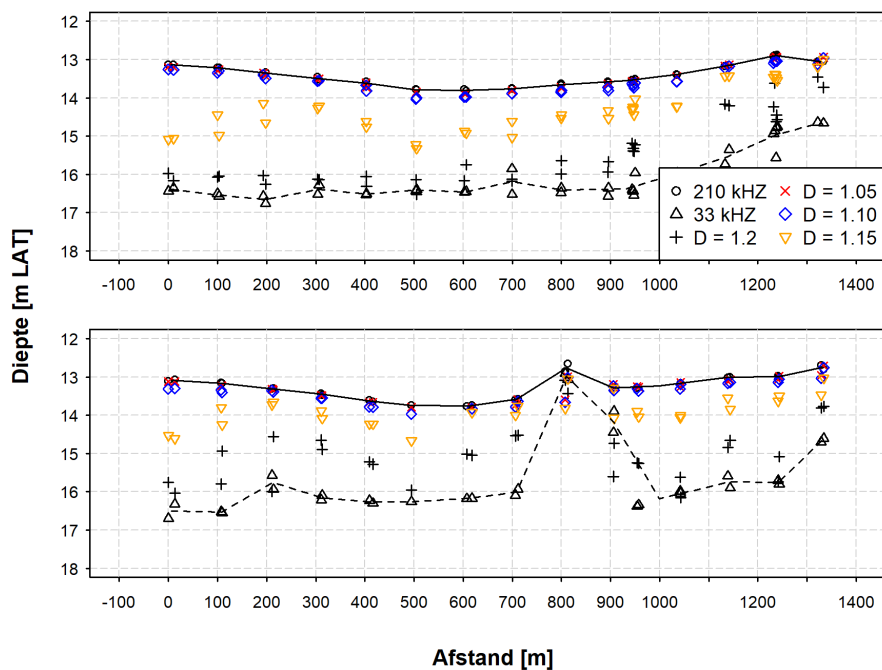
Figuur 64 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de Admodus.
Boven zijn de metingen weergegeven in A2 dok op 26 en 27/04 (links en rechts)
en linksonder CDBN (3/05) en rechtsonder ZP1 (2/05)



Figuur 65 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 26/04/2018, gemeten met de Admodus



Figuur 66 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15;1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 27/04/2018, gemeten met de Admodus

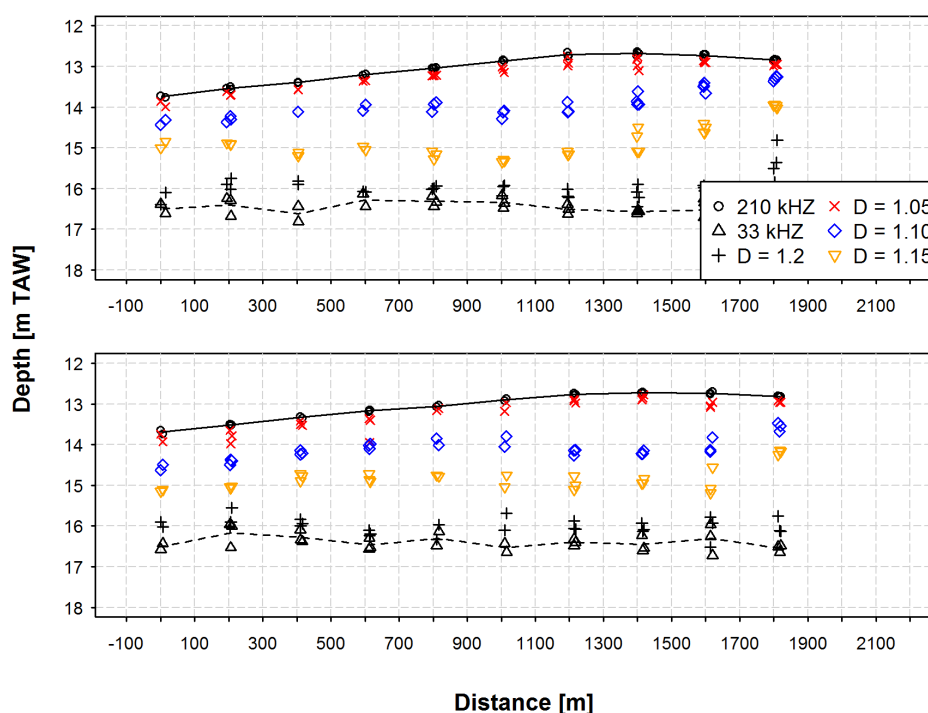


In Figuur 65 en Figuur 66 zijn de metingen met de Admodus in de transecten van het A2 weergegeven. Het is duidelijk dat er één meting is die sterk uitschiet t.o.v. de andere metingen in transect 2, deze meting komt overeen met de plaats waar het dok iets smaller wordt (noordelijk deel met zandig talud) en er een geleidelijkere overgang is naar de diepe delen (zie Appendix, Figuur 87). Het gemiddelde verschil, langsheen respectievelijk raai ("transect") 1 en 2, tussen de 210 kHz metingen is respectievelijk 0,02 en 0,05 m (het maximale verschil is respectievelijk 8 en 29 cm, het minimale 0 cm). Voor de 33 kHz metingen zijn de verschillen groter, met een gemiddelde spreiding 0,18 m en 0,29 m (met maximale verschillen van 0.81 m en 0,95 m). Voor de $\Delta 1,2$ is het gemiddelde verschil 0,26 m voor beide transecten, met een maximaal verschil van ca. 0,98 m en 1,51 m. Op dezelfde transecten, maar op 27/04/2018, worden gelijkaardige verschillen opgemeten. Een samenvatting is weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 – Overzicht van de gemiddelde, maximale en minimale verschillen voor de transecten in het Albert II dok, opgemeten op 26/04 en 27/04

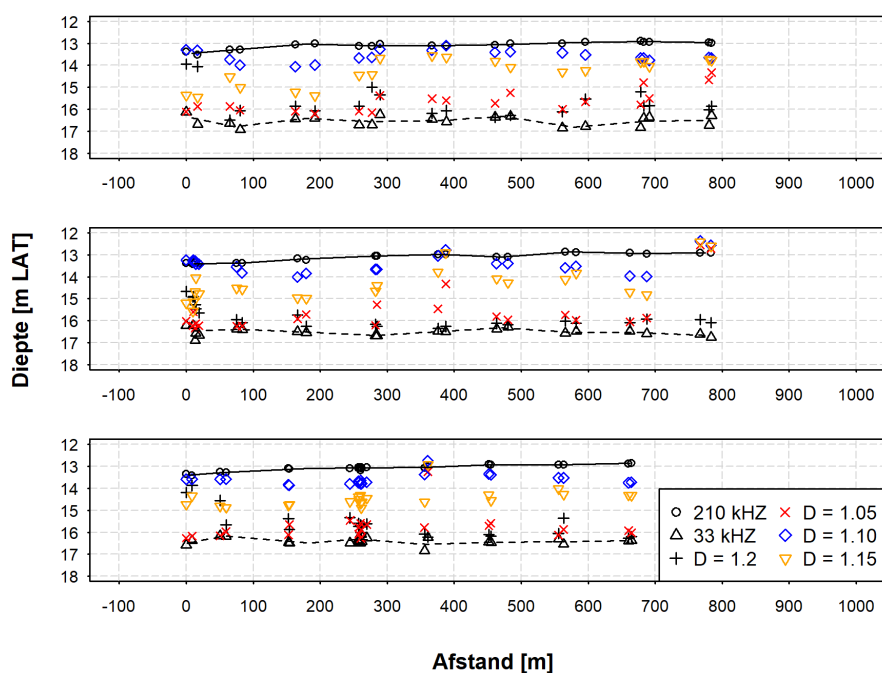
	dag	210 kHz			33 kHz			$\Delta 1,2$		
		Gem.	Max.	Min.	Gem.	Max.	Min.	Gem.	Max.	Min.
T1	26/04	0,03	0,08	0,00	0,18	0,95	0,01	0,26	0,98	0,03
	27/04	0,02	0,07	0,00	0,28	0,81	0,01	0,22	1,01	0,02
T2	26/04	0,06	0,29	0,00	0,29	0,95	0,02	0,27	1,51	0,02
	27/04	0,17	1,43	0,00	0,17	0,59	0,01	0,88	1,43	0,02

Figuur 67 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen twee transecten in CDNB (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de Admodus



In Figuur 67 is de ligging van verschillende slibdensiteiten weergegeven in CDNB, met ook de metingen van de 210 en 33 kHz. De opbouw van de sliblaag in deze zone lijkt consistent over de verschillende metingen heen. Het gemiddelde verschil voor de 210 metingen is hier respectievelijk 0,04 en 0,03 m, voor de 33 kHz zijn de verschillen iets groter rond 0,22 m en 0,2 m. de $\Delta 1,2$ is respectievelijk 0,47 en 0,23 m. Het verloop van de metingen is consistent langsheen het volledige transect. De opbouw van de verschillende densiteitsprofielen in ZP1 (zie Figuur 68) is veel gevarieerder, maar de herhaling van de verschillende metingen lijkt relatief goed overeen te komen. De ruimtelijke afstand tussen de verschillende metingen (herhalingen) is groter, zoals te zien in Figuur 64 (rechtsonder).

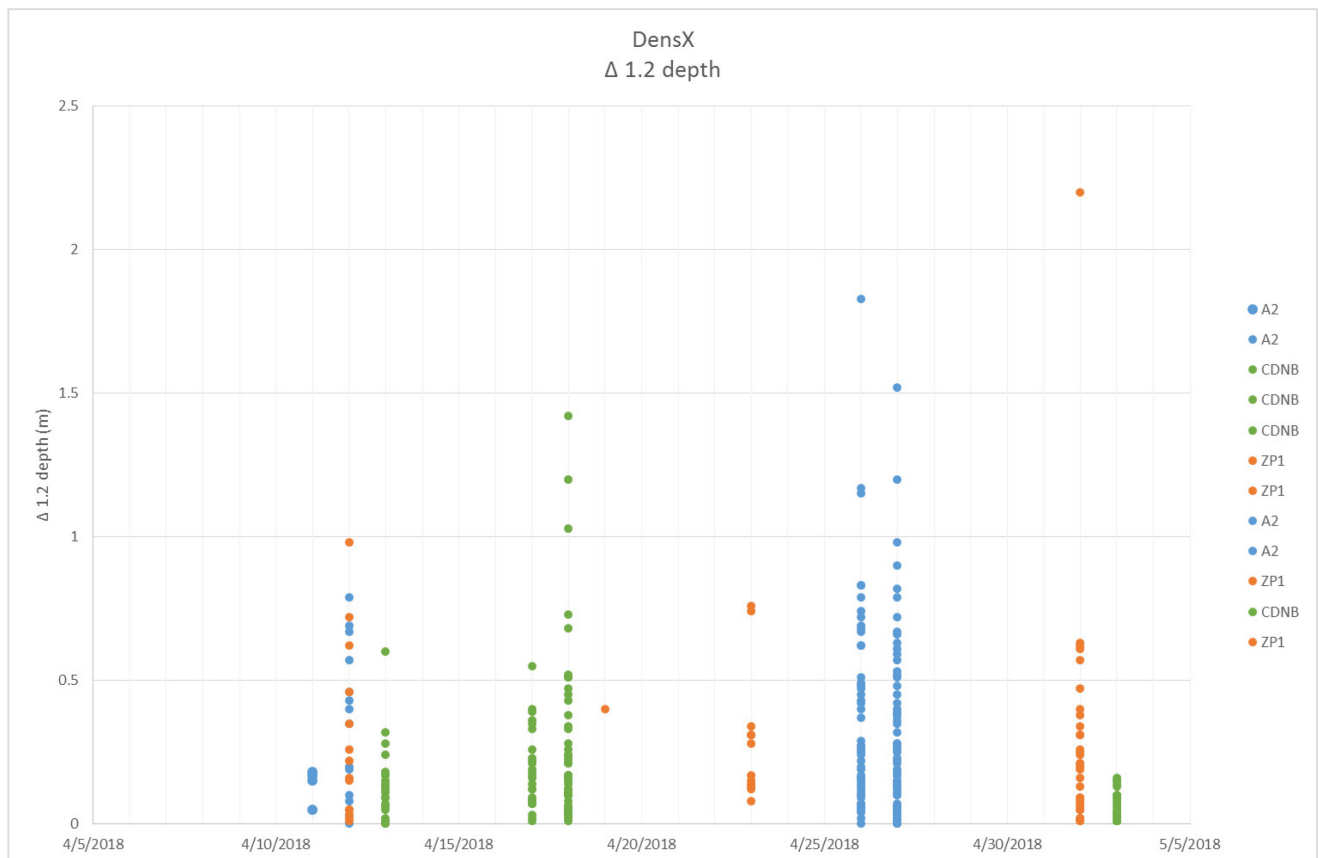
Figuur 68 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de Admodus



