



Vlaanderen
is wetenschap

18_041_1
WL rapporten

Complex project nieuwe sluis Zeebrugge

Opmeten dichtheitsverschil tussen voorhaven en achterhaven

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Complex project nieuwe sluis Zeebrugge

Opmeten dichtheidsverschil tussen voorhaven en achterhaven

Vercruysse, J.; Vanderkimpfen, P.; Claeys, S.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

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

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/119

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Vanderkimpfen, P.; Claey, S.; Mostaert, F. (2019). Complex project nieuwe sluis Zeebrugge: Opmeten densiteitsverschil tussen voorhaven en achterhaven. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_041_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2019R18_041_1
Keywords (3-5):	density difference, density measurements, navigation lock		
Tekst (p.):	42	Bijlagen (p.):	13
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vercruysse, J.
------------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vanderkimpfen, P.; Claey, S.	Getekend door: Paul Vanderkimpfen (Signature) Getekend op: 2019-07-23 09:04:17 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Paul Vanderkimpfen</i> Getekend door: Slyn Claey (Signature) Getekend op: 2019-08-05 09:14:03 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Slyn Claey</i>
Projectleider:	Vercruysse, J.	Getekend door: Jeroen Vercruysse (Signature) Getekend op: 2019-09-03 08:39:11 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Vercruysse</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-09-03 11:24:36 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Het complex project nieuwe sluis Zeebrugge heeft als doel om de nautische toegankelijkheid tot de achterhaven van Zeebrugge te verbeteren. In het kader van dit project vraagt afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersoon Frederik Buffel) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om het dichtheidsverschil tussen de voor- en achterhaven te bepalen. Het karakteriseren van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven is belangrijk voor het ontwerp van een, eventuele, nieuwe sluis omdat een dichtheidsverschil zowel een invloed heeft op het nivelleren van de kolk als op de uitwisselingsstroming die ontstaat na het openen van de deuren.

Voor het karakteriseren van dit dichtheidsverschil heeft WL van juli 2018 tot en met januari 2019 continue metingen uitgevoerd op drie locaties: op- en afwaarts de Vandammesluis en halverwege het Boudewijnkanaal. Op deze locaties werd op 1.0 m onder het wateroppervlak en nabij de bodem met een CTD sensor de conductiviteit, temperatuur en waterdiepte opgemeten. Op basis van de conductiviteit en temperatuur wordt de saliniteit en dichtheid berekend. Bijkomend werden ook twee meetvaarten uitgevoerd waarbij op 8 locaties met een CTD sensor een profiel werd opgemeten. Naast de door WL uitgevoerde metingen worden ook de door de Vlaamse Milieumaatschappij uitgevoerde periodieke metingen van het oppervlaktewater in de voorhaven en halverwege het Boudewijnkanaal en in het verleden uitgevoerde meetcampagnes meegenomen in de analyse.

Tijdens het verloop van de door WL uitgevoerde continue metingen werden verschillende problemen opgemerkt met de ingezette CTD sensoren. Dit maakt dat het niet mogelijk is om uit de continue metingen het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven met de gewenste nauwkeurigheid te bepalen. De profielmetingen werden uitgevoerd met een ander type CTD sensor. Hierbij werden geen problemen vastgesteld.

Uit de analyse van de vier beschikbare profielmetingen in de achter- en voorhaven volgt een dichtheidsverschil 1.0 kg/m^3 tot 3.0 kg/m^3 tussen voor- en achterhaven. Voor de continue metingen dient opgemerkt te worden dat door de vastgestelde problemen met de ingezette sensoren er geen tijdstip is waarbij zowel aan zijde voorhaven als aan zijde achterhaven goede metingen beschikbaar zijn. Wanneer geen rekening gehouden wordt met deze onzekerheid en met optredende spikes wordt op basis van de continue metingen een maximaal dichtheidsverschil 4 à 6 kg/m^3 bepaald tussen voor- en achterhaven. Het grootste dichtheidsverschil 2 kg/m^3 tot 10 kg/m^3 met uitschieters tot 16 kg/m^3 wordt bepaald op basis van de oppervlaktemetingen van VMM aan de Zweedse kaai en aan de Herdersbrug. Uit de profielmetingen en continue metingen nabij de Herdersbrug werd echter opgemerkt dat op het Boudewijnkanaal gelaagdheid optreedt en dat de dichtheid op het Boudewijnkanaal bij momenten lager is dan in de achterhaven. De door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen nabij de Herdersbrug zijn hierdoor niet representatief voor het bepalen van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	2
2.1 Continue metingen	2
2.2 Meetvaarten	4
2.3 Overige beschikbare metingen.....	6
2.3.1 Oppervlaktemetingen VMM.....	6
2.3.2 Studie waterbeschikbaarheid	6
2.3.3 Langdurige monitoring zoet-zout verdeling in de voorhaven van Zeebrugge	7
2.3.4 Studie van de verzilting van het Boudewijnkanaal.....	7
2.4 Aanvullende gegevens.....	8
2.4.1 Waterinfo.....	8
2.4.2 MBZ nv.....	8
2.4.3 Meetnet Vlaamse banken	8
2.4.4 De Vlaamse Waterweg	9
2.4.5 Geopunt.....	9
3 Kwalitatieve bespreking meetresultaten	10
3.1 Continue metingen	10
3.2 Meetvaarten	17
3.3 Conclusie.....	19
4 Dichtheidsverschil.....	20
4.1 Profielmetingen WL.....	20
4.2 Profielmetingen IMDC - UGENT.....	22
4.3 Continue metingen WL.....	24
4.4 Periodieke oppervlaktemetingen VMM	26
4.5 Conclusie.....	29
5 Invloeden	30
5.1 Peilbeheer afvoerkoker Vandammesluis.....	30

5.2	Sluisbewegingen	33
5.3	Neerslag/evaporatie	38
5.4	Conclusies	39
6	Conclusies	40
7	Referenties	42
Bijlage A: Gebruikte formules voor berekening dichtheid		B1
Bijlage B: Controle en justering sensoren		B3
B.1	Controle en justering voor de meetcampagne.....	B3
B.2	Controle en justering tijdens meetcampagne	B4
B.3	Controle na de meetcampagne	B7
Bijlage C: Beschrijving opstelling		B9
Bijlage D: Logboek continue metingen.....		B14

