



Vlaanderen
is wetenschap

18_059_3
WL rapporten

Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken

Deelrapport 3
Meetcampagne februari 2019

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken

Deelrapport 3: Meetcampagne februari 2019

Meire, D., Claeys, S., De Maerschalck, B., 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 2021
D/2021/3241/216

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D., Claeys, S., De Maerschalck, B., Mostaert, F. (2021). Evaluatie van meetinstrumenten voor de bepaling van slib karakteristieken: Deelrapport 3: Meetcampagne februari 2019. Versie 5.0. WL Rapporten, 18_059_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	aMT	Ref.:	WL2021R18_059_3
Trefwoorden (3-5):	Densiteit, in situ meting, profiel, Admodus, DensX, Rheotune, slibsampler		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en Sediment > Sediment > Nautische bodem > in situ metingen		
Tekst (p.):	37	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Meire, D.
------------	-----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Maerschalck, B.;	Getekend door: Bart De Maerschalck (Sign Getekend op: 2021-09-06 11:36:09 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed
	Claeys, S.	Getekend door: Styn Claeys (Signature) Getekend op: 2021-09-03 13:22:57 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Bart De Maerschalck</i> <i>Styn Claeys</i>
Projectleider:	Meire, D.	Dieter Meire (Signature) <i>Dieter Meire</i> Digitaal ondertekend door Dieter Meire (Signature) Datum: 2021.10.08 10:59:09 +02'00'

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F. Voor het afdelingshoofd, afwezig Patrik Peeters, Ingenieur, belast met de leiding van de afdeling Waterbouwkundig Laboratorium	Patrik Peeters (Signature) <i>Patrik Peeters</i> Digitaal ondertekend door Patrik Peeters (Signature) Datum: 2021.09.03 12:41:57 +02'00'
-----------------	---	---

Abstract

Een aantal meetcampagnes werden uitgevoerd in de haven van Zeebrugge voor het bepalen van slib karakteristieken. Specifiek werd de haalbaarheid voor het inzetten van een aantal meetinstrumenten uitgetest, gefocust op het meten van de slib dichtheid (met DensX, Admodus en Rheotune). Deze haalbaarheid bestaat uit: gebruiksvriendelijkheid (manipuleerbaarheid: veiligheid, inzetbaarheid, datacaptatie, dataverwerking,...), de nauwkeurigheid van de meting, de resolutie en de herhaalbaarheid van de meting. Er werden in totaal reeds drie meetcampagnes uitgevoerd in de haven van Zeebrugge.

In dit rapport worden de resultaten van de vierde meetcampagne besproken, uitgevoerd in februari 2019. Er werd gedurende 3 dagen gemeten. In tegenstelling tot eerdere meetcampagnes zijn tijdens deze meetcampagne sedimentstalen genomen en geanalyseerd in het sedimentologisch labo van het Waterbouwkundig Laboratorium als referentie voor de prikken (verticaal profileren) met de meetinstrumenten. In het algemeen wordt een goede overgang van de waterkolom naar de sliblaag opgemeten met de verschillende toestellen. De variatie op de dichtheidsresultaten is het kleinst voor de DensX, gevolgd door de Admodus en Rheotune.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Meetcampagne februari 2019.....	2
2.1 Locaties	2
2.2 Meteorologische condities	4
2.3 Golven.....	5
2.4 Getij	5
2.5 Saliniteit.....	5
3 Overzicht van de meetinstrumenten	6
3.1 Meetinstrumenten	6
3.1.1 Admodus USP	6
3.1.2 DensX.....	7
3.1.3 Rheotune	7
3.2 Beekersampler.....	7
4 Densiteitsprikken.....	11
4.1 Prik 1.....	11
4.2 Prik 2.....	15
4.3 Prik 3.....	17
4.4 Prik 4.....	21
4.5 Prik 5.....	23
4.6 Prik 6.....	25
4.7 Prik 7.....	26
5 Discussie	29
5.1 Densiteitsmetingen	29
5.2 Waterdensiteit.....	33
5.3 Water-slib overgang	34
5.4 Ligging van 1,20 g/cm ³ densiteitslaag	34
6 Conclusies	36
7 Referenties	37

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de verschillende priklocaties, aantal herhaalde metingen met de verschillende meettoestellen	2
Tabel 2 – Saliniteit en geluidssnelheid tijdens de meetcampagne.	5
Tabel 3 – Overzicht van ingezette meetinstrumenten gedurende de meetcampagne	6
Tabel 4 – Overzicht van de spreiding op de onderlinge metingen van de verschillende meetinstrumenten, de standaardafwijking (in g/cm ³) over het volledige profiel is weergegeven.....	29
Tabel 5 – Gemiddelde BIAS (linkse getallen) en RMSE (rechtse getallen) tussen de metingen en de densiteiten bepaald op de staalnames.....	33

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Albert II dok met locaties van de verschillende priklocaties tijdens de meetcampagne	3
Figuur 2 – Overzicht van de gemeten windsnelheid (gemiddelde en maximum windsnelheid per seconde) tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.....	4
Figuur 3 – Overzicht van de gemeten windrichting tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.	4
Figuur 4 – Verloop van de waterstanden bij de Leopold-II dam te Zeebrugge, gedurende de meetcampagne.	5
Figuur 5 – Admodus aan de davit aan bakboord van de Pierre Petit.....	7
Figuur 6 – Opstelling van de Beekersampler, zoals gebruikt tijdens de meetcampagne van februari 2019	8
Figuur 7 – Neerlaten (links) en ophalen (rechts) van de Beekersampler	8
Figuur 8 – Afsnijden van een substaal (links) en resulterend substaal met water (midden) en slib (rechts) ...	9
Figuur 9 – Anton Paar DMA 35, handheld (links) en Anton Paar DMA 500 (rechts); anton-paar.com	9
Figuur 10 – Pyknometer	10
Figuur 11 – Densiteitsprofielen voor de eerste prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts).....	11
Figuur 12 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 1) met Admodus (meting), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname (Monster).	12
Figuur 13 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 1) met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	13
Figuur 14 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 1) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	14
Figuur 15 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)	14
Figuur 16 – Densiteitsprofielen voor de tweede prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts).....	15
Figuur 17 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	15
Figuur 18 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2) met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	16
Figuur 19 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	17
Figuur 20 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)	17
Figuur 21 – Densiteitsprofielen voor de derde prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts).....	18
Figuur 22 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 3) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	18

Figuur 23 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 3) met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	19
Figuur 24 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 3) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	20
Figuur 25 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)	20
Figuur 26 – Densiteitsprofielen voor de vierde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)	21
Figuur 27 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 4) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	21
Figuur 28 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 4) met Rheotune, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	22
Figuur 29 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)	22
Figuur 30 – Densiteitsprofielen voor de vijfde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)	23
Figuur 31 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 5) met Admodus samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	24
Figuur 32 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 5) met Rheotune, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	24
Figuur 33 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)	25
Figuur 34 – Densiteitsprofielen voor de zesde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)	25
Figuur 35 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 6) met Admodus (links) en Rheotune (rechts), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	26
Figuur 36 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)	26
Figuur 37 – Densiteitsprofielen voor de zevende prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)	27
Figuur 38 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 7) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	27
Figuur 39 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 7) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname	28
Figuur 40 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)	28
Figuur 41 – Range (links) en standaardafwijking (rechts) in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten Admodus profielen	30
Figuur 42 – Range (links) en standaardafwijking (rechts) in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten DensX profielen	30
Figuur 43 – Range (links) en standaardafwijking (rechts) in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten Rheotune profielen	30
Figuur 44 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (boven), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (onder)	32

Figuur 45 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen voor alle densiteitsmetingen.....	32
Figuur 46 – Gemiddelde densiteitswaarneming in de waterkolom per priklocatie, gemeten met de verschillende densiteitstoestellen.....	33
Figuur 47 – Verschil tussen de diepte opgemeten met de SB 210 kHz en de overgang water-slib zoals bepaald op de densiteitsprofielen	34
Figuur 48 – Diepteverschil tussen de ligging van de 1.20 g/cm ³ laag voor verschillende herhalingen voor de verschillende densiteitstoestellen.....	35

1 Inleiding

In het kader van de optimalisatie van het opvolgen van baggerwerken heeft afdeling Maritieme Toegang 3 densiteit-gerelateerd meetinstrumenten aangekocht (Admodus, DensX, Rheotune). Naast deze toestellen werd ook de slibsamplers aangeschaft, voor het nemen van (in situ) slibstalen. 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 volgende 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”**.

Vier meetcampagnes werden reeds uitgevoerd in Zeebrugge voor het uittesten van de haalbaarheid van het inzetten van een aantal instrumenten. Deze haalbaarheid bestaat uit: gebruiksvriendelijkheid (manipuleerbaarheid: veiligheid, inzetbaarheid, datacaptatie, dataverwerking,...), de nauwkeurigheid, de resolutie en de herhaalbaarheid van de metingen. Een eerste rapport (Meire et al., 2020) met een beschrijving van de meetinstrumenten en analyse van de derde meetcampagne, werd reeds opgemaakt.

In het voorliggend rapport worden de metingen beschreven die werden uitgevoerd in februari 2019, de vierde meetcampagne. Er werden metingen uitgevoerd in het Albert II dok van Zeebrugge met drie meettoestellen: de Admodus USP, de DensX en de Rheotune. In tegenstelling tot voorgaande metingen werden met behulp van de Beekersampler ook stalen genomen van de sliblagen. De stalen werden geanalyseerd in het sedimentologisch laboratorium van het WL en worden als referentie voor de metingen beschouwd. Een overzicht van de omstandigheden en uitgevoerde metingen is weergegeven in hoofdstuk 2 en 3. Een overzicht van de verschillende verticale profileringen (zie verder als “prikken”) die werden uitgevoerd is weergegeven in hoofdstuk 4. Een analyse op deze metingen is weergegeven in hoofdstuk 5.

2 Meetcampagne februari 2019

Een vierde meetcampagne binnen het project werd uitgevoerd in februari 2019, van 18 tot 22 februari. De meetdagen werden beperkt van 19 tot en met 21 februari, de andere dagen werden gebruikt als voorbereiding en opruim- en verwerkingsdagen.

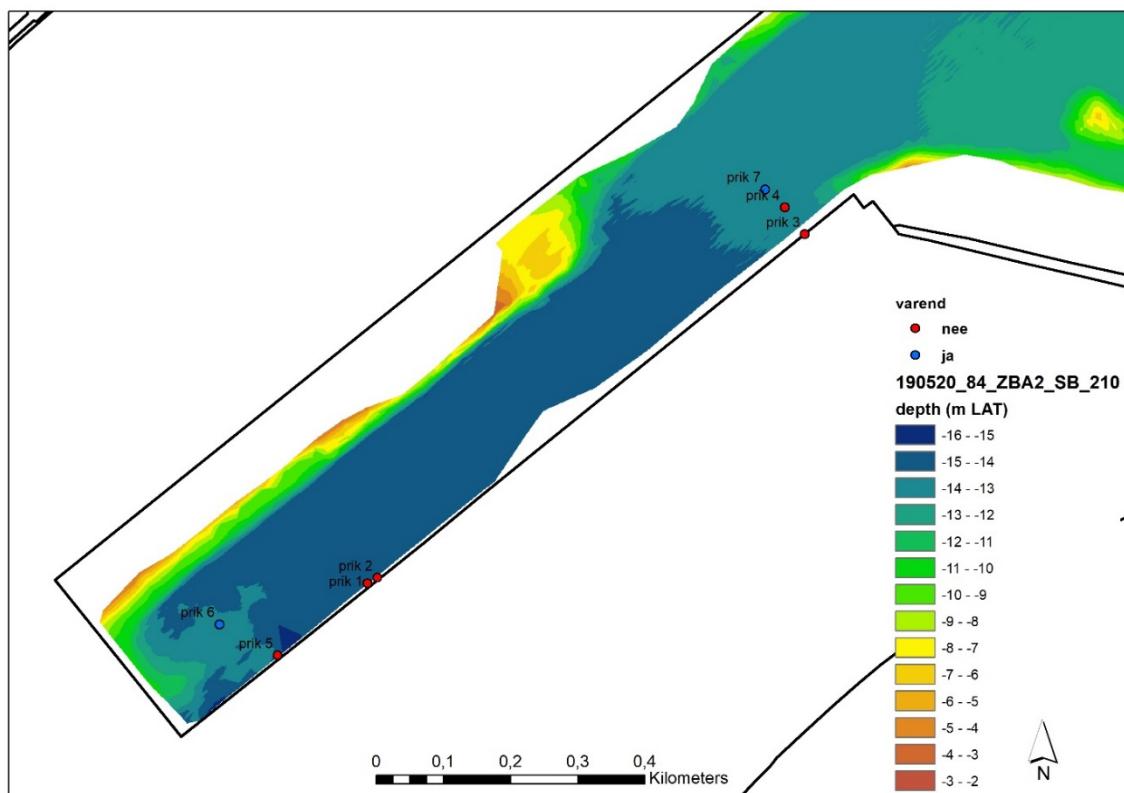
2.1 Locaties

Alle metingen van deze meetcampagne werden uitgevoerd in het Albert II dok in de haven van Zeebrugge. De eerste metingen werden uitgevoerd met het schip vastgemeerd aan kade. De laatste metingen werden uitgevoerd met het schip op motor. Bij deze laatste metingen kunnen de metingen dus ook beïnvloed zijn door het langzaam “kruinen” tijdens de meting.

In totaal werden 7 verschillende priklocaties bemonsterd, waarbij sommige zich slechts een 10-tal m t.o.v. elkaar bevonden. De locatie van de verschillende punten is weergegeven in Tabel 1 en Figuur 1. In Tabel 1 is eveneens het aantal metingen per meettoestel weergegeven.

Tabel 1 – Overzicht van de verschillende priklocaties, aantal herhaalde metingen met de verschillende meettoestellen

dag	startuur	E	N	Admodus	DensX	Rheotune	samples
19/02/2019	9:00	512754,5	5688225	5	5	7	1
19/02/2019	10:00	512769,4	5688233,38	5	5	5	1
20/02/2019	9:00	513399,78	5688749,64	5	10	7	1
20/02/2019	12:45	513375,76	5688785,29	5	-	5	1
21/02/2019	9:00	512620,47	5688117,66	5	-	5	1
21/02/2019	9:45	512534	5688164	4	-	5	1
21/02/2019	12:25	513347	5688812	5	-	5	1

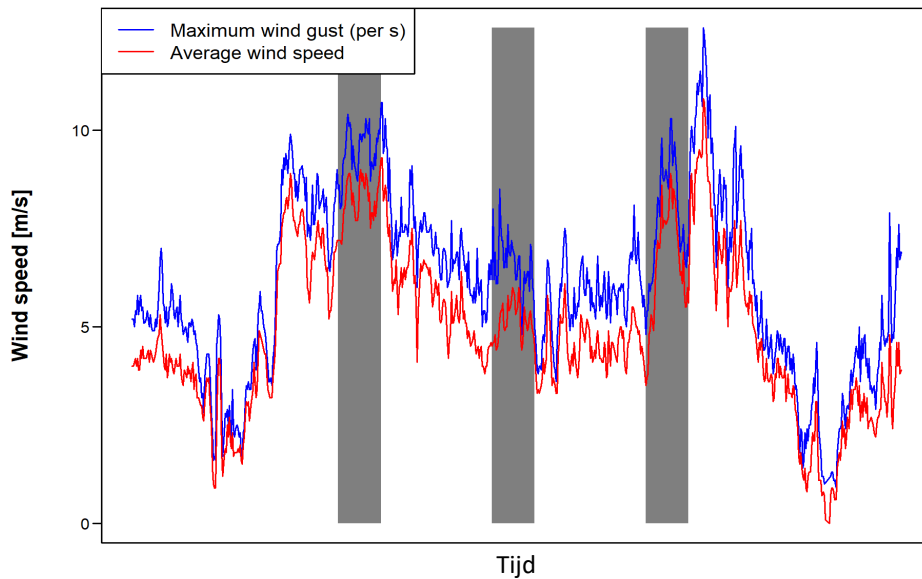


Figuur 1 – Albert II dok met locaties van de verschillende priklocaties tijdens de meetcampagne (diepte gepeild op 20/05/2019 aan de hand van single beam echolood, 210 kHz)

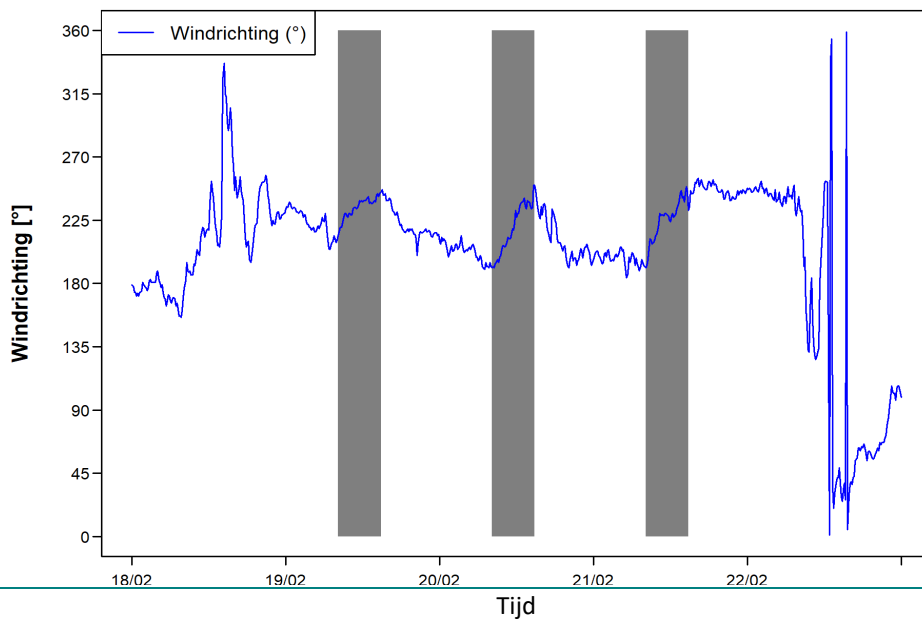
2.2 Meteorologische condities

In Figuur 2 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 periodes waarin gemeten werd is aangegeven met een grijze achtergrond.