DensX

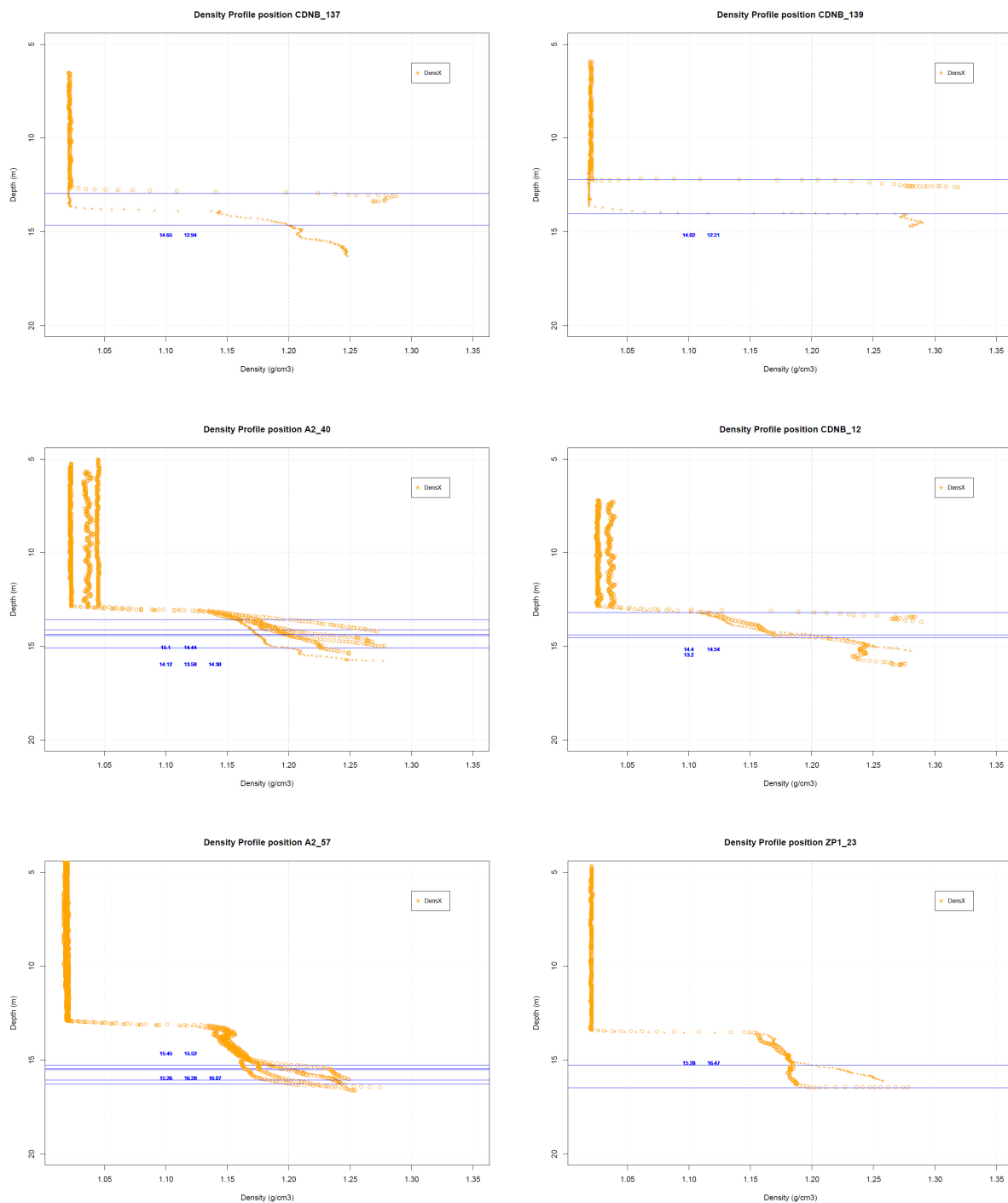
In Figuur 69 is de $\Delta 1,2$ (m) parameter weergegeven voor alle locaties en alle meetdagen van de campagne, opgemeten met het DensX toestel. De maximale opgemeten afwijking tussen twee herhaling is ca. 2,2 m. In ongeveer 3% van de meetlocaties is het verschil in de 1,2 ligging groter dan 1 m, in ongeveer 13 % van de metingen is het verschil groter dan 0,5 m.

Figuur 69 – $\Delta 1,2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne gemeten met de DensX.

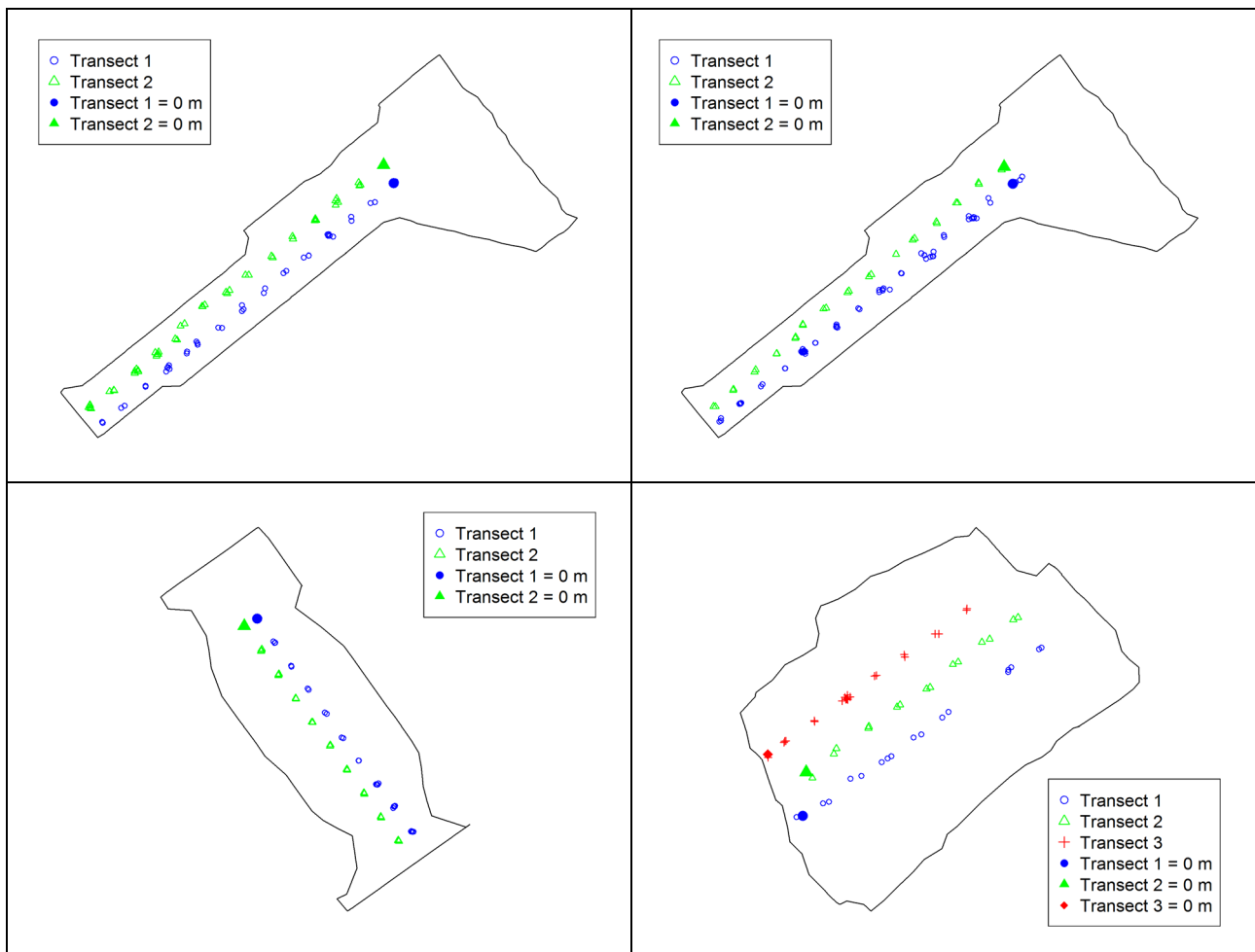


In Figuur 70 zijn een aantal voorbeelden van profielen, opgemeten met de DensX, weergegeven waarin het diepteverschil tussen de twee opgemeten 1,20 g/cm³ diepteliggingen groter is dan 0,8 m. Een aantal verschillende oorzaken van de verschillen kunnen worden weergegeven. In voorbeeld 1 en 2 is de uitwijking van de densiteiten duidelijk op een verschillende hoogte. Dit is vermoedelijk te wijten aan metingen bij een talud, en kleine verzetting van het meetschip tijdens de meting. Voor een selectie van het juiste (meest representatieve) profiel kan hier gebruik gemaakt worden van de dieptemeting met de 210 kHz, afhankelijk van de terreinkennis van de operator/verwerker. In voorbeeld 3 en 4 is de opgemeten waterdensiteit voor de verschillende profielen duidelijk verschillend. Ook de resulterende diepte van de 1,2 densiteit is sterk verschillend. In voorbeelden 5 en 6 zijn de opgemeten curves van de verschillende profielen realistisch. Toch is de meting van de 1,2 diepte sterk variërend. Voor de meting in ZP1 (voorbeeld 6) kan de meting beïnvloed worden door baggersporen in deze zone.

Figuur 70 – Voorbeelden van metingen met de DensX, waarbij Δ 1,2 (m) groter is dan 0,8m.