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Vergelijking bodempeil met positie onderste CTD Diver.....	4
Tabel 2 – Locatie profielmetingen meetvaarten	5
Tabel 3 –Oppervlakte Boudewijnkanaal en Achterhaven	9
Tabel 4 – Vergelijking continue metingen met meetvaarten.....	16
Tabel 5 – Dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven.....	29
Tabel 6 – Dichtheidsverschil voor berekening uitwisseling.....	33
Tabel 7 – Afmetingen Vandammesluis en Verbindingssluis.....	35
Tabel 8 – Dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven.....	40
Tabel 9 – Specifieke conductiviteit standaarden –meting RBR 21/06/2018.....	B3
Tabel 10 – Controlemetingen CTD Divers.....	B5
Tabel 11 – Controle opgemeten conductiviteit.....	B6
Tabel 12 – Justering RBR metingen	B6
Tabel 13 – Controle 28/02/2019 opgemeten specifieke conductiviteit CTD Divers op standaard 50 ms/cm	B7
Tabel 14 – Controle 28/02/2019 opgemeten specifieke conductiviteit RBR op standaard 50 ms/cm.....	B7
Tabel 15 – Controle 19/03/2019 saliniteit en dichtheid	B8
Tabel 16 – Continue meting logboek – locatie Herdersbrug.....	B14
Tabel 17 – Continue meting logboek – locatie Achterhaven.....	B15
Tabel 18 – Continue meting logboek – locatie Voorhaven	B16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Locatie continue densiteitsmetingen	3
Figuur 2– Locatie profielmetingen tijdens meetvaart.....	5
Figuur 3 – Conductiviteitsprofiel Boudewijnkanaal	7
Figuur 4 – Continue meting - locatie Herdersbrug.....	11
Figuur 5 – Continue meting - locatie Achterhaven.....	12
Figuur 6 – Continue meting - locatie Voorhaven.....	13
Figuur 7 – Invloed schuttingen op opgemeten conductiviteit	17
Figuur 8 – Meetvaarten – profielmeting Herdersbrug.....	18
Figuur 9 – Profielmetingen WL 2018.....	21
Figuur 10 – Profielmetingen IMDC 2008	23
Figuur 11 – Vergelijking temperatuur, saliniteit en densiteit continue metingen.....	25
Figuur 12 – Temperatuur, saliniteit, densiteit en densiteitsverschil VMM metingen	27
Figuur 13 – Oppervlakte metingen VMM verschil tussen meetpunt Zweedse Kaai en Herdersbrug.....	28
Figuur 14 – Effect peilbeheer event met afvoerkoker Vandammesluis op peil, temperatuur, saliniteit en densiteit achterhaven t.h.v. Vandammesluis.....	32
Figuur 15 – Duur events	32
Figuur 16 – Uitwisseling kolk in functie van tijd en densiteitsverschil	34
Figuur 17 – Duurtijd deuren open Vandammesluis	34
Figuur 18 – Aantal uitgevoerde nivelleringen per hoofd en per dag met de Vandammesluis en Verbindingssluis	35
Figuur 19 – Invloed schutten op temperatuur en saliniteit 18/09/2018	36
Figuur 20 – Invloed schutten op temperatuur en saliniteit 26/10/2018	37
Figuur 21 – Invloed neerslag en evaporatie op saliniteitsmeting nabij oppervlak.....	38
Figuur 22 – Onafgewerkte RVS316 buis voor continue metingen (plaatsbezoek 11/06/2018).....	B9
Figuur 23 – Meetopstelling Vandammesluis Achterhaven	B10
Figuur 24 – CTD Diver voor continue metingen	B11
Figuur 25 – Ophanging CTD Divers	B12
Figuur 26 – Corrosie op kabel RVS 316.....	B13
Figuur 27 – Profielmeting	B13

1 Inleiding

Het complex project nieuwe sluis Zeebrugge heeft als doel om de nautische toegankelijkheid tot de achterhaven van Zeebrugge te verbeteren. In het kader van dit project vraagt afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersoon Frederik Buffel) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om het dichtheidsverschil tussen de voor- en achterhaven te bepalen. Het karakteriseren van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven is belangrijk voor het ontwerp van een, eventuele, nieuwe sluis omdat een dichtheidsverschil zowel een invloed heeft op het nivelleren van de kolk als op de uitwisselingsstroming die ontstaat na het openen van de deuren.

Voor het karakteriseren van dit dichtheidsverschil heeft WL van juli 2018 tot en met januari 2019 continue metingen uitgevoerd op drie locaties. Bijkomend werden ook twee meetvaarten uitgevoerd waarbij op 8 locaties een profiel werd opgemeten. Naast de door WL uitgevoerde metingen werden ook de door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) uitgevoerde periodieke metingen van het oppervlaktewater en in het verleden uitgevoerde meetcampagnes meegenomen in de analyse. Op basis van deze informatie wordt het dichtheidsverschil gekarakteriseerd. Bijkomend wordt ook onderzocht wat het effect is van bepaalde invloeden zoals spuien, schutten en neerslag/evaporatie op de meetresultaten.

Dit rapport beschrijft de uitgevoerde metingen en de analyses voor het karakteriseren van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven. Het rapport is als volgt opgebouwd:

- De gebruikte gegevens worden beschreven in hoofdstuk 2.
- Een kwalitatieve bespreking van de door WL uitgevoerde meetcampagne wordt gegeven in hoofdstuk 3.
- De analyse van het optredend dichtheidsverschil wordt opgesteld in hoofdstuk 4.
- Invloeden van spuien, schutten en neerslag/evaporatie op de meetresultaten worden onderzocht in hoofdstuk 5.
- Conclusies en aanbevelingen worden gegeven in hoofdstuk 6.

2 Gegevens

Onderhavig hoofdstuk geeft een overzicht van de gebruikte gegevens. Door WL werden van juli 2018 tot en met januari 2019 op drie locaties continue metingen uitgevoerd, zie paragraaf 2.1. Hiernaast werden in deze periode twee meetvaarten uitgevoerd waarbij op acht locaties een profiel werd gemeten, zie paragraaf 2.2. Hiernaast werd ook vergeleken met andere beschikbare saliniteitsmetingen, zoals de VMM oppervlakte metingen en in het verleden uitgevoerde meetcampagnes. De voor dit rapport gebruikte meetgegevens worden besproken in paragraaf 2.3. Om de saliniteit/densiteit metingen te kunnen relateren aan invloeden zoals spuien, schutten en neerslag/evaporatie werden ook aanvullende gegevens gebruikt zoals waterpeilmetingen, gebruik van de Vandammesluis enz.. Deze aanvullende gegevens worden besproken in paragraaf 2.4.

2.1 Continue metingen

Van 12/07/2018 tot 11/01/2019 werden continue metingen uitgevoerd. Voor deze metingen werden CTD Divers (producent Schlumberger) ingezet. Deze toestellen meten autonoom, met een ingestelde meetfrequentie, de conductiviteit, temperatuur en druk. Uit de opgemeten conductiviteit en temperatuur wordt eerst de saliniteit en vervolgens de densiteit berekend¹. De hiervoor gebruikte formules worden gegeven in bijlage A. Voornamelijk de conductiviteitsmeting is gevoelig voor afwijkingen. Hierom werden verschillende controles uitgevoerd op de opgemeten conductiviteit, deze worden besproken in bijlage B.

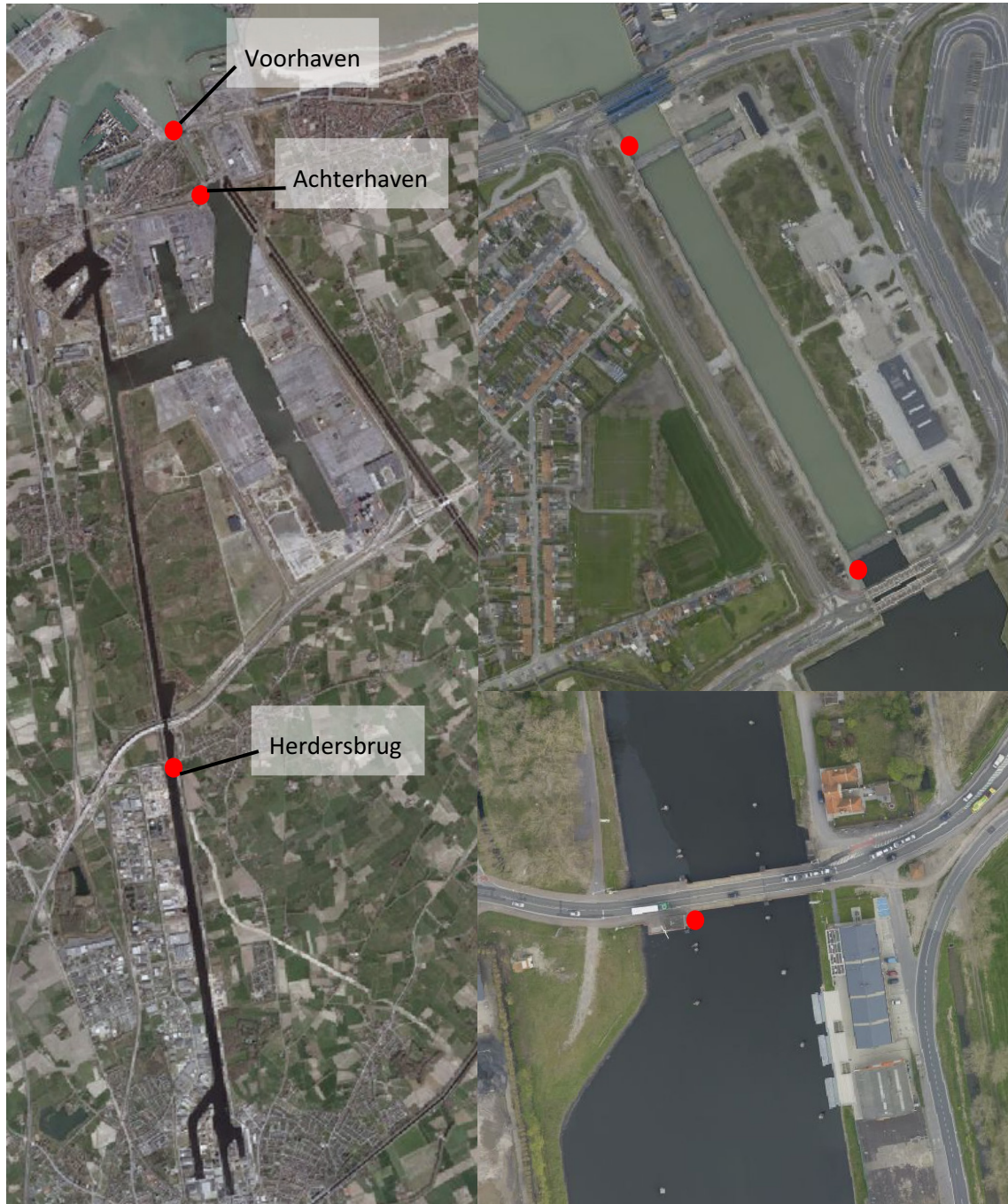
De toestellen hebben een interne klok en intern geheugen. De toestellen starten met loggen op een ingesteld tijdstip met een bepaalde frequentie tot het geheugen vol is. Rekening houdend met het beschikbaar geheugen en de maximale tijd tussen twee uitlezingen wordt gekozen voor een tijdstap tussen twee metingen van 1 min. De toestellen stoppen hierbij met loggen na 30 dagen. De conductiviteitsmetingen worden uitgevoerd door middel van sensoren op een plaatje. Het is hierbij belangrijk dat dit plaatje niet bevuild raakt. Hierom worden de toestellen in de zomerperiode tweewekelijks uitgelezen en gereinigd. Vanaf oktober wordt overgegaan naar een driewekelijkse uitlezing en reiniging.

