



Vlaanderen
is wetenschap



25_018_1
WL rapporten

Densiteitsprikken in het Albert II dok

Relatie tussen echosounding en densiteitsprikken

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Densiteitsprikken in het Albert II dok

Relatie tussen echosounding en densiteitsprikken

Meire, D.; Brouwers, B.; Vanlede, J.

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 2025
D/2025/3241/142

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Brouwers, B.; Vanlede, J. (2025). Densiteitsprikken in het Albert II dok: Relatie tussen echosounding en densiteitsprikken. Versie 4.0. WL Rapporten, 25_018_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	PoAB	Ref.:	WL2025R25_018_1
Trefwoorden (3-5):	Zeebrugge, densiteitsprikken, echosounding, slib, nautische bodem		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Sediment > Nautische bodem > In situ metingen		
Tekst (p.):	16	Bijlagen (p.):	17
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Meire, D.; Brouwers, B.
------------	-------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanlede, J.	Getekend door: Vanlede Joris Dries S Getekend op: 2025-06-12 15:42:46 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2025-06-20 10:24:13 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2025-06-10 10:18:37 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed  
-----------------	---------------	--

Abstract

Vanaf het voorjaar 2025 worden in Zeebrugge schepen met grotere diepgang aangemeerd aan kaai 122 van het Albert II dok. De diepte van deze ligplaatsen wordt vrijgegeven op basis van de dieptebepaling van de 33kHz sounding. In het A2 dok ligt echter ook een dik pakket slib waardoor het niet eenduidig is waar(op) deze 33kHz juist reflecteert. Op basis van beschikbare metingen van Vlaamse Hydrografie, wordt in dit rapport een relatie gezocht tussen de ligging van deze laagfrequente reflector (24 kHz ipv 33 kHz) en de dieptelocatie van de 1,20 t/m³, welke gedefinieerd is als nautische bodem voor varende schepen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Introductie	1
2 Beschikbare metingen	2
2.1 Meetmethode	2
2.1.1 Densiteitsmeting.....	2
2.1.2 Single Beam meting	3
2.2 Overzicht beschikbare metingen	5
3 Resultaten.....	8
3.1 Algemene beschrijving	8
3.2 Relatie densiteitsmeting en echosounding.....	11
4 Discussie & conclusie.....	15
5 Referenties	17
Bijlage 1 Tijdsverloop per individuele priklocatie	B1
Bijlage 2 Correlaties per priklocatie	B12

Lijst van de tabellen

Tabel 1: Overzicht van de meetdagen en beschikbare afgeleide parameters gedurende de beschouwde periode op de beschouwde locaties.....	5
Tabel 2: Determinatie coëfficiënt (R^2) voor de lineaire fit, per transect en per meetlocatie, tussen 24 kHz reflector en 1,2 t/m ³ diepteligging	11

Lijst van de figuren

Figuur 1: Priklocaties van Vlaamse Hydrografie ter hoogte van het A2 dok, met aanduiding van beschouwde priklocaties	2
Figuur 2: Meting met Admodus tijdens een meetcamapagne.....	3
Figuur 3: Voorbeeld van een densiteitsprik van Vlaamse Hydrografie met indicatie van karakteristieke waarden (blauw = 210 kHz reflector, groen = 1,20 t/m ³ , rood = 24 kHz reflector).....	4
Figuur 4: Aantal beschikbare metingen per meetlocatie, gerangschikt van het uiteinde van het dok richting CDNB. Grijs = transect langs kaai, blauw = transect centraler in dok.....	7
Figuur 5: Gemiddelde diepteligging van de 210 kHz, 24 kHz reflector en 1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³ diepteligging van het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, 75-10 bij de kaaie (stippellijn) en 78-88 centraler in het dok (volle lijn)	8
Figuur 6: Verloop van de 210 kHz reflector van het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, met een gemiddelde waarde (blauw) en alle metingen (lichtblauw).....	9
Figuur 7: Verloop van de 24 kHz reflector vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, met een gemiddelde waarde (zwart) en alle metingen (grijs).....	9
Figuur 8: Verloop van de 1,15 t/m ³ diepteligging vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, met een gemiddelde waarde (oranje) en alle metingen (licht oranje).....	10
Figuur 9: Verloop van de 1,20 t/m ³ diepteligging vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts), met een gemiddelde waarde (bruin) en alle metingen (licht bruin).....	10
Figuur 10: Scatterplot van densiteit en SB24 dieptes, met lineaire fit en 1:1 lijn, voor alle metingen in het transect 78-88 (boven) en transect 75-10 (onder) langsheen het Albert II dok	12
Figuur 11: Verschil in diepteligging van de 1,20 t/m ³ en 24 kHz reflector voor de verschillende beschouwde priklocaties, geordend van het uiteinde van de dok (links) richting CDNB (rechts). Een positieve waarde wil zeggen dat de 1,2 t/m ³ boven de SB24 ligt.	13
Figuur 12: Dikte van de sliblaag [in dm] gebaseerd op de SB210 en SB 24 metingen, geordend van het uiteinde van de dok (links) richting CDNB (rechts).....	14
Figuur 13: Gemiddelde ligging van de referentieniveaus in het Albert II-dok. Blauwe lijn – 210kHz-reflector (top van de sliblaag); donker bruine lijn: 1,20 t/m ³ niveau; zwarte lijn – 33kHz-reflector. (Figuur 23 uit Dujardin et al. (2016)).....	15
Figuur 14: Seizoenale variatie van niveaus in het Albert II-dok. 210kHz (blauw), Nautische bodem (bruin), 33kHz (zwart). De donker gekleurde banden geven de standaarddeviatie rond het gemiddelde aan, de lichter gekleurde banden de minimale en maximale diepteligging. (Figuur 48 uit Dujardin et al. (2016))	16
Figuur 15: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 78.....	B1
Figuur 16: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 75.....	B1
Figuur 17: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 79.....	B2
Figuur 18: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 74.....	B2

Figuur 19: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 80.....	B3
Figuur 20: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 73.....	B3
Figuur 21: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 81.....	B4
Figuur 22: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 17.....	B4
Figuur 23: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 82.....	B5
Figuur 24: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 16.....	B5
Figuur 25: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 83.....	B6
Figuur 26: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 15.....	B6
Figuur 27: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 84.....	B7
Figuur 28: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 14.....	B7
Figuur 29: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 85.....	B8
Figuur 30: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 13.....	B8
Figuur 31: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 86.....	B9
Figuur 32: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 12.....	B9
Figuur 33: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 87.....	B10
Figuur 34: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 11.....	B10
Figuur 35: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 88.....	B11
Figuur 36: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m ³ voor priklocatie 10.....	B11
Figuur 37: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 78 (links) en 75 (rechts).....	B12
Figuur 38: Figuur 39: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 79 (links) en 74 (rechts).....	B12
Figuur 40: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 80 (links) en 73 (rechts).....	B13

Figuur 41: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 81 (links) en 17 (rechts).....	B13
Figuur 42: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 82 (links) en 16 (rechts).....	B14
Figuur 43: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 83 (links) en 15 (rechts).....	B14
Figuur 44: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 84 (links) en 14 (rechts).....	B15
Figuur 45: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 85 (links) en 13 (rechts).....	B15
Figuur 46: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 86 (links) en 12 (rechts).....	B16
Figuur 47: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 87 (links) en 11 (rechts).....	B16
Figuur 48: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m ³ en 1,20 t/m ³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 88 (links) en 10 (rechts).....	B17

1 Introductie

Vanaf het voorjaar 2025 worden in Zeebrugge schepen met grotere diepgang aangemeerd aan kaai K122 van het Albert II dok. De diepte van deze ligplaatsen wordt vrijgegeven op basis van de dieptebepaling van de 33kHz sounding. In het A2 dok ligt echter ook een dik pakket slib waardoor het niet eenduidig is waarop deze 33kHz juist reflecteert. Door de Haven van Hamburg werden een aantal parameters vooropgesteld die de diepte van de ligplaatsen daar beïnvloeden/bepalen (een yield stress van 50 Pa en een densiteitscriterium van 1,15 t/m³). Deze criteria kunnen niet eenvoudigweg worden overgenomen voor de situatie te Zeebrugge en het bepalen van goede parameters hiervoor is niet eenvoudig en een werk van langere adem.

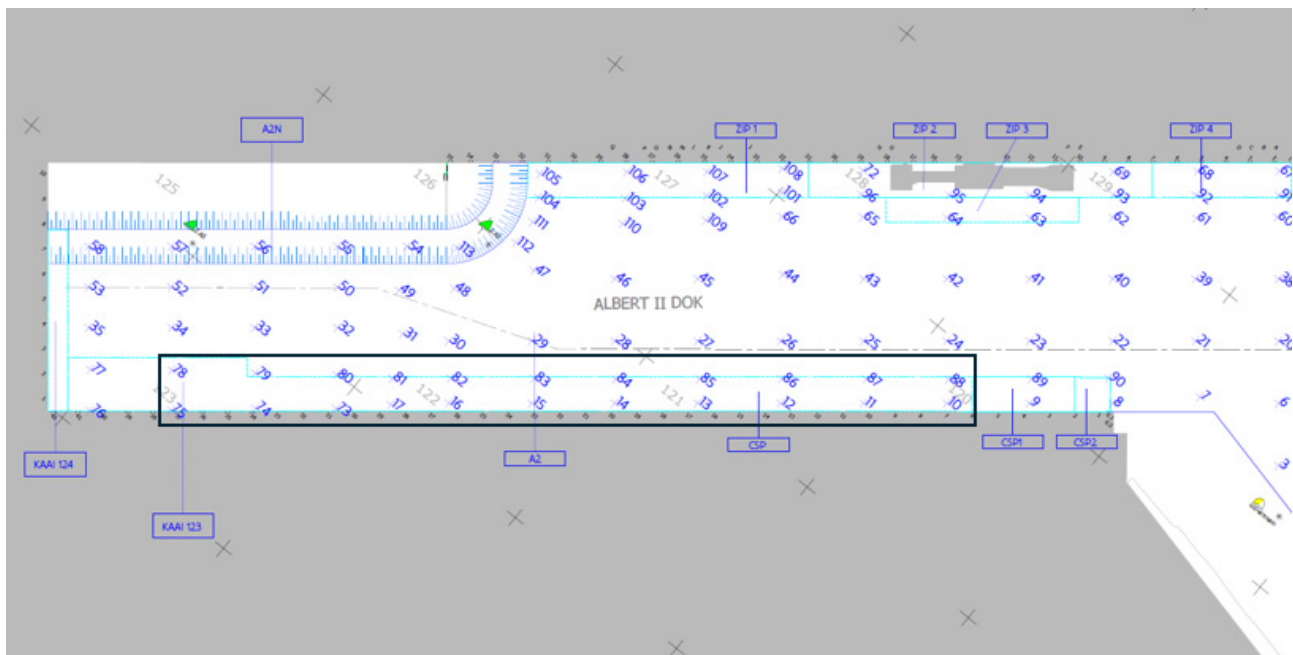
In dit rapport wordt in eerste instantie een relatie gezocht tussen de 210 kHz reflector, de 24 kHz reflector (i.p.v. 33 kHz) en de diepteligging van de 1,20 t/m³. Deze relatie wordt gezocht voor een deel van de densiteitsprikken, gelegen nabij Kaai 122 en Kaai 121 in het Albert II dok. In totaal worden 22 priklocaties beschouwd, wat ongeveer een kwart is van het totaal aantal priklocaties in het Albert II dok. Vlaamse Hydrografie bemeet ca. maandelijks deze locaties, met behulp van het Admodus toestel. Een periode van midden 2021 tot heden werd beschouwd voor de analyse. Verder terug gaan in de tijd introduceert extra onzekerheid, aangezien een ander toestel werd ingezet voor het opmeten van de densiteitsprofielen.

2 Beschikbare metingen

2.1 Meetmethode

2.1.1 Densiteitsmeting

Door Vlaamse Hydrografie wordt met een maandelijkse frequentie, afhankelijk van de meteorologische condities, de $1,20 \text{ t/m}^3$ densiteitsligging voor het volledige Albert II dok bemeten. Een overzicht van deze priklocaties in het Albert II dok, 112 locaties in totaal, is weergegeven in Figuur 1. De maximale afstand, in de lengterichting van het A2 dok, tussen verschillende priklocaties is ca. 100 m. De laterale afstand tussen de transecten, ter hoogte van Kaai 122 bedraagt ongeveer 45 m. De afstand van de eerste raai tot de kade bedraagt ca. 10 m. In deze studie wordt specifiek gefocust op de priklocaties ter hoogte van de beschouwde ligplaatsen K122 en K121, en dit in 2 langswaaien (prikken 78 => 88 en 75 => 10). In totaal worden zo 22 priklocaties in detail beschouwd.



Figuur 1: Priklocaties van Vlaamse Hydrografie ter hoogte van het A2 dok, met aanduiding van beschouwde priklocaties

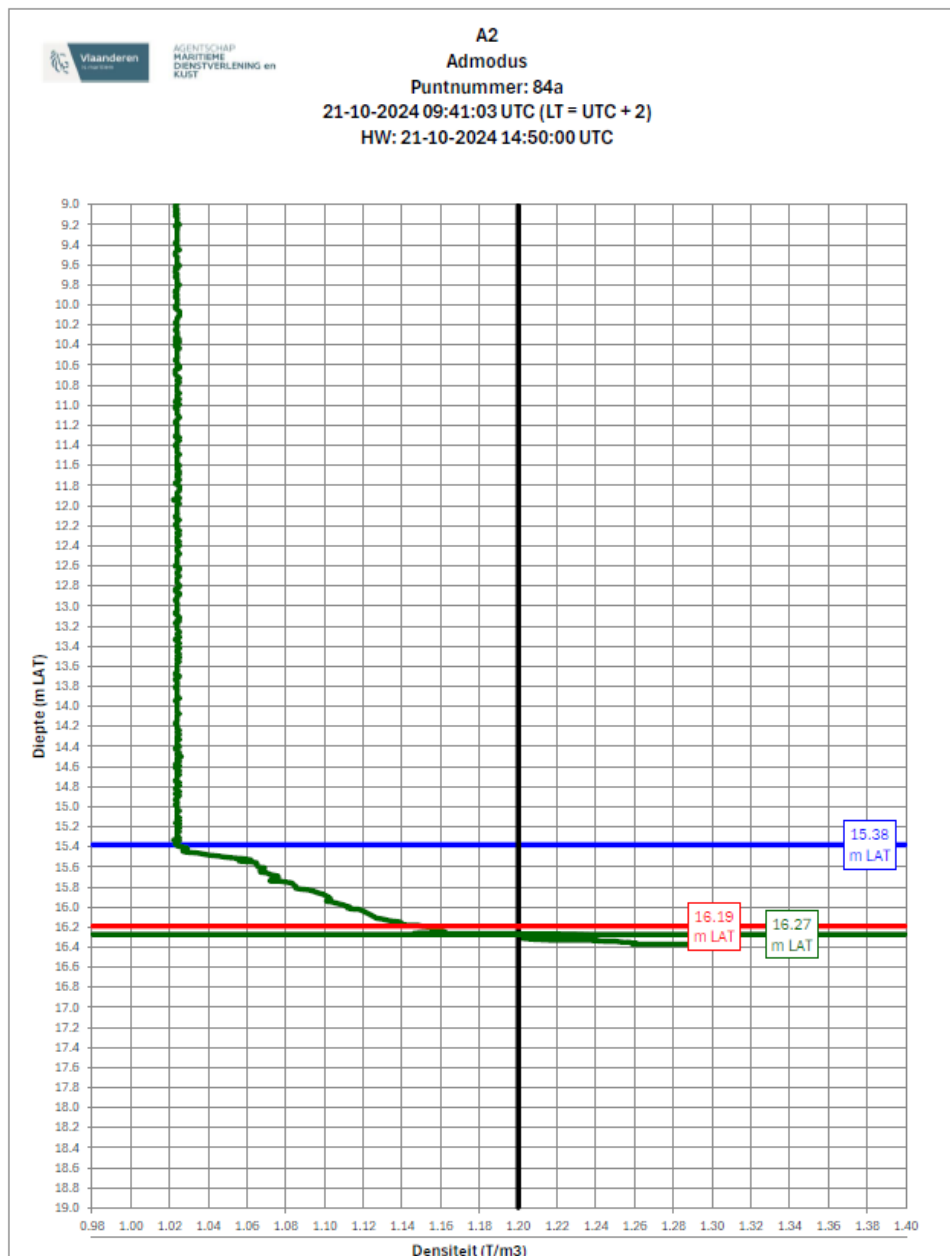
Voor het opmeten van het volledig densiteitsprofiel maakt Vlaamse Hydrografie gebruik van het Admodus USP toestel (zie Figuur 2). Meer informatie m.b.t. dit toestel kan teruggevonden worden in Meire et al. (2020). Dit toestel wordt ingezet sinds de zomer van 2021. Op basis van dit profiel kan de diepteligging van de $1,15 \text{ t/m}^3$ en de $1,20 \text{ t/m}^3$ bepaald worden, zoals weergegeven in Figuur 3.