Zowel de maximale als de gemiddelde windsnelheden tijdens de meetcampagne waren beperkt tot max. 10 m/s (5 bft). De laagste waarden werden geregistreerd op de tweede meetdag. Tijdens de meetcampagne was de overwegende windrichting zuidwesten.



Figuur 2 – Overzicht van de gemeten windsnelheid (gemiddelde en maximum windsnelheid per seconde) tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.



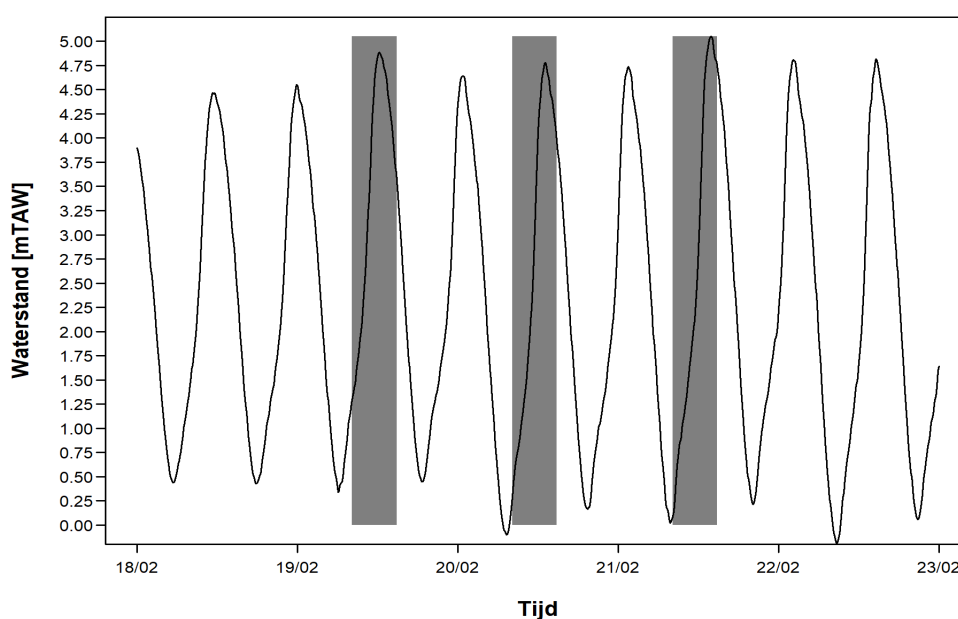
Figuur 3 – Overzicht van de gemeten windrichting tijdens de meetcampagne ter hoogte van Zeebrugge Daminstrumentatie.

2.3 Golven

De golfmetingen in de haven van Zeebrugge worden opgemeten bij de meetpost 'Zeebrugge Zandopvangkade'. Tijdens de meetcampagne zijn de meetdata op deze locatie echter niet beschikbaar.

2.4 Getij

In Figuur 4 is het verloop van het getij weergegeven, 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 periodes waarin effectief gemeten werd gedurende deze meetcampagne zijn aangegeven met een grijze achtergrond. Er werd steeds gemeten bij opkomend tij.



Figuur 4 – Verloop van de waterstanden bij de Leopold-II dam te Zeebrugge, gedurende de meetcampagne. De periode waarin effectief gemeten werd is aangegeven met een grijze achtergrond.

2.5 Saliniteit

Aan het begin van elke meetdag werd de saliniteit van het zeewater bepaald met een multiparametersonde, dit op een diepte van 15 m. Eveneens werd de geluidssnelheid bepaald, belangrijk voor de echolood metingen. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 2, er is nauwelijks variatie gedurende de meetcampagne, zoals te verwachten is.

Tabel 2 – Saliniteit en geluidssnelheid tijdens de meetcampagne.

Datum en tijd	AML (g/kg)	Geluidssnelheid (m/s)
19/02/2019 9:05	30,8	1468
20/02/2019 9:00	30,7	1468
21/02/2019 9:00	30.7	1468

3 Overzicht van de meetinstrumenten

Tijdens de meetcampagne van februari 2019 werd gebruik gemaakt van de DensX, Rheotune en Admodus USP. Voor een grondige beschrijving van deze meetinstrumenten wordt de lezer verwezen naar Meire et al. (2020). Additionele opmerkingen m.b.t. de instrumenten worden hieronder weergegeven. Naast deze toestellen werd ook gebruik gemaakt van een aangepaste Beekersampler om ongeroerde monsters van de slibbodem te kunnen nemen als referentie. Dit toestel werd gebruikt als vervanging van de Slibsampler, waarmee tot nu toe, in voorgaande campagnes, geen bruikbare stalen konden genomen worden.

3.1 Meetinstrumenten

Een vierde meetcampagne binnen het project werd uitgevoerd in februari 2019, van 18 tot 22 februari. De meetdagen zijn beperkt van 19 tot en met 21 februari, de andere dagen werden gebruikt als voorbereiding en opruim- en verwerkingsdagen. Een overzicht van de dagen waarop gemeten werd en met welke instrumenten is weergegeven in Tabel 3. Voor elke priklocatie werden minimaal 5 metingen uitgevoerd met elk meettoestel.

Tabel 3 – Overzicht van ingezette meetinstrumenten gedurende de meetcampagne

	18/feb	19/feb	20/feb	21/feb	22/feb
Beekersampler		v	v	v	
Admodus		v	v	v	
DensX		v	v		
Rheotune		v	v	v	

3.1.1 Admodus USP

De Admodus USP werd elke dag voor de start van de metingen gekalibreerd met behulp van gedestilleerd water. Met de Admodus werd gemeten met behulp van de davit vooraan aan bakboord (zie Figuur 5). Op 21/02 werd een probleem met de winch ontdekt en werden metingen uitgevoerd met de davit aan stuurboord. Dit is zo voor prik 6 en 7.



Figuur 5 – Admodus aan de davit aan bakboord van de Pierre Petit

3.1.2 DensX

De DensX functioneerde tijdens de eerste meetdag en de voormiddag van de tweede meetdag. Door een probleem met de winch en bijgevolg het slecht oprollen van de kabel, werd een probleem met de datakabel gedetecteerd. Nadien kon geen verbinding meer gemaakt worden met het toestel, waardoor voor de verdere metingen geen DensX metingen beschikbaar waren. Voor de DensX werd steeds de kraan achteraan bakboord gebruikt van de Pierre Petit.

Voor de densiteitkalibratie wordt een kalibratiefile gebruikt voor Zeebrugge slib. Deze werd niet geüpdatet voor deze meetcampagne. Voor de dieptekalibratie wordt het toestel dagelijks gekalibreerd op 5 m diepte. Deze diepte is afgemeten en aangeduid op de (data)kabel van het toestel.

3.1.3 Rheotune

Voor de Rheotune werden geen onregelmatigheden opgemerkt aan het toestel tijdens de meetcampagne. De dieptekalibratie van het toestel gebeurde op respectievelijk 2 en 10 m. Doorheen de meetcampagne werd dezelfde davit gebruikt als met het Admodus USP toestel.

3.2 Beekersampler

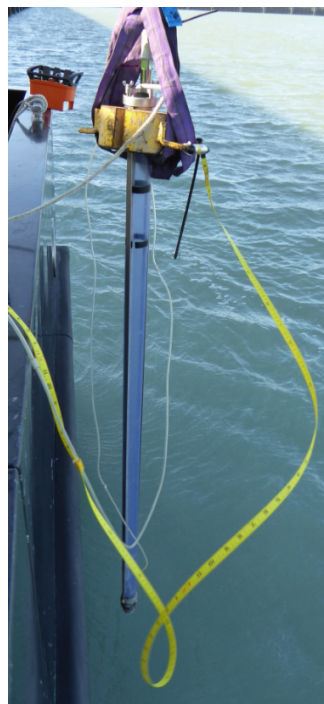
Dit toestel werd ontwikkeld door Eijkelkamp, en wordt gebruikt om in het labo ongestoorde slibstalen te nemen. De Beekersampler bestaat uit een snijkop onderaan, met een 2 m lange pvc buis, en bovenaan een opzetstuk dat het geheel samenhoudt. In de buis wordt een zuiger geplaatst, die op vaste hoogte kan worden gehouden met een touw terwijl de Beekersampler in de slibbodem gaat. Bij het neerlaten bevindt die zuiger zich onderaan (vastgehouden door de opgeblazen ballon (rubberband)) waardoor de buis zich nog niet met slib kan vullen. Door het houden van de zuiger op een vaste hoogte wordt een onderdruk gecreëerd en kan het monster gemakkelijker (en ongestoorder) in de buis terecht komen. Wanneer de sampler op diepte is, kan door het opblazen van een rubberband aan de onderkant van de sampler het genomen staal worden vastgehouden met de balg en naar boven gebracht.

Zoals weergegeven in Figuur 6 werd juist onder het opzetstuk bovenaan een gewicht gehangen (10 kg) om de sampler te verzwaren en op die manier vlot in de sliblaag te kunnen penetreren. Aan het “oor” van dit gewicht wordt een meetlint bevestigd zodat de diepte kan gemonitord worden, eveneens wordt een Diver

geïnstalleerd met een meetfrequentie van 1 seconde om de druk te monitoren tijdens het neerlaten van de sampler.



Figuur 6 – Opstelling van de Beekersampler, zoals gebruikt tijdens de meetcampagne van februari 2019



Figuur 7 – Neerlaten (links) en ophalen (rechts) van de Beekersampler

De stalen die worden bovengehaald bevatten gemiddeld een ca. 1,5 m dikke sliblaag. Met behulp van druk aan de onderkant van de buis, die wordt opgevoerd m.b.v. waterdruk, en een scherp metalen plaatje wordt de totale ongestoorde sample opgedeeld in substalen van een tiental centimeter hoog (zie Figuur 8). Deze 'subsampling' wordt aan boord gedaan zo snel mogelijk na het ophalen van het slibstaal. Dit is noodzakelijk om uitzakking of consolidatie binnen het opgehaalde monster te vermijden.



Figuur 8 – Afsnijden van een substaal (links) en resulterend substaal met water (midden) en slib (rechts)

Op deze stalen wordt met een Anton Paar DMA 35 (Figuur 9, links) de densiteit gemeten op het schip zelf. Stalen die niet gemeten konden worden op het schip zelf werden in het sedimentologisch laboratorium van het Waterbouwkundig Laboratorium bemeaten met een Anton Paar DMA 500 (Figuur 9, rechts). In het geval van hogere densiteiten, wordt de variatie op de metingen met de Anton Paar toestellen groter of wordt het soms zelfs fysisch onmogelijk om het slib in deze toestellen te brengen met een spuitje. Voor deze substalen werd de densiteit bepaald met een pyknometer (Figuur 10). Dit is een cilinder met een vast, geijkt volume. Zowel het bruto als het tarra gewicht wordt bepaald, waardoor het gewicht van het slib bepaald kan worden. De verhouding van het gewicht en het gekende volume geeft een meting van de densiteit. Op de stalen die in het labo verwerkt werden werd eveneens de reologie bepaald. Deze metingen worden in dit rapport niet besproken.



Figuur 9 – Anton Paar DMA 35, handheld (links) en Anton Paar DMA 500 (rechts); anton-paar.com



Figuur 10 – Pyknometer

Er werden divers gebruikt voor het bepalen van de diepte waarop de stalen werden genomen. In het geval dat een water-slib overgang in het slibstaal aanwezig is, werd deze op dezelfde hoogte als de overgang water- slib dichtheid van het dichtheitsprofiel geplaatst.

4 Densiteitsprikken

De resultaten van de gegevens die werden verzameld met de hierboven besproken toestellen (zie hoofdstuk 2) worden in dit hoofdstuk besproken. De verschillen en gelijkenissen tussen de instrumenten werden geëvalueerd. Op elke meetlocatie werd met eenzelfde meettoestel minstens 5 prikken genomen. Op deze manier werd getracht om de herhaalbaarheid van de meetresultaten na te gaan. Zoals vermeld, werden eveneens slibstalen gebruikt die worden beschouwd als referentiewaarden voor de vergelijking met de metingen.

De verschillende prikken worden individueel besproken, in secties 4.1 t.e.m. 4.7. Hierbij wordt steeds een vergelijking gemaakt met de referentie (genomen slibmonster) en een onderlinge vergelijking tussen de meettoestellen.

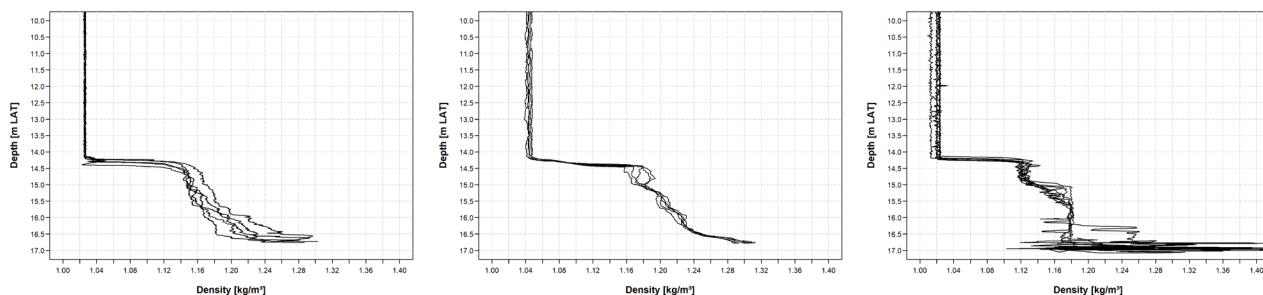
4.1 Prik 1

Een eerste meting werd uitgevoerd op 19/02/2019 tussen 9u en 10u. Er werden 5 herhalingen gemeten met de Admodus en DensX en 7 herhalingen met de Rheotune (zie Tabel 1). De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 11, met respectievelijk links de Admodus USP, in het midden de DensX en rechts de resultaten bekomen met de Rheotune.

Het is duidelijk dat de uitwijking, i.e. de detectie van de top van de sliblaag, voor de verschillende instrumenten en de verschillende herhalingen dicht bij elkaar liggen, tussen 14 en 14,5 m LAT.

De profielen van de Admodus en de DensX vertonen een gelijkaardig densiteitsprofiel. Hierbij is er een directe overgang van de waterdensiteit tot een densiteit van ca. $1,15 \text{ g/cm}^3$. Vervolgens is er een geleidelijke overgang van $1,15 \text{ g/cm}^3$ tot ca. $1,30 \text{ g/cm}^3$, gelegen tussen 16,5 en 17 m LAT.

Bij de metingen van de Rheotune kan een eerste uitwijking worden opgemerkt tot $1,12 \text{ g/cm}^3$, en deze waarde blijft ongeveer constant voor een diepere profilering van 0,5 m. Vervolgens neemt de densiteit toe tot ca. $1,20 \text{ g/cm}^3$ op 15,5 m, waarna de densiteit constant blijft tot de densiteiten uitwijken naar (zeer) hoge waarden.



Figuur 11 – Densiteitsprofielen voor de eerste prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts)

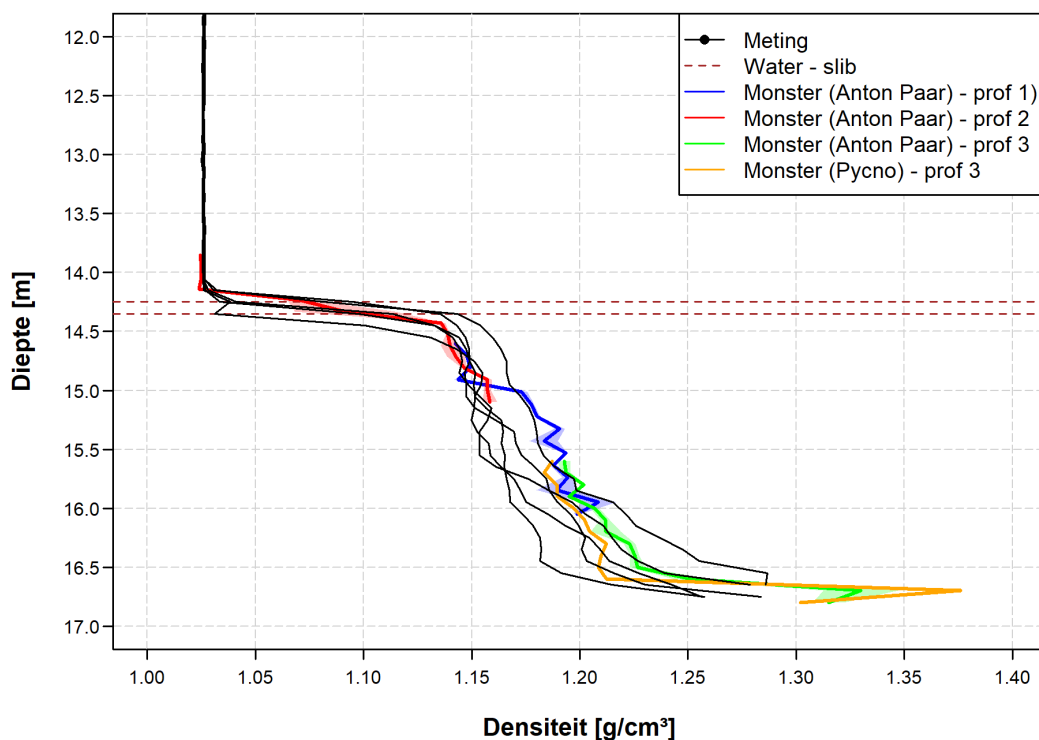
In Figuur 12 t.e.m. Figuur 14 zijn de densiteitsprofielen weergegeven die werden opgemeten met respectievelijk Admodus, DensX en Rheotune. De densiteitmetingen die zijn weergegeven in deze figuren zijn uitgemiddeld per 10 cm, waardoor de fluctuaties iets kleiner zijn dan voorgesteld in Figuur 11. In deze figuren (Figuur 12 t.e.m. Figuur 14) zijn eveneens de densiteitswaarden weergegeven die werden gemeten op de genomen slibstalen. In totaal werden drie Beekersampler-slibstalen genomen, om het volledige slibprofiel te capteren. Voor het onderste staal werden eveneens metingen uitgevoerd met een pyknometer, aangezien

de Anton Paar metingen moeilijker uit te voeren zijn voor deze hogere densiteiten. Voor de Admodus (Figuur 12) wordt een goede overeenkomst gevonden tussen de opgemeten profielen en de staalname. Op basis van de bepaling van de overgang van water naar slib, de top van de sliblaag, kan men stellen dat de dieptebevestiging van het toestel tussen de prikken onderling tot 25 cm varieert. Dit in de veronderstelling dat ruimtelijke variatie van het topslib op de locatie van de peiling klein is, en het schip weinig beweegt.