De drie locaties, met de bijhorende naamgeving, van deze continue metingen worden gegeven in Figuur 1. Tijdens een door WL uitgevoerde studie naar het nivelleersysteem voor een nieuwe sluis te Zeebrugge in het kader van het SHIP project (Verelst *et al.*, 2012) werd voor de nieuwe sluis een lengte 390 m, een breedte 45 m en een kolkbodempcil -12.5 m TAW gehanteerd. Het kolkoppervlak en het bodempcil van de nieuwe zeeluis zijn meer in overeenstemming met de Vandammesluis (lengte 500 m, breedte 57 m en bodempcil op -15.0 m TAW) dan met de Visartsluis (lengte ca. 260m, breedte ca. 20 m en bodempcil op -5.5 m TAW). Hierom wordt gekozen om de densiteitsmetingen uit te voeren ter hoogte van de Vandammesluis. Zie meetpunten 'Voorhaven' en 'Achterhaven' in Figuur 1. De metingen aan de Vandammesluis worden uitgevoerd in het verlengde van de kolkmuur op ca. 3 m buiten de uiterste roldeuren. Zowel aan zijde voorhaven als aan zijde achterhaven was het enkel haalbaar om deze toestellen in het verlengde van de kolkmuur te installeren. Op de plaatsen waar geen schepen aanmeren loopt de bodem schuin op naar de oever waardoor het niet mogelijk is om hier op een representatieve diepte te meten. Op de overige plaatsen meerden ofwel schepen aan of was de locatie niet bereikbaar vanaf het openbaar domein of vanaf domein onder beheer van MBZ nv. Initieel werd gepland om de metingen uit te voeren tussen de basculebruggen. Bij plaatsing werd echter opgemerkt dat de betonkwaliteit hier niet voldoende is waarna werd uitgeweken naar de locatie nabij de deuren. Als derde locatie wordt voor de Herdersbrug gekozen. Deze ligt op ca. de halve

¹ Bemerk hierbij dat ook druk een invloed heeft op densiteit. Voor de voorkomende dieptes in de voor- en achterhaven is deze invloed echter verwaarloosbaar. Hierom wordt de druk hier niet meegenomen in de berekening van de densiteit.

lengte van het Boudewijnkanaal. Omdat de bodem ook hier schuin oploopt naar de oevers wordt de meting uitgevoerd vanop het niet beweegbare deel van de brug, zie Figuur 1 rechts onder.

Figuur 1 – Locatie continue dichtheitsmetingen



Omdat zowel de metingen aan de Vandammesluis als aan de Herdersbrug uitgevoerd worden in de vaarweg dient voorkomen te worden dat de toestellen aangezogen worden en zo schade kunnen veroorzaken aan de schroef van passerende schepen. Hierom werd in overleg met aMT besloten om de sensoren te plaatsen in buizen. Deze buizen werden voorzien door aMT. Gekozen wordt voor buizen met diameter 0.15 m uit RVS316. Op de locaties waar de CTD Divers zich bevinden wordt een groot aantal boorgaten voorzien om een goede uitwisseling te verzekeren tussen het water in- en buiten de buis. Foto's van de opstelling worden gegeven in bijlage C.

Voor elk van de drie locaties werd een meting uitgevoerd op ca. 1.0 m onder het wateroppervlak en een meting ca. 0.30 m boven de onderzijde van de buis. In Tabel 1 wordt het bodempeil vergeleken met het peil waarop gemeten wordt. In de voorhaven, achterhaven wordt op ca. 0.5 respectievelijk ca. 0.8 m boven de bodem gemeten. Nabij de Herdersbrug wordt op 1.55 m boven de bodem gemeten.

Tabel 1 – Vergelijking bodempeil met positie onderste CTD Diver

	Voorhaven	Achterhaven	Herdersbrug
Bodempeil	-15.0 m TAW	-15.0 m TAW	ca. -4.5 m TAW
Positie onderste CTD Diver	-14.5 m TAW	-14.2 m TAW	ca. -2.95 m TAW
Δ Bodem	0.5 m	0.8 m	ca. 1.55 m

Het logboek van de continue metingen wordt overgenomen in bijlage D.