Figuur 2: Meting met Admodus tijdens een meetcampagne

2.1.2 Single Beam meting

Tijdens elke prikmeting wordt ook een single beam peiling gemaakt aan 2 frequenties, namelijk de 210 kHz en de 24 kHz. Deze 2 metingen worden gelogd juist voordat de prikmeting met de Admodus wordt uitgevoerd. De hoogfrequente 210 kHz reflecteert op de topslib laag, waar de overgang van zeewater naar de sliblaag begint. De 24 kHz reflecteert dieper in de sliblaag. Deze 24 kHz meting is quasi identiek als de iets meer gangbare 33 kHz (diepteverschil van de reflector is maximaal een grootte orde van enkele centimeters, cfr. communicatie Vlaamse Hydrografie). De metingen door Vlaamse Hydrografie worden uitgevoerd met het meetschip Jan Breydel.



Figuur 3: Voorbeeld van een densiteitsprik van Vlaamse Hydrografie met indicatie van karakteristieke waarden (blauw = 210 kHz reflector, groen = 1,20 t/m³, rood = 24 kHz reflector)

De single beam metingen en densiteitsprik worden quasi gelijktijdig uitgevoerd, al dienen volgende bemerkingen (onzekerheden) vermeld:

- Aangezien tijdens het meten van het densiteitsprofiel het schip dient gepositioneerd te worden op de meetlocatie, wordt de single beam peiling vóór de densiteitsmeting uitgevoerd (anders te veel turbulentie)
- De locatie van densiteitsopname en echosounder is niet gelijk, hier zit enkele meters verschil
- Door drift tijdens de meting en stromingen in de waterkolom kan de kabel met de Admodus probe afdrijven van het meetschip, waardoor een grotere afstand tussen beide metingen mogelijk wordt. De Admodus heeft geen onafhankelijke plaatsbepaling, dus deze afstand is ongekend.

2.2 Overzicht beschikbare metingen

Binnen deze studie worden de beschikbare metingen geanalyseerd in de periode van september 2021 tot februari 2025 (42 maanden).

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de metingen die beschikbaar zijn gesteld door Vlaamse Hydrografie. Enkel metingen binnen een afstand van 20 m tot de theoretische priklocatie werden weerhouden, om te vermijden dat grote variaties in de metingen te wijten kunnen zijn aan de positionering. Per datum wordt een overzicht gegeven van de verschillende metingen die beschikbaar zijn. Indien voor minder dan de helft van de meetlocaties 24 kHz single beam meetwaarden (SB24) beschikbaar zijn (bv. door de aanwezigheid van een afgemeerd schip op de meetlocatie, of ongeldige metingen), zijn deze aangeduid met een groene achtergrond kleur. Andere metingen (SB 210 kHz, densiteit) zijn dan ook niet beschikbaar.

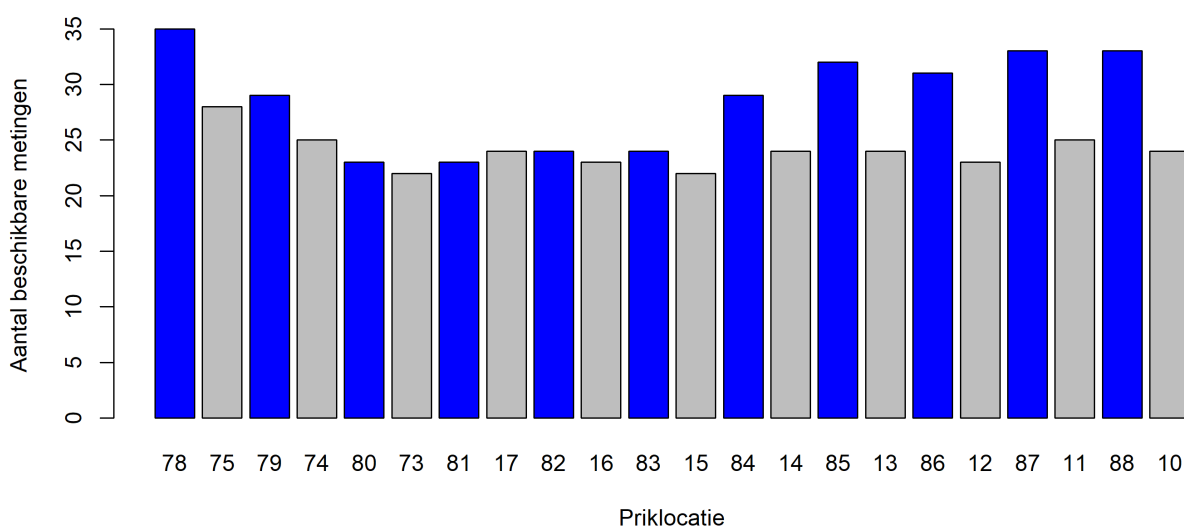
Tabel 1: Overzicht van de meetdagen en beschikbare afgeleide parameters gedurende de beschouwde periode op de beschouwde locaties

Meetdag	SB 210 kHz	SB 24 kHz	1,15 t/m ³	1,20 t/m ³
2021				
03/09	v	v		v
27/09	v	v		v
29/10	v	v		v
16/11	v	v		v
2022				
04/01	v	v		v
09/02	v	v		v
11/04	v	v		v
13/05	v	v		v
09/06	v	v		v
12/07	v	v		v
05/08	v	v		v
02/09	v	v		v
03/09	v	v		v
28/10	v	v		v
01/12	v	v		v

2023				
06/01	v	v	v	v
09/02	v	v	v	v
06/03	v	v	v	v
05/04	v	v	v	v
04/05	v	v		v
13/06	v	v	v	v
14/07	v	v	v	v
30/08	v	v	v	v
12/10	v	v	v	v
2024				
11/01	v	v	v	v
08/02	v	v	v	v
05/03	v	v	v	v
26/04	v	v	v	v
23/05	v	v		v
01/07	v	v	v	v
26/08	v	v		v
24/09	v	v		v
21/10	v	v		v
14/11	v	v		v
11/12	v	v		v
2025				
08/01	v	v		v
05/02	v	v		v

Over de volledige periode van september 2021 tot en met februari 2025 werden 37 meetcampagnes geregistreerd. Hiervan zijn er 8 met een zeer beperkte hoeveelheid data. De beschikbaarheid van de ligging van de 1,15 t/m³ is slechts voor een 13 meetcampagnes weergegeven, waarvan 2 met een beperkte hoeveelheid data. Deze parameter wordt niet gebruikt operationeel, en wordt daardoor niet consequent opgeleverd.

In Figuur 4 zijn het aantal beschikbare metingen (24 kHz reflector) weergegeven per meetlocatie. Voor de metingen langs de kaai (locatie 75-10 op Figuur 1 en grijze balken in Figuur 4) is er geen duidelijke longitudinale variatie in beschikbare metingen. Het parallelle transect iets centraler in het dok (locatie 78-88 op Figuur 1 en blauwe kleur in Figuur 4) kent afwaarts iets meer beschikbare metingen, vanaf locatie 84 tot en met 88. Vermoedelijk meren hier iets kleinere schepen aan, waardoor bij afmeren toch metingen gedaan kunnen worden. Ook op locatie 78 zijn er meer metingen beschikbaar, vermoedelijk komen de meeste schepen niet zover te liggen en kunnen hier dan wel metingen uitgevoerd worden. Voor de andere metingen (210 kHz reflector en densiteitsmeting) is het aantal beschikbare metingen uiteraard gelijkaardig.



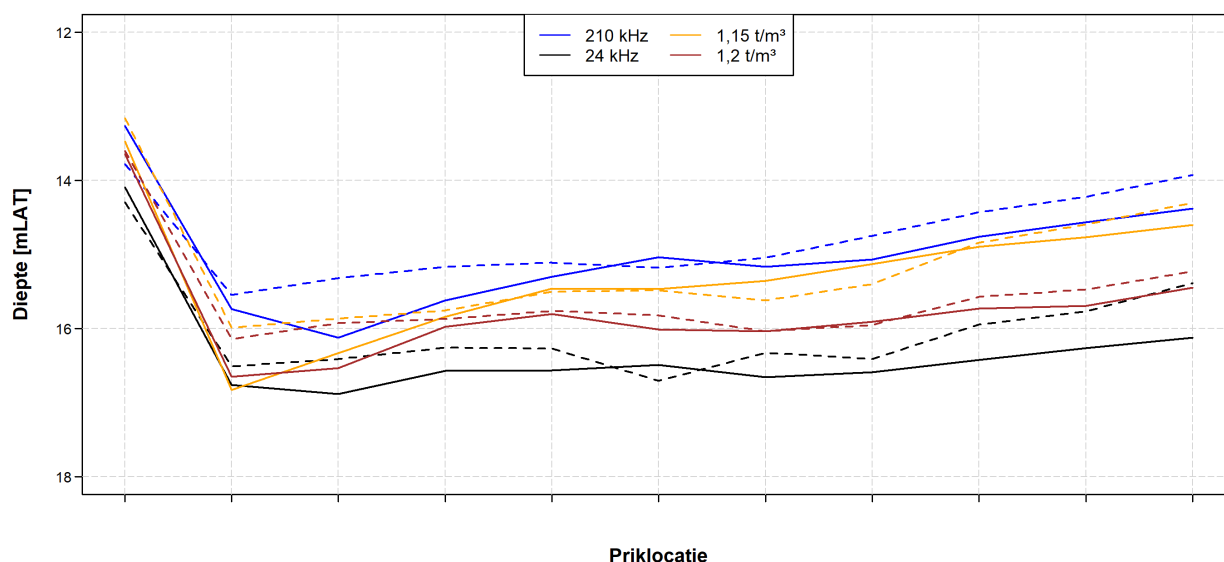
Figuur 4: Aantal beschikbare metingen per meetlocatie, gerangschikt van het uiteinde van het dok richting CDN. Grijs = transect langs kaai, blauw = transect centraler in dok

3 Resultaten

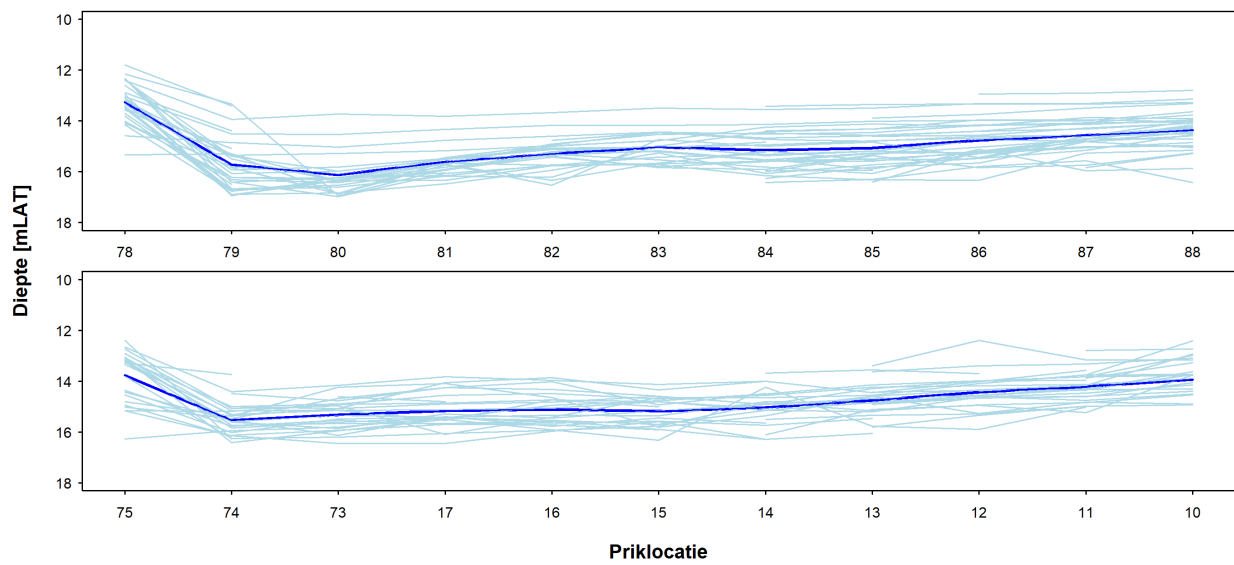
3.1 Algemene beschrijving

In Figuur 5 is een overzicht weergegeven van de gemiddelde diepteligging van de verschillende parameters, langsheen de 2 longitudinale transecten: priklocaties 75-10 vlak bij de kaaien en locaties 78-88 centraler in het dok (zie ook Figuur 1). Dit gemiddelde werd genomen op basis van alle beschikbare meetgegevens per meetlocatie en is dus niet voor alle meetlocaties gebaseerd op evenveel metingen (zie ook Figuur 4).