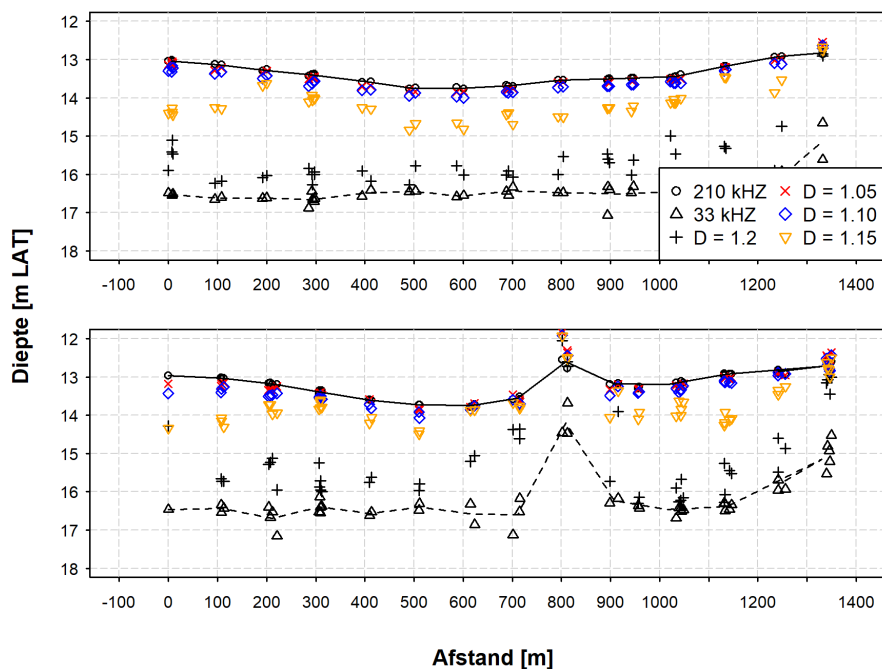


Figuur 71 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de DensX.
Boven zijn de metingen weergegeven in A2 op 26 en 27/04 (links en rechts) en linksonder CDNB en rechtsonder ZP1

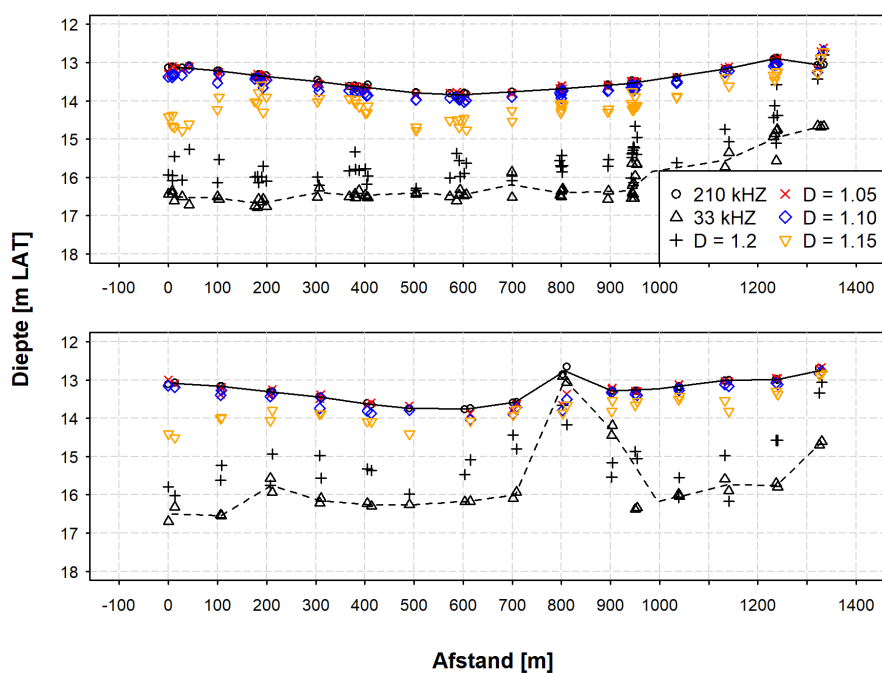


In Figuur 72 en Figuur 73 zijn de metingen met de DensX in de transecten van het A2 dok weergegeven. Ook hier is het duidelijk dat er één meting is die sterk uitschiet t.o.v. de andere metingen in transect 2, deze meting komt overeen met de plaats waar het dok iets smaller wordt en er een geleidelijkere overgang is naar de diepe delen (zie Appendix, Figuur 87). Het gemiddelde verschil, langsheen respectievelijk transect 1 en 2, tussen de 210 kHz metingen is respectievelijk 0,03 en 0,05 m (het maximale verschil is respectievelijk 8 en 29 cm, het minimale 0 cm). Voor de 33 kHz metingen zijn de verschillen groter, met een gemiddelde spreiding 0,18 m en 0,29 m (met maximale verschillen van 0,81 m en 0,95 m). Voor de $\Delta 1,2$ is het gemiddelde verschil 0,33 en 0,37 m voor beide transecten, met een maximaal verschil van ca. 1,17 m en 1,83 m. Op dezelfde transecten, maar op 27/04/2018, worden gelijkaardige verschillen opgemeten.

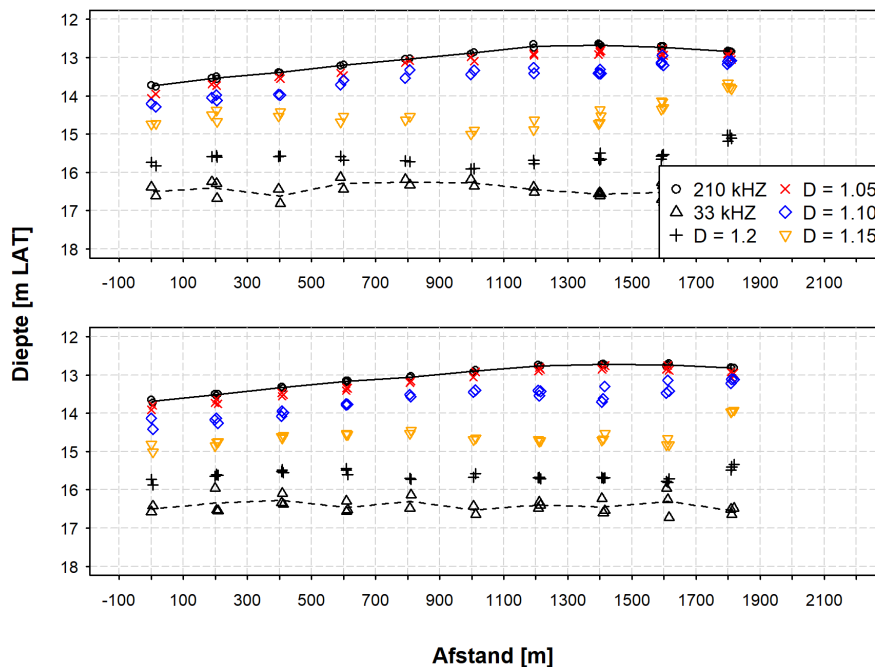
Figuur 72 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 26/04/2018, gemeten met de DensX



Figuur 73 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen twee transecten in A2 dok (zie Figuur 64) op 27/04/2018, gemeten met de DensX

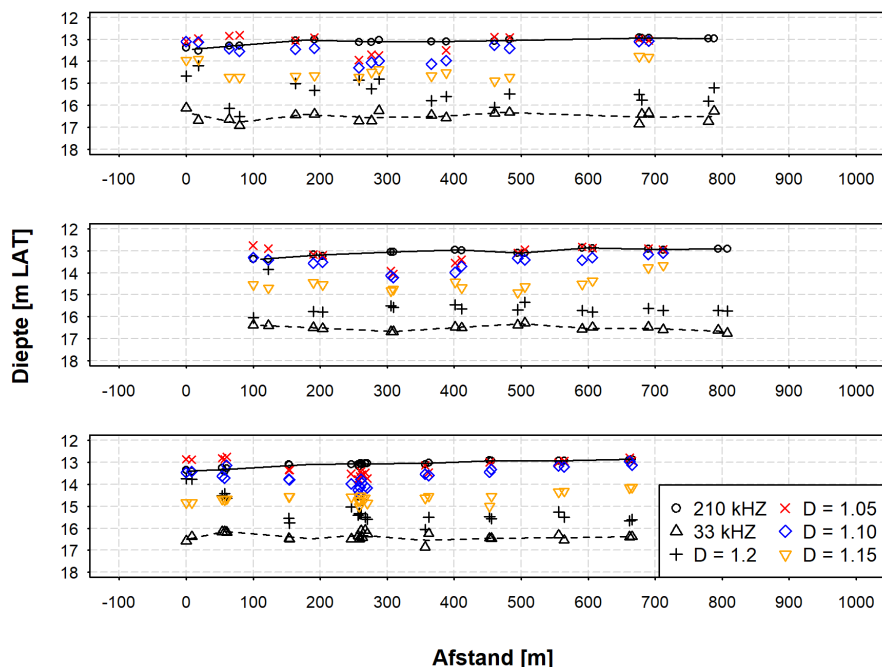


Figuur 74 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen twee transecten in CDNB (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de DensX



In Figuur 74 is de ligging van verschillende slibdensiteiten weergegeven in CDNB, met ook de metingen van de 210 en 33 kHz. De opbouw van de sliblaag in deze zone lijkt consistent over de verschillende metingen heen. Het gemiddelde verschil voor de 210 kHz metingen is hier 0,03 m, voor de 33 kHz zijn de verschillen iets groter rond 0,29 m en 0,2 m. de $\Delta 1,2$ is respectievelijk 0,05 en 0,06 m, met een maximum van ca 0,15 m voor elk transect. Dit is kleiner dan de variatie binnen de Admodus metingen (ca. 0,20 en 0,25 m). Het verloop van de metingen is consistent langsheen het volledige transect. De opbouw van de verschillende densiteitsprofielen in ZP1 (zie Figuur 75) is veel gevarieerder, maar de herhaling van de verschillende metingen lijkt relatief goed overeen te komen.

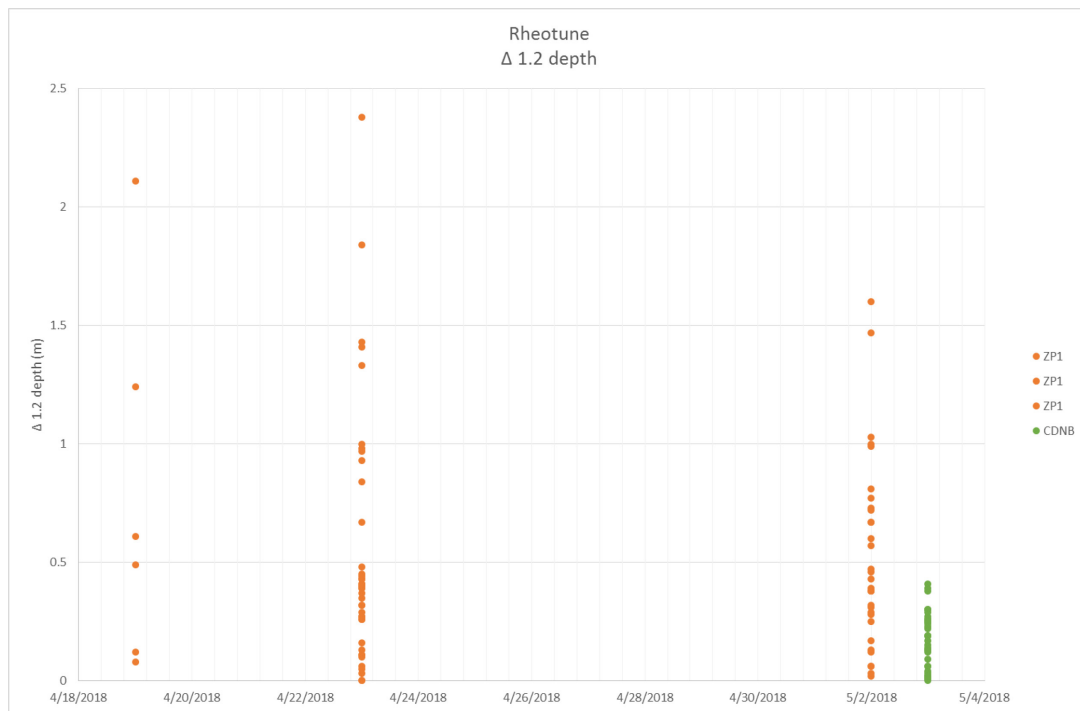
Figuur 75 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de DensX