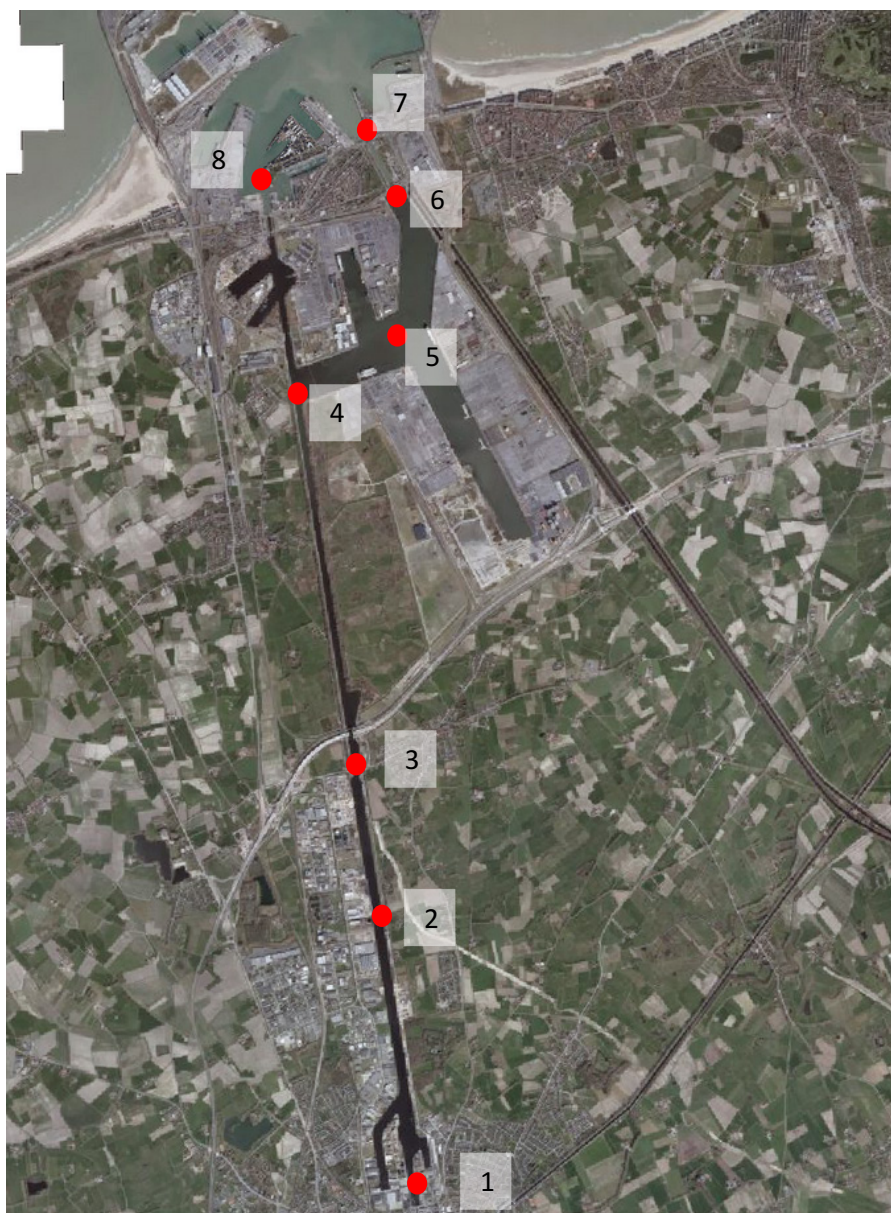
2.2 Meetvaarten

Naast de in paragraaf 2.1 beschreven continue metingen werden ook twee meetvaarten uitgevoerd. De eerste meetvaart werd uitgevoerd op 14/08/2018 en de tweede meetvaart werd uitgevoerd op 12/12/2018. Tijdens deze meetvaarten werden op een 8-tal locaties profielmetingen uitgevoerd. Deze meetvaarten hebben volgende doelen: controleren van de continue metingen, verkrijgen van een gedetailleerd diepteprofiel en het verkrijgen van metingen op bijkomende locaties.

Het schip en de bemanning voor de meetvaarten werd voorzien door DAB Vloot. Dit gebeurde onder de raamovereenkomst tussen WL en DAB Vloot. De metingen zelf werden uitgevoerd door WL. Het gebruikte meetinstrument betrof een RBR Concerto (RBR). De RBR meet conductiviteit, temperatuur en druk. Dit is analoog met de voor de continue metingen ingezette CTD Divers. Uit de opgemeten conductiviteit en temperatuur wordt eerst de saliniteit en vervolgens de densiteit berekend¹. De hiervoor gebruikte formules worden gegeven in bijlage A. Voornamelijk de nauwkeurigheid waarmee de conductiviteit opgemeten wordt is bepalend eerst voor de berekende saliniteit en vervolgens ook de densiteit. Hierom werden ook op de door de RBR opgemeten conductiviteit controles en justeringen uitgevoerd. Deze worden besproken in bijlage B.

Tijdens de meetvaart werd gemeten ter hoogte van de vaste meetpunten (Herdersbrug, Achterhaven en Voorhaven). Hiernaast werden ook op bijkomende locaties gemeten. De locaties worden weergegeven in Figuur 2, de coördinaten en naamgeving worden gegeven in Tabel 2.

Figuur 2– Locatie profielmetingen tijdens meetvaart



Tabel 2 – Locatie profielmetingen meetvaarten

Meetpunt	Coördinaten (WGS84)		Beschrijving
	NB	OL	
1	51.2243	3.2230	Afwaarts de Verbindingssluis
2	51.2546	3.2165	Lozingspunt RWZI Brugge
3	51.2698	3.2130	Herdersbrug
4	51.3098	3.2033	Monding Boudewijnkanaal in de achterhaven
5	51.3159	3.2203	Verbindingsdok
6	51.3315	3.2194	Vandammesluis opwaarts
7	51.3365	3.2150	Vandammesluis afwaarts
8	51.3329	3.1953	Visartsluis afwaarts

Op elk van deze punten wordt een verticaal profiel gemeten. Hierbij wordt nadat het schip gepositioneerd werd op de gewenste locaties een profielmeting uitgevoerd. Een beperkt verschillende procedure wordt toegepast voor beide meetvaarten:

- Gebruikte procedure 14 augustus 2018:
 - o Neerwaartse beweging met tussenstap 1.0 m vanaf 1.0 m onder het wateroppervlak tot op de bodem.
 - o Opwaartse beweging met tussenstap 2.0 m vanaf de bodem tot 1.0 m onder het wateroppervlak.
 - o Op elke tussenstap 30 s wachten
 - o Tussen twee meetpunten de RBR onderdompelen in een emmer met water.
- Gebruikte procedure 12 december 2018:
 - o Neerwaartse beweging met tussenstap 1.0 m vanaf 1.0 m onder het wateroppervlak tot op de bodem.
 - o Opwaartse beweging met tussenstap 1.0 m vanaf de bodem tot 1.0 m onder het wateroppervlak.
 - o Op elke tussenstap 20 s wachten
 - o Tussen twee meetpunten de RBR in een emmer met oppervlaktewater en dit water af en toe wisselen zodat grote temperatuurvariaties tussen de emmer en het water vermeden worden.

2.3 Overige beschikbare metingen

2.3.1 Oppervlaktemetingen VMM

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) voert verspreid over Vlaanderen metingen uit van het oppervlaktewater. Deze metingen worden via het 'Geoloket Waterkwaliteit' geraadpleegd. Voor de achterhaven van Zeebrugge worden deze metingen uitgevoerd aan de Herdersbrug (of Dudzeelse brug) en voor de voorhaven aan de Zweedse kaai. Voor de Herdersbrug zijn metingen beschikbaar vanaf 1990, voor de Zweedse kaai zijn metingen beschikbaar vanaf 2007. Omdat het doel van de studie een analyse is van het dichtheidsverschil wordt voor beide meetpunten de analyse uitgevoerd vanaf 2007 tot januari 2018.

Van deze stalen bepaalt VMM een groot aantal parameters voor het bepalen van de waterkwaliteit waaronder ook temperatuur en chloridegehalte. Het chloridegehalte kan omgerekend worden naar saliniteit, de formule hiervoor wordt gegeven in bijlage A. Vervolgens wordt, analoog met voorgaande paragrafen, de dichtheid berekend uit de saliniteit en de temperatuur.

Om na te gaan of een verschil optreedt bij het bepalen van de saliniteit op basis van conductiviteit of op basis van het chloridegehalte heeft WL een test uitgevoerd op een staal uit de voorhaven van Zeebrugge. Deze test wordt besproken in bijlage B.

2.3.2 Studie waterbeschikbaarheid

In het kader van het onderzoek naar het Seine Schelde traject West heeft Waterwegen en Zeekanaal NV (nu De Vlaamse Waterweg) een studie uitbesteed naar de waterbeschikbaarheid en de invloed van zoutindringing. Deze studie werd uitgevoerd door IMDC in samenwerking met UGent (IMDC NV, 2009). In het kader van deze studie werden in 2008 tijdens twee meetcampagnes profielmetingen uitgevoerd op het kanaal Gent-Oostende, het Boudewijnkanaal, de achter- en voorhaven en op het Afleidingskanaal van de Leie en het Leopoldkanaal. Deze profielmetingen werden uitgevoerd met een CTD Diver. De bijlagen van het rapport bevatten temperatuur en saliniteit in functie van de diepte. Door middel van de in bijlage A gegeven formules wordt hieruit de dichtheid bepaald. Voor dit rapport worden de metingen op het Boudewijnkanaal, de achterhaven en de voorhaven gebruikt als aanvulling op de door WL uitgevoerde meetvaarten.