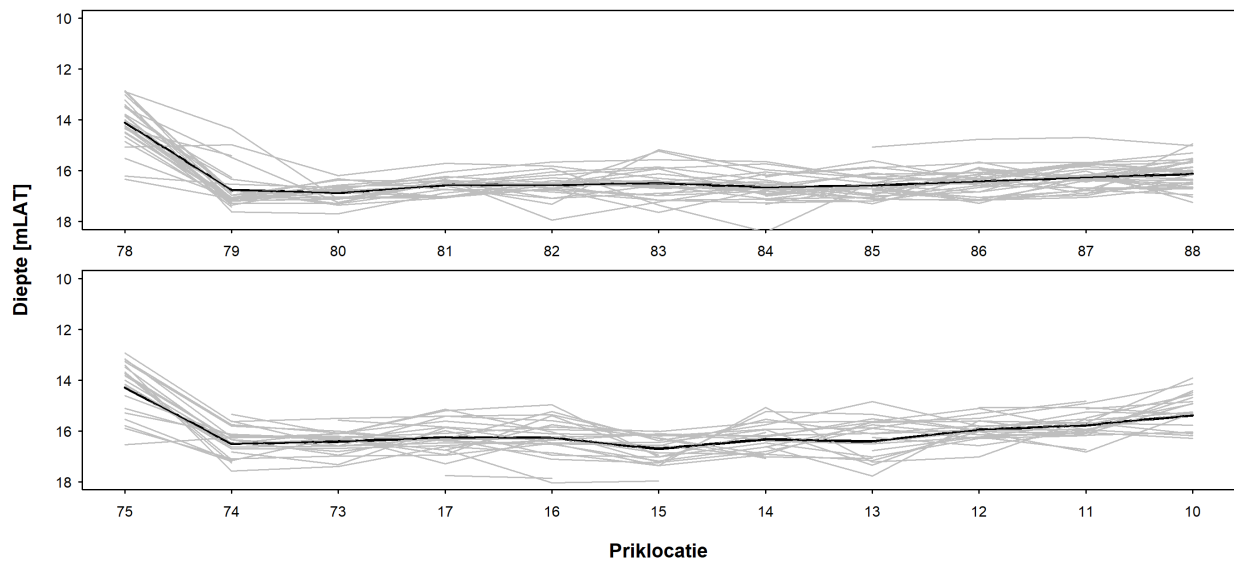
Voor alle parameters wordt een grote stijging van de diepteligging waargenomen tussen de eerste twee meetlocaties aan het uiteinde van A2 dok. Vervolgens neemt de diepteligging opnieuw af richting CDNB. Langsheen beide transecten wordt hetzelfde verloop teruggevonden. Ondanks dit duidelijke beeld is er heel wat spreiding op de data. Voor elke parameter is de spreiding op deze gemiddelde waarde weergegeven als een spaghetti plot, in Figuur 6 tot en met Figuur 9.



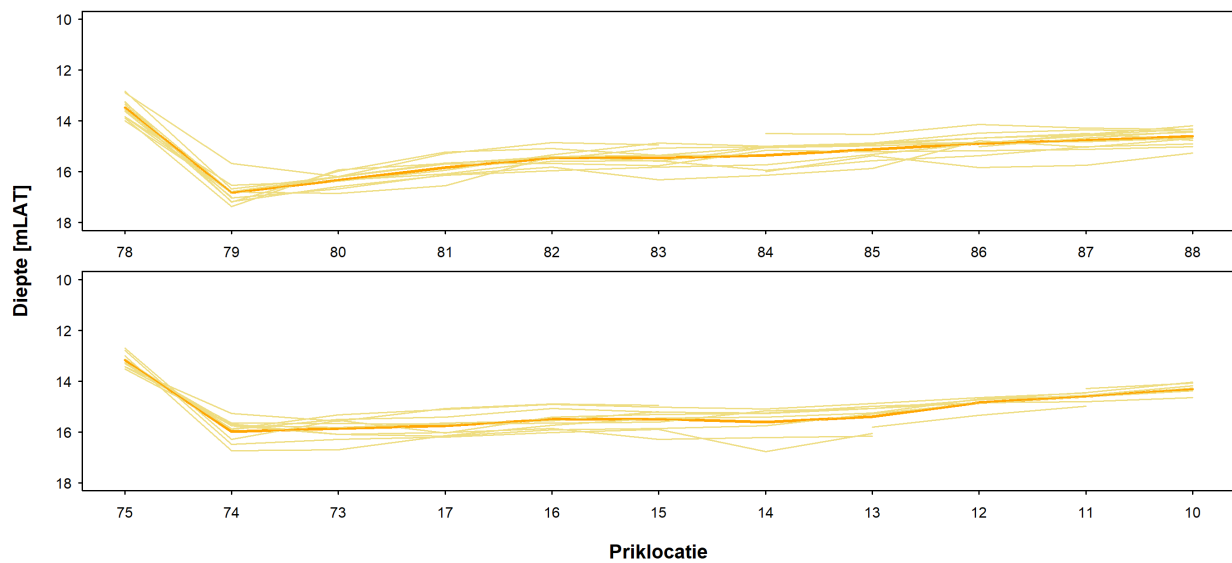
Figuur 5: Gemiddelde diepteligging van de 210 kHz, 24 kHz reflector en 1,15 t/m³ en 1,20 t/m³ diepteligging van het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, 75-10 bij de kaaien (stippellijn) en 78-88 centraler in het dok (volle lijn)



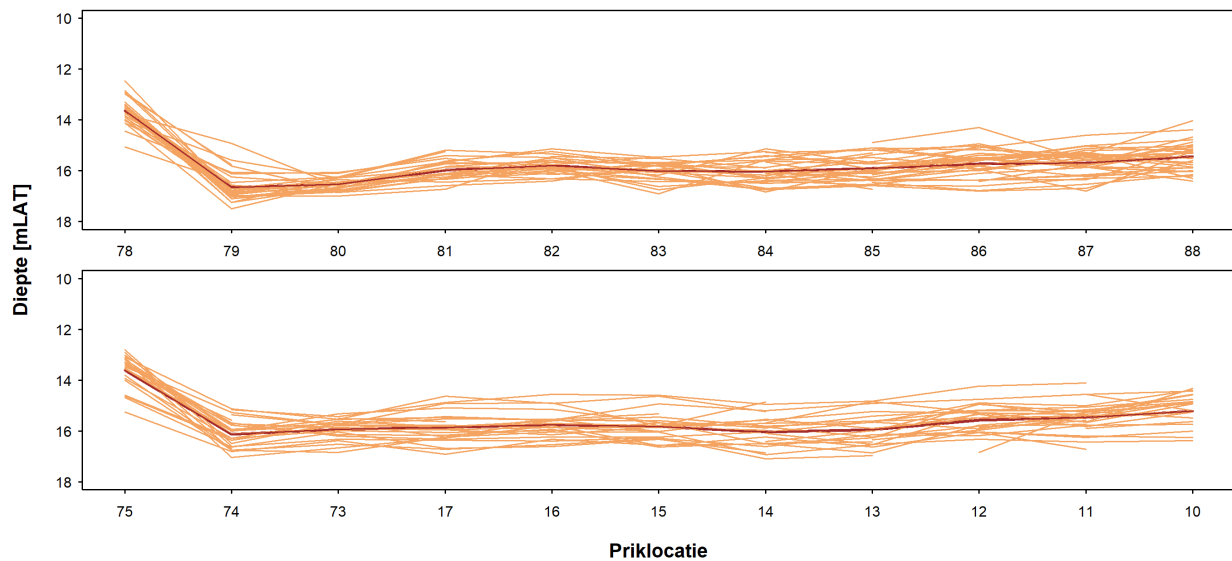
Figuur 6: Verloop van de 210 kHz reflector van het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, met een gemiddelde waarde (blauw) en alle metingen (lichtblauw)



Figuur 7: Verloop van de 24 kHz reflector vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts) voor 2 transecten, met een gemiddelde waarde (zwart) en alle metingen (grijs)



Figuur 8: Verloop van de 1,15 t/m³ diepteligging vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts), met een gemiddelde waarde (oranje) en alle metingen (licht oranje)



Figuur 9: Verloop van de 1,20 t/m³ diepteligging vanaf het uiteinde van A2 dok (links) richting CDNB (rechts), met een gemiddelde waarde (bruin) en alle metingen (licht bruin)

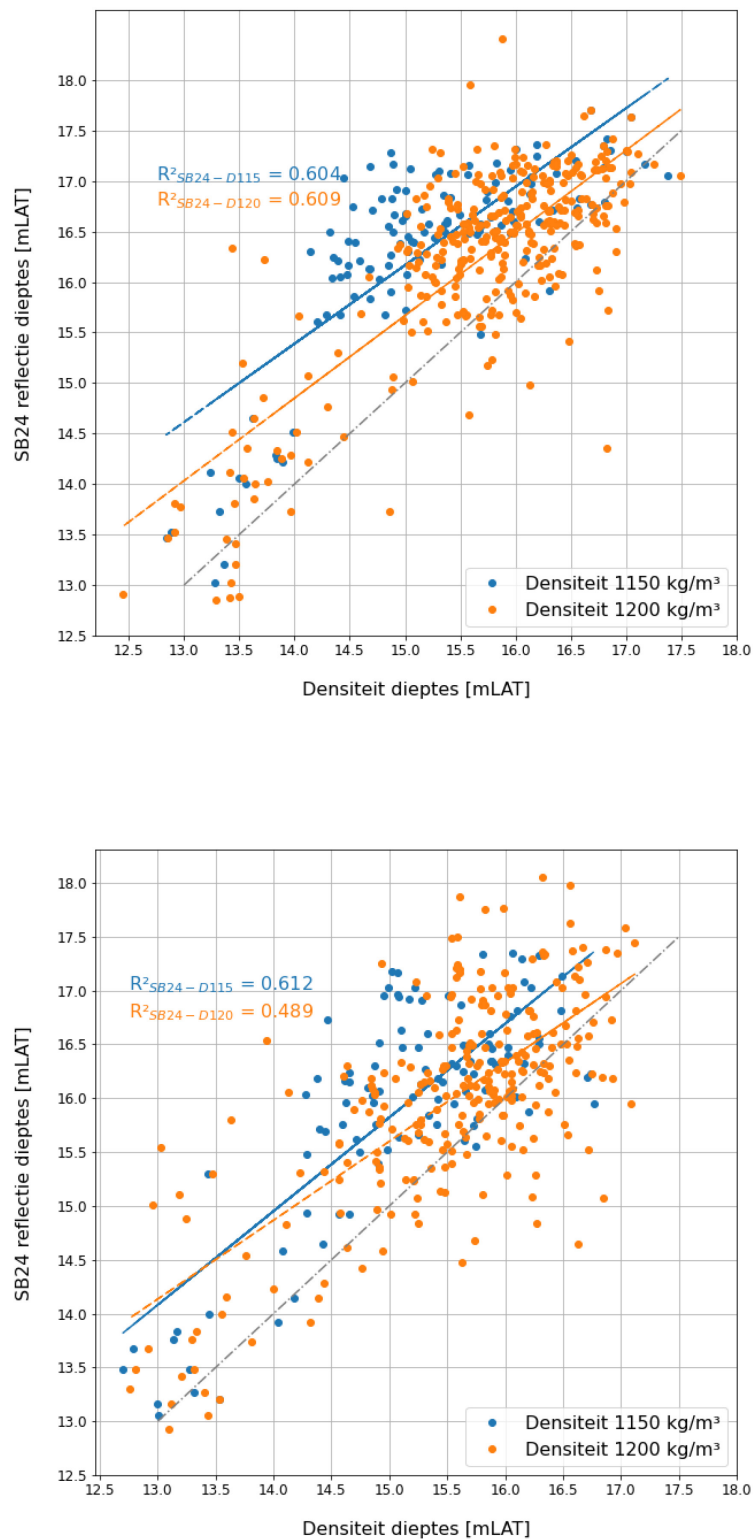
3.2 Relatie densiteitsmeting en echosounding

In Bijlage 1 is het tijdverloop, van september 2021 tot februari 2025, van zowel de 210 kHz en 24 kHz reflector weergegeven voor elke priklocatie, naast de diepteligging van de 1,15 t/m³ (indien beschikbaar) en 1,20 t/m³ densiteit. Hierbij valt naast de grote spreiding ook het soms chaotisch verloop in de metingen op. Als validatie werd nagegaan of de SB 210 kHz steeds boven de 24 kHz reflector gelegen is, wat steeds het geval is. Daar tegenover zijn er wel meerdere metingen waarbij de 1,2 t/m³ boven de 210 kHz reflector gelegen is, wat niet kan. Dit werd vooral op volgende priklocaties meermaals (>4) opgemerkt en in volgorde van voorkomen: priklocatie 75, 78, 81, 82, 80. Priklocaties 75 en 78 zijn gelegen aan het uiteinde van het dok, waar ook de gradiënten in de ligging van de verschillende variabelen (SB210, SB24, D120) het grootst zijn (zie Figuur 7 t.e.m. Figuur 9).

De correlatie tussen densiteit en SB24 is inzichtelijk gemaakt op basis van een scatterplot voor transecten 78-88 (Figuur 11, boven) en 75-10 (zie Figuur 11, onder). De scatterplot per individuele priklocatie is weergegeven in Bijlage 2. De determinatie coëfficiënt (R^2) voor de twee transecten is relatief hoog (ca. 0,6 en 0,5), voor de individuele meetlocaties worden lage waarden bekomen (zie Tabel 2).

Tabel 2: Determinatie coëfficiënt (R^2) voor de lineaire fit, per transect en per meetlocatie, tussen 24 kHz reflector en 1,2 t/m³ diepteligging

78 -> 88	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
0,61	0,18	0,18	0,37	0,03	0,02	0,08	0,02	0,27	0,13	0,09	0,27
75 -> 10	75	74	73	17	16	15	14	13	12	11	10
0,49	0,19	0,41	0,23	0,30	0,24	0,06	0,03	0,15	0,03	0,24	0,05

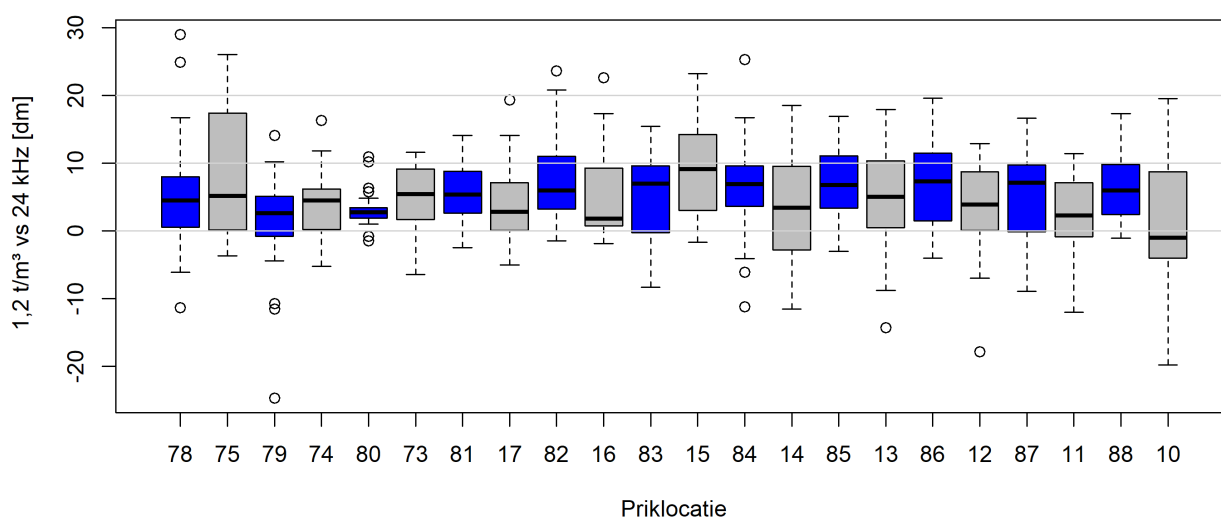


Figuur 10: Scatterplot van densiteit en SB24 dieptes, met lineaire fit en 1:1 lijn, voor alle metingen in het transect 78-88 (boven) en transect 75-10 (onder) langsheen het Albert II dok

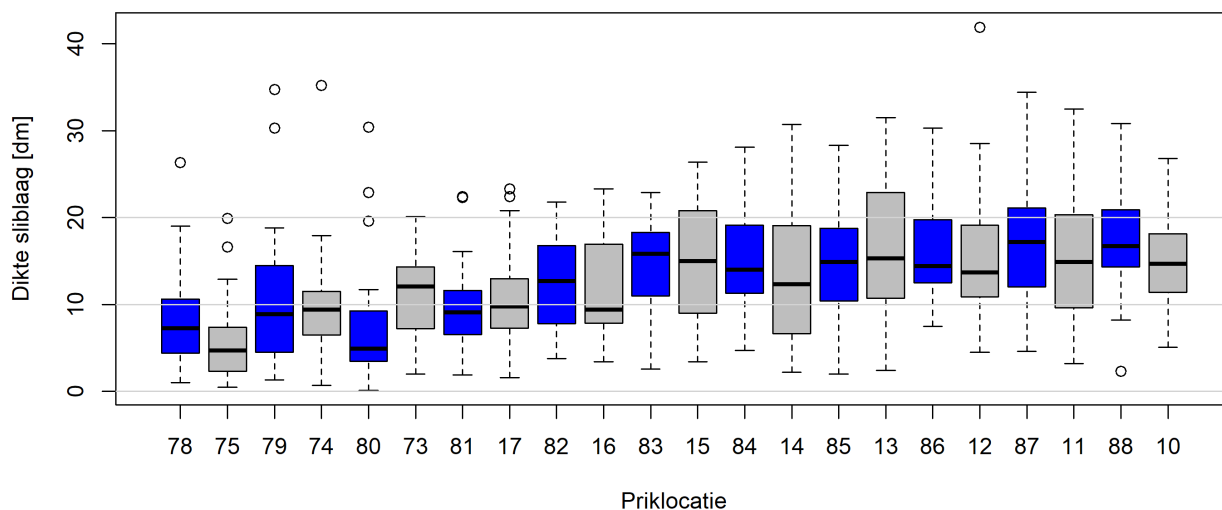
Deze spreiding is ook samengevat in Figuur 11 aan de hand van een boxplot van het verschil in de diepteligging van de 1,20 t/m³ en de 24 kHz reflector. Het mediane verschil wordt aangegeven als de zwarte horizontale lijn in elke box. De spreiding is enerzijds weergegeven aan de hand van de grootte van de boxen, die afgebakend zijn op respectievelijk het 1^e en 3^e kwartiel van de verdeling. Daarnaast geven de verticale lijnen ("whiskers") een idee van de maximale spreiding, daarbuiten worden de datapunten als outliers (weergegeven als cirkels) beschouwd.