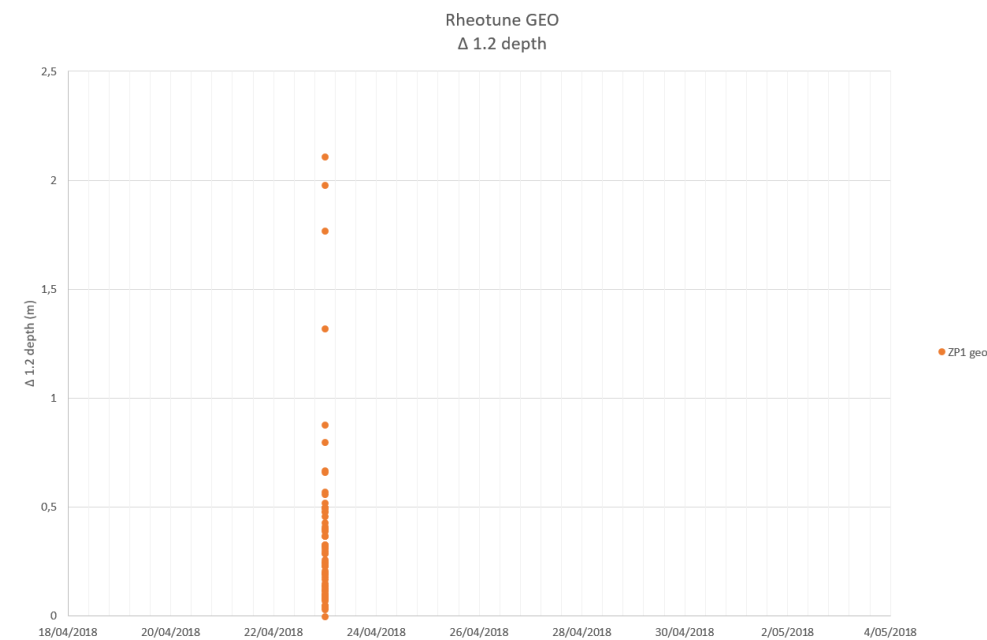
Rheotune

De eerste parameter die bestudeerd wordt is de $\Delta 1,2$, die in sectie 5.1 al gedefinieerd is, en het absolute verschil is tussen de dieptemetingen van de 1,2 g/cm³ voor hetzelfde meetpunt met eenzelfde instrument uitgevoerd. In Figuur 76 is de $\Delta 1,2$ (m) parameter weergegeven voor alle locaties en alle meetdagen van de campagne, met de Rheotune van Vlaamse Hydrografie. Aanvullend is in Figuur 77 de $\Delta 1,2$ weergegeven voor de metingen uitgevoerd door GeoXYZ. De maximale verschillen in Figuur 76 en Figuur 77, respectievelijk metingen zijn ca. 2,4 m en 2,1 m. In 12% van de meetlocaties is het verschil tussen de 1,2 locatie groter dan 0,5 m, in 9% groter dan 1 m. Voor de metingen van GeoXYZ is dit respectievelijk 13 % en 10 %. In Figuur 76 is duidelijk dat de metingen in ZP1 een grotere spreiding vertonen dan de metingen in CDNB.

Figuur 76 – $\Delta 1,2$ voor alle meetlocaties en meetdagen van de meetcampagne, gemeten met de Rheotune



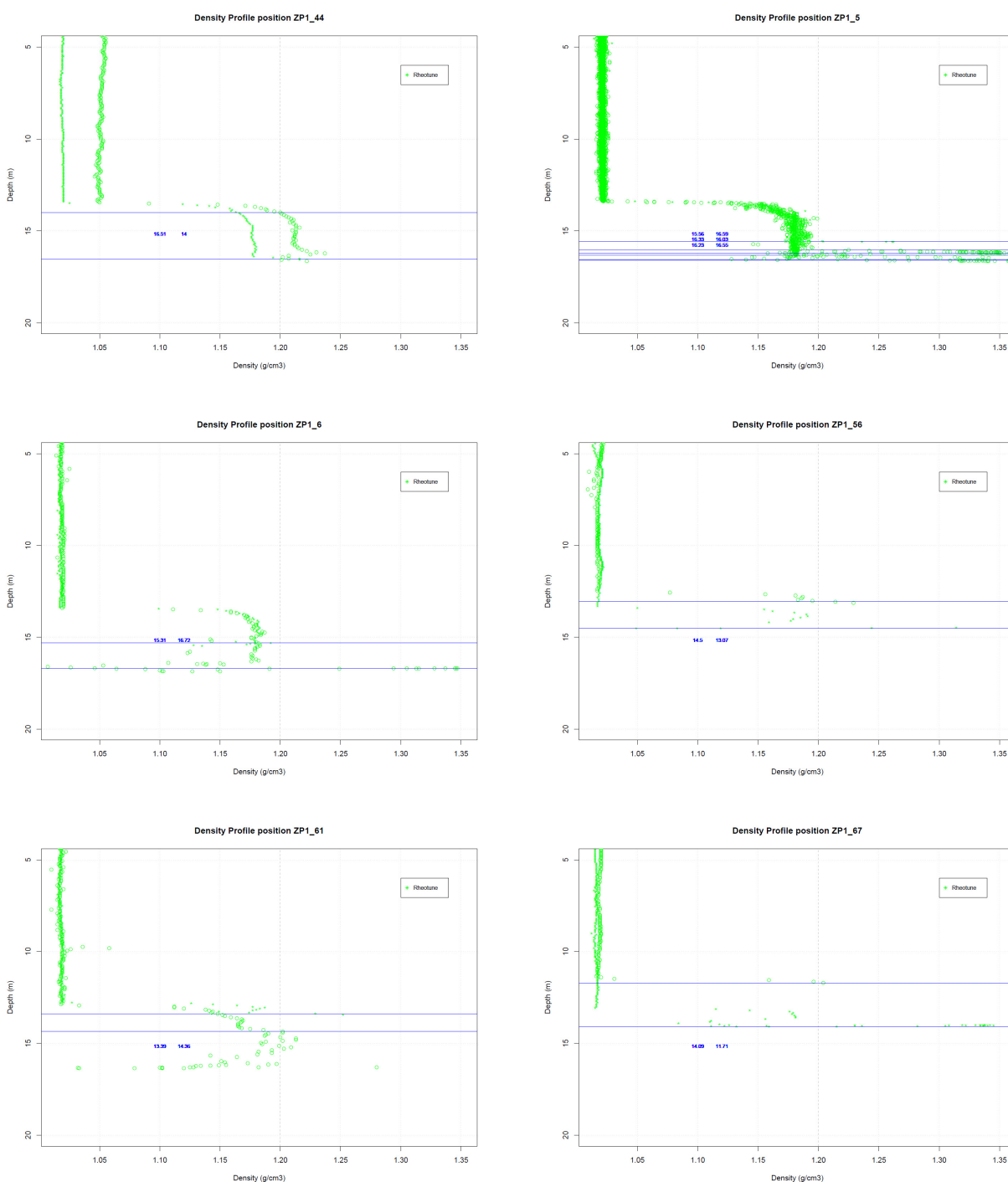
Figuur 77 – $\Delta 1,2$ gemeten door GeoXYZ, met een Rheotune



In een aantal voorbeelden van profielen weergegeven waarin het diepteververschil tussen de twee opgemeten 1,2 waarden groter is dan 0,8 m. Deze profielen werden opgemeten met behulp van de Rheotune van Vlaamse Hydrografie. In voorbeeld 1 is de waterdensiteit tussen de profielen sterk verschillend. De

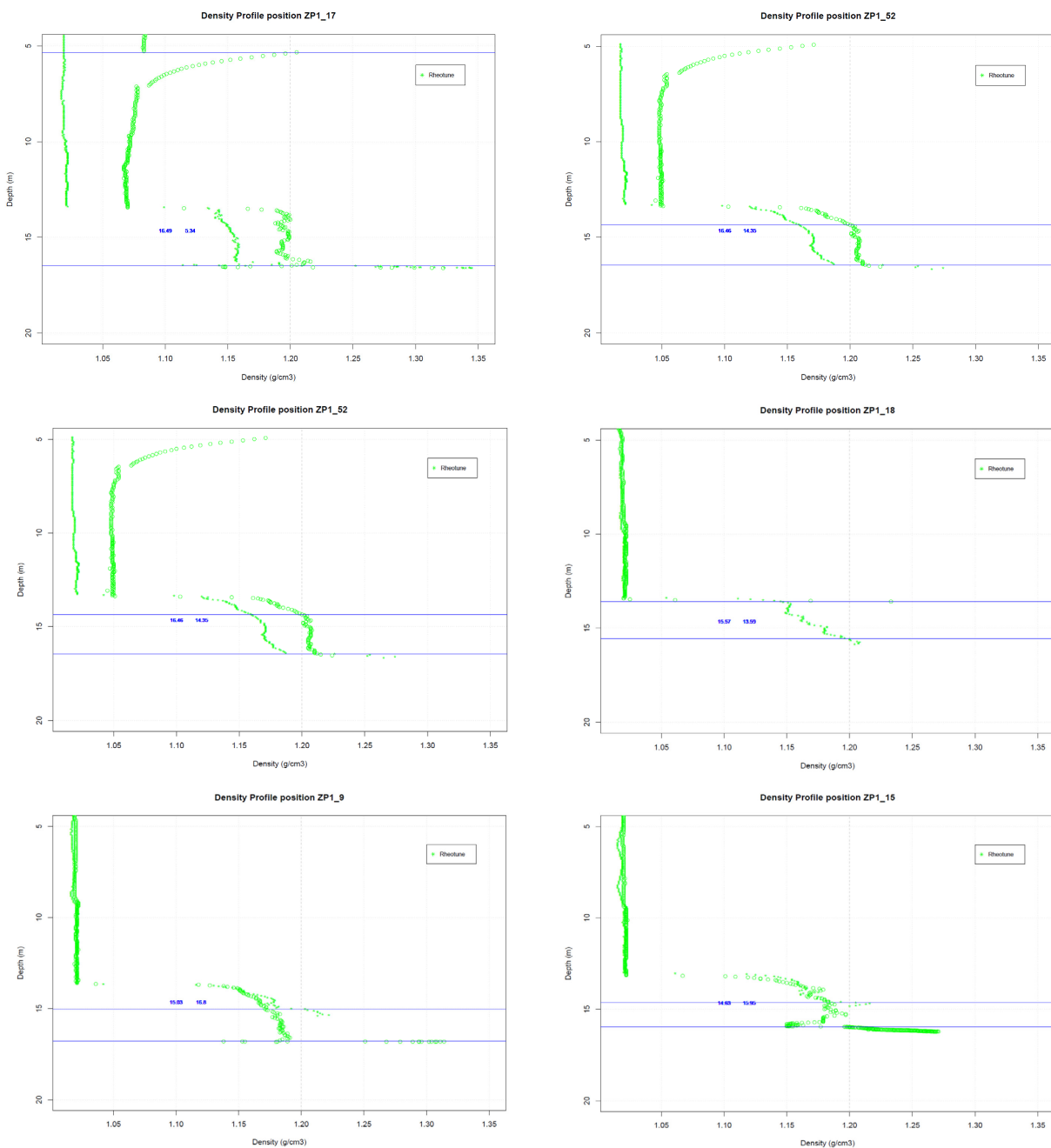
opgemeten diepte voor de $1,20 \text{ g/cm}^3$ wijkt ook sterk af voor de verschillende metingen, de verschuiving in de meetwaarden in de waterkolom lijken zich door te zetten in de sliblaag. In de andere voorbeelden zijn de verschillen in de 1,2 diepteligging eveneens groot. In het algemene kunnen hier geen duidelijk, foute profielen worden teruggevonden, al zijn er toch verschillende profielen die een afname van de densiteit kennen met de diepte. Vele profielen kennen een constante densiteit tot ca $1,18 \text{ g/cm}^3$, waarna de densiteit sterk begint uit te schieten (soms zowel naar hogere als lagere densiteiten), zoals bv. te zien in voorbeelden 2, 3 en 5.