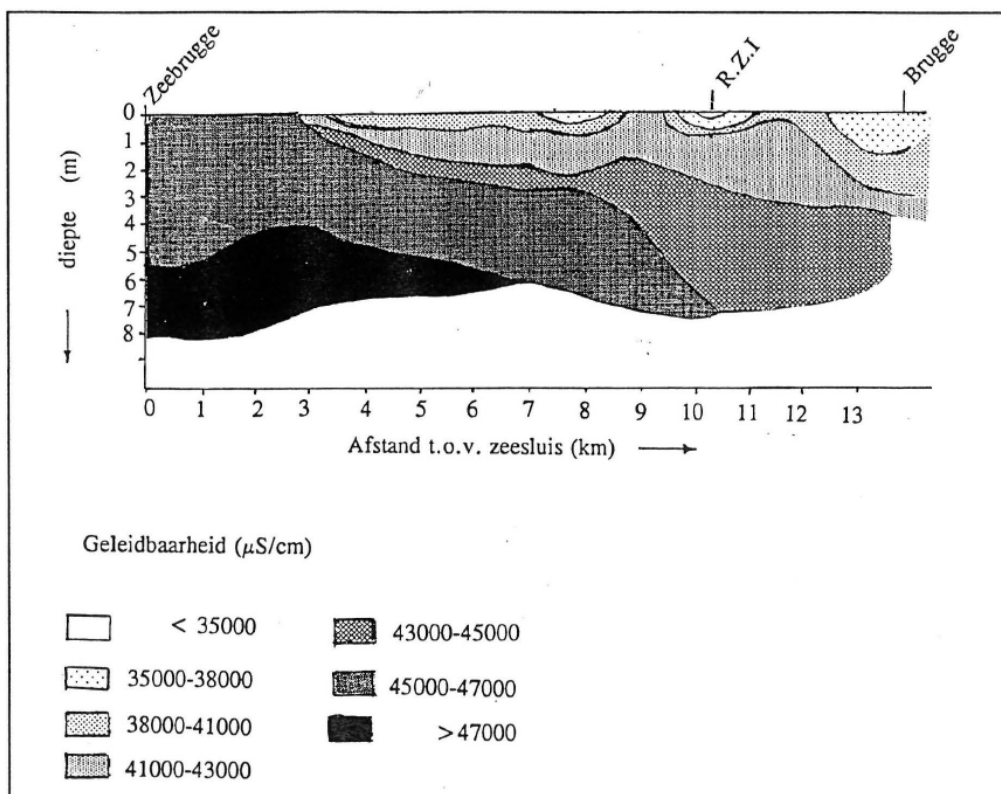
2.3.3 Langdurige monitoring zoet-zout verdeling in de voorhaven van Zeebrugge

In de periode 2007-2008 werd een langdurige monitoring uitgevoerd van de zoet-zout verdeling in de voorhaven van Zeebrugge (IMDC NV et al., 2011). In het kader van deze studie werd verscheidene keren op een groot aantal locaties op drie hoogtes in de waterkolom gemeten met een YSI 600R / YSI 600OMS toestel. Uit de metingen volgde hoe het zoete water dat in de voorhaven komt door spuien met het Afleidingskanaal van de Leie en het Leopoldkanaal zich verspreidt in de voorhaven. Omdat hierbij geen metingen uitgevoerd zijn in de achterhaven wordt deze studie niet verder gebruikt.

2.3.4 Studie van de verzilting van het Boudewijnkanaal

De Breuck *et al.* (1992) beschrijft een studie uitgevoerd naar de verzilting van het Boudewijnkanaal. Deze studie bevat een analyse van de op dat moment beschikbare metingen van chloriniteit en conductiviteit op het Boudewijnkanaal. Van een door VMM uitgevoerde studie 'Eutrofiëringsonderzoek Boudewijnkanaal' waarbij op verschillende locaties een profielmeting van de geleidbaarheid werd uitgevoerd werd het in Figuur 3 overgenomen conductiviteitsprofiel opgesteld. Hierbij werd opgemerkt dat het Boudewijnkanaal sterk verzilt is. De twee laatste locaties met lagere conductiviteit nabij het oppervlak zijn het gevolg van de zoetwatertoevoer vanaf de waterzuiveringsinstallatie respectievelijk van het schutten met de Verbindingssluis. Voor de eerste zone met lagere conductiviteit, minimum tussen 7 en 8 km vanaf de zeesluis, is de oorzaak niet gekend. De afstand wordt uitgedrukt ten opzichte van de zeesluis. Het is niet duidelijk welke van beide zeesluizen dit betreft (Visartsluis of Vandammesluis gebouwd in 1985). Gelet op de beperkte diepgang lijkt het dat dit afstand ten opzichte van de Visartsluis betreft. Uit www.geopunt.be volgt een afstand 11.6 km tussen de Verbindingssluis en de Visartsluis wat korter is dan de afstand op de lengte-as uit Figuur 3. Aangezien het rapport geen temperatuurwaarden geeft is het niet mogelijk om dichtheid te bepalen en worden de resultaten niet verder gebruikt.

Figuur 3 – Conductiviteitsprofiel Boudewijnkanaal (De Breuck *et al.*, 1992)



Figuur 4 : Profiel geleidbaarheid van het Boudewijnkanaal (december 1990).

2.4 Aanvullende gegevens

2.4.1 Waterinfo

Voor de waterpeilmetingen, neerslaghoeveelheden en berekende evaporatie wordt data overgenomen uit www.waterinfo.be.

Voor het peil op- en afwaarts de Vandammesluis wordt gebruikt gemaakt van de door de afdeling Elektromechanica en Telematica (EMT) uitgevoerde peilmetingen aan de sluis. Hierbij dient opgemerkt te worden dat dit niet gevalideerde data betreft. Uit de vergelijking van deze metingen met de door de Divers opgemeten waterdruk volgden geen bijzonderheden. Deze peilmetingen werden gebruikt voor het berekenen van het debiet doorheen de spuikoker, zie hoofdstuk 5.

Voor neerslag zijn gegevens beschikbaar te Dudzele (meetpost VMM) en Brugge (meetpost HIC). Hiervan worden daggemiddelde waarden gedownload.

Evaporatie wordt veelal berekend door middel van de Penman Monteith vergelijking. Hiervoor dienen de temperatuur, de zonne-energie, de luchtvochtigheid en de windsnelheid bekend te zijn. VMM heeft verspreid over Vlaanderen meetpunten waar deze parameters opgemeten worden, waarna aan de hand hiervan de evaporatie berekend wordt. De dichtstbijzijnde meetpunten liggen te Zarren en Boekhoute. Merk op dat beide locaties verder landwaarts liggen, beide op ca. 35 km van de achterhaven. Voor de in het kader van dit rapport uitgevoerde vergelijking zijn deze meetpunten voldoende nauwkeurig. Voor een gedetailleerde analyse kan de evaporatie berekend worden door middel van meetdata uit de omgeving van het Boudewijnkanaal.

2.4.2 MBZ nv.

Door het havenbestuur MBZ nv. werd voor de Vandammesluis een bestand overgemaakt met hierin de tijdstippen dat de sluisdeuren en hefschuiven van de afvoerkoker de eindpositie (zowel open als gesloten) bereikten. Deze gegevens worden gebruikt voor het berekenen van het debiet doorheen de spuikoker en om de invloed van het openen van de sluisdeuren op de continue metingen te onderzoeken. Ook werd een Excel bestand overgemaakt met de scheepspassages aan de Herdersbrug.

Door MBZ nv. worden ook plannen overgemaakt van de Vandammesluis en de afvoerkoker naast de Vandammesluis. Deze plannen worden gebruikt voor het bepalen van het bodempeil en de afmetingen van de sluis en voor het bepalen van de dimensies en de bodemligging van de afvoerokers naast de Vandammesluis.

2.4.3 Meetnet Vlaamse banken

Via het meetnet Vlaamse Banken (onder beheer van afdeling Maritieme Toegang) worden van een groot aantal meetpunten langs de Vlaamse kust meetgegevens ter beschikking gesteld. Voor dit project worden meetdata gebruikt van het meetpunt 'Zeebrugge Daminstrumentatie' en 'Zeebrugge meteopark'.