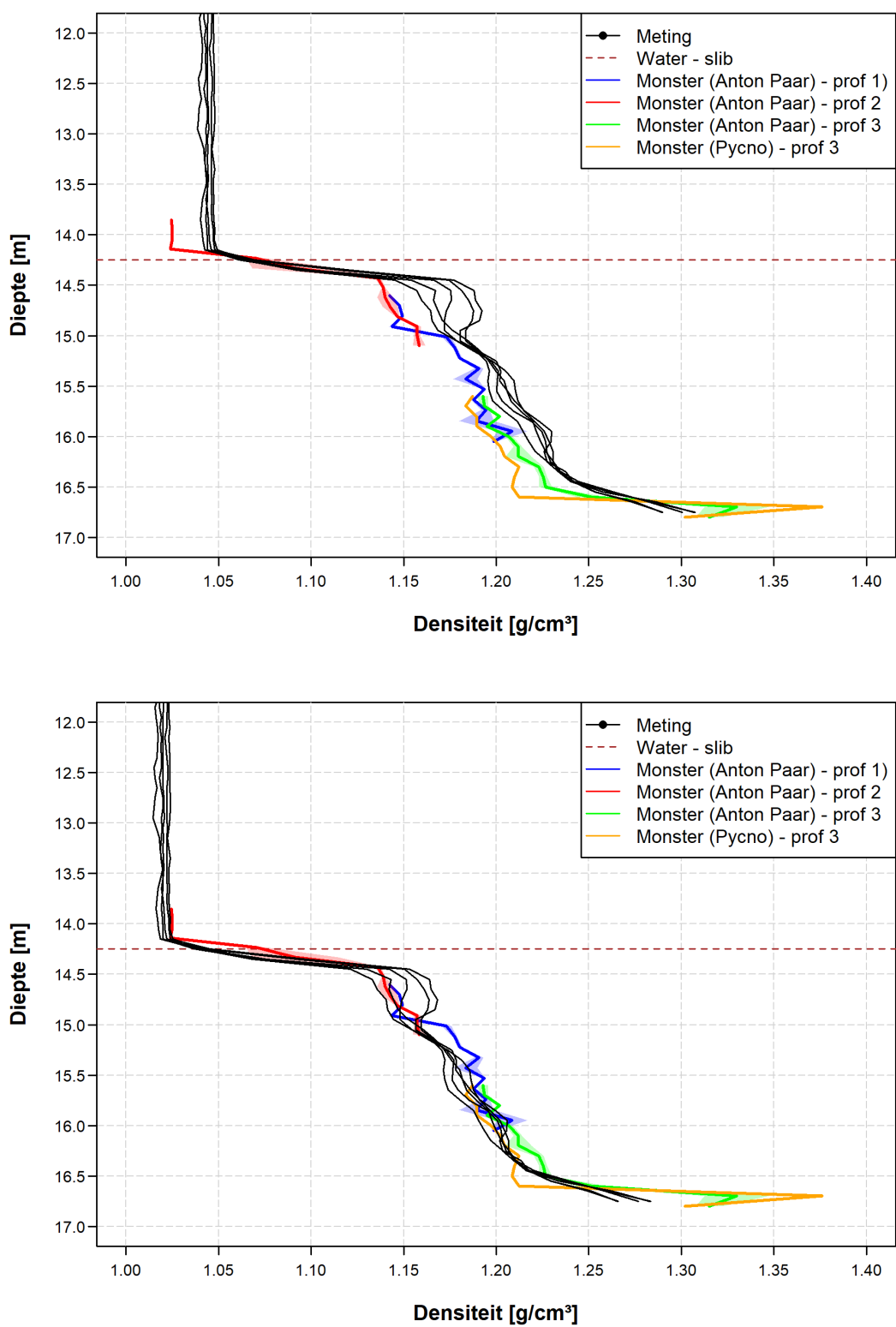
Voor de DensX zien we duidelijk (Figuur 13) een overschatting in densiteit over het gehele profiel, van de waterkolom tot beneden in het slib. Door het gemeten densiteitsprofiel te corrigeren, hiervoor werd gebruik gemaakt van een constante waarde berekend als het verschil tussen de opgemeten en werkelijke densiteit van het water, wordt een zeer goede overeenkomst gevonden tussen de densiteitsmetingen met DensX en de densiteitsmetingen op de slibstalen. De diepte van de overgang water-slib is consequent over de verschillende prikken.

Voor de Rheotune ziet men een goede overeenkomst in het bovenste deel van de sliblaag. De geleidelijke toename van de densiteit, tussen ca. 16 en 16,5 m LAT, wordt niet zo goed opgemeten.

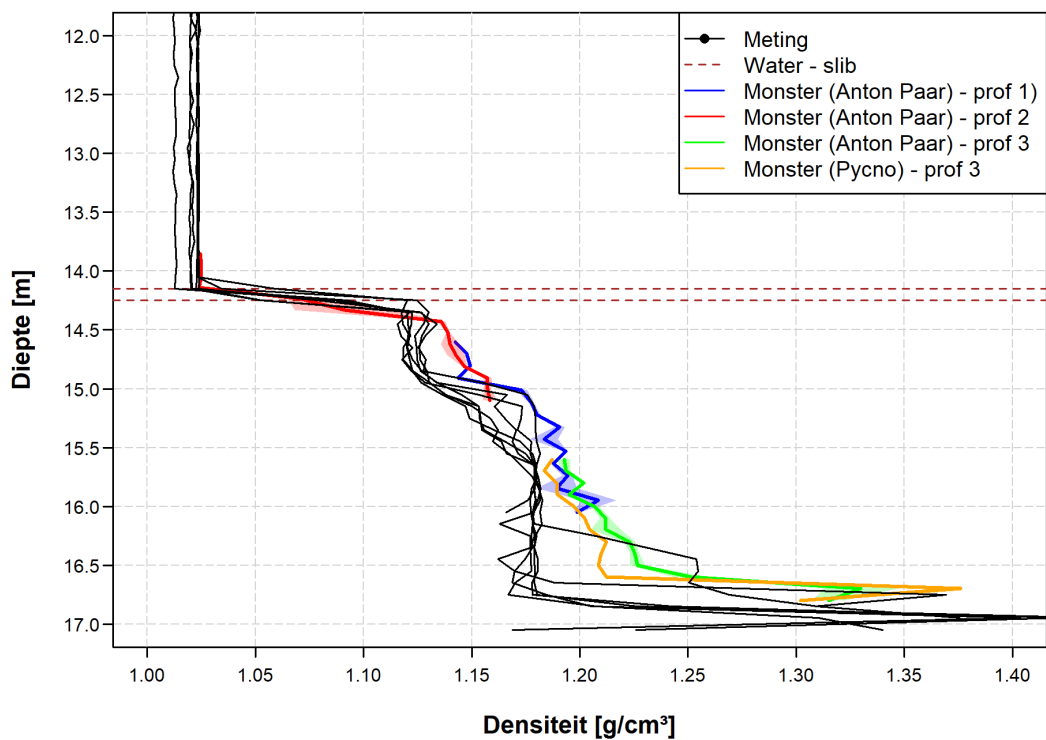
In Figuur 15 wordt de relatie weergegeven tussen de opgemeten densiteit op de slibstalen (x-as) en de densiteiten opgemeten met de verschillende meettoestellen. Voor deze vergelijking wordt de dichtstbij gelegen waarden gebruikt, er wordt dus geen interpolatie toegepast voor een vergelijking op exact dezelfde diepte. Hier kan dezelfde patronen in de overeenkomst met de metingen worden vastgesteld.



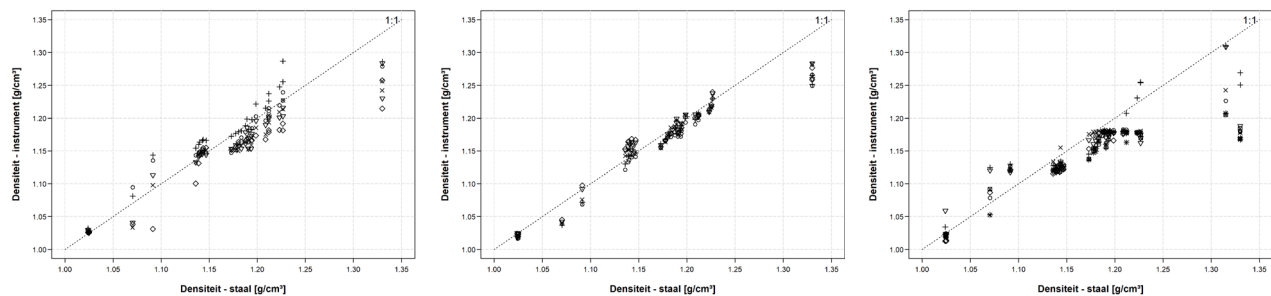
Figuur 12 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 1)
met Admodus (meting), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname (Monster). (diepte in m LAT)



Figuur 13 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 1)
met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



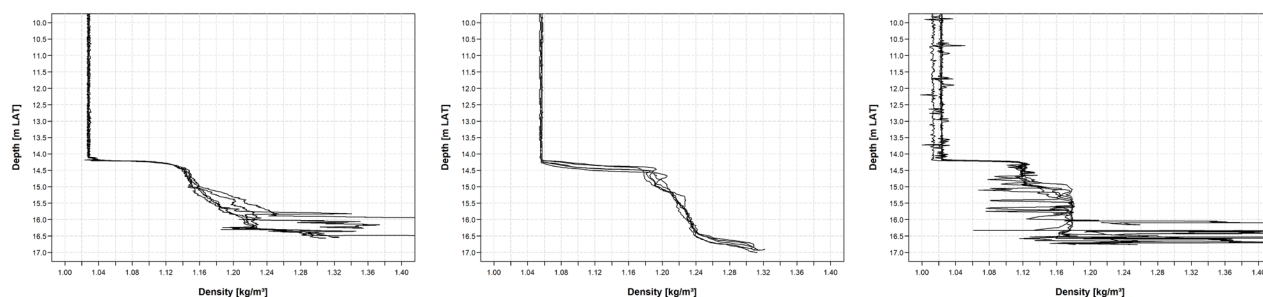
Figuur 14 – Verloop van densiteitsprofiel (PRK 1)
met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 15 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen
met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)

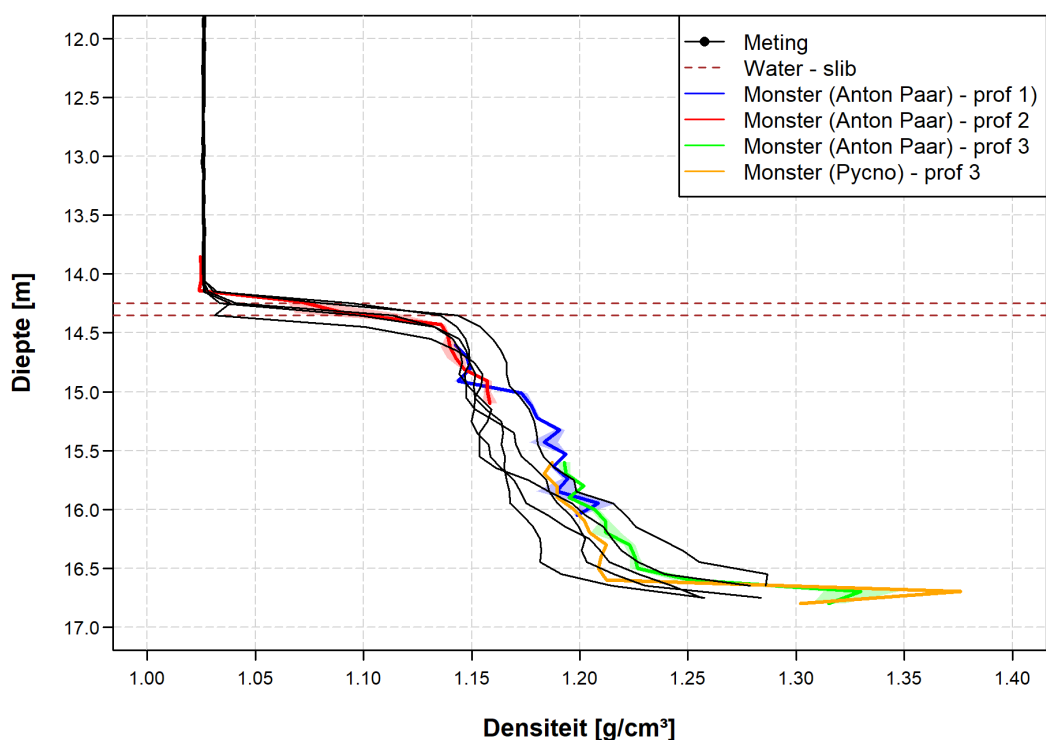
4.2 Prik 2

Een tweede meting werd uitgevoerd op 19/02/2019 tussen 13u en 14u. De verplaatsing tussen de meetlocatie van prik 1 en prik 2 is slechts een tiental meter, er wordt dan ook gebruik gemaakt van dezelfde slibstalen als referentie. Er werden 5 herhalingen gemeten met alle instrumenten. De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 16. Men kan opnieuw opmerken dat de uitwijking van de densiteit voor de verschillende toestellen op nagenoeg dezelfde diepte wordt waargenomen, tussen 14 en 14,5 m LAT. De metingen uitgevoerd met de DensX zijn duidelijk de meest consistente over de verschillende herhalingen. Voor de Admodus en Rheotune is de variatie in de toplaag van het slib klein, maar neemt toe dieper in de sliblaag. Er is één van de prikken met de Rheotune waarin de densiteit voor de waterkolom lager is.