Noch in het mediane verschil of in de spreiding kan een heel duidelijk ruimtelijk patroon worden herkend. De grootste spreiding wordt waargenomen op priklocatie 75 (met een interkwartielafstand van 17dm). Ter hoogte van deze locatie zijn er sterke gradiënten in de ligging van de sliblaag, die deze spreiding vermoedelijk veroorzaken (zie ook opmerkingen sectie 2.1.2). Gemiddeld bedraagt deze interkwartielafstand 8,5 dm.

Het gemiddelde verschil in de diepteligging tussen de 1,20 t/m³ ligging en de 24 kHz reflector, voor alle meetlocaties, bedraagt afgerond 5 dm (de gemiddelde mediaan bedraagt 4,7 dm). Op de langsraai tegen de kaai (locaties 75-10) is dit verschil gemiddeld 4,5 dm, op de langsraai centraler in het dok (78-88) bedraagt dit 5,3 dm. Op alle locaties ligt de mediane waarde van de 1,20 t/m³ boven deze van de 24 kHz reflector. Uitzondering hierop is priklocatie 10, gelegen tegen de kaaimuur aan de CDNB zijde van het Albert II dok, met een mediane verschilwaarde van -1 dm (zie ook Figuur 11).



Figuur 11: Verschil in diepteligging van de 1,20 t/m³ en 24 kHz reflector voor de verschillende beschouwde priklocaties, geordend van het uiteinde van de dok (links) richting CDNB (rechts). Een positieve waarde wil zeggen dat de 1,2 t/m³ boven de SB24 ligt.



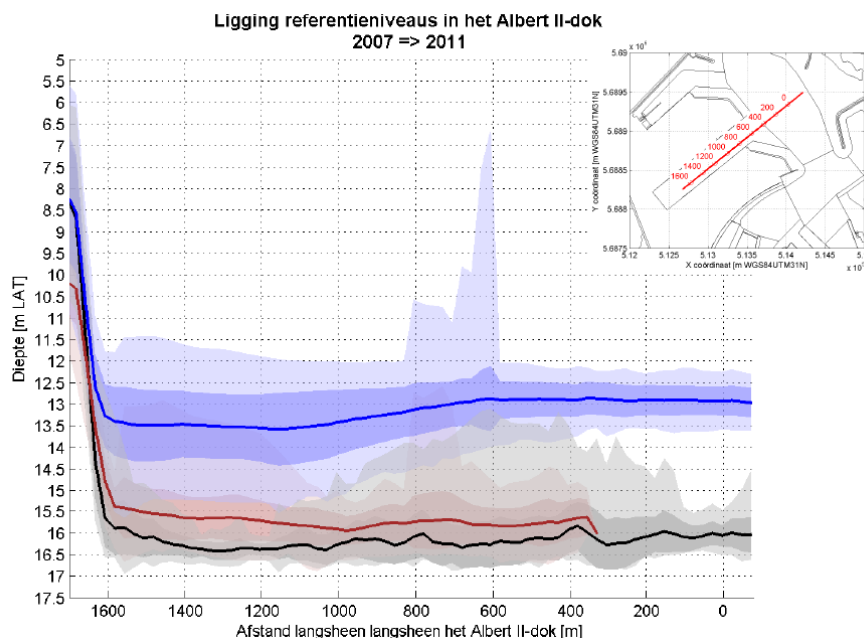
Figuur 12: Dikte van de sliblaag [in dm] gebaseerd op de SB210 en SB 24 metingen, geordend van het uiteinde van de dok (links) richting CDNB (rechts).

Eveneens is in Figuur 12 de dikte van de sliblaag weergegeven op de verschillende beschouwde priklocaties, gedefinieerd als het verschil in de ligging van de SB210 en SB24. Links in Figuur 12 zijn de locaties aan het uiteinde van het dok weergegeven, rechts deze aan de zijde van CDNB. De grijze boxen zijn de locaties tegen de kaaimuur, de blauwe de volgende raai. Het is duidelijk in deze figuur dat de dikte van de sliblaag toeneemt van het uiteinde van het dok richting CDNB. Vanaf priklocatie 83 is de dikte van de sliblaag consistent groter dan 1 m, en bedraagt hier gemiddeld over alle locaties ca. 1,5 meter. De spreiding op basis van de interkwartielafstand (grootte van de boxen) is kleiner naar het uiteinde van het dok (gemiddeld ca. 6 dm) en groter richting CDNB (ca. 9 dm gemiddeld). Daarentegen is het aantal outliers op priklocaties aan het uiteinde van het dok groter.

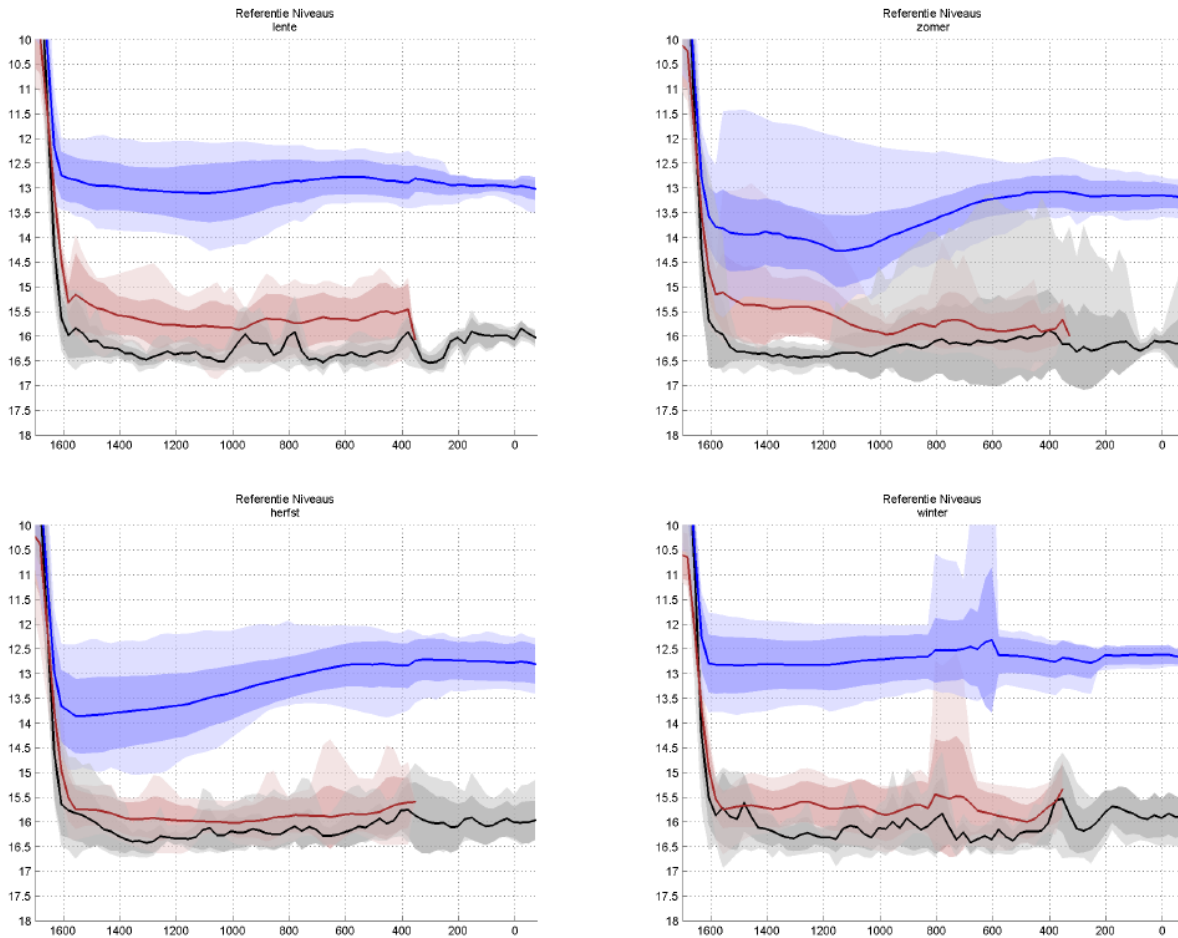
4 Discussie & conclusie

In de haven van Zeebrugge wordt een dik slibpakket waargenomen. Om de karakteristieken van deze sliblaag in beeld te brengen wordt door Vlaamse Hydrografie een maandelijkse meetcampagne ingepland voor het meten van de densiteit van deze sliblaag. In het Albert II dok wordt op ca. 100 locaties dergelijke meting uitgevoerd. Deze meting wordt uitgevoerd door het Admodus toestel neer te laten. Op dit densiteitsprofiel wordt vervolgens de diepte van de 1,20 t/m³ densiteit bepaald, welke gehanteerd wordt als onderdeel van de lokale definitie van de nautische bodem. Naast dit densiteitsprofiel wordt eveneens een opname gemaakt met behulp van een echosounder, met name van de diepte van de primaire reflectie van de 210 kHz en 24 kHz akoestische golf. De 210 kHz reflecteert op de water – slib overgang. De oorzaak van de reflectie van de 24 kHz is onduidelijker en bevindt zich diep(er) in de sliblaag.

Voorgaand onderzoek op basis van metingen in het Albert II dok voor de periode van 2007 tot 2011 werd uitgevoerd in Dujardin et al. (2016). Merk op dat de dataset van dat onderzoek de 33 kHz reflector bevat, in plaats van de 24 kHz reflector die in deze studie is opgeleverd. Figuur 13 geeft het verloop van de gemiddelde ligging van de 210 kHz reflector langsheen het Albert 2 dok weer, evenals deze van de 1,20 t/m³ en 33 kHz reflector. De gemiddelde diepteligging van de 1,20 t/m³ is hoger dan deze van de 33 kHz reflectie. Aan het uiteinde van het dok lijkt het verschil in de diepteligging tussen beiden iets groter dan aan de ingang van het dok, al dient hier ook rekening gehouden te worden met de zeer grote spreiding van de meetgegevens. Naast de gemiddelde ligging werd in de studie van Dujardin et al. (2016) ook gefocust op het seizoenale patroon van de peilingen (zie Figuur 14). Het diepteverschil tussen de ligging van de 1,20 t/m³ en 33 kHz lijkt toe te nemen in de lente en de zomer en dit het meest uitgesproken achteraan in het dok.



Figuur 13: Gemiddelde ligging van de referentieniveaus in het Albert II-dok. Blauwe lijn – 210kHz-reflector (top van de sliblaag); donker bruine lijn: 1,20 t/m³ niveau; zwarte lijn – 33kHz-reflector.
(Figuur 23 uit Dujardin et al. (2016))



Figuur 14: Seizoensale variatie van niveaus in het Albert II-dok. 210kHz (blauw), Nautische bodem (bruin), 33kHz (zwart). De donker gekleurde banden geven de standaarddeviatie rond het gemiddelde aan, de lichter gekleurde banden de minimale en maximale diepteligging. (Figuur 48 uit Dujardin et al. (2016))

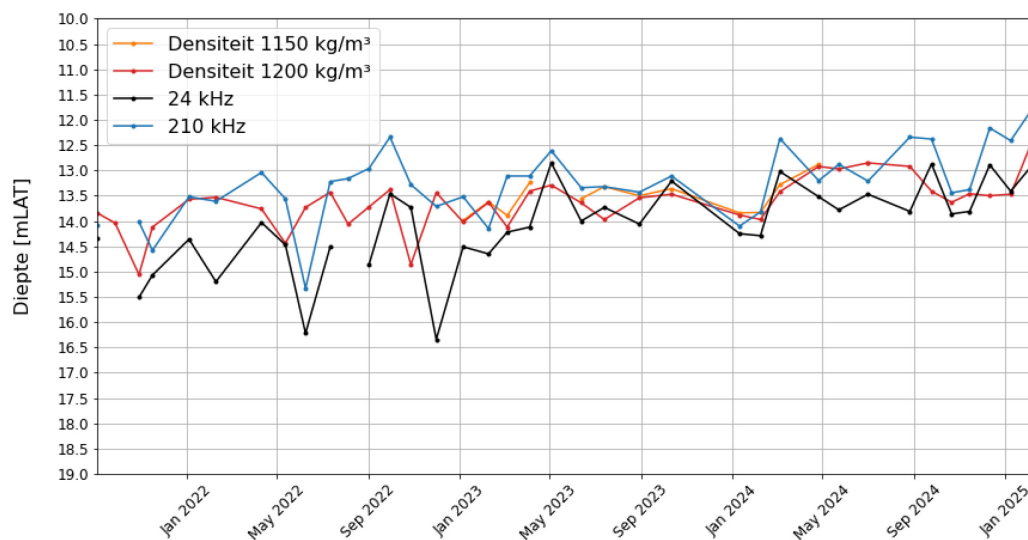
In dit rapport wordt de relatie nagegaan tussen de single beam peilingen en de densiteitsprikken. Voor de periode van september 2021 tot 2025 werden 37 campagnes uitgevoerd, waarbij er voor de priklocaties nabij de kaai ongeveer 25 beschikbaar zijn voor de analyse. Op basis van deze metingen is het gemiddelde verloop van de diepteligging van de 210 kHz & 24 kHz reflector enerzijds en de 1,15 t/m³ en 1,20 t/m³ densiteit langsheen de lengterichting van het A2 dok weergegeven (Figuur 5). Dit verloop komt goed overeen met de beschrijving in Dujardin et al. (2016). Uiteraard zit er heel wat spreiding op dit verloop. Ook voor het tijdsverloop van de metingen op verschillende locaties wordt soms een chaotisch patroon waargenomen. Over de volledige raaien is er een goede lineaire fit (hoge R²) tussen het densiteitsniveau en de SB24, op de individuele meetlocaties is dit minder het geval. Het gemiddelde verschil in de diepteligging tussen de 1,20 t/m³ ligging en de 24 kHz reflector bedraagt afgerond 5 dm. De spreiding is echter zeer groot. Op de langsraai tegen de kaai is dit verschil gemiddeld 4,5 dm, op de volgende langsraai bedraagt dit 5,3 dm.