Figuur 78 – Voorbeelden van metingen met de Rheotune, opgemeten door Vlaamse Hydrografie, waarbij $\Delta 1,2 \text{ (m)}$ groter is dan $0,8\text{m}$.

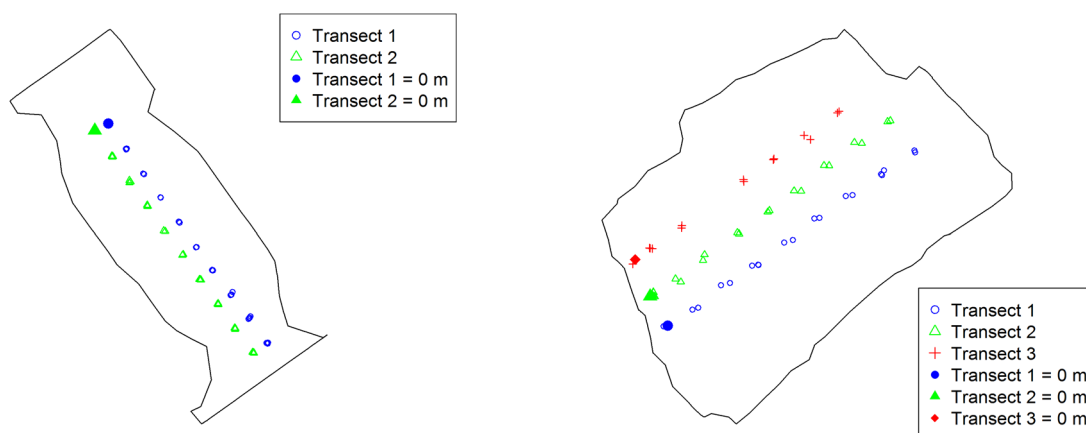


In Figuur 79 zijn een aantal voorbeelden van profielen weergegeven waarin het diepteverschil tussen de twee opgemeten 1,2 waarden groter is dan 0,8 m. Deze profielen werden opgemeten door GeoXYZ met behulp van een Rheotune. In voorbeelden 1, 2 en 3 zijn de opgemeten waterdensiteiten sterk verschillend voor de opgemeten profielen. De opgemeten diepte voor de 1,2 wijkt ook sterk af voor de verschillende metingen, ondanks het feit dat de vorm van de curves van de herhalingen gelijkaardig is. Door het verschuiven van de curves naar links, met een densiteit gelijk aan het verschil in de waterdensiteit, lijken de curves beter op elkaar te zullen vallen en ook de dieptemeting van de 1,20 g/cm³ waarde meer overeen te komen. In voorbeeld 4 is er een directe uitwijking van 1 profiel, wat niet noodzakelijk een verkeerde meting hoeft te zijn. In voorbeelden 5 en 6 lijkt steeds voor 1 van beide profielen de densiteit niet toe te nemen met de diepte (in 1 geval neemt deze zelfs af), waarbij uiteindelijk een zeer grote uitwijking (uitschieter) van de densiteit wordt waargenomen.

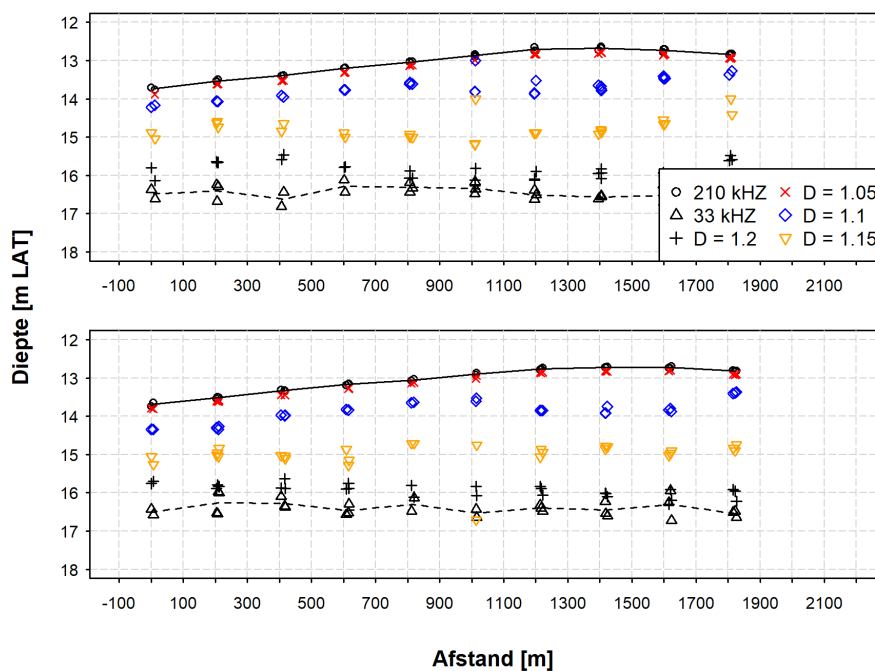
Figuur 79 – Voorbeelden van metingen met de Rheotune, opgemeten door GeoXYZ, waarbij $\Delta 1,2$ (m) groter is dan 0,8m.



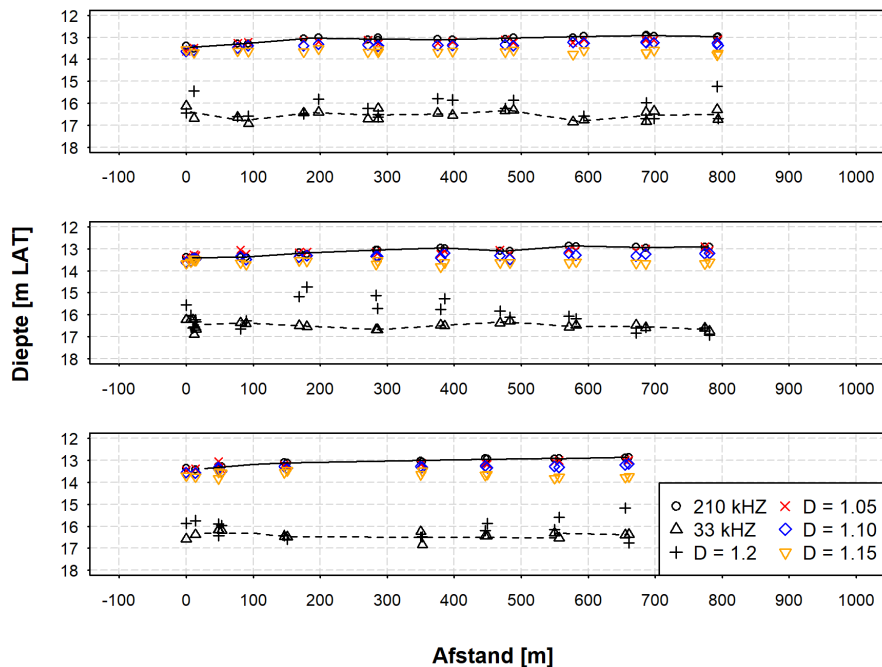
Figuur 80 – Overzicht van de beschouwde transecten, met de exacte locatie van de meetpunten voor de Rheotune. Links zijn de metingen in CDBN (03/05/2018) weergegeven, rechts in ZP1 (02/05/2018).



Figuur 81 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen twee transecten in CDBN (zie Figuur 64) op 03/05/2018, gemeten met de Rheotune



Figuur 82 – Verloop van de 33 en 210 kHz en densiteiten 1,05; 1,10; 1,15; 1,20 langsheen drie transecten in ZP1 (zie Figuur 64) op 02/05/2018, gemeten met de Rheotune



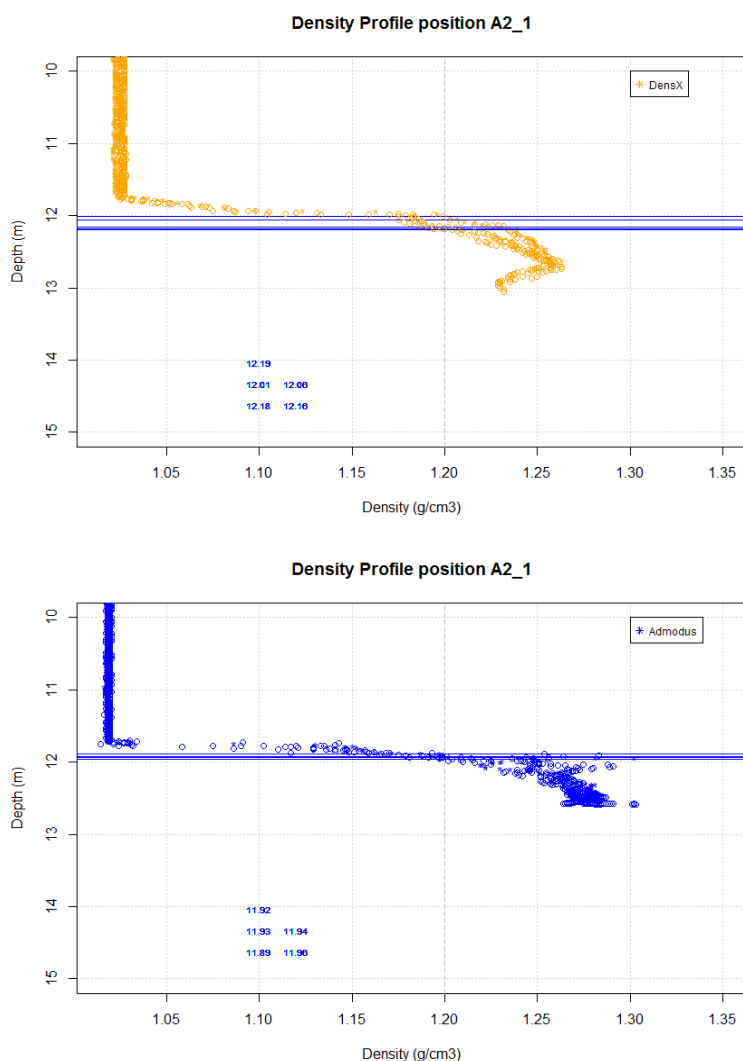
In Figuur 81 is de ligging van verschillende slibdensiteiten weergegeven in CDNB, met ook de metingen van de 210 en 33 kHz. De opbouw van de sliblaag in deze zone lijkt consistent over de verschillende metingen heen. Het gemiddelde verschil voor de 210 kHz metingen is hier 0,03 m, voor de 33 kHz zijn de verschillen iets groter rond 0,28 m en 0,20 m. Het gemiddeld verschil in de ligging van de 1,20 g/cm³ is 0,17 en 0,16 m, de maximale verschillen rond 0,40 m. Het verloop van de metingen is consistent langsheen het volledige transect. De opbouw van de verschillende densiteitsprofielen in ZP1, zie Figuur 82, is zeer constant, maar het patroon is anders dan deze opgemeten met de andere meetinstrumenten. De gemiddelde waarde voor $\Delta 1,2$ is respectievelijk 0,52 m, 0,35m en 0,72 m voor de verschillende transecten.

5.3 Vergelijking tussen de instrumenten

Aangezien een absolute vergelijking van de metingen niet mogelijk is, wegens het ontbreken van een referentiewaarde (er werden geen stalen opgehaald gedurende de meetcampagne), is in dit rapport voornamelijk gefocust op de herhaalbaarheid van de metingen met één bepaald toestel.