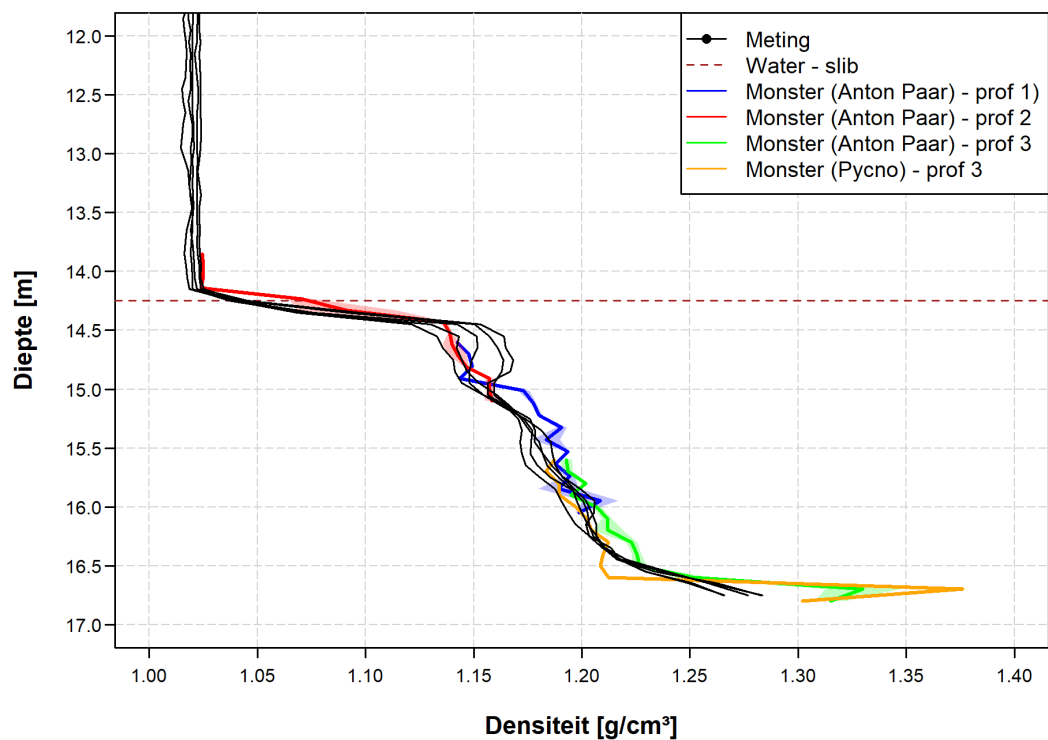
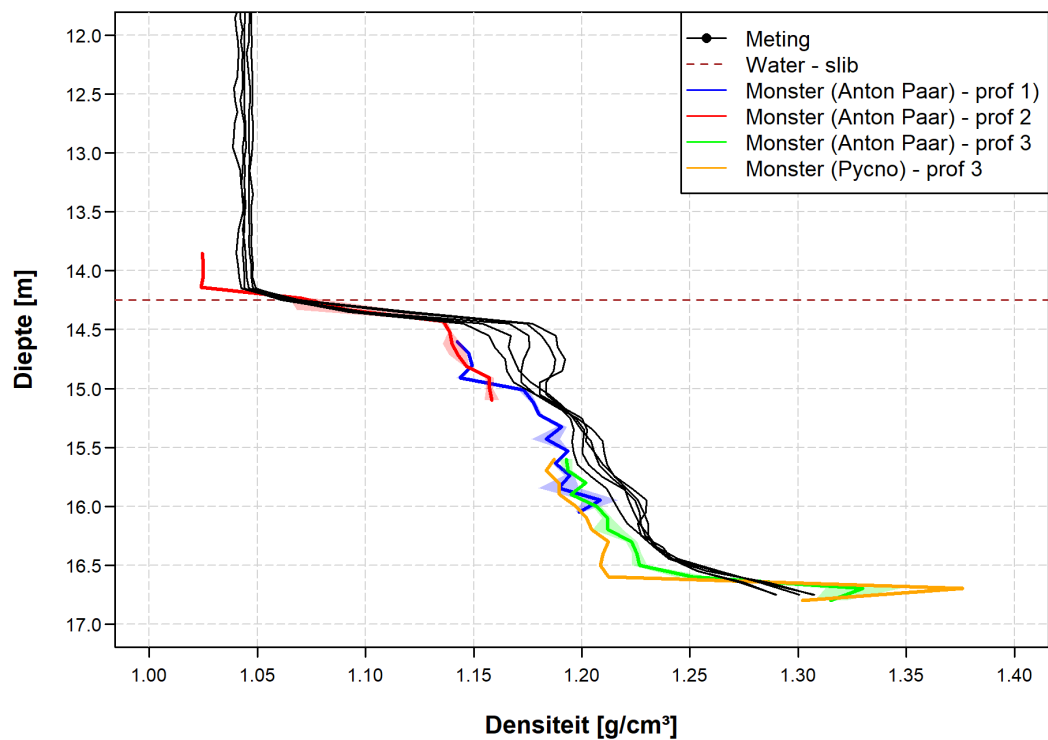


Figuur 16 – Densiteitsprofielen voor de tweede prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts)

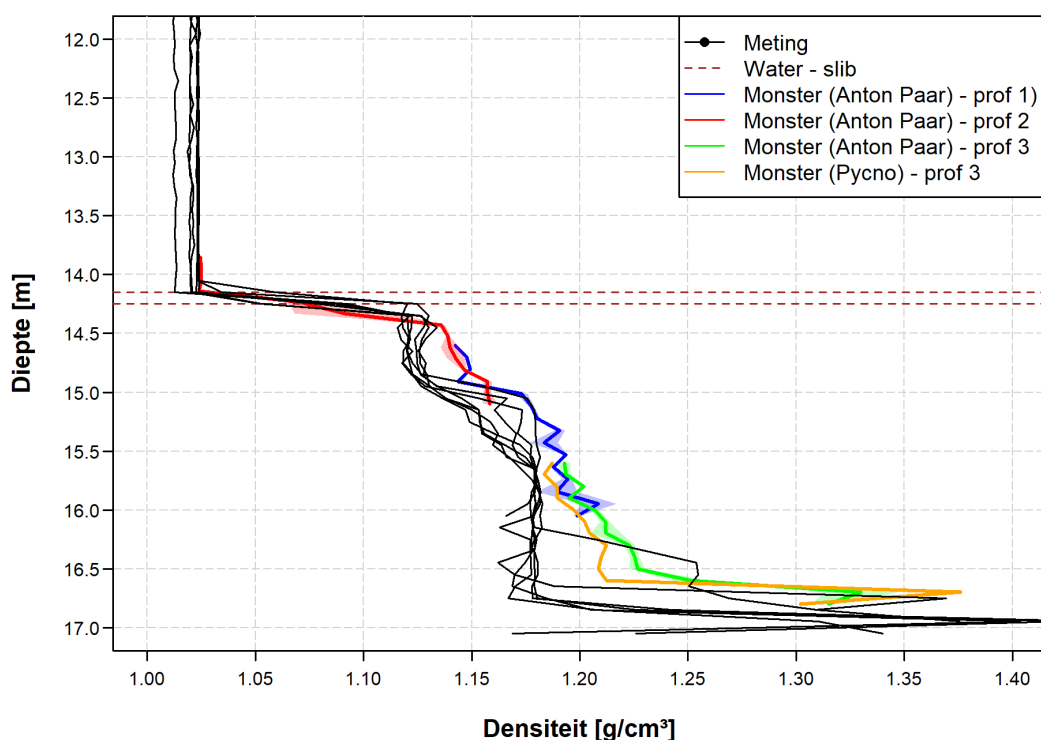
In Figuur 17 is het densiteitsprofiel met de Admodus weergegeven samen met het profiel gebaseerd op de staalname. In de lagere densiteiten volgen beide curves elkaar goed. Dieper in de sliblaag, waar de densiteiten hoger zijn, zijn de metingen van de Admodus hoger dan de gemeten waarden op de slibstalen.



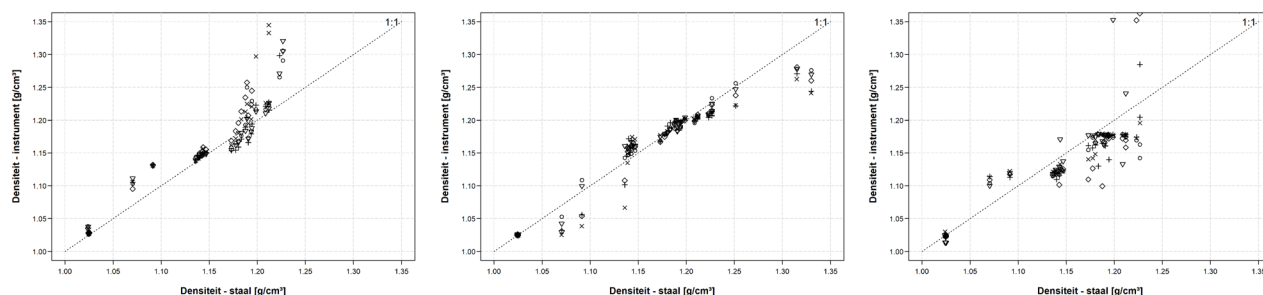
Figuur 17 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2)
met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 18 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2)
met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 19 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 2) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



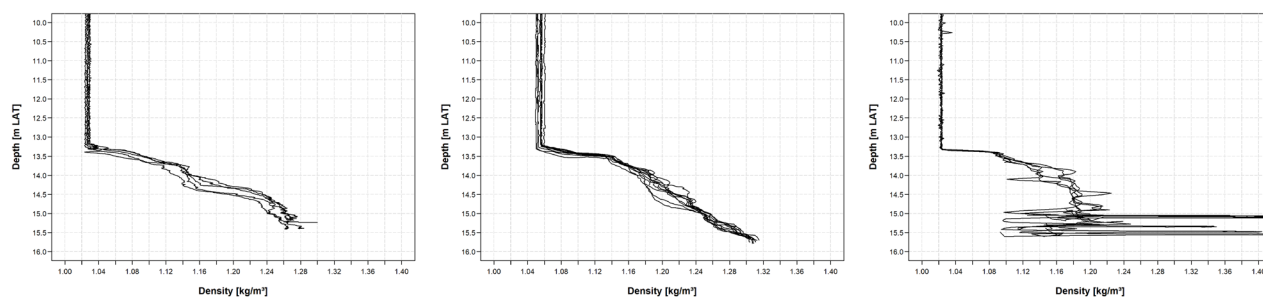
Figuur 20 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)

Voor de DensX resultaten (Figuur 18) kan opnieuw opgemerkt worden dat de densiteiten reeds in de waterkolom te hoog zijn. Wanneer het profiel echter gecorrigeerd wordt, kan een zeer goede overeenkomst tussen beide metingen worden waargenomen. Voor de Rheotune metingen kan men, cfr. prik 1, een toenemende afwijking zien tussen de referentie metingen en de prikken, bij hogere densiteiten. Deze bevindingen worden bevestigd in Figuur 20.

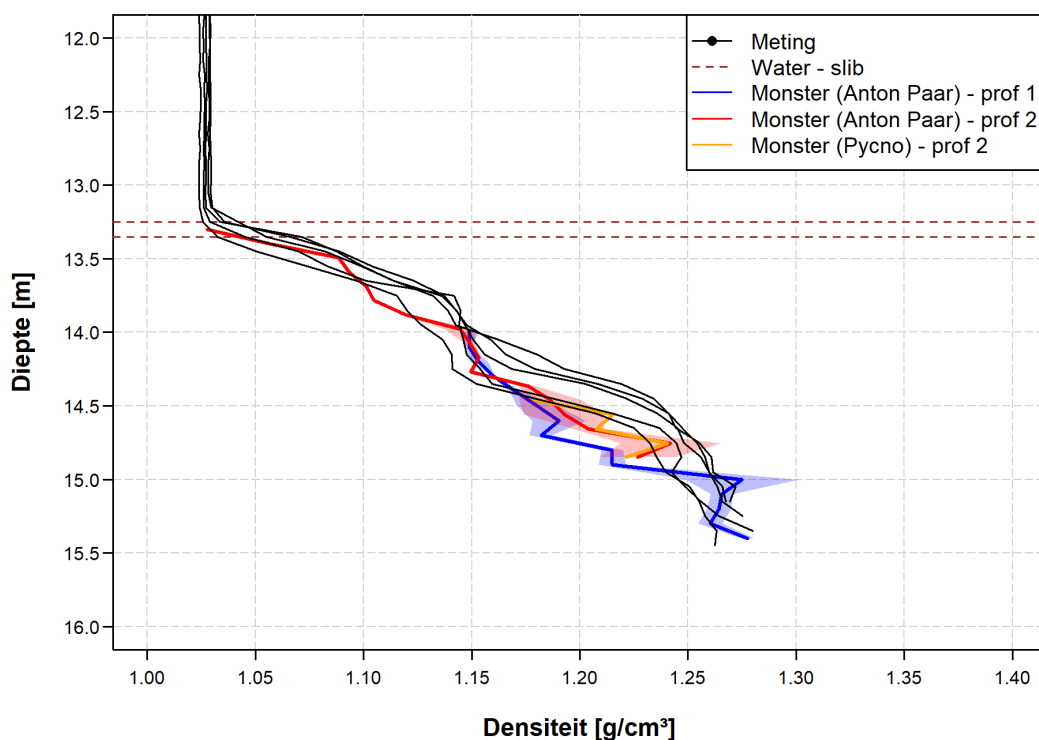
4.3 Prik 3

Een derde meting werd uitgevoerd op 20/02/2019 tussen 9u en 10u. 5 herhalingen gemeten met de Admodus, 10 herhalingen met de DensX en 5 herhalingen met de Rheotune (zie Tabel 1). De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 21. Voor alle metingen zien we een gelijkaardige positie voor de

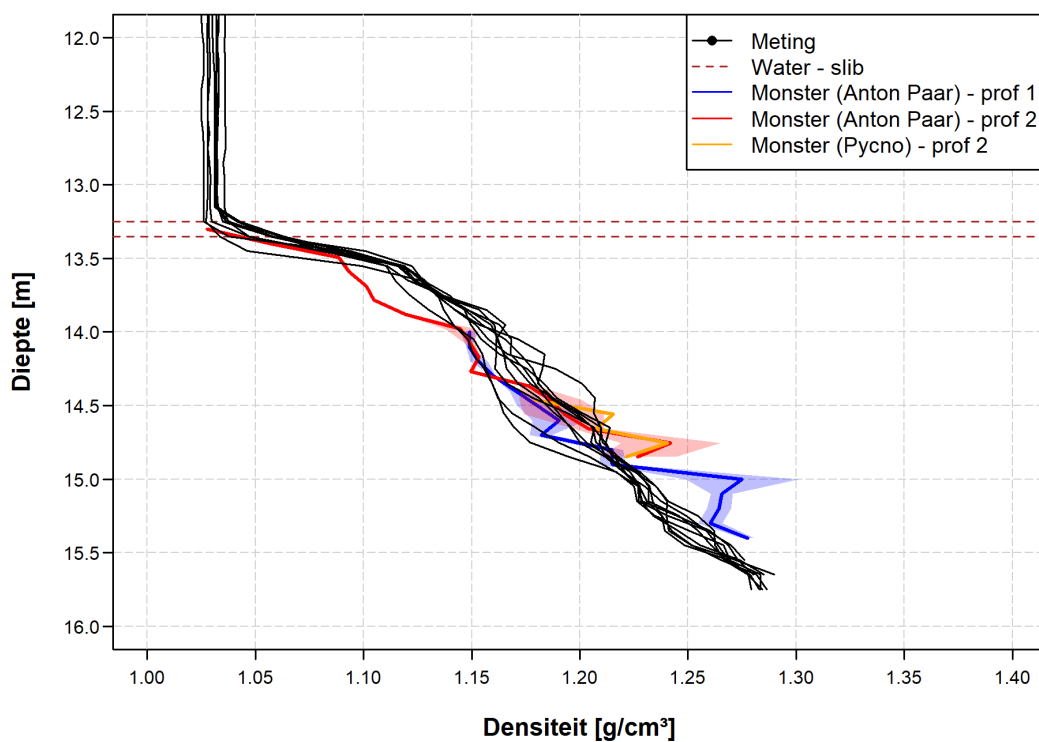
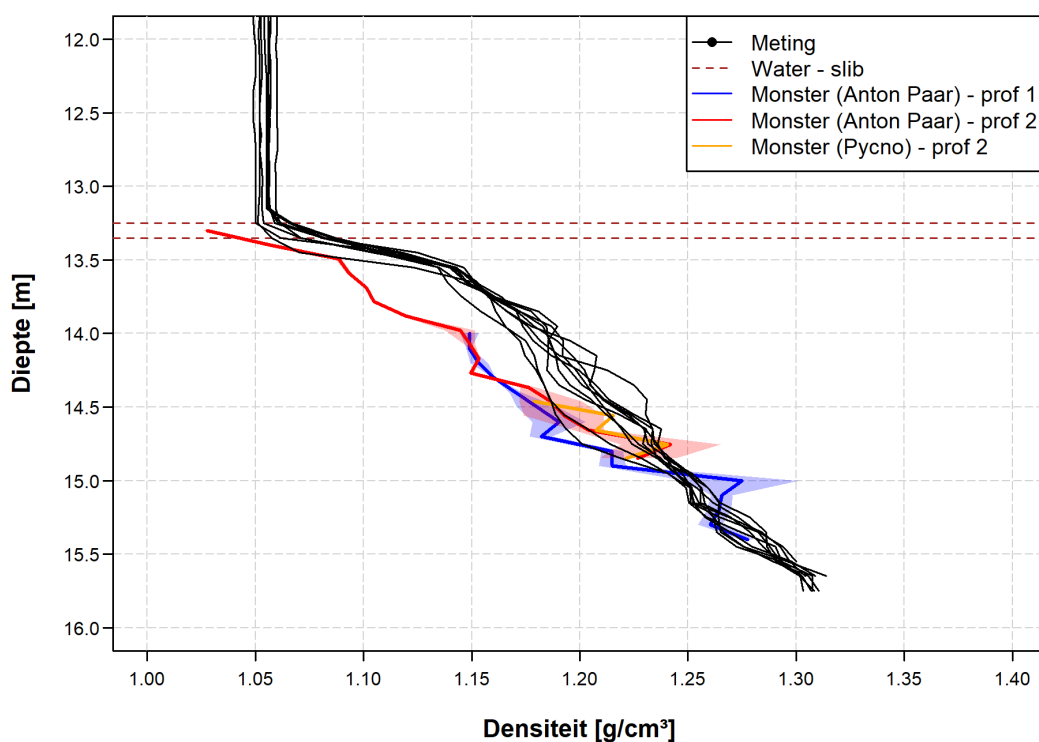
overgang van de waterkolom naar de sliblaag, tussen 13 en 13,5 m LAT. De locatie is aan het begin van het dok, de top van de sliblaag ligt hier een meter hoger dan achterin het dok. De metingen met de Admodus en de DensX vertonen een zeer gelijkaardig patroon en ook de herhalingen vertonen een consistent patroon. Voor de Rheotune kan men een constante waarde zien tussen 14 en 15 m LAT rond een dichtheitswaarde van $1,18 \text{ g/cm}^3$, waarna enkele pieken worden waargenomen.