5 Referenties

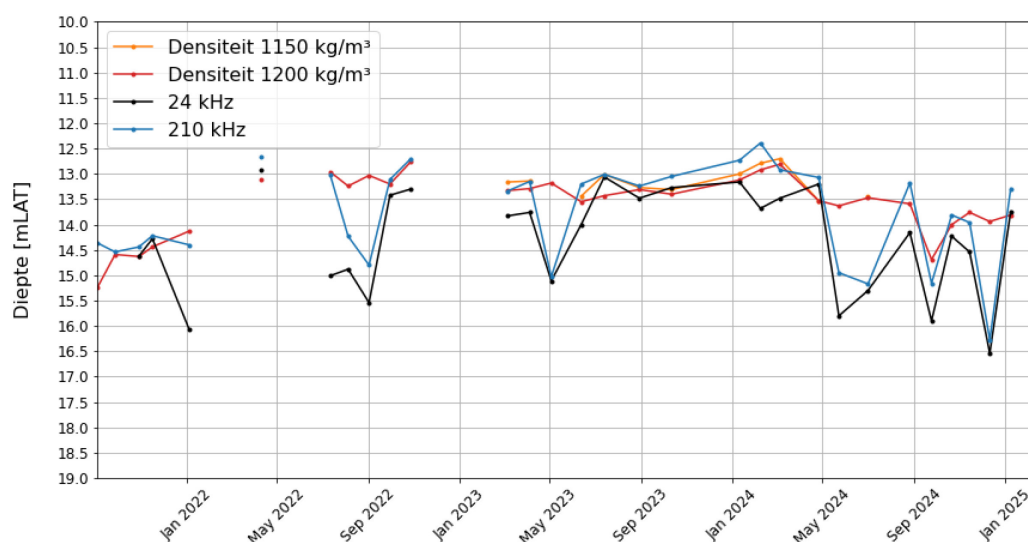
Dujardin, A.; Vanlede, J.; Van Hoestenbergh, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Invloedsfactoren op de ligging van de top van de sliblaag in het CDNB: Deelrapport 2 – Analyse periode 1999-2011. Versie 5.0. WL Rapporten, 00_078. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group: Antwerpen, België.

Meire, D.; Ibanez, M.E.; 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. IX, 104 + 8 p. bijl. pp.

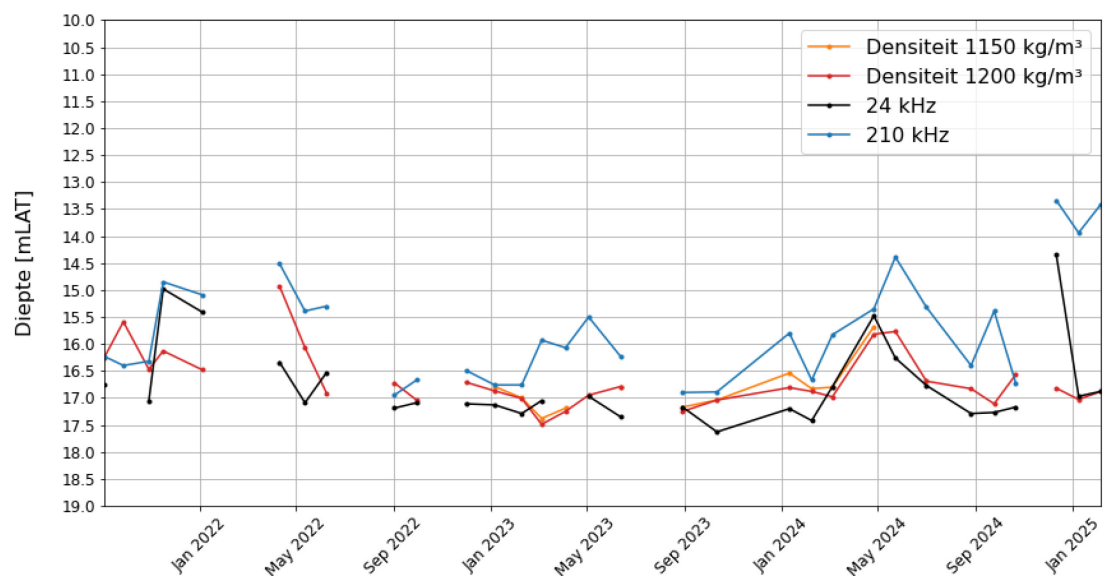
Bijlage 1 Tijdsverloop per individuele priklocatie



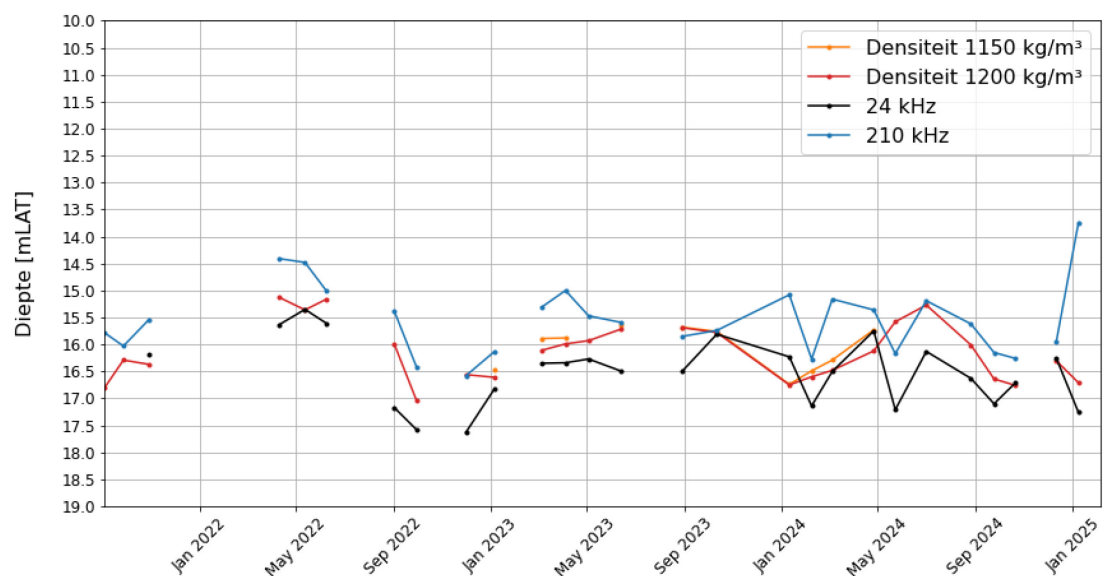
Figuur 15: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 78



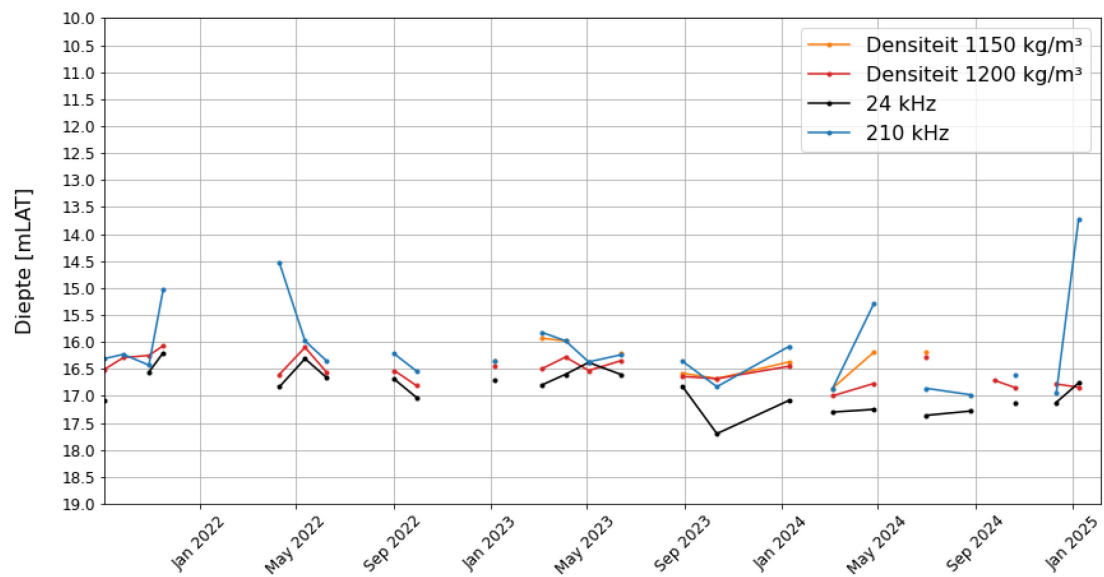
Figuur 16: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 75



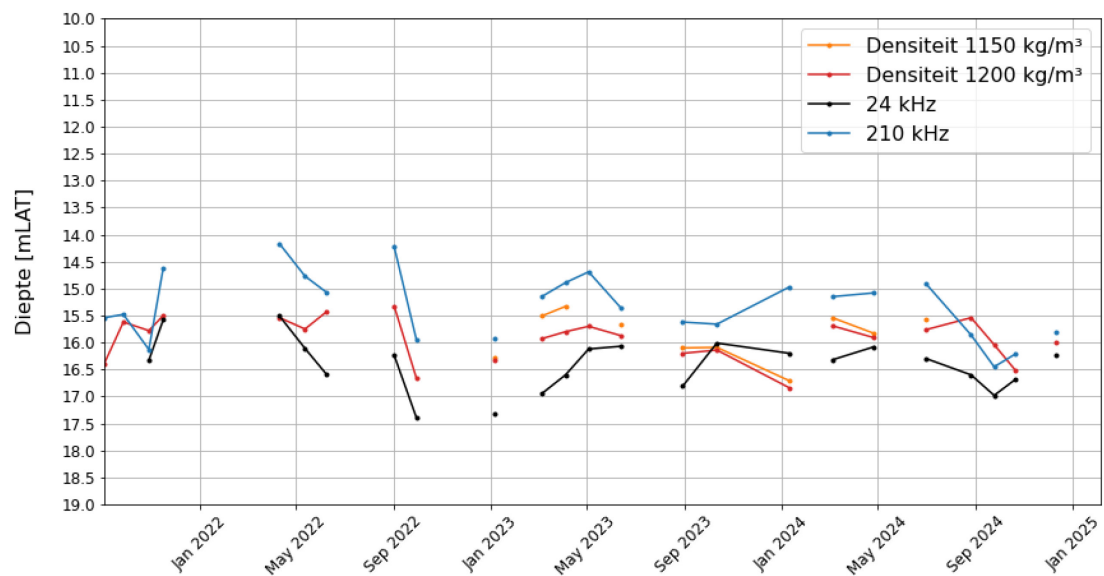
Figuur 17: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 79



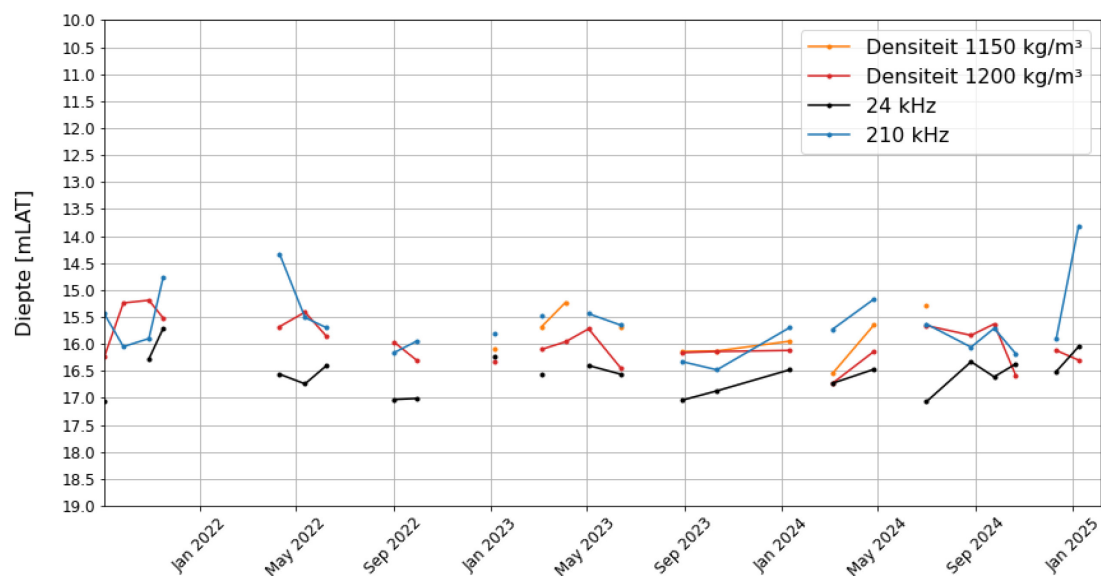
Figuur 18: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 74



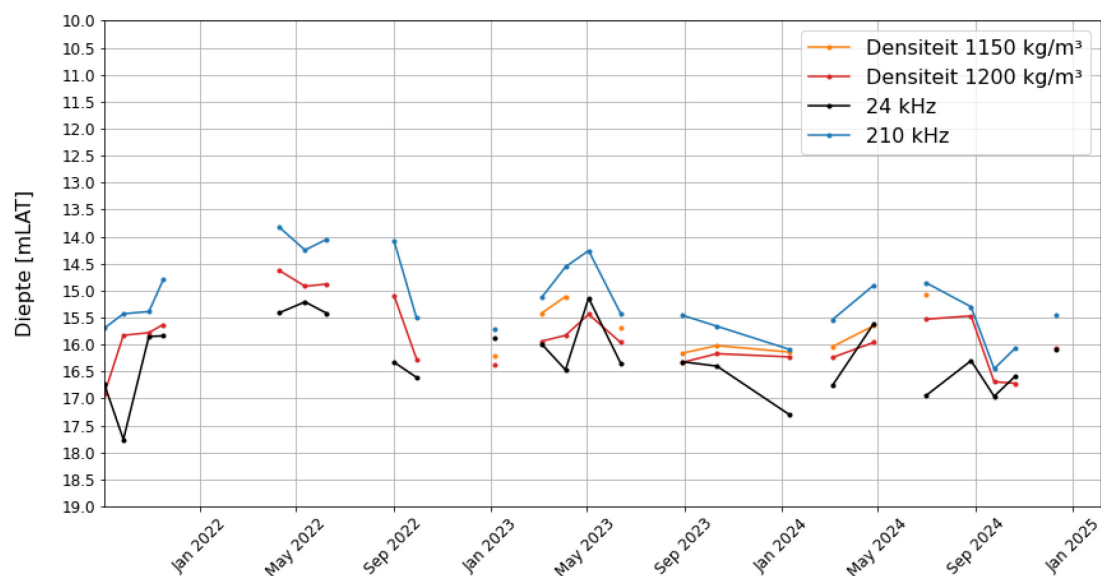
Figuur 19: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 80