In Figuur 83 zijn densiteitsprofielen weergegeven van een meting, waarbij het schip aan de kade vastligt, met de DensX en de Admodus. Voor elk toestel zijn 5 herhalingen opgemeten. De diepteligging van de $1,20 \text{ g/cm}^3$ densiteit, opgemeten met de DensX, ligt tussen de 12,01 m TAW en 12,19 m TAW. De metingen van de Admodus zijn gelegen tussen 11,89 m TAW en 11,96 m TAW. De $\Delta 1,2$ varieert dus voor de Admodus tussen 0,01 tot 0,04 m. De $\Delta 1,2$ varieert tussen de 0,05 en 0,18 m voor deze metingen bij de DensX. De $1,2 \text{ g/cm}^3$ ligging voor de DensX is iets groter dan deze voor de Admodus. De waterdensiteit opgemeten met de DensX is $1,023 \text{ g/cm}^3$ ($\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ tussen de metingen), voor de Admodus is de waterdensiteit $1,018 \text{ g/cm}^3$ ($\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$).

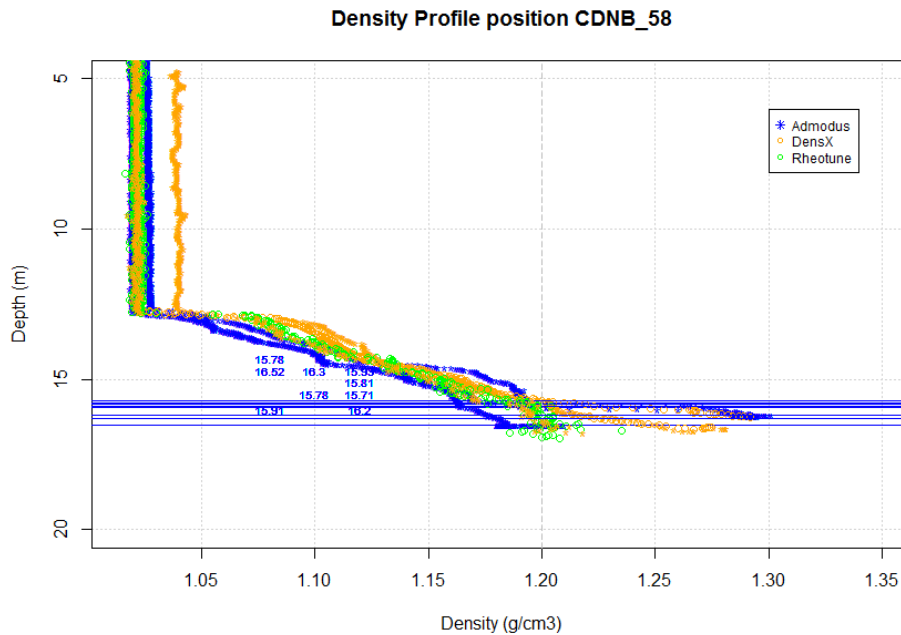
Figuur 83 – Densiteitsprofiel opgemeten met de DensX (5 metingen) en de Admodus (5 metingen), met het schip vast aan de kade



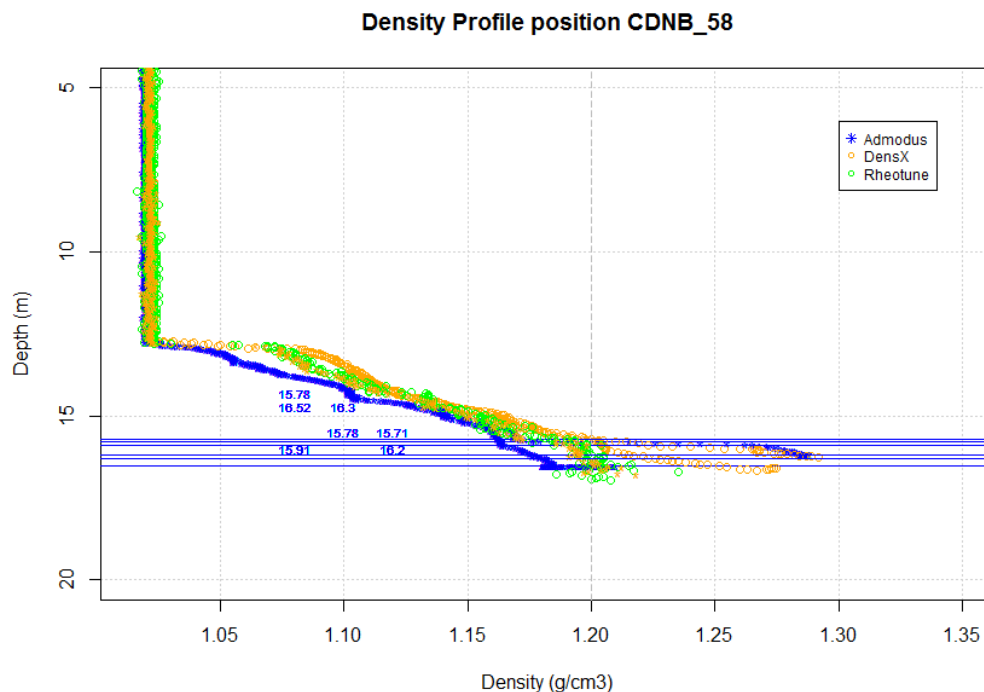
Hieronder worden nog enkele voorbeelden weergegeven van de metingen met de drie verschillende instrumenten samen. Hierbij werden enkele locaties geselecteerd. In Figuur 84 is het densiteitsprofiel weergegeven voor een locatie in CDBN (CDBN_58: x= 514276,002; y=5688809,999). Dit profiel werd met elk instrument driemaal opgemeten.

Er zijn een aantal metingen, één met de Admodus en een met de DensX die afwijkend zijn omdat de waterdichtheid langs de waterkolom groter is dan de werkelijke waarde van de waterdichtheid. Deze twee metingen zijn uit de plot verwijderd en de overblijvende profielen zijn weergegeven in Figuur 85. Nog steeds wordt een groot verschil in de diepteligging van de 1,2 g/cm³ waargenomen. Het grootste verschil is 0,7 m en dit is het verschil tussen de twee metingen uitgevoerd met de Admodus en tussen Admodus en Rheotune.

Figuur 84 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDBN 58).

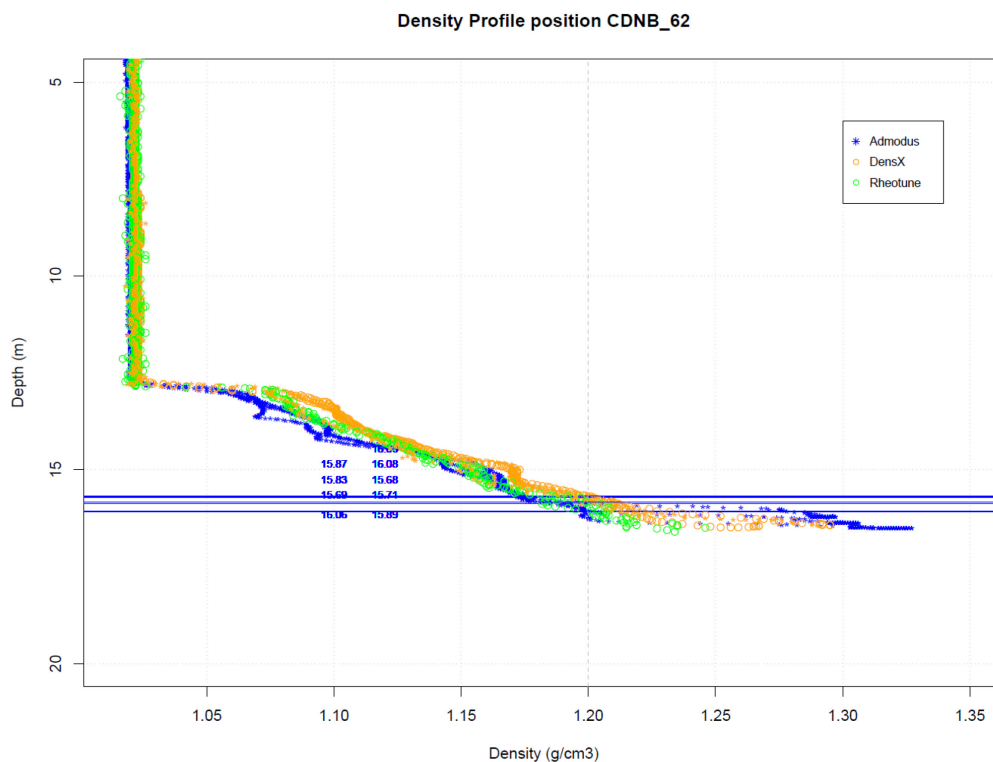


Figuur 85 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDBN 58): selectie van de meetprofielen



Een ander voorbeeld is het profiel gemeten op CDNB_62 ($X = 514042.998$, $Y = 5689135.002$), het dichtheidsprofiel wordt getoond in de onderstaande figuur. Drie metingen worden uitgevoerd met de Admodus en DensX, twee metingen met de Rheotune. In dit geval zijn de profielen gemeten door de drie verschillende apparaten onderling sterker gelijkend en is het grootste diepteverschil dat wordt verkregen voor de dichtheid van $1,20 \text{ g/cm}^3$ slechts 0,20 m.

Figuur 86 – Densiteitsprofiel gemeten met de drie meetinstrumenten (positie CDNB 58)



6 Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport wordt een overzicht weergegeven van de werking en gebruik van verschillende meetinstrumenten die door aMT werden aangekocht voor het opmeten van slibkarakteristieken. Hiernaast worden de resultaten van de derde meetcampagne, waarbij gefocust werd op de meetinstrumenten die geschikt zijn voor het uitvoeren van densiteitsmetingen.

In een eerste deel van het rapport worden de theoretische basis van verschillende instrumenten besproken, met name de Admodus USP, DensX, Graviprobe, Rheocable, Rheotune en Slibsampler. Een theoretische samenvatting van de werking is samengevat in sectie 2.7, een overzicht van de praktische haalbaarheid in sectie 4.4.8. De slibsampler gaf tot heden nog geen resultaten, aangezien geen stalen konden worden bovengehaald. Deze stalen zouden tevens enkel nuttig zijn voor een vergelijking met densiteitwaarden, aangezien om subsamples te nemen de samplebuis uit de slibsampler moet worden gehaald, wat een omslachtig proces is. De Rheocable is een zeer onhandig instrument om mee te werken, haast onwerkbaar in de praktijk. Bovendien is het niet duidelijk welke slib parameter hiermee kan worden opgemeten. De Graviprobe is een licht toestel en gemakkelijk om mee te werken. De meetresultaten kunnen echter niet live worden bekeken en de resultaten van het toestel moeten vergeleken worden met sterktemetingen van samples onder gecontroleerde laboratorium omstandigheden.

Specifiek voor de densiteitsinstrumenten wordt door alle producenten gewezen op een goede kalibratie/justering voor het bekomen van goede en accurate metingen. Voor de Admodus USP worden een aantal specifieke punten aangehaald die belangrijk zijn voor het bekomen van goede metingen: enerzijds is het belangrijk dat de sensor even de tijd krijgt om zich aan te passen aan de temperatuur van het medium en anderzijds dienen de sensoren proper te zijn, dus zowel vrij van luchtbellens als van restanten van het slib. Bij de Rheotune wordt eveneens gewezen op het belang van propere sensoren. Bij dit instrument kleeft na praktisch elke prik slib tussen de trilvork. Vanuit een praktisch oogpunt zijn de Admodus en de Rheotune gelijkaardig. Beide toestellen zijn relatief licht en de snelheid van de metingen tijdens de meetcampagne is gelijkaardig. Deze wordt gestuurd vanuit de liersnelheid van de kraan/davit. Voor de DensX is de duur van de meting zelf ook geen praktische belemmering, de snelheid van de automatische winch is iets lager dan de liersnelheid van de davit. De opstart van het instrument, met name de radioactieve bron, duurt echter lang, waardoor er moet gevaren worden met het toestel, terwijl dit zich 5 m onder het wateroppervlak bevindt. Aangezien er ook een extra beveiliging op het toestel zit waarbij ook de trekkrachten beperkt moeten blijven, kan er slechts traag gevaren worden en is de manoeuvreerbaarheid van het meetschip beperkt. Ook bij sterke stromingen kan dit criterium een probleem geven.