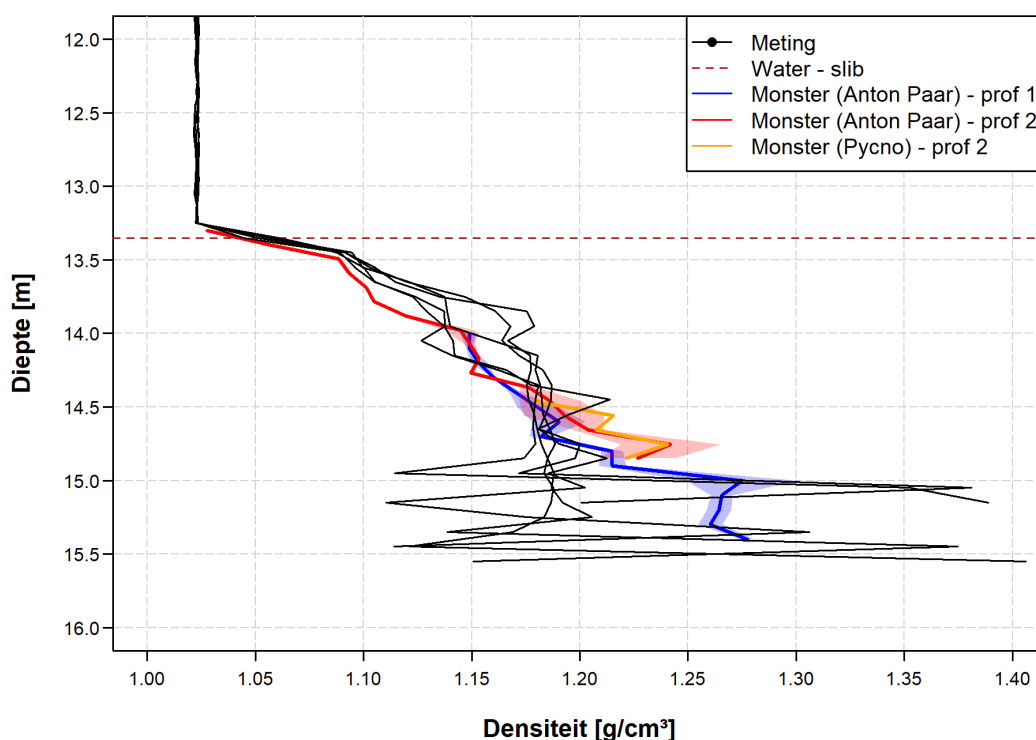
Figuur 21 – Densiteitsprofielen voor de derde prik met de Admodus (links), DensX (midden) en Rheotune (rechts)



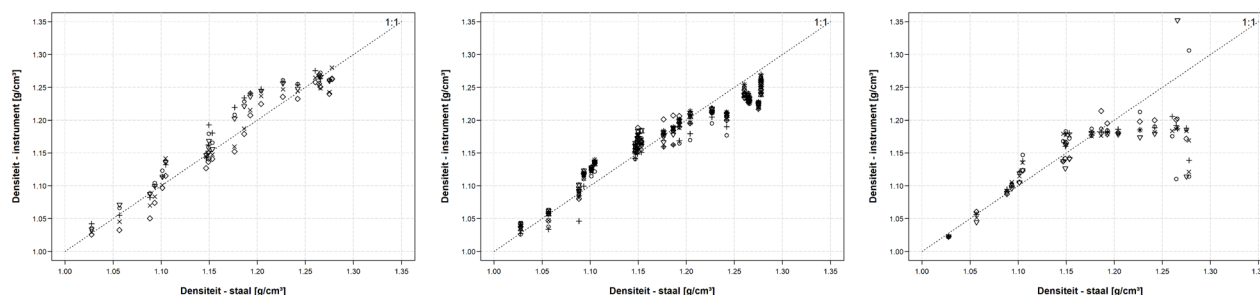
Figuur 22 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 3) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 23 – Verloop van densiteitsprofiel (PRK 3)
met DensX (boven) en gecorrigeerde DensX resultaten (onder), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 24 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 3) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname

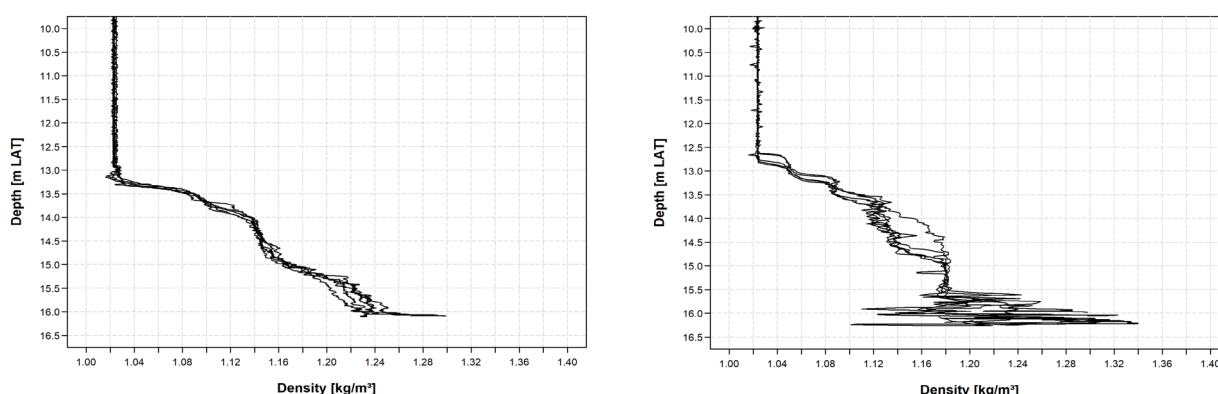


Figuur 25 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (rechts)

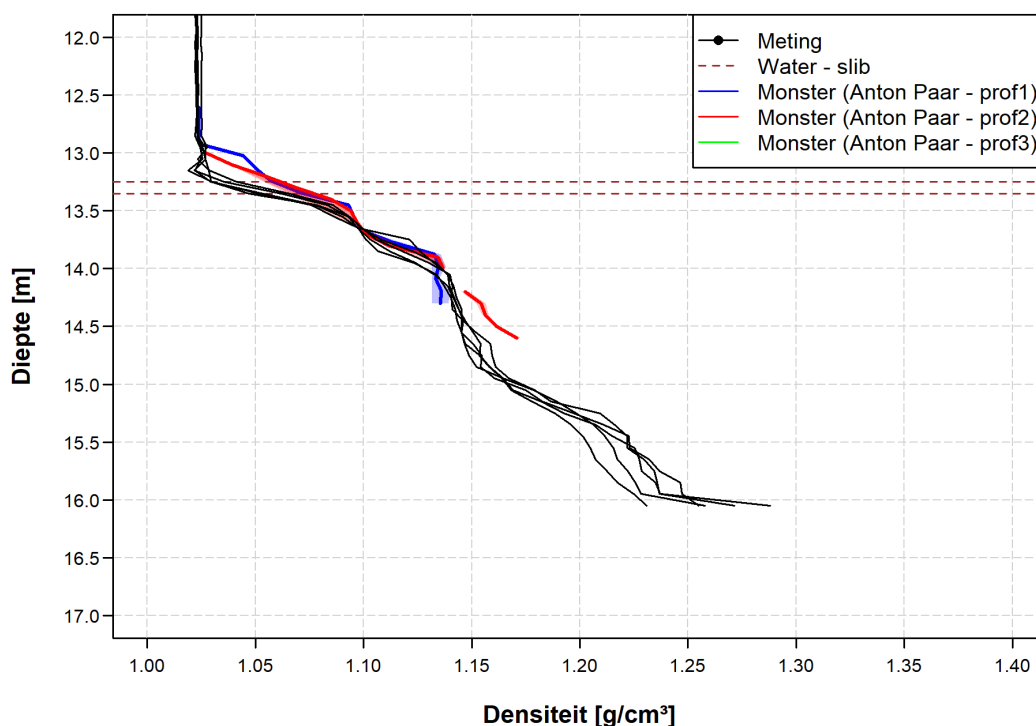
In Figuur 22 t.e.m. Figuur 24 zijn de densiteitsprikken weergegeven voor respectievelijk Admodus, DensX en Rheotune. Deze metingen zijn uitgemiddeld per 10 cm, om het effect van individuele foute metingen of uitschieters op de bevindingen te elimineren. Er werden twee slibstalen bovengehaald voor het bepalen van het densiteitsprofiel in de sliblaag. Voor het bovenste deel van het profiel, werd een deel van de metingen herhaald met behulp van een pyknometer. Deze metingen, tussen Anton Paar en pyknometer, zijn sterk gelijkend. Voor de Admodus en DensX, de gecorrigeerde waarden, wordt een zeer goede overeenkomst gevonden tussen de prikken en de referentiemetingen. Dit is ook duidelijk te zien in Figuur 25, waar beide metingen uitgezet zijn t.o.v. elkaar. De Rheotune metingen komen goed overeen met de referentiemetingen tot een densiteit rond $1,2 \text{ g/cm}^3$. Bij de hogere densiteiten zijn de referentiemetingen over het algemeen hoger, met uitzondering van enkele uitschieters. Bij deze hogere densiteiten vertoont de Rheotune een erg instabiel patroon.

4.4 Prik 4

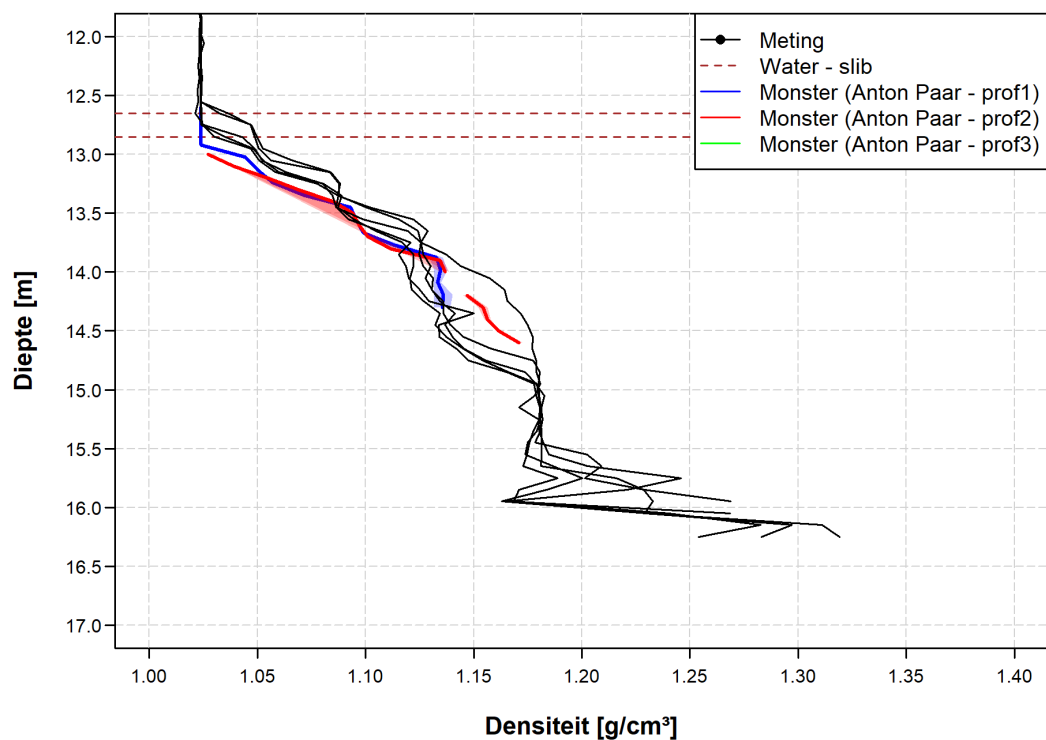
Een vierde meting werd uitgevoerd op 20/02/2019 tussen 12u50 en 13u30. 5 herhalingen werden opgemeten met de Admodus en Rheotune (zie Tabel 1), vanaf deze locatie zijn geen DensX metingen meer beschikbaar. De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 26, met respectievelijk links de Admodus USP en rechts de resultaten bekomen met de Rheotune. De overgang van de waterkolom naar de sliblaag is iets hoger gelegen voor de metingen met de Rheotune dan met de Admodus. Het verschil bedraagt ca. 0,20 m. De Admodus meet zeer consistent met een overgang van de water naar de sliblaag rond 13,20 m LAT. Vervolgens is er een sterke stijging van de densiteit tot ca. $1,14 \text{ g/cm}^3$ op 14 m LAT, gevolgd door een laag (tussen 14 en 15 m LAT) van nagenoeg constante densiteit. Rond 15 m LAT neemt de densiteit opnieuw geleidelijk toe. De Rheotune vertoont een gelijkaardig patroon tot $1,14 \text{ g/cm}^3$ (rond 14 – 14,5 m LAT). Vervolgens wordt echter een nieuwe laag met constante densiteit ($1,18 \text{ g/cm}^3$) opgemeten, gevolgd door sterke uitschieters naar hogere, maar ook lagere densiteiten.



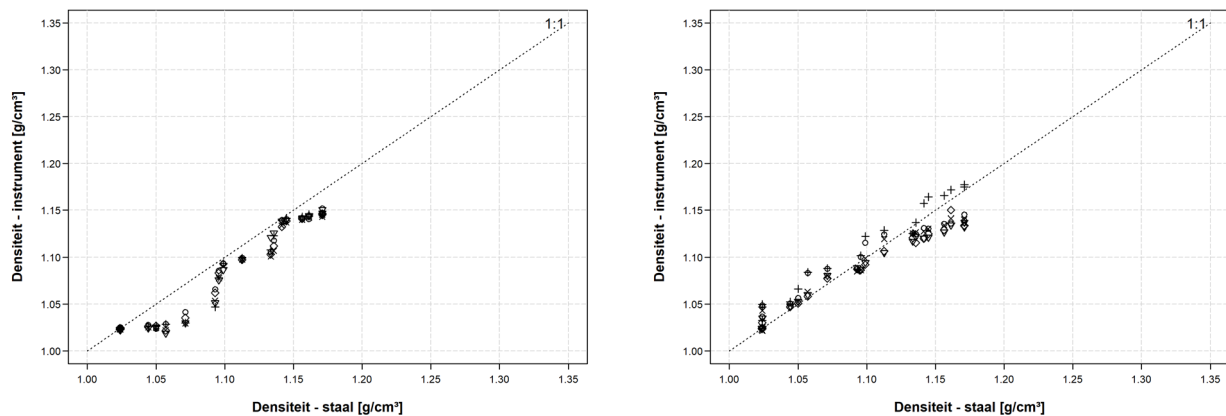
Figuur 26 – Densiteitsprofielen voor de vierde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)



Figuur 27 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 4) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 28 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 4) met Rheotune, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname

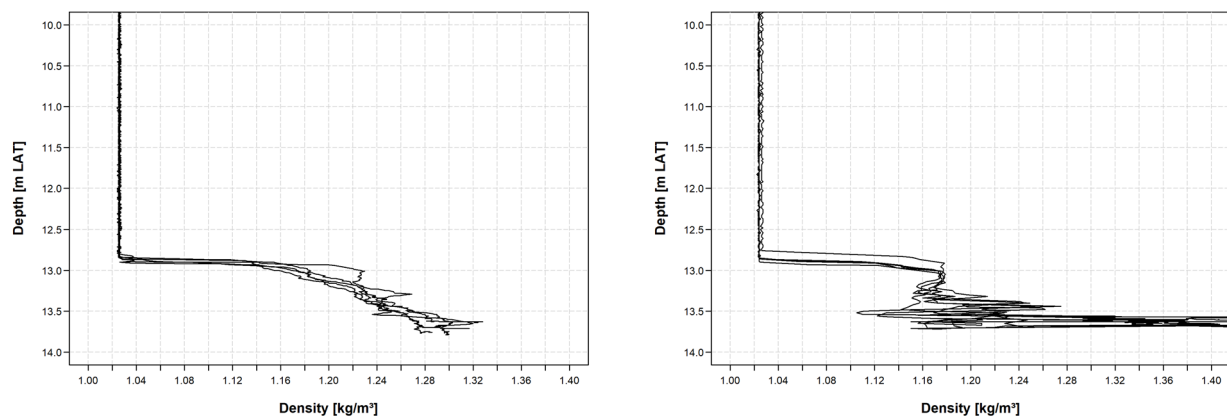


Figuur 29 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)

In Figuur 27 en Figuur 28 is respectievelijk de metingen met Admodus en Rheotune weergegeven, alsook de metingen uitgevoerd op de slibstalen. Deze metingen op de slibstalen zijn bepaald op 1 staal, met Anton Paar metingen in het labo en in situ. Dit sedimentstaal dekt niet het volledige densiteitsbereik van de sliblaag (maximale waarden rond $1,16 \text{ g/cm}^3$ werden opgemeten). Voor beide toestellen wordt een goede overeenkomst gevonden tussen de toestellen en de referentiemetingen (zie Figuur 29).