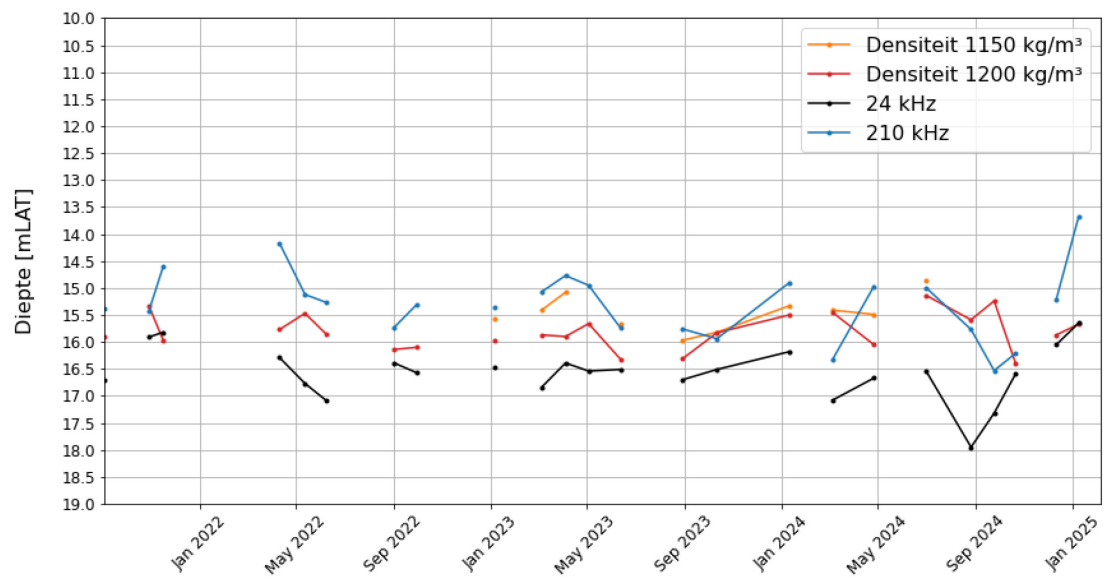
Figuur 20: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 73



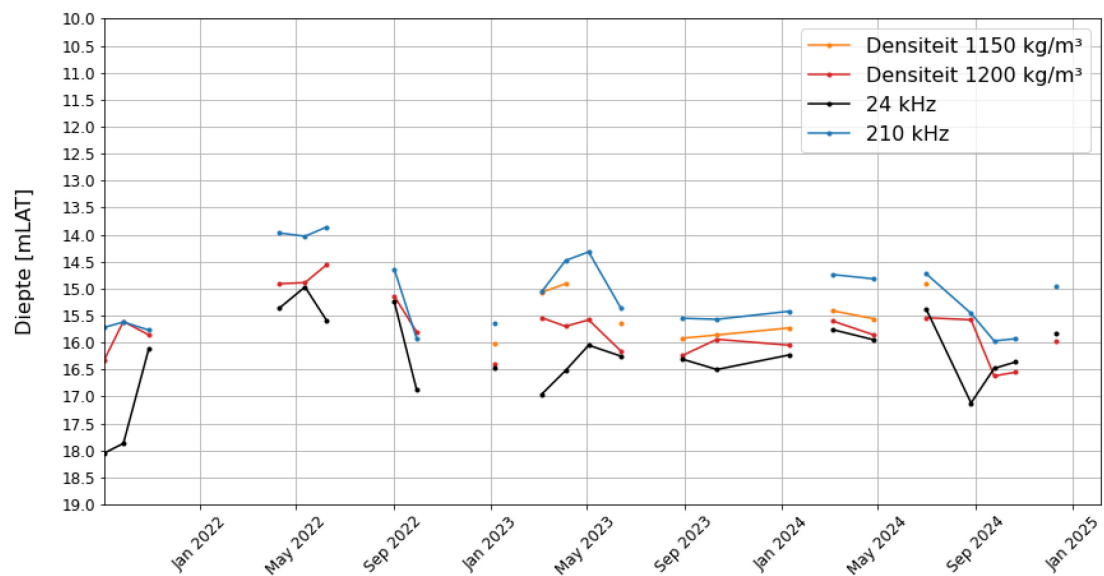
Figuur 21: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 81



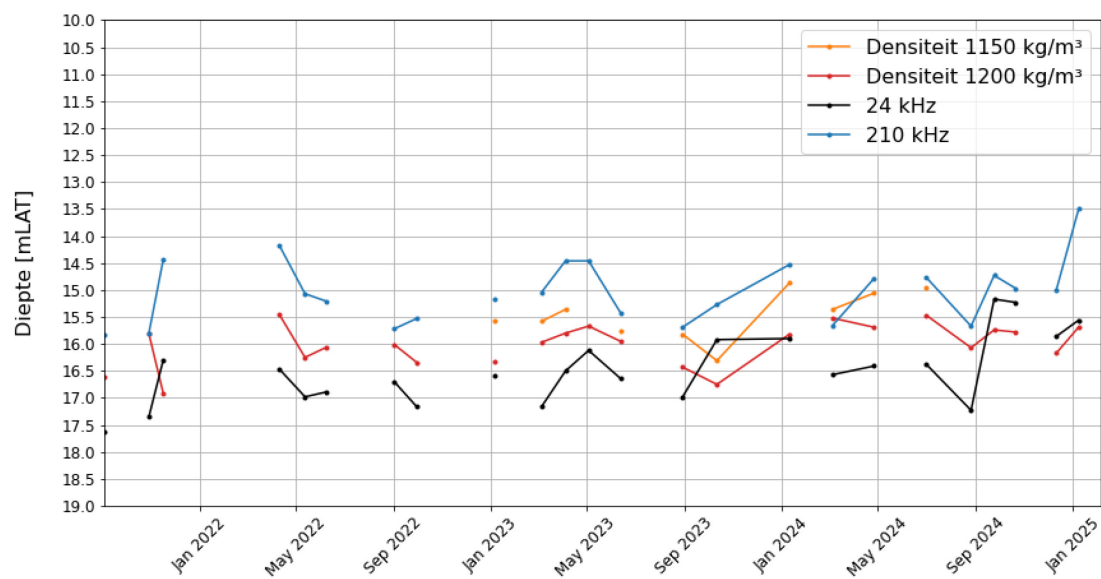
Figuur 22: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 17



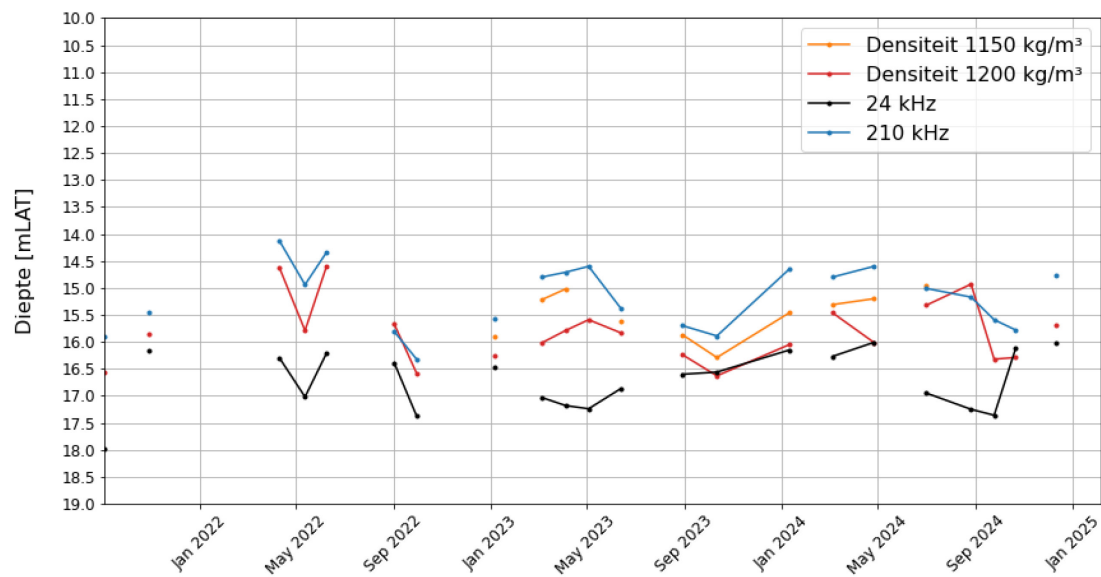
Figuur 23: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 82



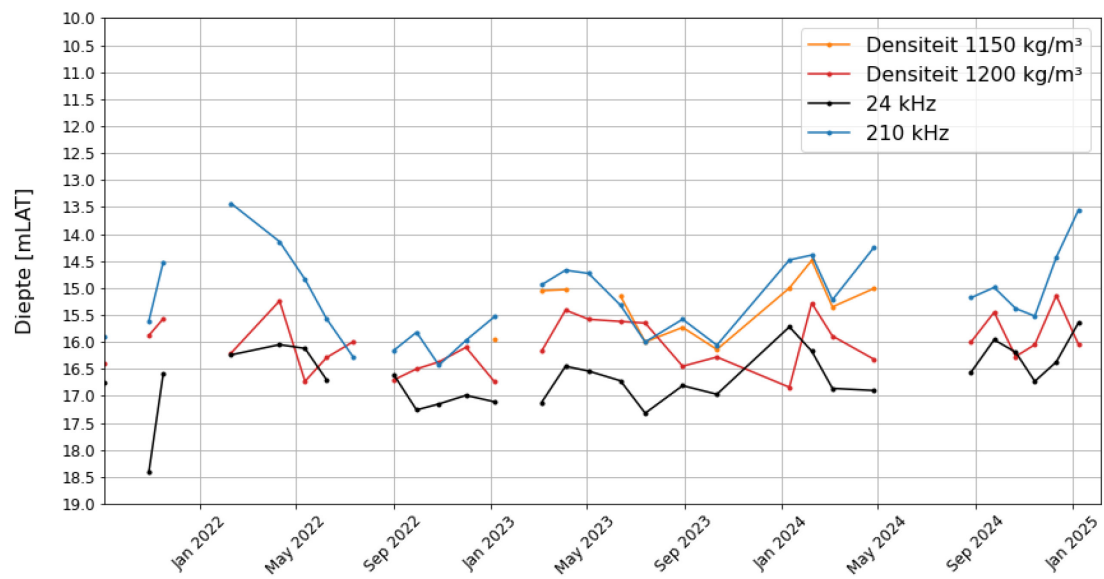
Figuur 24: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 16



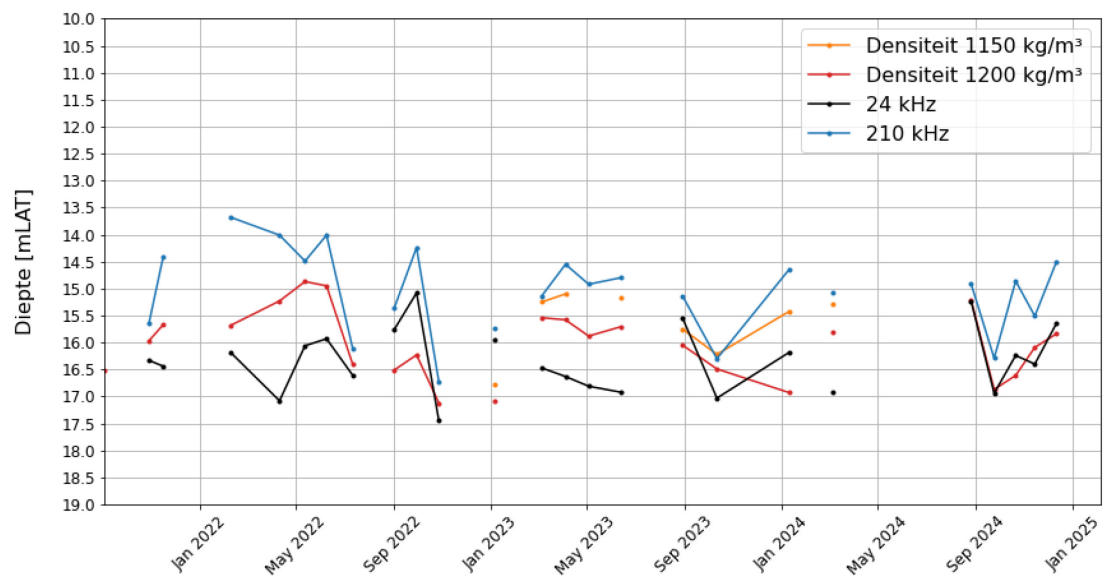
Figuur 25: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 83



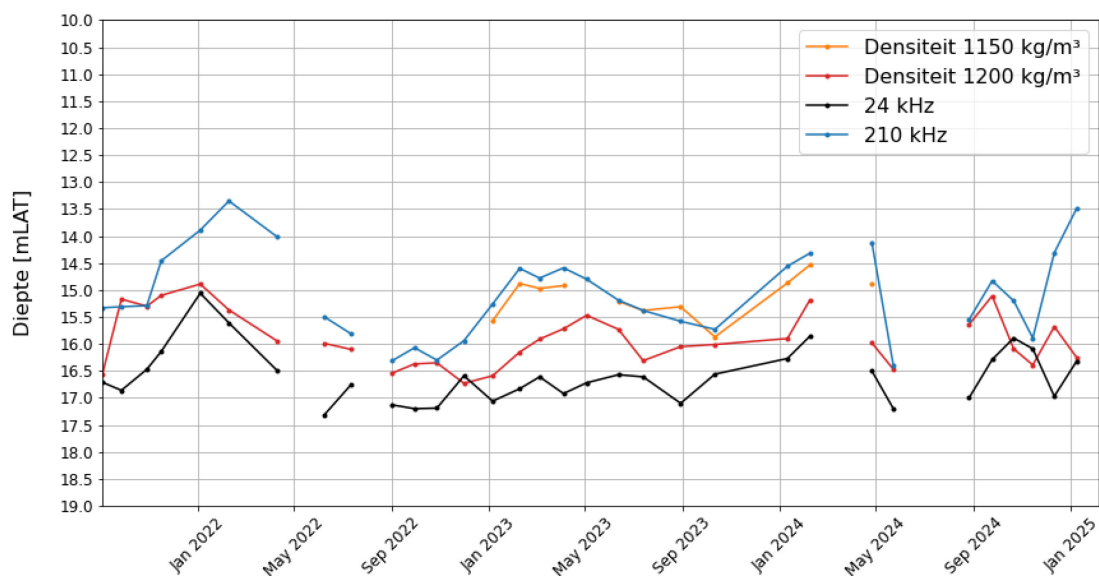
Figuur 26: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 15