Voor het omrekenen van de opgemeten totale druk naar een waterdruk dient de barometrische druk gekend te zijn. Hiervoor wordt de barometrische drukmeting van het meetpunt 'Zeebrugge Daminstrumentatie' gebruikt. Gekozen wordt voor Zeebrugge daminstrumentatie omdat de barometrische drukmeting uitgevoerd te Zeebrugge Meteopark over een bepaalde periode uitgevallen was. Vanaf 8/08/2018 werd ook een barodiver ingezet door WL. Uit controle volgde dat het verschil tussen de luchtdrukmeting van meetnet Vlaamse Banken en de barometing van WL beperkt was tot 0.010 m a 0.015 m waterkolom.

Hiernaast werden ook nog temperatuur, luchtvochtigheid, zonnestraling, windsnelheid en neerslag overgenomen. Deze gegevens kunnen gebruikt worden voor de berekening van de toe- en afvoer door neerslag en evaporatie. Voor het doel van dit project zijn de vanuit www.waterinfo.be overgenomen

evaporatie en neerslaghoeveelheden voldoende nauwkeurig waardoor de gegevens van het meetnet Vlaamse Banken niet verder verwerkt en dus ook niet gerapporteerd zijn.

2.4.4 De Vlaamse Waterweg

Door De Vlaamse Waterweg DVW werden de uitgevoerde schuttingen in de Verbindingsluis (tijdstop en verschutte schepen) en de registratie van de spui-events in de Verbindingsluis overgemaakt.

2.4.5 Geopunt

De website www.geopunt.be van GDI-Vlaanderen wordt gebruikt voor satellietbeelden en voor afstand- en oppervlaktemetingen. De oppervlaktemetingtool wordt gebruikt voor het bepalen van de oppervlakte van de achterhaven en het Boudewijnkanaal, zie Tabel 3. Deze oppervlakte wordt gebruikt om de link te leggen tussen het spuidebiet en de variatie van het peil in de achterhaven. De via www.geopunt.be uitgevoerde oppervlaktemeting wordt hiervoor betrouwbaar genoeg geacht. Voor verdere analyse verdient het aanbeveling om de oppervlakte te bepalen door middel van een GIS applicatie.

Tabel 3 –Oppervlakte Boudewijnkanaal en Achterhaven

Achterhaven - Verbindingsdok en Noordelijk Insteekdok	2555681	m ²
Achterhaven - Prins Filipsdok en Oud Ferrydok	369292	m ²
Boudewijnkanaal	1132434	m ²
Totaal	4057407	m ²

3 Kwalitatieve bespreking meetresultaten

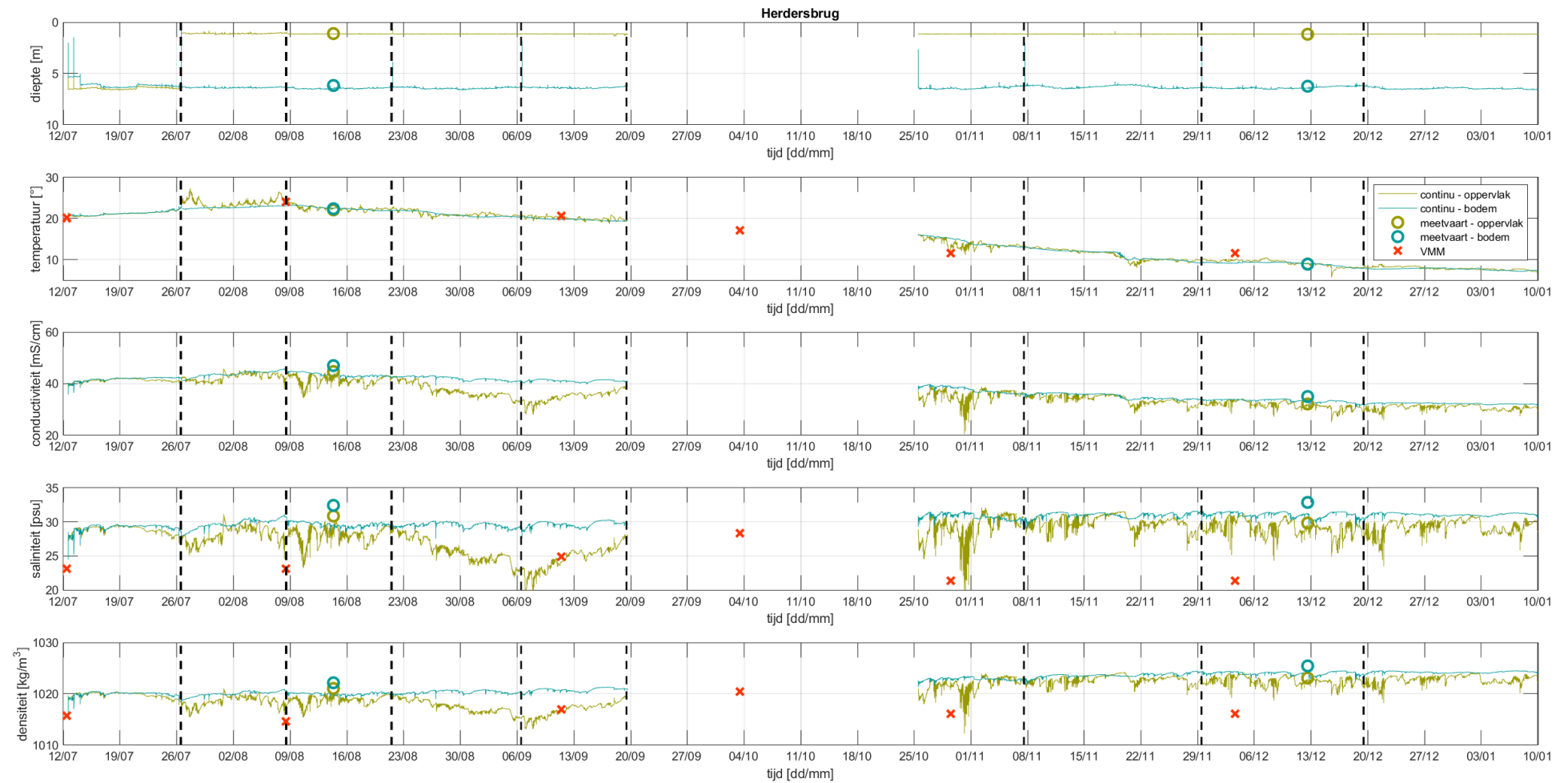
In deze paragraaf wordt een kwalitatieve bespreking gegeven van de door WL uitgevoerde metingen. De bespreking van de continue metingen wordt gegeven in paragraaf 3.1 en van de meetvaarten in paragraaf 3.2. Op basis van deze kwalitatieve bespreking wordt besloten welke data bruikbaar zijn voor de verdere in hoofdstuk 4 (dichtheidsverschil) en in hoofdstuk 5 (invloed events) uitgevoerde analyse.