4.5 Prik 5

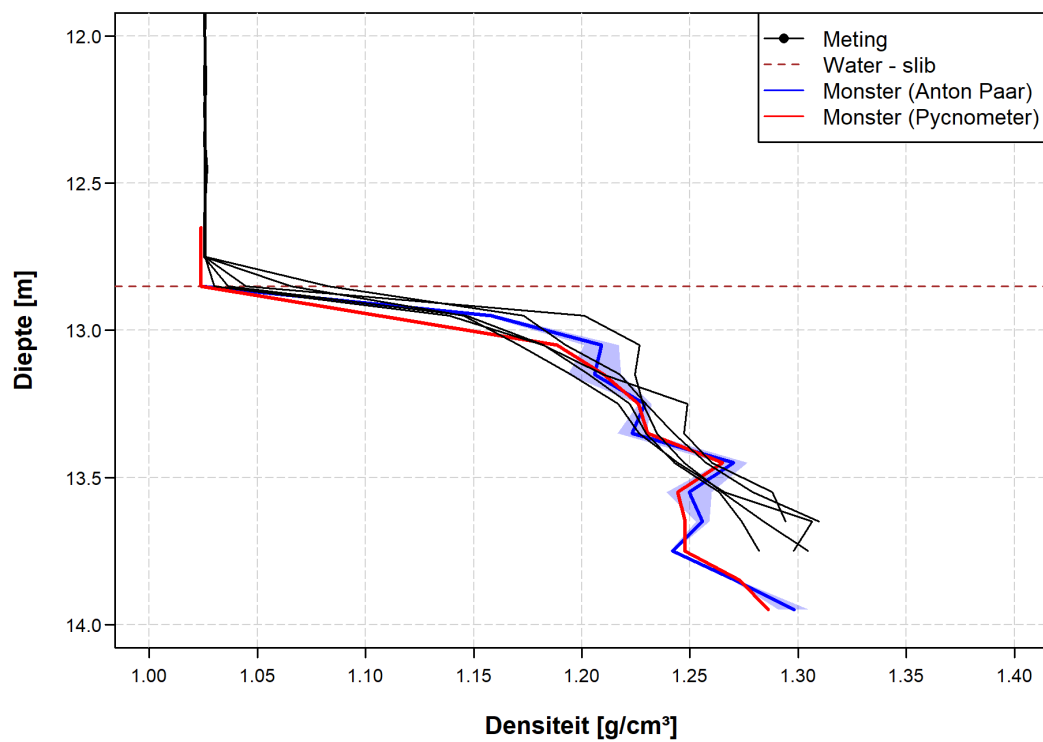
Een vijfde meting werd uitgevoerd op 21/02/2019 tussen 9u en 10u. 5 herhalingen werden opgemeten met de Admodus en Rheotune (zie Tabel 1). De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 30, met respectievelijk links de Admodus USP en rechts de resultaten bekomen met de Rheotune. Voor beide toestellen wordt een overgang waargenomen tussen de water en sliblaag rond 12,9 m LAT. Eén meting van de Rheotune vertoont een iets hogere uitwijking.



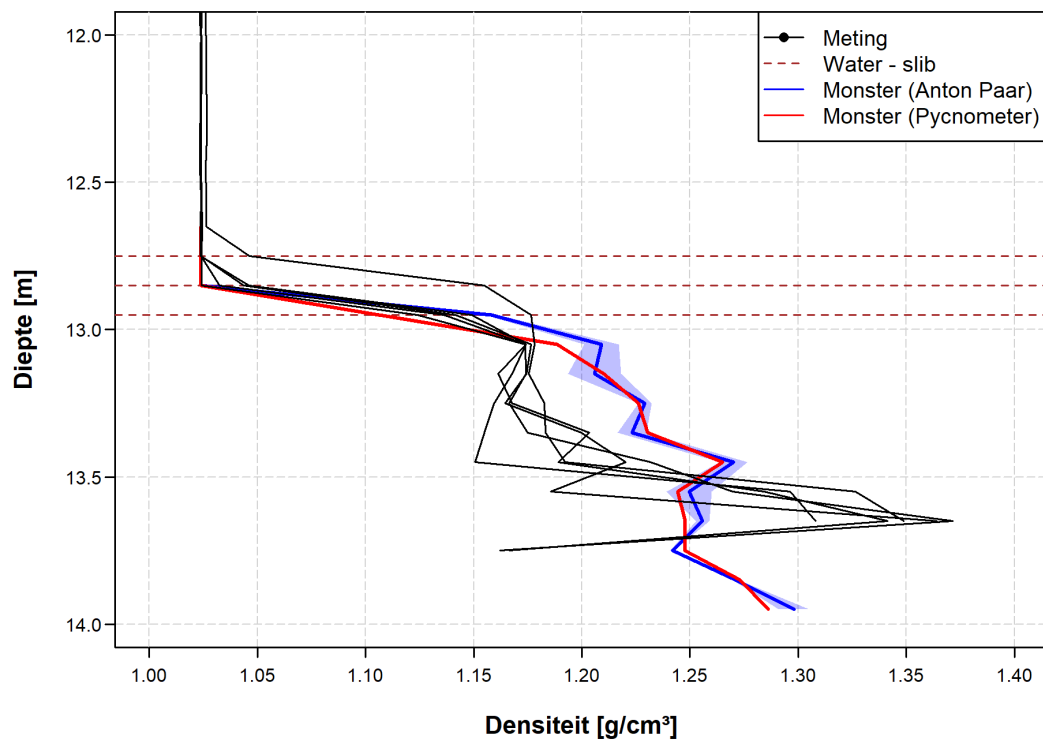
Figuur 30 – Densiteitsprofielen voor de vijfde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)

Voor de Admodus zien we vervolgens een zeer steile uitwijking naar ca. $1,18 \text{ g/cm}^3$, waarna vervolgens een verdere stijging van de densiteiten wordt waargenomen. Voor de Rheotune zien we eveneens die directe, sterke uitwijking. Het patroon van de curve daaropvolgend vertoont sterke uitwijkingen (zowel naar hogere, maar ook lagere densiteiten).

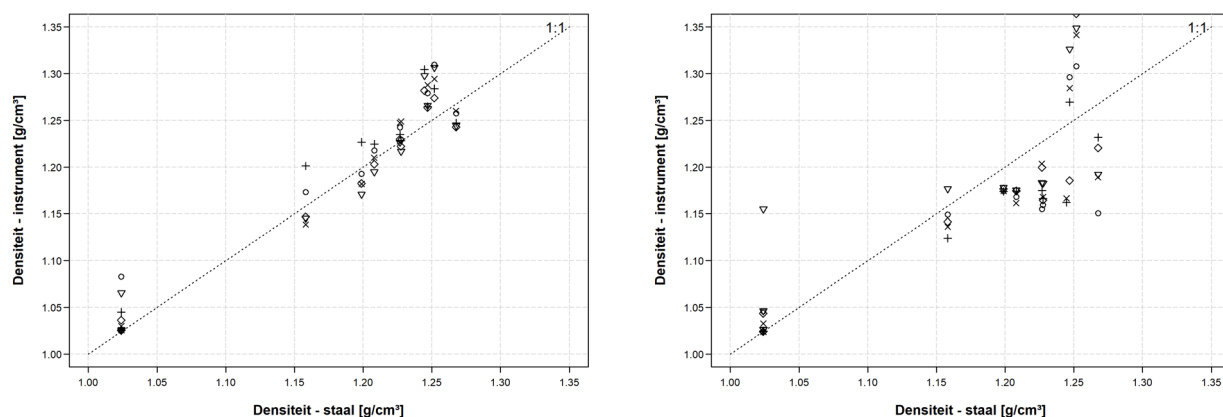
In Figuur 31 en Figuur 32 zijn respectievelijk de metingen van Admodus en Rheotune weergegeven, uitgemiddeld over 10 cm. Er werd één slibstaal boven gehaald als referentie, dat werd opgemeten met de Anton Paar (in situ) en nog werd nagemeten in het sedimentlabo met de pyknometer. De resultaten van beiden zijn zeer sterk gelijklopend. Er wordt een goede overeenkomst gevonden tussen de metingen op het slibstaal en het densiteitsprofiel met Admodus (Figuur 33, links). Voor de Rheotune kan een onderschatting van de densiteiten worden opgemerkt in de range van $1,20$ tot $1,25 \text{ g/cm}^3$ (Figuur 33, rechts).



Figuur 31 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 5) met Admodus samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



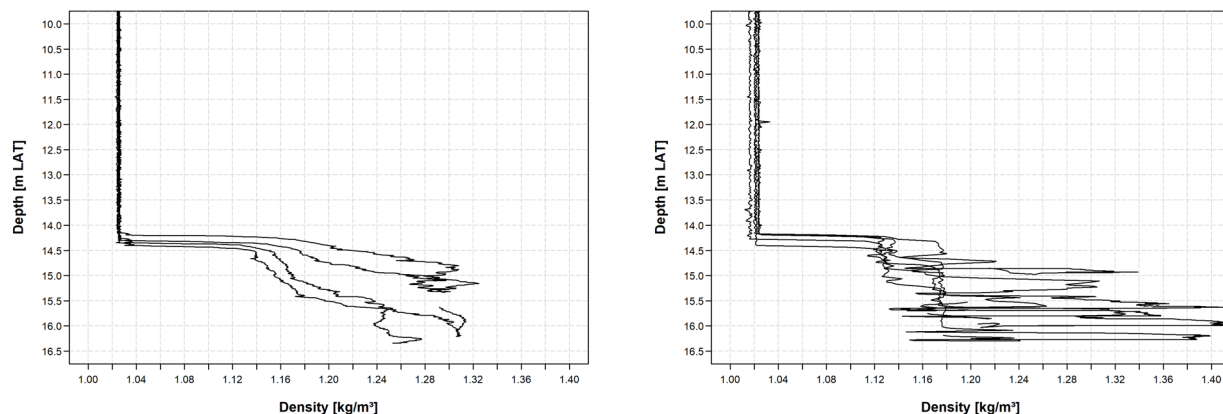
Figuur 32 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 5) met Rheotune, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 33 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)

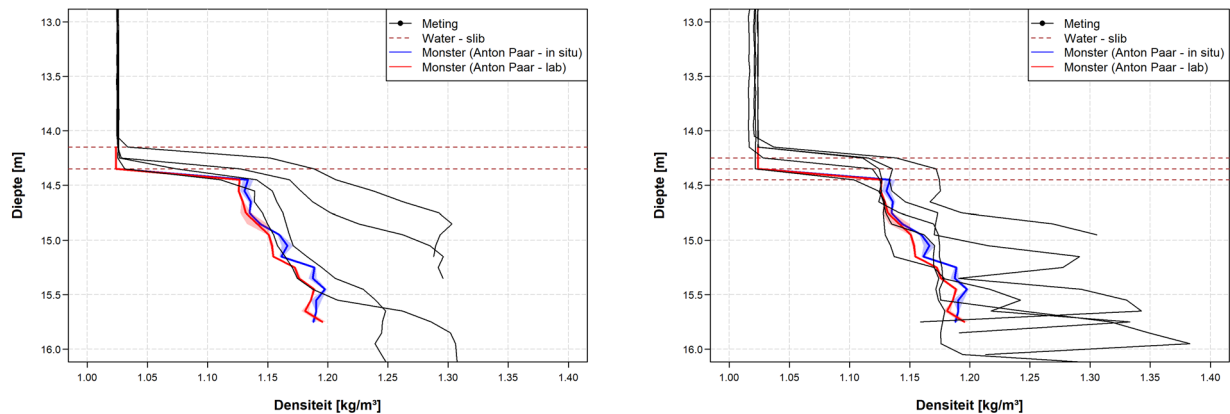
4.6 Prik 6

Een zesde meting werd uitgevoerd op 21/02/2019 tussen 10u en 11u30. 4 herhalingen werden opgemeten met de Admodus en 5 metingen met de Rheotune (zie Tabel 1). De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 34. De overgang van de waterkolom naar de sliblaag is op gelijkaardige diepte voor beide instrumenten, tussen 14 en 14,5 m LAT. De spreiding op de resultaten van de Admodus is veel groter dan in voorgaande prikken. Prik 6 wordt al varend genomen, de positie van het schip kan dusdanig licht variëren. Figuur 1 geeft aan dat achteraan het dok waar deze prikken genomen zijn er ruimtelijk ook enige variatie is in diepte van de topsliblaag. Ook voor de Rheotune zijn heel wat uitschieters waar te nemen.

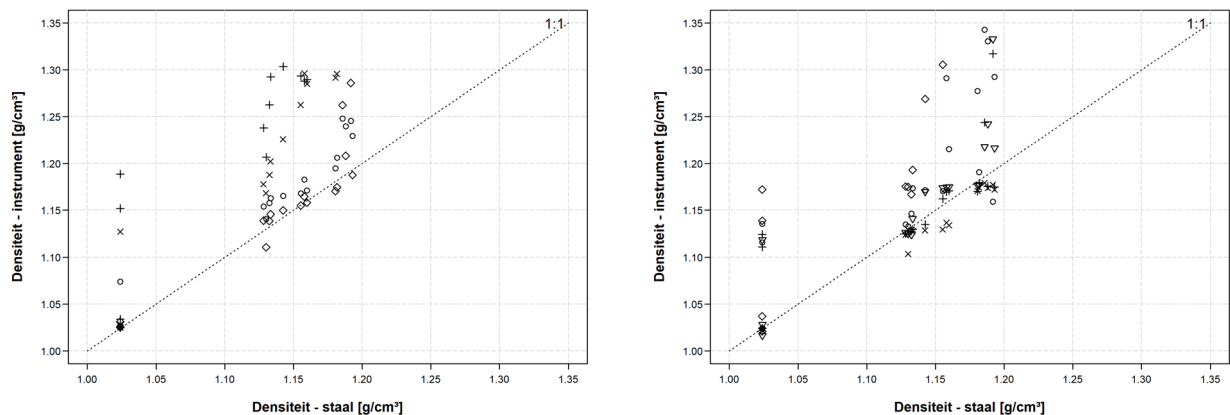


Figuur 34 – Densiteitsprofielen voor de zesde prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)

In Figuur 35 is het verloop van de densiteit weergegeven van het genomen referentiestaal. Dit staal is bemeten in het sedimentlabo en in situ, beide resultaten zijn hier weergegeven. Zowel voor de Admodus als de Rheotune zijn de afwijkingen groot.



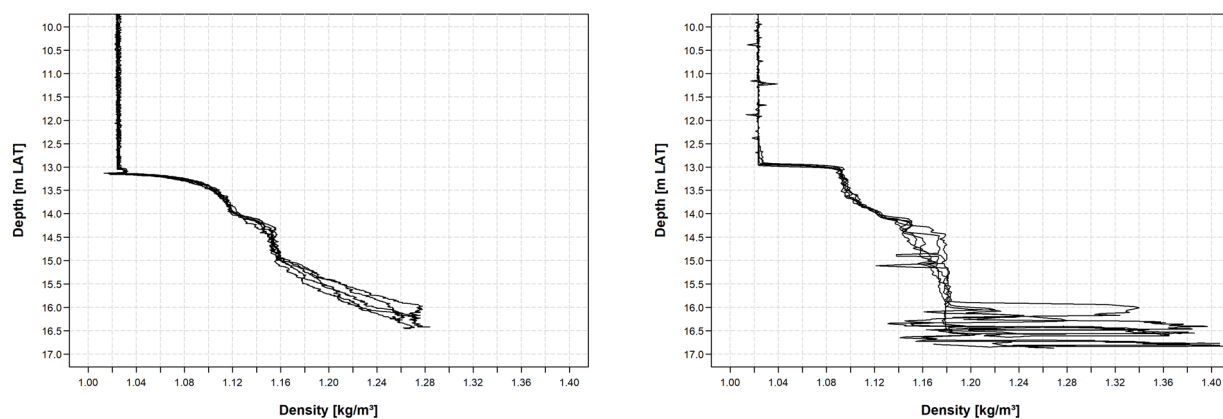
Figuur 35 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 6) met Admodus (links) en Rheotune (rechts), samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



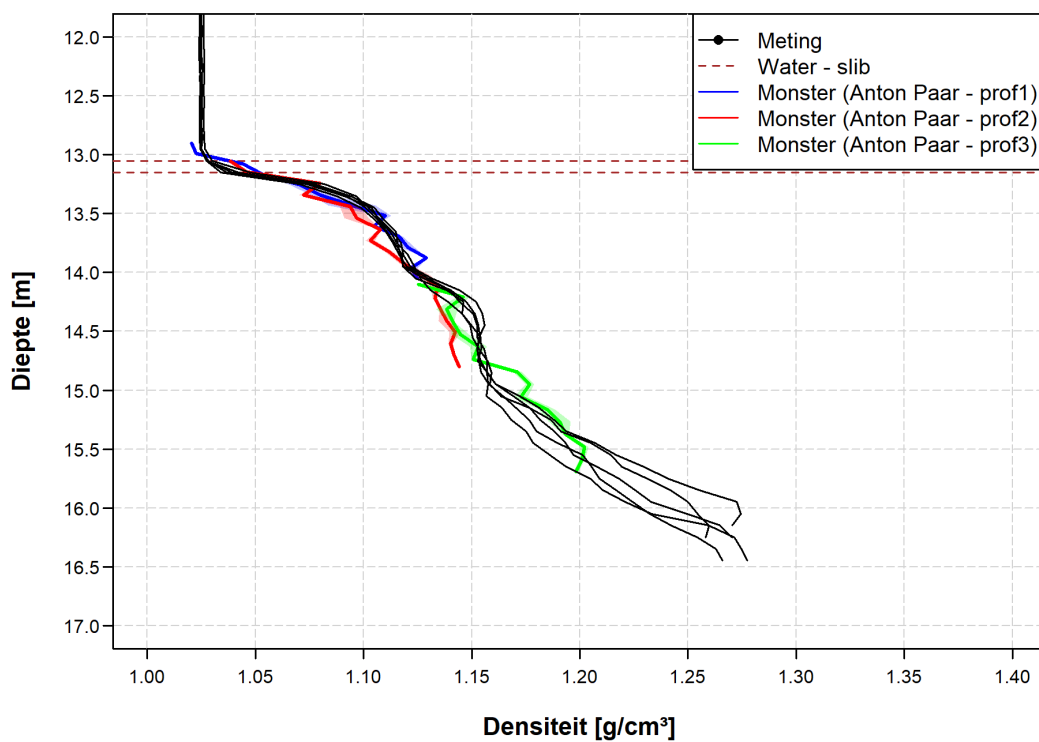
Figuur 36 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)