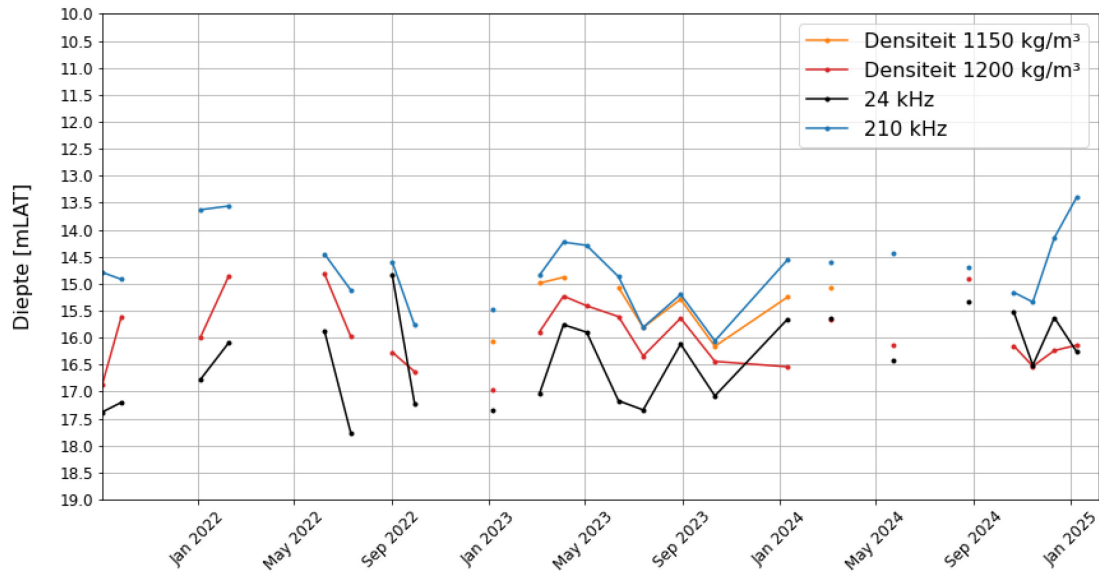
Figuur 27: Verloop van de diepteligger van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligger van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 84



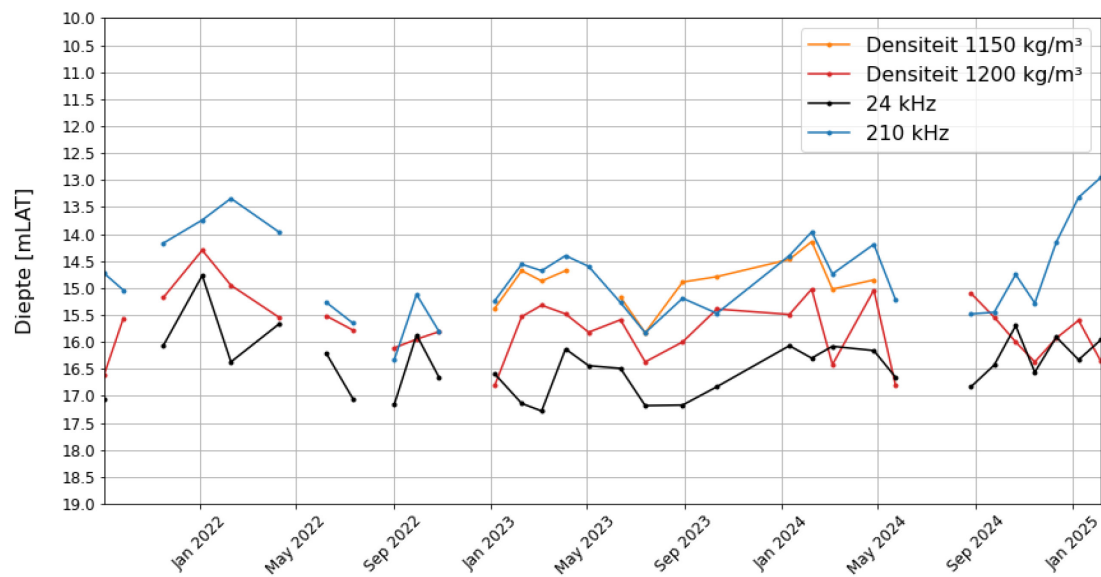
Figuur 28: Verloop van de diepteligger van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligger van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 14



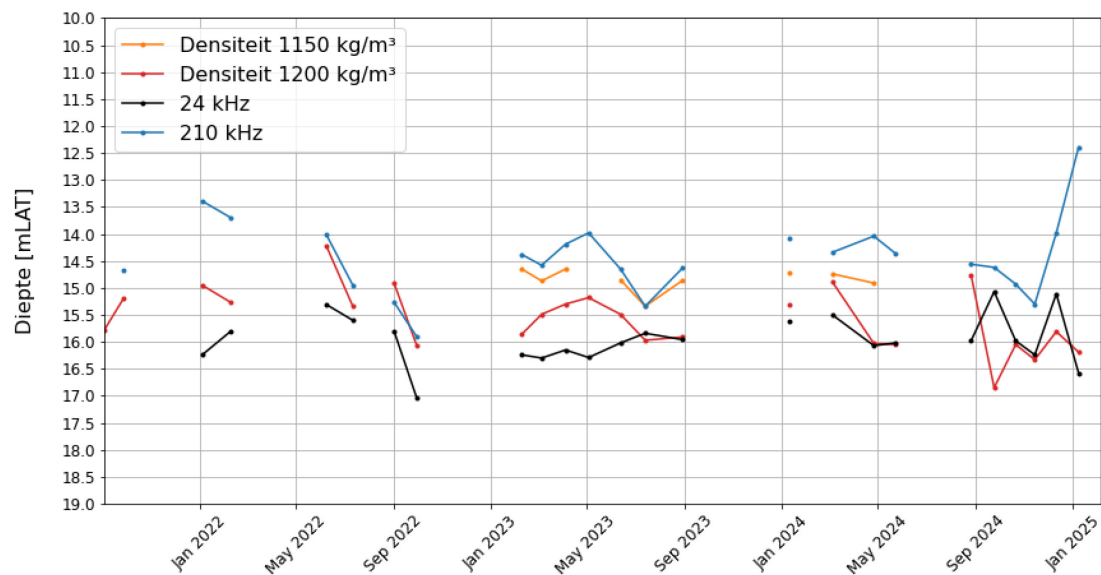
Figuur 29: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 85



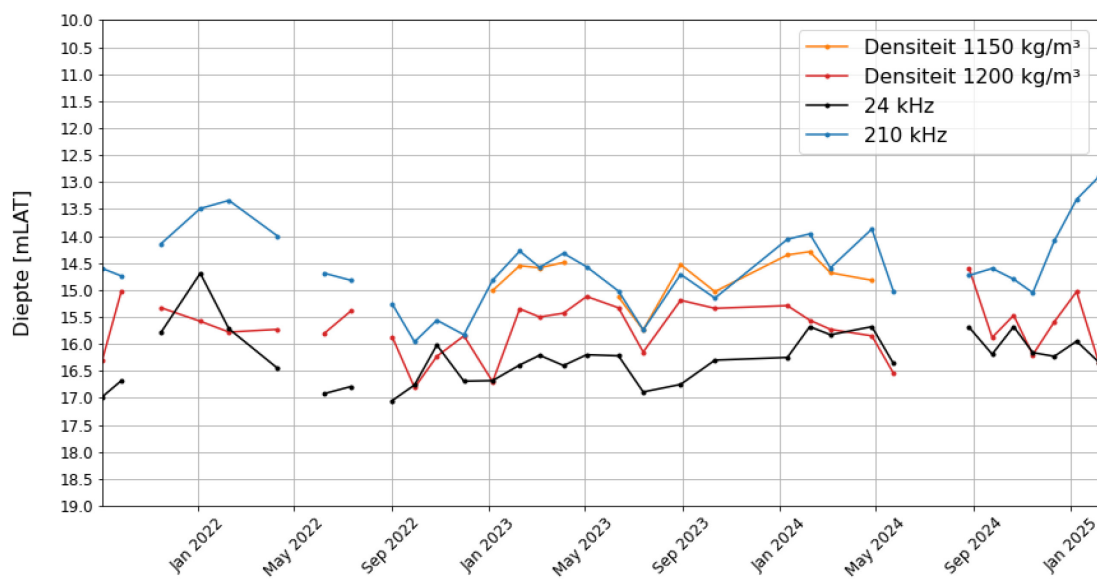
Figuur 30: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 13



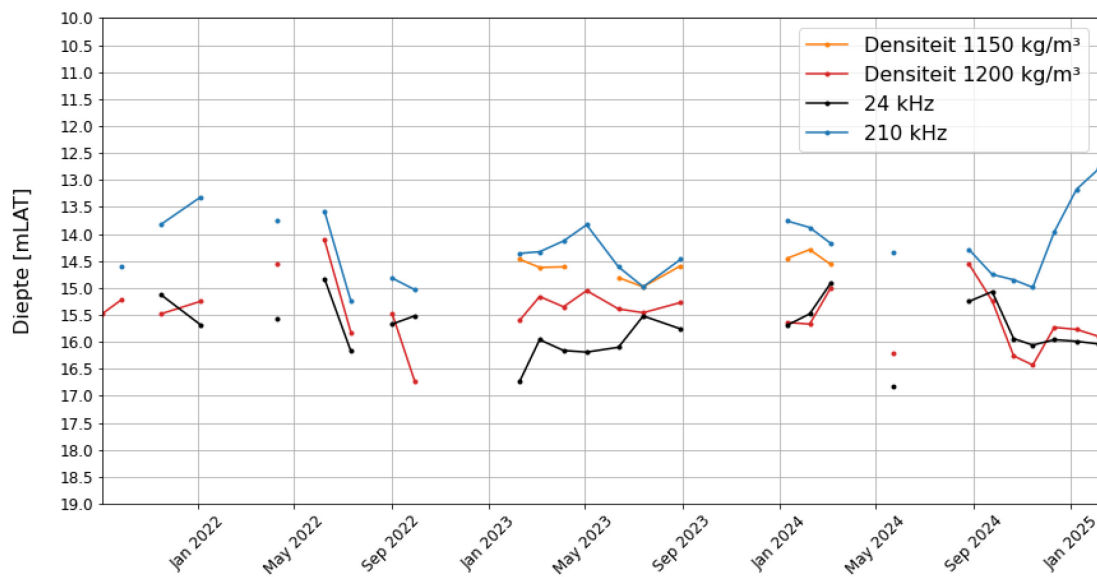
Figuur 31: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 86



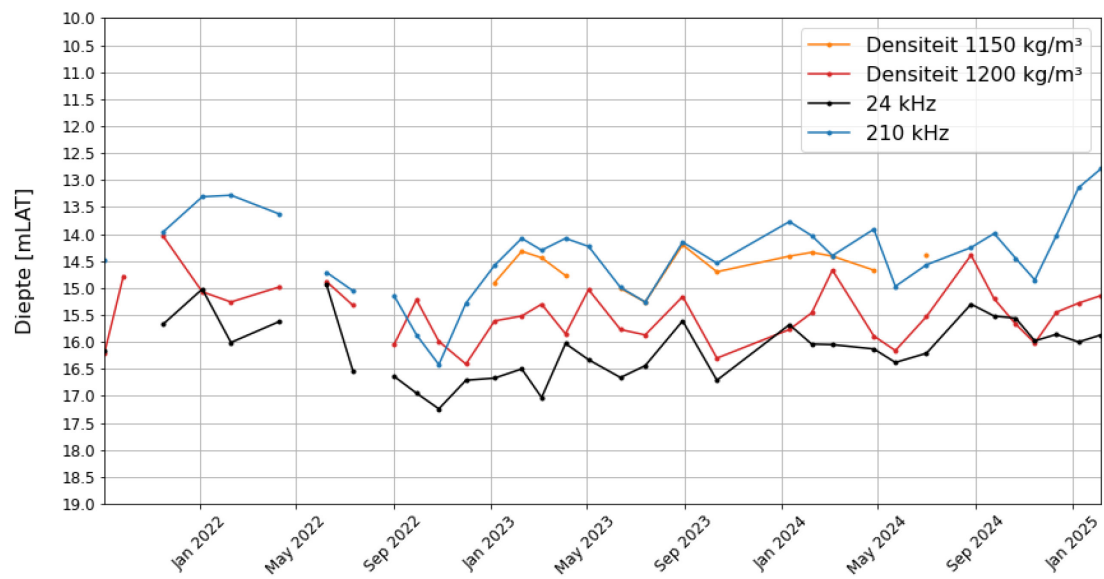
Figuur 32: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 12



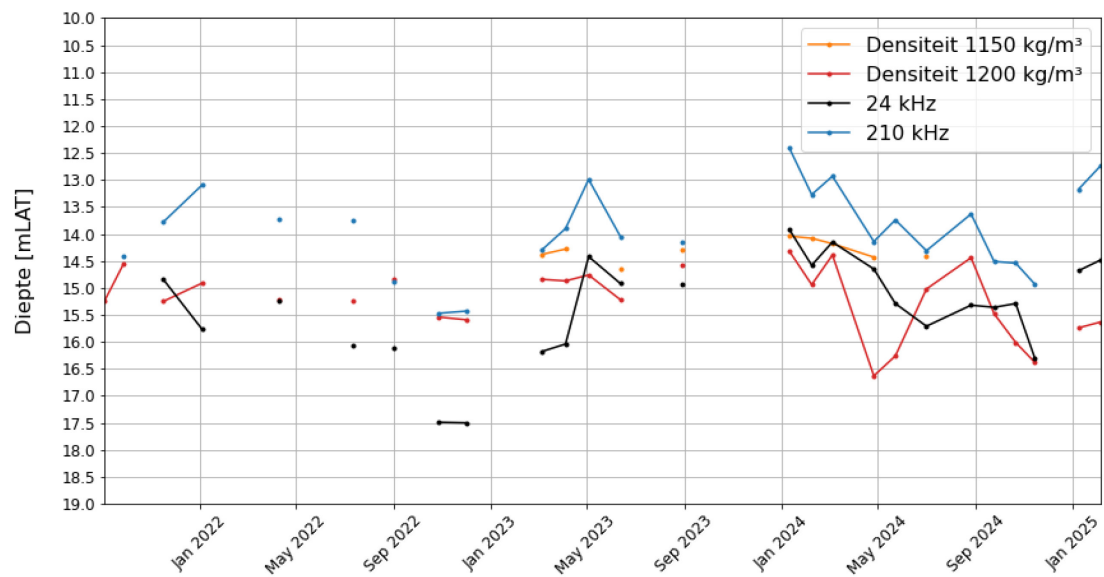
Figuur 33: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 87