3.1 Continue metingen

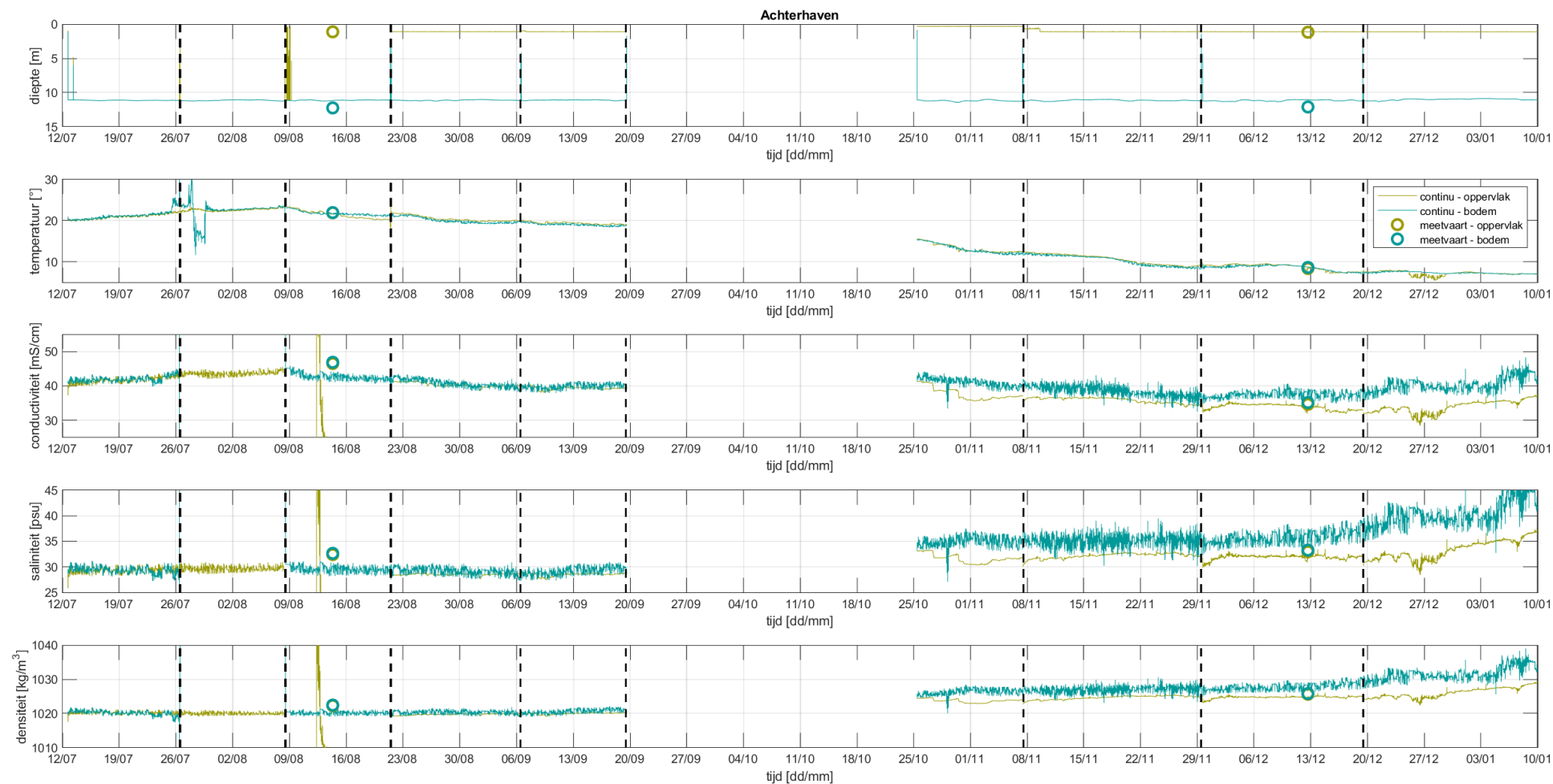
Voor de continue metingen uitgevoerd aan de locaties Herdersbrug, Achterhaven en Voorhaven wordt in Figuur 4 tot en met Figuur 6 een overzicht gegeven van de meetresultaten. Op deze figuur wordt voor de locatie Herdersbrug en de locatie Voorhaven bijkomend het resultaat van de door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen gegeven. Op de twee tijdstippen van de meetvaart worden ook de meetwaarden op de hoogte van de continue meting nabij het oppervlak en de bodem gegeven. De continue metingen werden in de beginperiode tweewekelijks uitgelezen en gereinigd. Vanaf oktober 2018 werd overgeschakeld naar een driewekelijkse uitlezing en reiniging. De tijdstippen van uitlezen en reinigen worden aangeduid door middel van een verticale stippellijn.

De bovenste drie figuren per locatie bevatten de opgemeten waterdiepte (gecorrigeerd met de barometrische druk), temperatuur en conductiviteit. Hieruit wordt vervolgens de saliniteit en dichtheid berekend door middel van de in bijlage A gegeven formules. Op de continue metingen voor oktober 2018 werd in post processing een justering op de conductiviteit toegepast. Het opstellen van deze in post processing toegepaste justering op de conductiviteit wordt besproken in bijlage B. Het logboek van de continue metingen wordt gegeven in bijlage D. In dit logboek wordt weergegeven welke CTD Diver waar en wanneer ingezet geweest is en worden de vaststellingen bij uitlezing gerapporteerd.

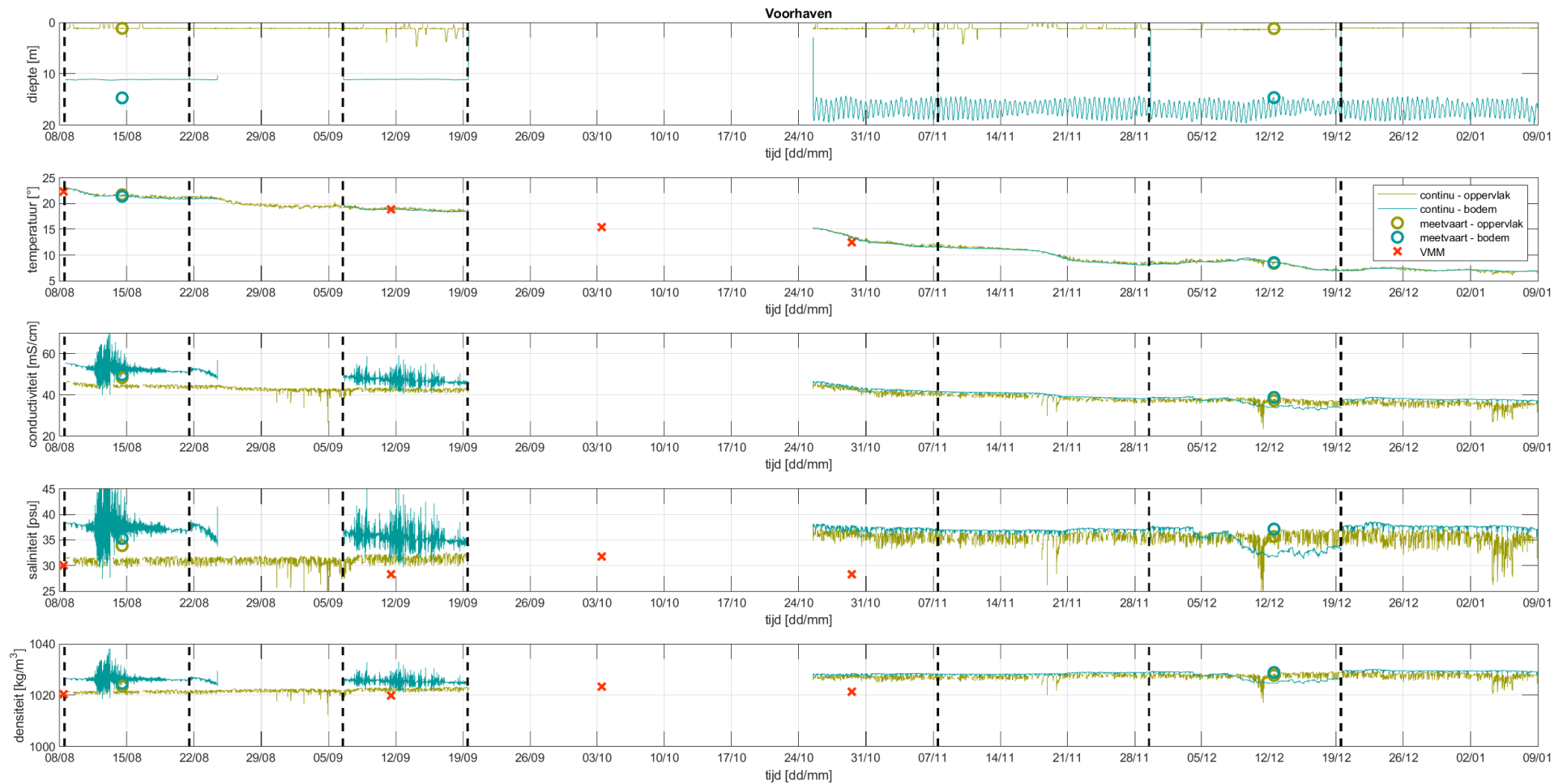
Figuur 4 – Continue meting - locatie Herdersbrug