4.7 Prik 7

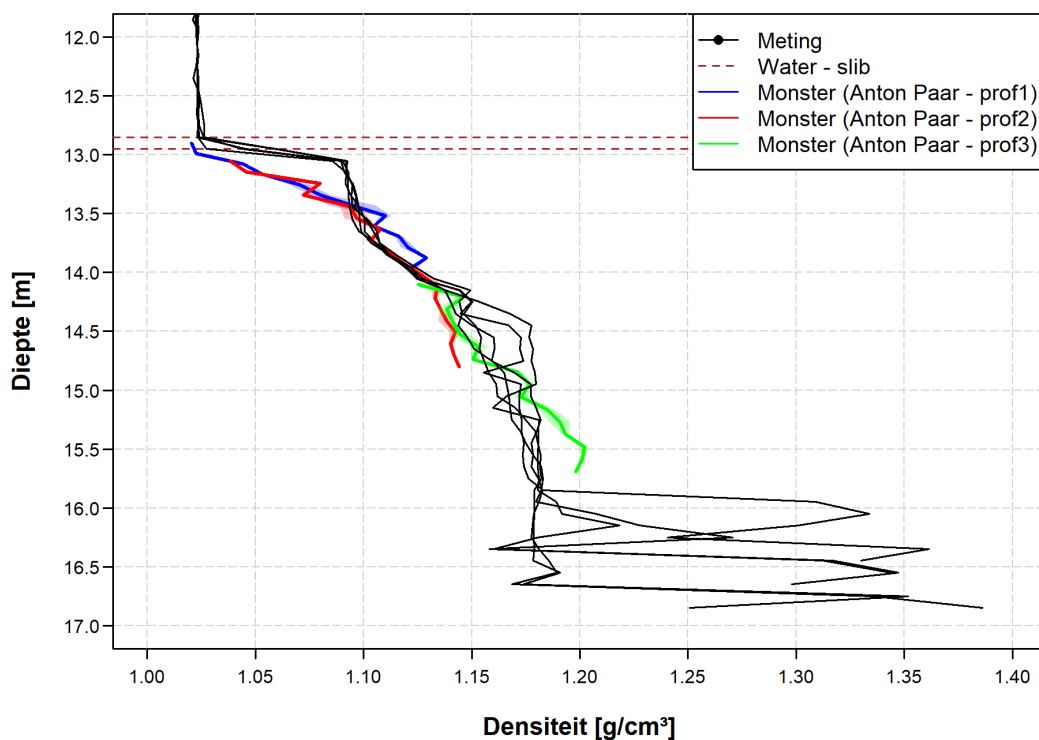
Een zevende meting werd uitgevoerd op 21/02/2019 tussen 12u30 en 13u30. 5 herhalingen werden opgemeten met de Admodus en 4 metingen met de Rheotune (zie Tabel 1). De resultaten van de instrumenten zijn weergegeven in Figuur 37, met respectievelijk links de Admodus USP en rechts de resultaten bekomen met de Rheotune. Deze metingen werden uitgevoerd al varend. De overgang van water naar sliblaag is voor beide toestellen gelijkaardig, met een uitwijking van de densiteit rond 13 – 13,1 m LAT. De metingen met Admodus zijn consistent, met een iets grotere spreiding voor densiteitswaarden groter dan 1,16 g/cm³. In de Rheotune metingen kan een duidelijke constante densiteit worden geobserveerd rond 1,18 g/cm³ van 14,5 m LAT tot 16 m LAT, gevolgd door enkele uitschieters.



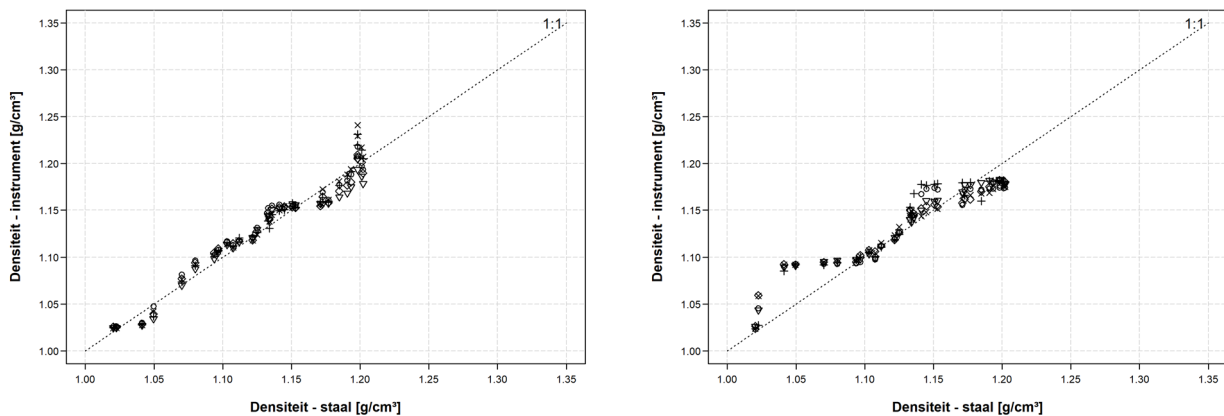
Figuur 37 – Densiteitsprofielen voor de zevende prik met de Admodus (links) en Rheotune (rechts)



Figuur 38 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 7) met Admodus, samen met het densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 39 – Verloop van densiteitsprofiel (PRIK 7) met Rheotune, samen met densiteitsprofiel gebaseerd op staalname



Figuur 40 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (links) en Rheotune (rechts)

In Figuur 38 en Figuur 39 zijn de meetresultaten voor respectievelijk de Admodus en Rheotune weergegeven. Er werden drie slibstalen genomen voor het van het densiteitsprofiel, die in het sedimentlabo werden opgemeten met een Anton Paar DMA 35. Voor de Admodus wordt een goede overeenkomst gevonden tussen beide metingen (Figuur 40), voor de Rheotune is er een overschatting van de densiteit voor de lagere densiteitswaarden.

5 Discussie

In dit hoofdstuk worden een aantal parameters geanalyseerd en algemene bevindingen geformuleerd.

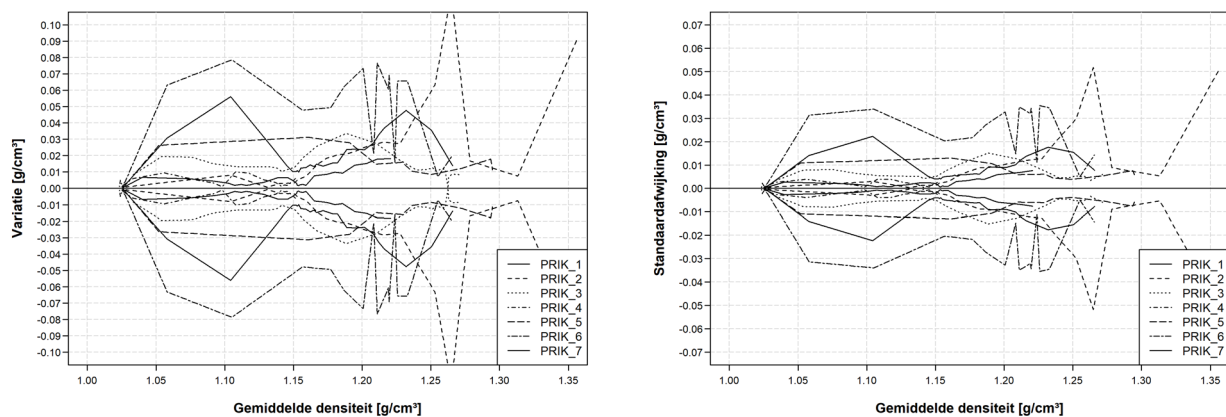
5.1 Densiteitsmetingen

In Tabel 4 is een overzicht weergegeven van de spreiding tussen de opeenvolgende prikken voor de verschillende meetinstrumenten apart. Deze spreiding wordt berekend door op een bepaalde diepte het verschil in de herhaalde prikken te bekijken, in Tabel 4 wordt de standaardafwijking gebruikt als spreidingsmaat. De laagste waarden, dus grootste meetconsistentie (minste spreiding), kunnen worden gevonden voor de DensX, gevolgd door de Admodus en dan de Rheotune. Voor de Admodus is de zesde prik duidelijk een grotere variatie waar te nemen t.o.v. andere prikken, evenals voor de Rheotune. Deze prik werd genomen al **varend** achterin het dok waar de ruimtelijke variatie in het slib groter is dan in het begin van het dok, zie Figuur 1. Variaties in de positie van het schip geven variatie in de peiling. Bij 4-5 Beaufort windkracht gaat het schip driften tijdens de peiling.

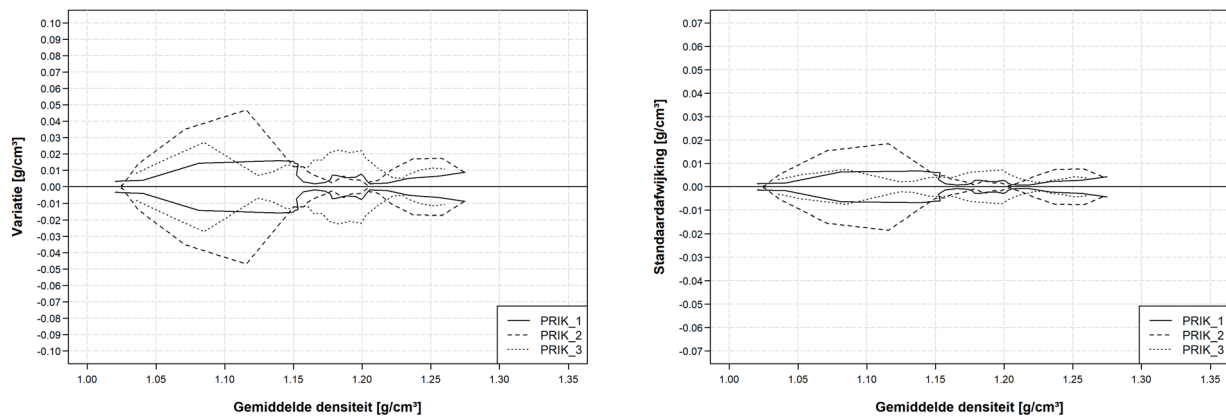
In Figuur 41, Figuur 42 en Figuur 43 is voor respectievelijk de Admodus, DensX en Rheotune de spreiding op de resultaten getoond in functie van de gemiddelde densiteit. Per meetdiepte, uitgemiddeld over 10 cm, wordt de gemiddelde densiteit bepaald, en de spreiding op de resultaten. Om de resultaten van de verschillende meetlocaties te vergelijken, is de spreiding weergegeven in relatie tot de gemiddelde densiteit op een bepaalde diepte. Deze spreiding is steeds weergegeven als de spreiding op de volledige resultaten (verschil tussen maximale en minimale waarden op deze diepte) en de standaardafwijking op de resultaten van deze herhalingsplekken. De lagere spreiding bij de DensX wordt hier opnieuw gevisualiseerd, waarbij geen duidelijke relatie met de gemiddelde densiteit te zien is. De maximale spreiding is 0,02 g/cm³ rond het gemiddelde. In Figuur 41 zijn de resultaten voor de Admodus weergegeven. De grotere spreiding voor de 6^e prik wordt opnieuw duidelijk. Voor de andere prikken blijft de spreiding kleiner dan 0,02 g/cm³, met uitzondering van prik 2 bij de hogere densiteiten. Voor de Rheotune metingen (Figuur 43) kan juist voor een gemiddelde waarde van 1,20 g/cm³ een duidelijke stijging van de spreiding worden waargenomen.

Tabel 4 – Overzicht van de spreiding op de onderlinge metingen van de verschillende meetinstrumenten, de standaardafwijking (in g/cm³) over het volledige profiel is weergegeven.

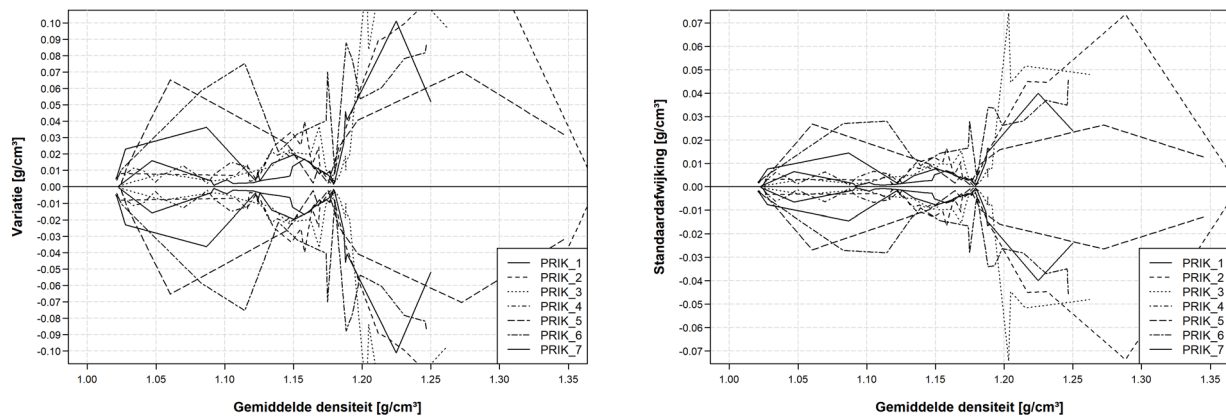
Prik	Admodus	DensX	Rheotune
Prik 1	0,015	0,005	0,014
Prik 2	0,020	0,007	0,023
Prik 3	0,013	0,009	0,028
Prik 4	0,003	/	0,010
Prik 5	0,011	/	0,018
Prik 6	0,046	/	0,044
Prik 7	0,005	/	0,005
gemiddeld	0,016	0,007	0,020



Figuur 41 – Range (links) en standaardafwijking (rechts)
in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten Admodus profielen

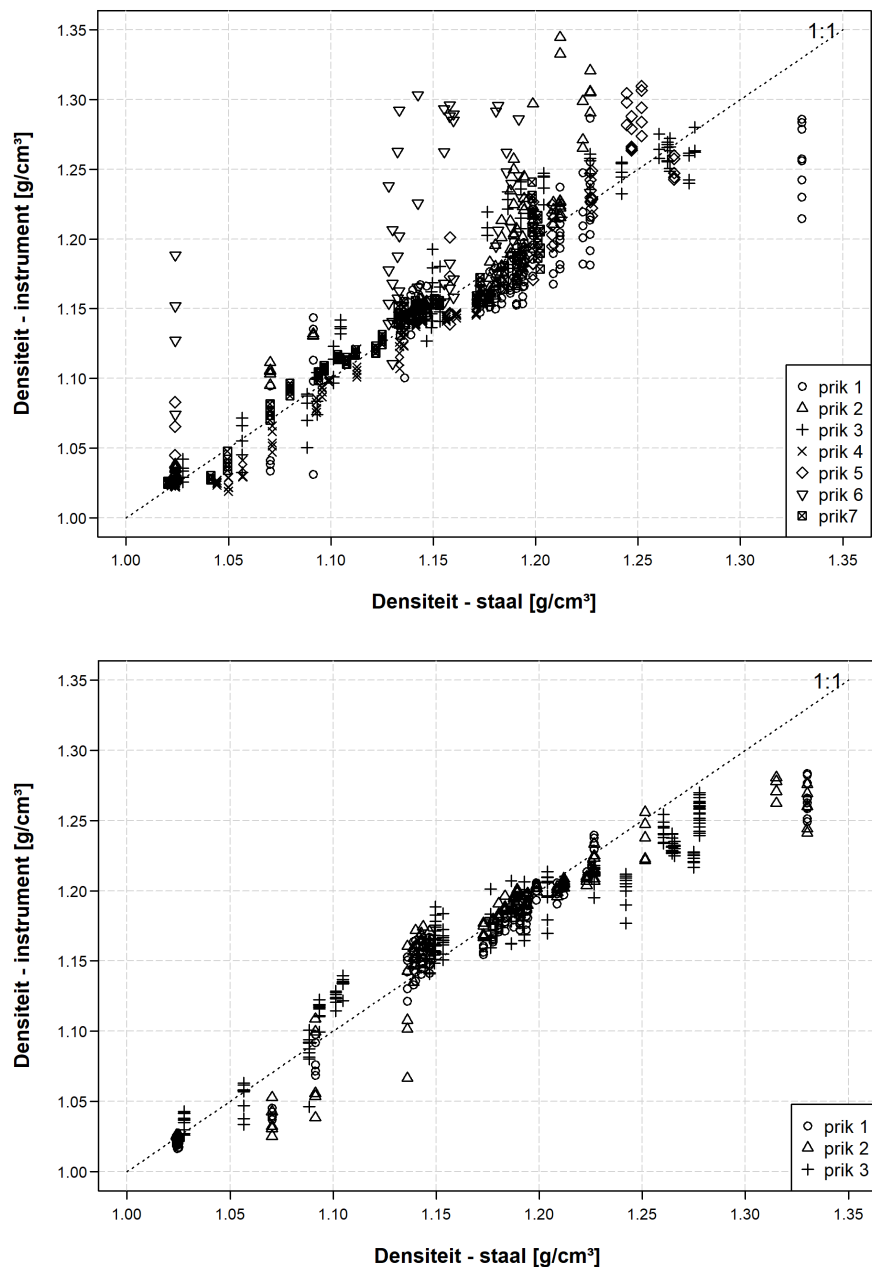


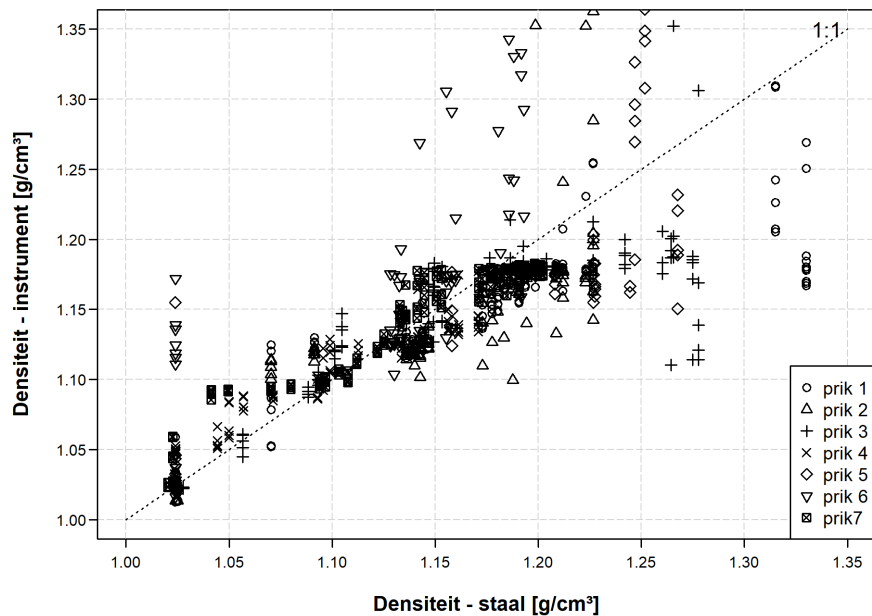
Figuur 42 – Range (links) en standaardafwijking (rechts)
in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten DensX profielen