Figuur 34: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 11

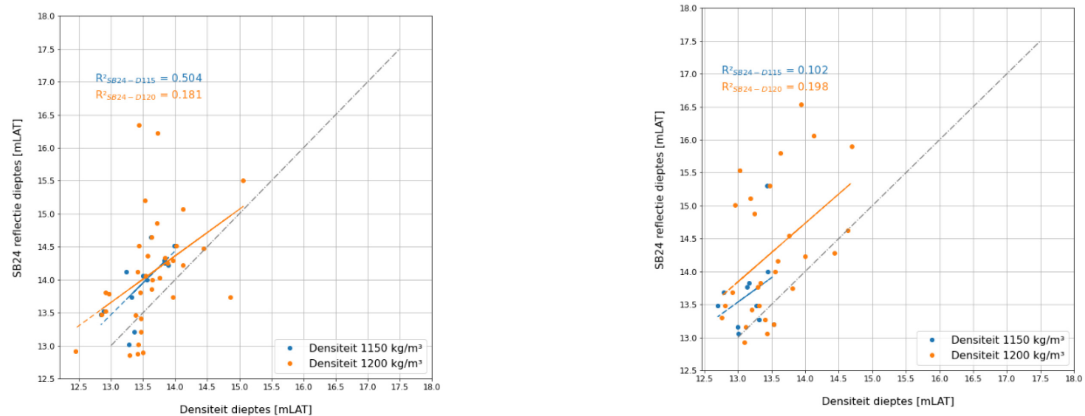


Figuur 35: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 88

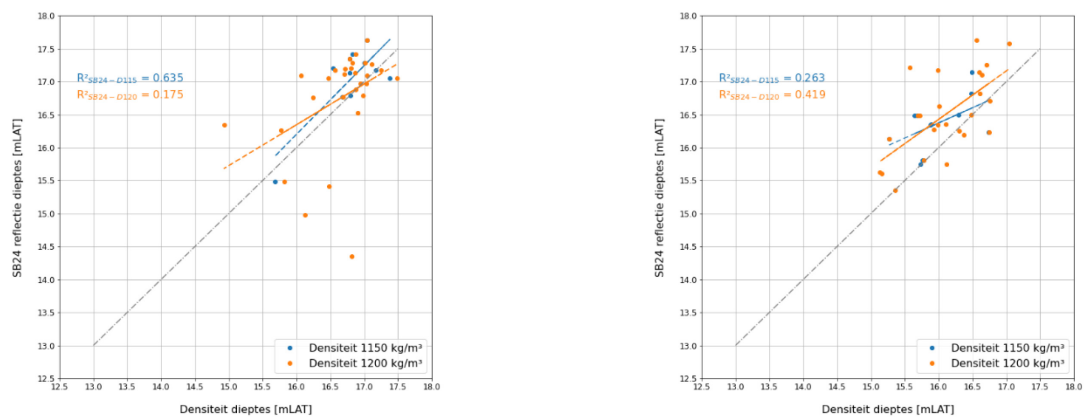


Figuur 36: Verloop van de diepteligging van de 210 kHz en 24 kHz reflector; en de diepteligging van de 1,15 en 1,20 t/m³ voor priklocatie 10

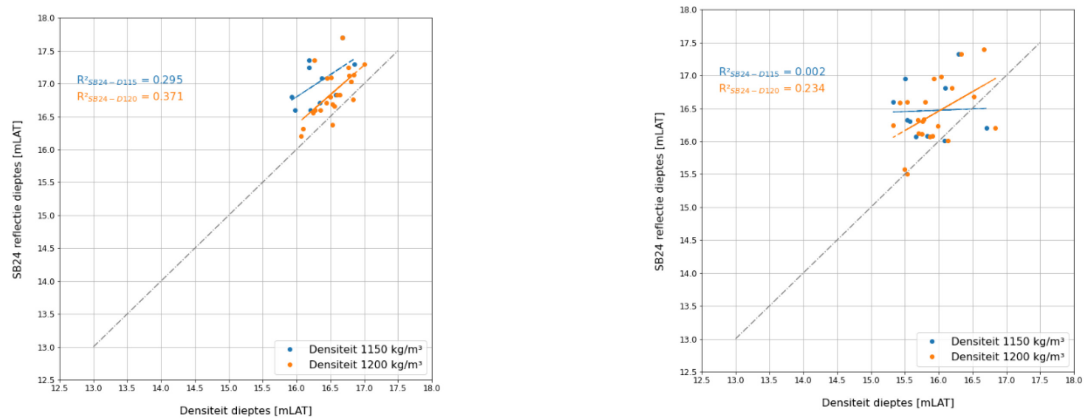
Bijlage 2 Correlaties per priklocatie



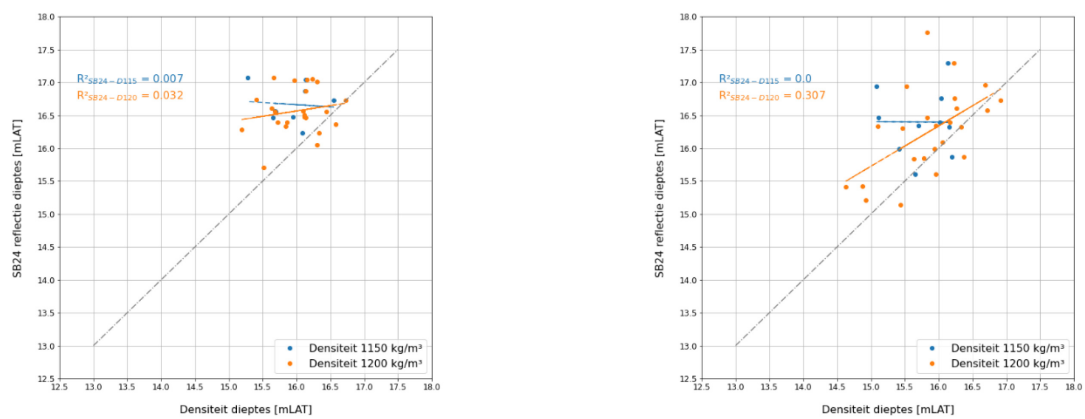
Figuur 37: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 78 (links) en 75 (rechts)



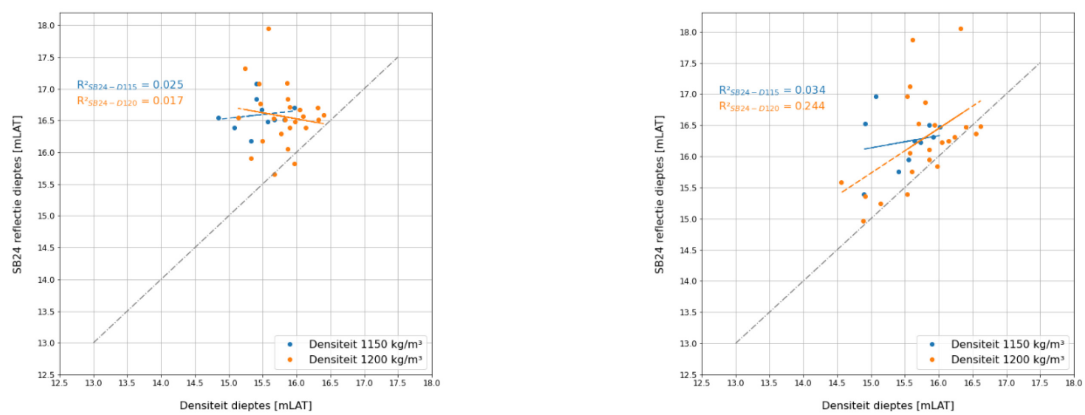
Figuur 38: Figuur 39: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 79 (links) en 74 (rechts)



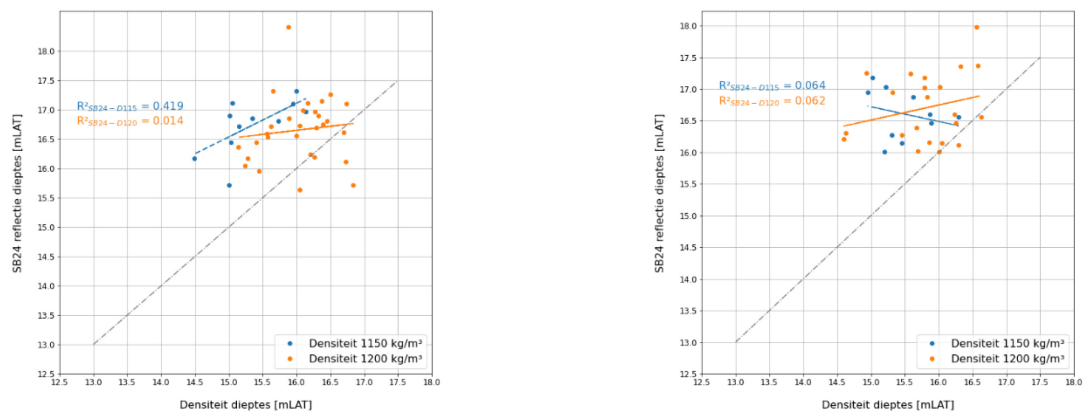
Figuur 40: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 80 (links) en 73 (rechts)



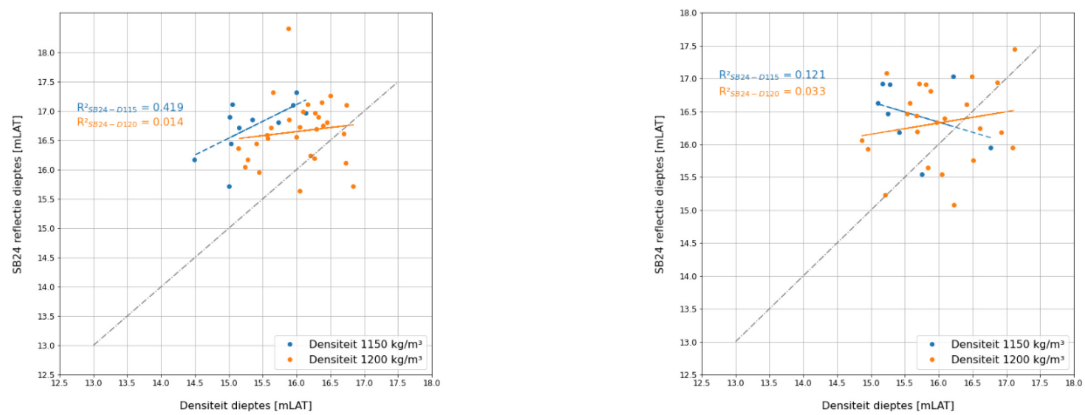
Figuur 41: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 81 (links) en 17 (rechts)



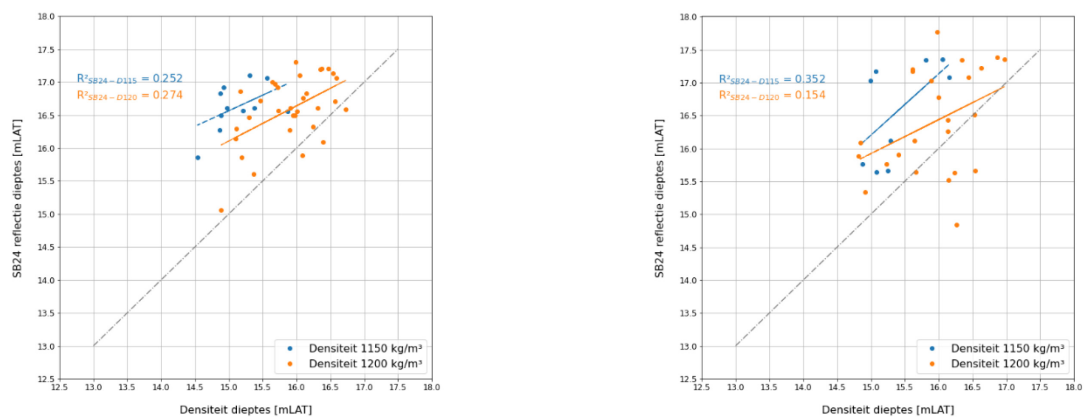
Figuur 42: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 82 (links) en 16 (rechts)



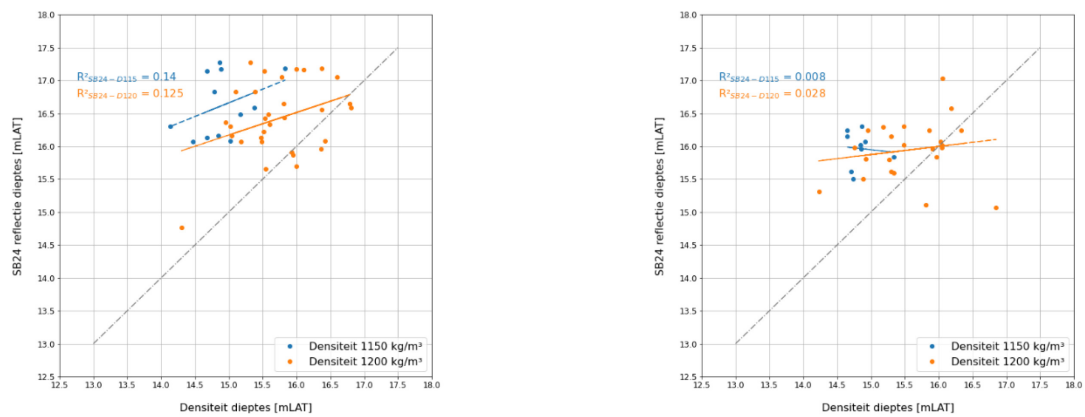
Figuur 43: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 83 (links) en 15 (rechts)



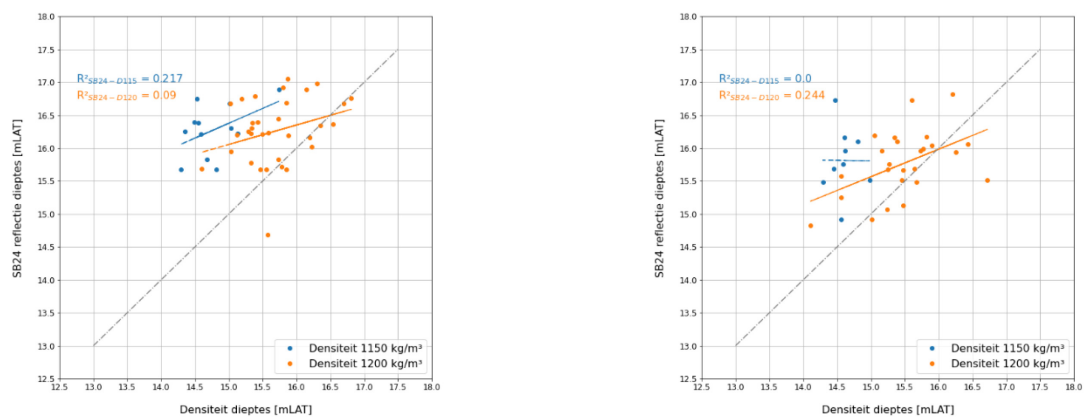
Figuur 44: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 84 (links) en 14 (rechts)



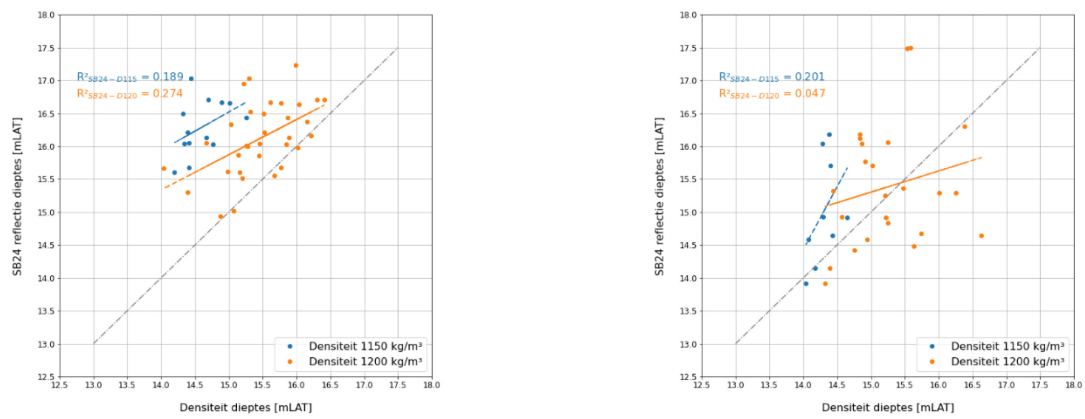
Figuur 45: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 85 (links) en 13 (rechts)



Figuur 46: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 86 (links) en 12 (rechts)



Figuur 47: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector. Priklocaties 87 (links) en 11 (rechts)



Figuur 48: Scatterplot met lineaire fit en 1:1 lijn voor densiteitswaarden (1,15 t/m³ en 1,20 t/m³) vs 24 kHz reflector.
Priklocaties 88 (links) en 10 (rechts)

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