In dit rapport werd gewerkt met de aangeleverde data, zowel de eigen data als deze van GeoXYZ. Op de eigen data werden er geen filters of smoothing op de data werden toegepast, geen outliers werden verwijderd en gekeken werd naar alle data (profielen), zonder het verwijderen van bepaalde metingen. Een dergelijke bewerking van de data zou eventueel tot betere resultaten of kleinere afwijkingen kunnen leiden, maar het is belangrijk dat hiervoor duidelijke criteria e.d. worden gevonden, zodat consistent gewerkt wordt (en bewaking van de maskering van de echte meting). Ook de wijze waarop de 1,20 g/cm³ dieptelocatie wordt bepaald, nu de eerste meting waarbij een hogere waarde wordt gemeten, zou kunnen leiden tot een iets robuustere meting. In het algemeen kan gesteld worden dat een aantal metingen waarin de verschillen in de ligging van de 1,2 g/cm³ groot zijn, kan worden toegewezen aan volgende oorzaken:

- a) Een afwijkende meting van de waterdensiteit, die zich lijkt door te zetten in de sliblaag
- b) Een afwijkende diepte waarop de uitwijking van de densiteit zichtbaar is, mogelijks door verzet tijdens de metingen zelf
- c) Uitschieters in de densiteitsmeting na het bereiken van de sliblaag, waarna de densiteitsmeting terugvalt en opnieuw toeneemt met de diepte (voorbeelden 1 en 3 Admodus, Figuur 63),

- d) Plotse uitschieters in de densiteit na constante densiteitsmeting (voorbeeld 3 en 4 bij Rheotune, Figuur 78)
- e) Omrekening van reologische parameters naar densiteit

Voor gevallen a en b kan een foute meting gemakkelijk worden opgespoord, ofwel met behulp van de gekende waterdensiteit of met behulp van de 210 kHz. In de andere gevallen, en ook in gevallen waarin 2 'visueel' normale densiteitsprofielen worden opgemeten, is het moeilijker om direct tijdens de meting dergelijke fouten te observeren. Het lijkt dan ook, zelfs in geval van operationele metingen, aangewezen om een locatie steeds tweemaal te prikken, zodat een idee van de nauwkeurigheid van de meting bekomen wordt.

Zowel voor de validatie als voor de metingen in situ lijken de metingen met de Rheotune grotere fluctuaties in te houden. In de validatiemetingen in het labo werden voor 1 sample afwijkingen tot $0,07 \text{ g/cm}^3$ opgemeten. Vooral bij de hogere densiteiten nemen de afwijkingen in de metingen toe. In-situ is het verschil in de ligging van de $1,2 \text{ g/cm}^3$ in ca. 10 % van de gevallen groter dan 1 m. Voor de DensX en Admodus is dit slechts 3 à 4 %. Het aantal samples waarin het verschil groter is dan 0,5 m is voor alle instrumenten ongeveer gelijk, rond 15 %. De metingen uitgevoerd door GeoXYZ vertonen een opvallend grote spreiding in het opmeten van de waterdensiteit.

Door het ontbreken van een referentiewaarden, konden geen absolute vergelijking van de verschillende instrumenten worden uitgevoerd, waardoor de evaluatie in dit rapport beperkt wordt tot een relatieve vergelijking. Naar de toekomst toe is het aan te raden om eveneens een absolute vergelijking te kunnen maken. Hiervoor bestaan er twee mogelijkheden van aanpak:

- ofwel kan hiervoor een sliblaagopbouw worden gesimuleerd in de sedimenttesttank van het Waterbouwkundig Laboratorium. Op deze manier kan een dichtheidsopbouw van het slib worden gesimuleerd, waarbij de absolute waarden wel kunnen worden opgemeten.

- Anderzijds kan ook een succesvolle samplingstechniek in situ (bv. de slibsampler, of andere) voor het nemen van ongestoorde slibsamples een oplossing bieden.

In het algemeen kan gesteld worden dat er grote verschillen in de opmeting van de ligging van de $1,2 \text{ g/cm}^3$ werden opgemerkt, zelfs bij het beschouwen van de metingen met hetzelfde meetinstrument onderling. Naar de toekomst is het interessant om de mogelijke oorzaken van meetvariates (positie van het schip, lokale variates in de sliblaag, etc.) te beperken, zodat een echte inschatting kan gemaakt worden van de robuustheid van de meting van de instrumenten zelf. In de huidige meetcampagne werd 1 meting gedaan waarbij het schip vastgelegd werd. Het is interessant om het aantal locaties waarop zo wordt gemeten uit te breiden, en dit ook te doen met de Rheotune.

7 Referenties

Allwright. (2002). The vibrating tuning fork fluid density tool. Smith Institute
<http://www.smithinst.ac.uk/Projects/ESGI43/ESGI43-NanGall/index.html>

Claeys S, D. S. (2009a). Nautical Bottom Sediment Research: Comparison of in-situ rheological based instruments. Version 1_1. WL Rapporten, 751_1a. Antwerpen, Belgium: Flanders Hydraulics Research.

Claeys, S., De Schutter, J., & Mostaert, F. (2009b). Nautical Bottom Sediment Research: Comparison of in-situ rheological based instruments. Version 1_1. WL Rapporten, 751_1a. Antwerp, Belgium: Flanders Hydraulics Research.

Claeys, S., Van Hoestenbergh, T., De Schutter, J., Vanlede, J., Verwaest, T., & Mostaert, F. (2013). Nautical Bottom Sediment Research: Sub report 14: Individual trials of in-situ density based instruments in the Sediment Test Tank. Instrument: "ADMODUS USP Synergetik". Version 2_1. WL Rapporten, 751_01a. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

Claeys, S.; Van Hoestenbergh, T.; De Schutter, J.; Vanlede, J.; Van Oyen, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Nautical bottom sediment research: sub report 4. Individual trials of in-situ rheological based instruments in the Sediment Test Tank. Instrument: Rheocable and Accelero probe. Version 6.0. WL Rapporten, 00_161. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. III, 12 pp.

Druyts, M., Brabers, P. (2012) Nautical Depth sounding – The Rheocable survey method. The International Hydrographic Review, No. 7, May 2012

DensX, M. (2018). <https://dotocean-3tbb9ojnoqodilnglqq.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2018/02/DensX-Manual-2018.pdf>.

DotOcean. (2017). <https://www.dotocean.eu/products/sediment-profilers/densx/>.

DotOcean. (2018). <https://www.dotocean.eu/products/sediment-profilers/densx/>. Opgehaald van <https://www.dotocean.eu>

DotOcean (2015). Graviprobe. Model GP-R-01. User's Manual. May 2015.

Geo-matching. (2018). <https://geo-matching.com/category/density-probes/admodus-usp-pro>. Opgehaald van <https://geo-matching.com>

Greiser, N; Pucket, P.T.; Welp, T; Tubman, M; Wilson, D. (2009) Phase I Laboratory Evaluation Report. Detection of Newly Deposited Sediments via Frequency Response Measurements: Dredging Residuals Density Profiler (DRDP). EPA.

MDCE (2012) Nautical Depth, Rheocable model and velocity window. .

Seatec (2015) SMPL-002. Slib Sampler System. User Manual. SMPL-002-05. Version 2.0.

Synergetik (2016). Operating manual for admodus© USPpro. Versie 1.4, Opgehaald van <https://admodus.de/en/products/usp-pro/>.

Stema. (2017). <https://stema-systems.nl/>. Opgehaald van <https://stema-systems.nl/>

THV nautic (2014) Rheocable. Survey and safety manual.

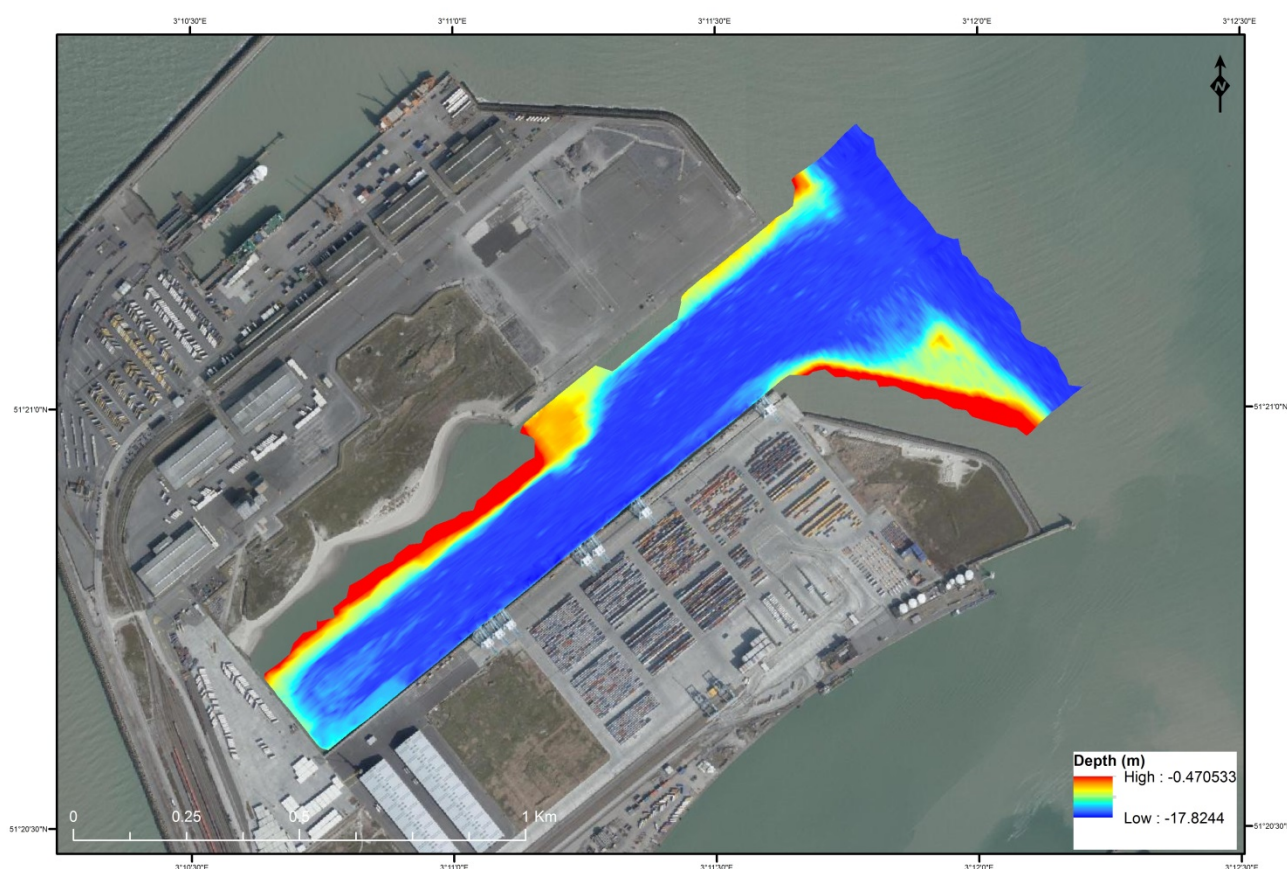
Groposo, V.; Mosquera, R. L.; Pedocchi, F.; Vinzon, S.B.; Gallo, M. (2014). Mud Density Prospection Using a Tuning Fork. J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng., ASCE, ISSN 0733-950X/040114047-1

Vandecasteele, J. D. (2012). Uitvoeren van densiteitsprofielen in de sediment test tank met het toestel NAV2011.