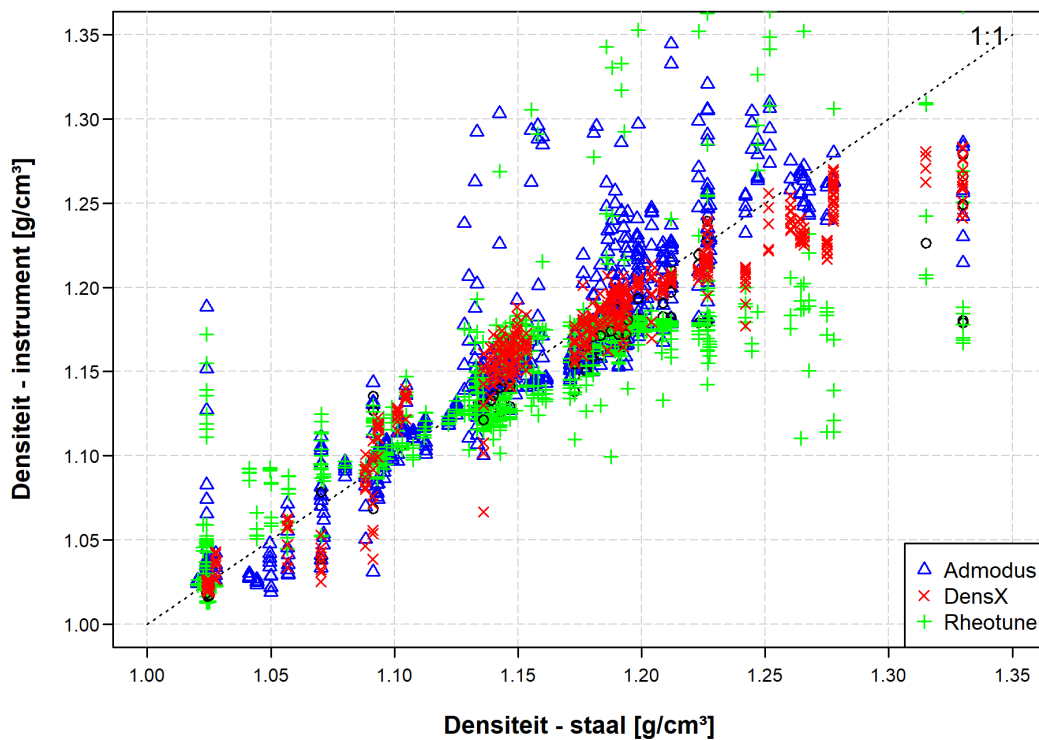
Figuur 43 – Range (links) en standaardafwijking (rechts)
in relatie tot de gemiddelde densiteit van de opgemeten Rheotune profielen

In Figuur 44 en Figuur 45 is de relatie weergegeven tussen de densiteiten gemeten op de slibstalen en de verschillende metingen. De DensX vertoont waarden het dichtst bij de 1:1 lijn. Bij de hogere densiteit lijken de gemeten densiteiten met de DensX iets lager dan deze in de slibstalen. De eerste duidelijke afwijking is te wijten aan de resultaten van prik 6. Voor de hogere waarden lijken de gemeten waarden met de Admodus iets hoger dan de gemeten densiteiten op de stalen. Voor de Rheotune lijkt tussen ca. $1,17 \text{ g/cm}^3$ tot $1,22 \text{ g/cm}^3$ de waarden te plafonneren. Er worden ook waarden waargenomen boven de 1:1 lijn, vermoedelijk door de uitschieters in de metingen.





Figuur 44 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen met Admodus (boven), gecorrigeerde DensX (midden) en Rheotune (onder)



Figuur 45 – Relatie tussen de densiteitsmetingen in de stalen en densiteitsmetingen voor alle densiteitsmetingen

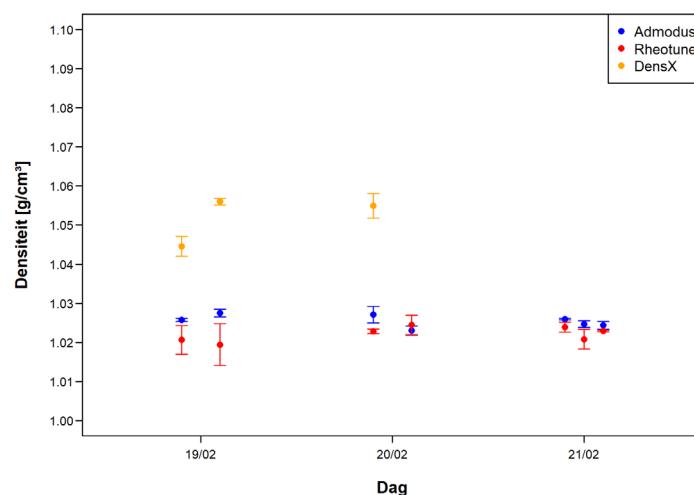
In Tabel 5 is de gemiddelde bias en de RMSE over het volledige profiel weergegeven tussen de meetinstrumenten en de densiteitsmetingen op de stalen.

Tabel 5 – Gemiddelde BIAS (linkse getallen) en RMSE (rechtse getallen) tussen de metingen en de densiteiten bepaald op de staalnames

	Admodus	DensX	Rheotune
PRIK 1	0.018 / 0.030	0.008 / 0.020	0.023 / 0.043
PRIK 2	-0.012 / 0.028	0.005 / 0.021	0.013 / 0.031
PRIK 3	0.010 / 0.017	0.006 / 0.024	0.021 / 0.056
PRIK 4	0.010 / 0.014	/	-0.003 / 0.017
PRIK 5	-0.008 / 0.023	/	0.014 / 0.049
PRIK 6	-0.018 / 0.031	/	-0.021 / 0.046
PRIK 7	-0.002 / 0.011	/	-0.004 / 0.018

5.2 Waterdensiteit

Een eenvoudige analyse van de resultaten van de instrumenten kan gebeuren door te meetresultaten van de toestellen te bekijken in de waterkolom. In Figuur 46 is de gemiddelde meetwaarde per toestel en per priklocatie weergegeven, samen met de spreiding per locatie.

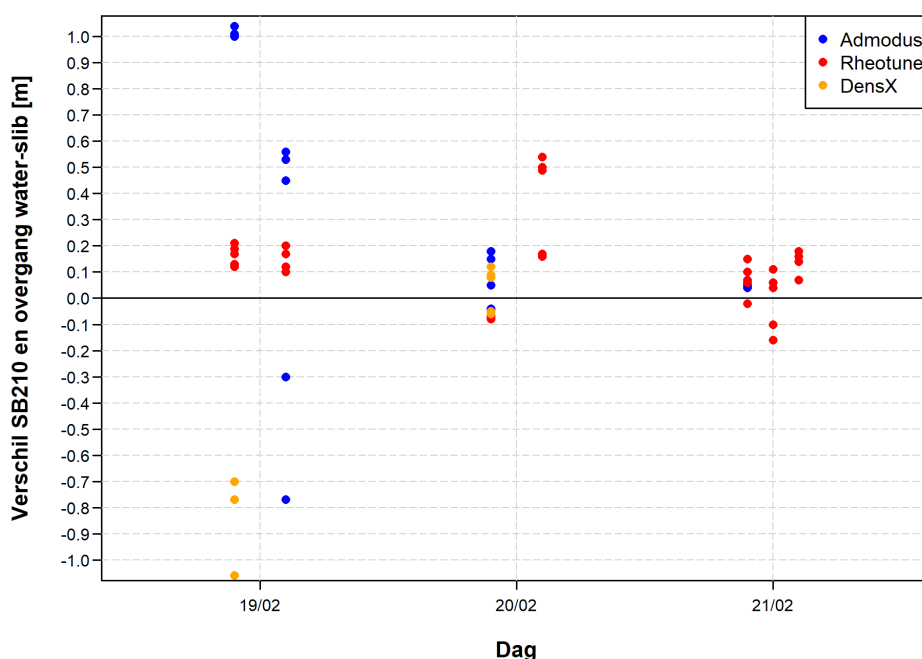


Figuur 46 – Gemiddelde densiteitswaarneming in de waterkolom per priklocatie, gemeten met de verschillende densiteitstoestellen

Het is duidelijk uit deze figuur dat de opgemeten densiteit met de DensX (rond 1,04 en 1,05 g/cm³) duidelijk hoger ligt t.o.v. de andere toestellen en de verwachte waarde voor zeewater. De opgemeten waarden met de Admodus USP en de Rheotune zijn gelegen tussen 1,02 en 1,03 g/cm³, wat overeenkomt met de verwachte densiteit van zeewater. De spreiding op alle meetwaarden is klein, in het algemeen kleiner dan 0,01 g/cm³. De spreiding is het kleinst voor de Admodus USP. Er werd voor de DensX gemerkt dat deze hogere densiteit zich ook doorzet doorheen het volledige opgemeten densiteitsprofiel. De resultaten die werden besproken zijn dan ook gecorrigeerd met het verschil tussen de opgemeten densiteit en de werkelijke densiteit van het zeewater.

5.3 Water-slib overgang

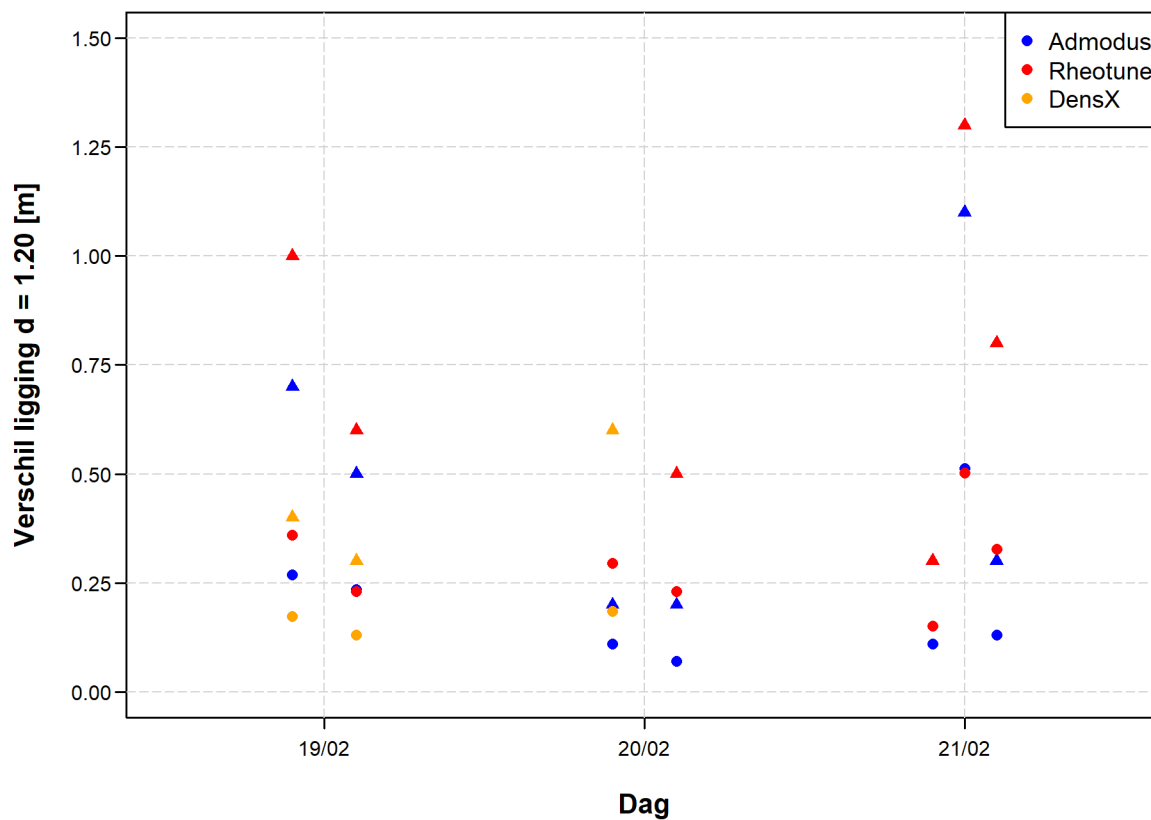
In de verschillende densiteitsprofielen kan het begin van de sliblaag worden opgemerkt wanneer de curve begint uit te wijken. Bij de single beam echolood metingen, wordt de reflectie van de 210 kHz aanzien als de reflectie op de water – slib overgang. Voor de Rheotune wordt een gemiddeld verschil van 0,12 m gevonden tussen de diepteligging van de 210 kHz en de overgang van water en slib, bepaald op het densiteitsprofiel (gemiddeld per 10 cm). Dit komt ongeveer overeen met de resolutie. In principe zou de overgang nauwkeuriger kunnen bepaald worden op het niet uitgemiddelde profiel. Voor de Admodus en DensX worden m.u.v. van prik 3 zeer hoge verschillen waargenomen, die niet realistisch kan beschouwd worden. Dit aangezien de overgang van water naar de sliblaag voor alle metingen gelijkaardig is (zie secties 4.1 tot 4.7) en ook in voorgaand onderzoek een goede relatie tussen beiden werd gevonden voor alle meettoestellen.



Figuur 47 – Verschil tussen de diepte opgemeten met de SB 210 kHz en de overgang water-slib zoals bepaald op de densiteitsprofielen

5.4 Ligging van 1,20 g/cm³ densiteitslaag

In Figuur 48 is het verschil weergegeven tussen de ligging van de dieptes waarop een densiteit van 1,20 g/cm³ wordt gevonden. Deze is bepaald door de laatste meting te selecteren waarbij de densiteit kleiner is dan 1,20 g/cm³. Deze werd bepaald op de profielen waar de waarden werden geïntegreerd over 10 cm. Voor de DensX is het absolute verschil ca. 0,30 m voor prikken 1 en 2, voor prik 3 is dit verschil veel groter, rond 0,60 m. De maximale spreiding (berekend als standaardafwijking) is kleiner dan 0,20 m. Voor de Admodus blijft de spreiding kleiner dan 0,25 m (op basis van de standaardafwijking). De spreiding op de waarden voor de Rheotune is steeds groter dan voor de andere metingen.



Figuur 48 – Diepteverschil tussen de ligging van de 1.20 g/cm³ laag voor verschillende herhalingen voor de verschillende densiteitstoestellen (Δ = range, o = standaardafwijking)

6 Conclusies

Tijdens de meetcampagne van februari 2019 werden metingen uitgevoerd in het Albert-II dok te Zeebrugge voor nautische bodem. Deze metingen werden uitgevoerd met de DensX, Admodus USP en Rheotune. Voor het nemen van slibstalen werd gebruik gemaakt van de Beekersampler die verzwaard werd met een gewicht.

De metingen werden uitgevoerd onder goede omstandigheden. De DensX was echter niet meer functioneel in de namiddag van 20/02, waardoor slechts 3 priklocaties werden bemeten met dit toestel, waarvan de eerste twee zeer dicht bij elkaar (en hetzelfde referentiestaal). Het oordeel op de performantie van het toestel is dus gebaseerd op enkel 2 verschillende meetcondities.

De beste overeenkomst tussen de slibstalen en de densiteitsprofielen werd gevonden voor de metingen van de DensX. Deze densiteitsprofielen vertoonden ook de grootste consistentie tussen de verschillende herhalingen. De Admodus vertoonde een iets grotere spreiding, al blijft de overeenkomst tussen de metingen met de referentie goed. Eén prik (locatie 6) vertoonde duidelijk een grotere spreiding, vermoedelijk door de varende meting en de grote ruimtelijke spreiding in de sliblagen hier. Voor de Rheotune zien we de laagste consistentie in de metingen, vooral bij hogere densiteiten vertoont de Rheotune instabiliteiten in de profielen. Ook de variatie in de densiteitsmetingen, en de variatie in de ligging van de 1,20 g/cm³ dieptelaag is groter op de metingen met de Rheotune.

Wat betreft de overgang van water naar topslib voorspellen de toestellen gelijkaardige dieptes. Echter, dit is op zich weinig relevant, gezien de diepte van het topslib snel en betrouwbaar gebiedsdekkend gepeild kan worden met behulp van single beam 210 kHz of multibeam echolood.

7 Referenties

Meire, D.; Ibanez, M.; Claeys, S.; Mostaert, F. (2020). Evaluatie van densiteits-meetinstrumenten: Deelrapport 1: Overzicht meetinstrumenten en analyse meetcampagne 3 m.b.t. densiteitsinstrumenten. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_059_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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