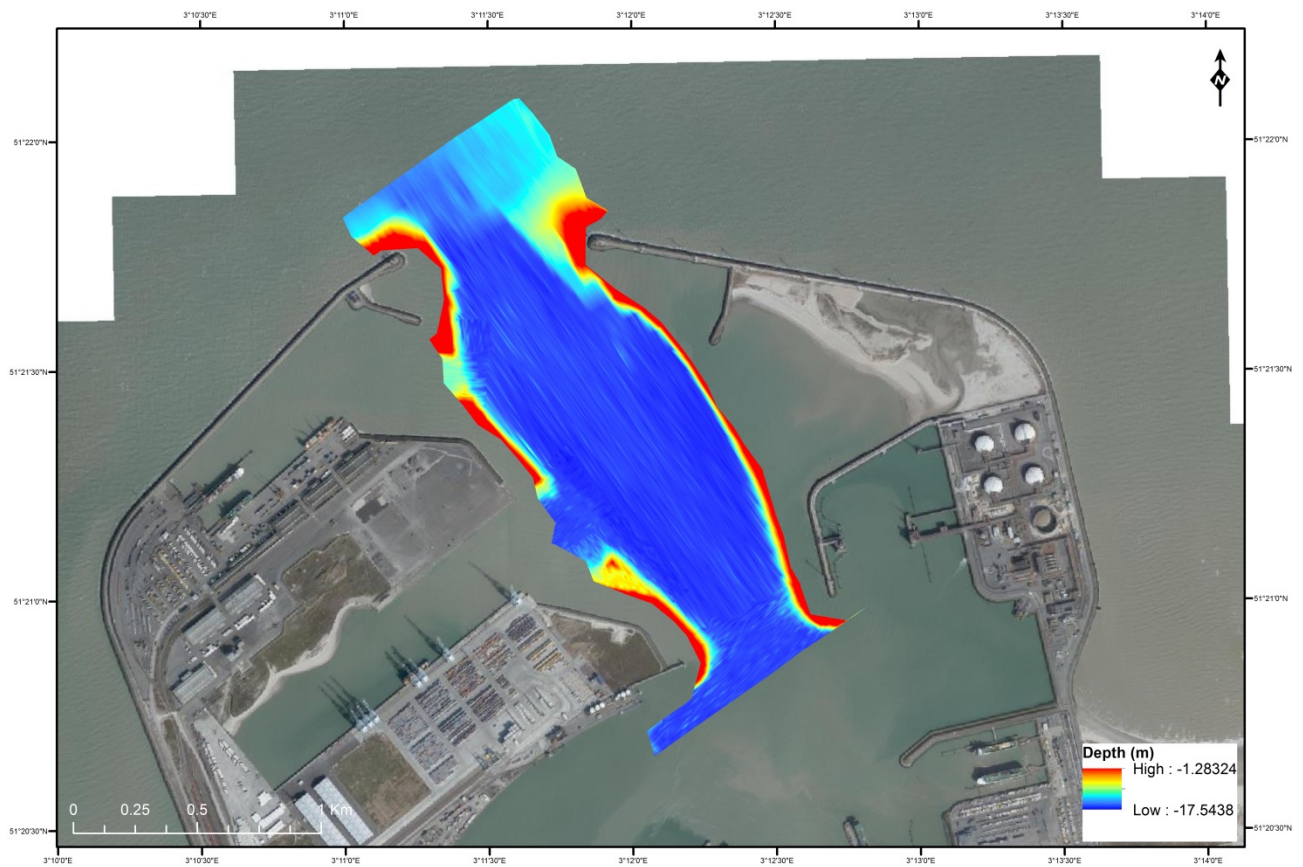
Appendix

Bathymetrische opname meetzones

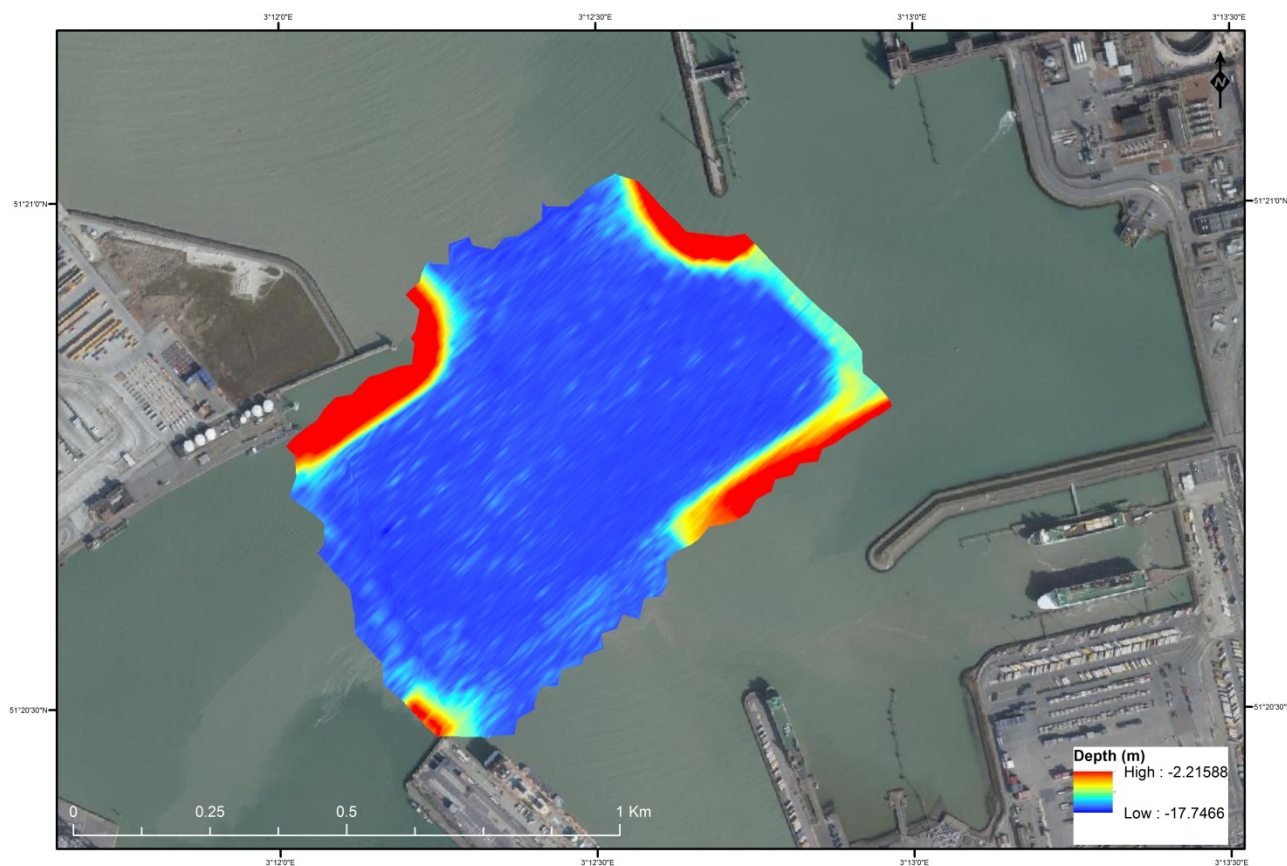
Figuur 87 – Bathymetrische opname Albert II dok



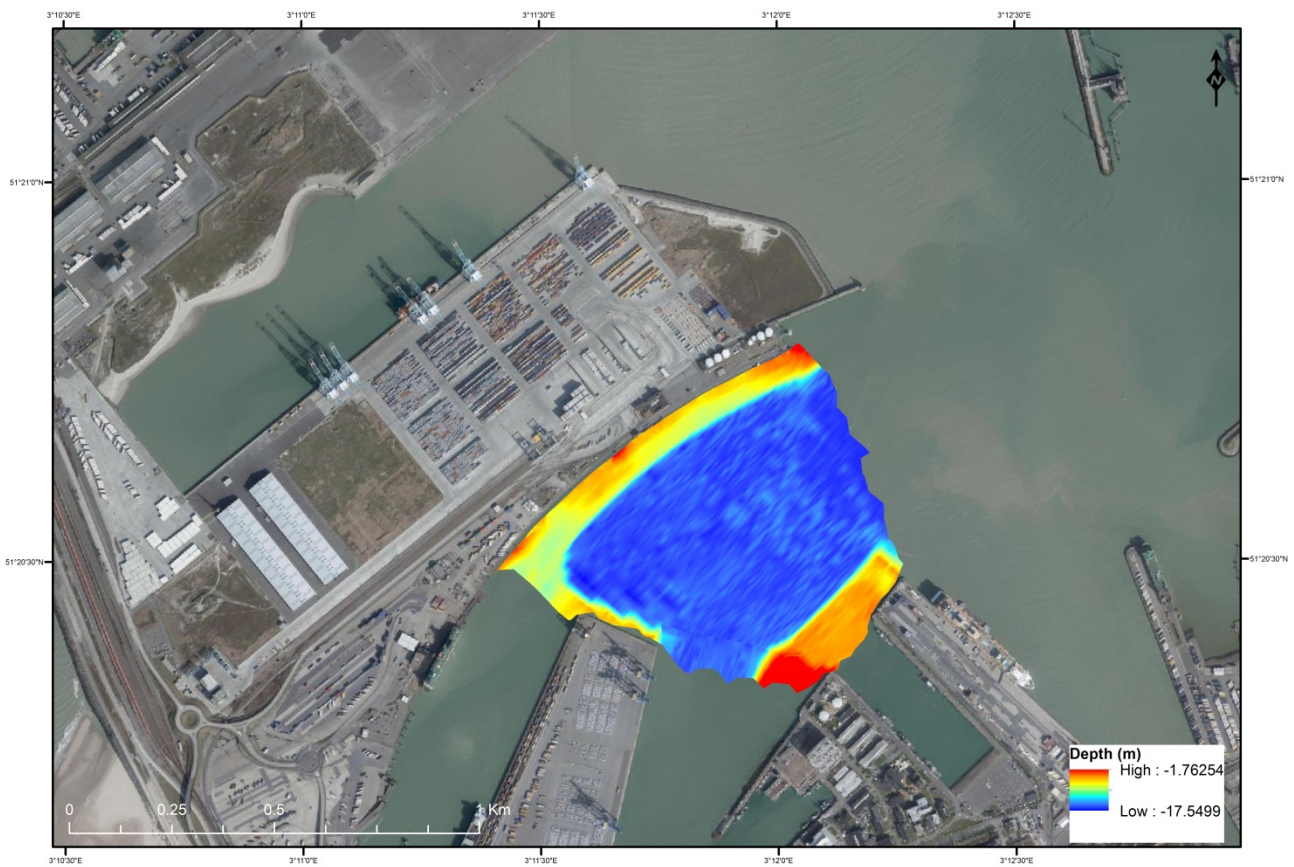
Figuur 88 – Bathymetrische opname CDNB



Figuur 89 – Bathymetrische opname Zwaaiplaats 1 (Z1)



Figuur 90 – Bathymetrische opname Zwaaiplaats 2 (Z2)



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

www.waterbouwkundiglaboratorium.be