Figuur 5 – Continue meting - locatie Achterhaven



Figuur 6 – Continue meting - locatie Voorhaven



Algemeen wordt opgemerkt:

Alle metingen vertonen een pauze tussen 20/09/2018 en 26/10/2018. Na het vergelijken van de metingen van de eerste meetvaart (uitgevoerd op 14/08/2018) met de continue metingen werd besloten dat het verschil tussen beide metingen te groot was. Omwille van deze reden werden de CTD Divers op 20/09/2018 gededemobiliseerd en naar WL gebracht voor controle. Voor de metingen tot en met september werd op basis van de controle een justering in post processing opgesteld. De controlemeting, de justering in postprocessing voor de metingen tot september 2018 en de justering voor de metingen vanaf oktober 2018 worden besproken in bijlage B. Merk in Figuur 4 tot en met Figuur 6 op dat de relatie tussen de metingen uitgevoerd nabij de bodem en de metingen uitgevoerd nabij het oppervlak merkbaar verschillen tussen de metingen tot en met september (voor de justering) en de metingen vanaf oktober (na justering). Dit niettegenstaande de in post processing toegepaste justering op de metingen tot en met september.

De CTD Divers meten de geleidbaarheid van het water door middel van een sensor op een plaatje. Wanneer op deze sensor een film laagje ontwikkelt zal dit de meting beïnvloeden. Hierom werden de CTD Divers in de zomerperiode tweewekelijks uitgelezen en gereinigd. Vanaf oktober werd overgegaan naar een driewekelijkse uitlezing en reiniging. Op één overgang na wordt geen sprong opgemerkt tussen de opgemeten conductiviteit voor en na uitlezing. Hieruit wordt besloten dat de opgemeten conductiviteit niet beïnvloed wordt door filmwerking.

Uit de vergelijking met de meetvaart en de VMM metingen volgt dat er een goede overeenkomst is op vlak van temperatuur. Voor de saliniteitsmetingen is de overeenkomst tussen de VMM metingen en de CTD Divers op enkele metingen na niet goed. Doordat de saliniteit in het Boudewijnkanaal relatief hoog is worden de formules voor de omrekening van conductiviteit naar saliniteit binnen het werkingsgebied waarvoor ze opgesteld zijn toegepast. Op een waterstaal uit de voorhaven van Zeebrugge werd door WL een dichtheidsmeting, conductiviteitsmetingen met de CTD Divers en met twee bijkomende toestellen en een bepaling van het chloridegehalte, analoog met de door VMM, uitgevoerde meting, uitgevoerd. Deze analyse wordt beschreven in bijlage B. Doordat op dat moment 4 van de 7 CTD Divers faalden kunnen hier geen duidelijke conclusies uit getrokken worden. WL heeft contact opgenomen met de VMM om dit verder te onderzoeken. Door de vastgestelde afwijking tussen de saliniteit uit de WL en VMM metingen wordt besloten om in dit rapport enkel een onderlinge vergelijking te maken tussen twee metingen volgens een zelfde meetprincipe (conductiviteit of chloridegehalte).

In Tabel 4 wordt de vergelijking gegeven tussen de metingen uitgevoerd tijdens de meetvaart en de continue metingen. Hieruit volgt een verschil van +/- 4 mS/cm op de opgemeten conductiviteit en een verschil +/- 2 kg/m³ op de berekende dichtheid.

Specifiek voor de metingen op locatie Herdersbrug, zie Figuur 4, wordt opgemerkt:

Op de eerste periode na was de CTD Diver met serienummer V1271 nabij het wateroppervlak geplaatst en de CTD Diver met serienummer R5519 nabij de bodem. Bij de eerste installatie werd een 3D geprinte vlotter gebruikt. Hierin sijpelde langzaam water in waarna deze naar de bodem zonk. Dit werd vastgesteld bij de eerste ophaling op 26/07/2018 waarna de CTD Diver tussen de tweede en derde uitlezing op een vaste hoogte ca. 1.0 m onder het wateroppervlak bevestigd werd. Dit is terug te zien in de sterkere fluctuaties van het waterpeil tussen 26/07/2018 en 08/08/2018. Na 08/08/2018 werd een XPS vlotter gebruikt en valt op dat de peilmeting nabij het wateroppervlak op een constante diepte blijft. Voor de eerste periode waarbij beide CTD Divers zich nabij de bodem bevonden valt op dat de signalen in het begin zo goed als samenvallen. Hieruit volgt dat de in post processing uitgevoerde justering, zie bijlage B, leidt tot een goede vergelijkbaarheid van beide CTD Divers. Voor de uitlezingen tussen 26/07/2018 en 21/08/2018 is de verhouding tussen de CTD Diver nabij de bodem en de CTD Diver nabij het wateroppervlak gelijkaardig als voor de metingen uitgevoerd vanaf 26/10/2018 na de justering. Na de uitlezing van 21/08/2018 wordt opgemerkt dat de CTD Diver nabij het wateroppervlak begint te drijven. Een mogelijke verklaring zou de ontwikkeling van een film laag

kunnen zijn. Het reinigen op 06/09/2018 heeft echter geen invloed op de afwijking. Een dergelijke afwijking wordt voor de betreffende CTD Diver niet verder waargenomen. Voor verdere analyse wordt besloten om de metingen nabij het wateroppervlak uitgevoerd tussen 21/08/2018 en 19/09/2018 niet verder mee te nemen.

Specifiek voor de metingen op locatie achterhaven, zie Figuur 5, wordt opgemerkt:

CTD Diver R5518 werd voor de volledige meetperiode gebruikt. Tot 21/08/2018 nabij het wateroppervlak en hierna nabij de bodem. De tweede CTD Diver werd twee keer gewisseld. Analooq als bij de metingen aan de Herdersbrug zonk de 3D geprinte vlotter na de eerste installatie. Tijdens de eerste uitlezing op 26/07/2018 was één XPS reserve vlotter beschikbaar die geïnstalleerd werd aan de achterhaven. Door een foutief geplaatste zekering werden de CTD Diver en vlotter samen met het ballastgewicht naar de bodem getrokken. Dit werd opgemerkt en verholpen bij de op 08/08/2018 uitgevoerde uitlezing. Merk op dat de metingen nabij de bodem een constante diepte 11.1 m hebben terwijl de CTD Diver in werkelijkheid op een diepte ca. 18 m geplaatst is. De ingezette CTD Diver heeft een max. bereik van 10 m (+ ca. 1.10 m marge). Vanaf 07/11/2018 werd voor het opmeten van de waterdiepte bijkomend een CERA Diver ingezet met een bereik van 20.0 m. Na analyse van de op 08/08/2018 uitgelezen data werd opgemerkt dat Diver R5520 faalde. Tot 08/08/2018 was deze CTD Diver nabij de bodem geplaatst. Na de uitlezing werd deze nabij het oppervlak bevestigd. Het falen is terug te zien in de temperatuurvariaties rond de uitlezing van 26/07/2018, het wegvallen van de conductiviteit na 26/07/2018 en bij de herinstallatie van de CTD Diver op 8/08/2018 nabij het wateroppervlak door het overtoppen van de druk en het afwijkend gedrag van de opgemeten conductiviteit. Bij de uitlezing van 21/08/2018 werd deze CTD Diver vervangen door de CTD Diver met serienummer R5530. Bij de herinstallatie van 26/10/2018 raakte het koord waaraan de bovenste CTD Diver onder de vlotter hangt verstrikt tijdens de installatie, hierdoor bevond voor de reeks tussen 26/10/2018 en 07/11/2018 de bovenste vlotter zich op 0.30 m onder het wateroppervlak in plaats van op 1.00 m. Wat opvalt is dat de relatie tussen de dichtheidsmeting nabij het oppervlak en nabij de bodem sterk verschilt tussen de metingen tot en met september en de metingen vanaf oktober. Waar voor september het verschil tussen de meting nabij het oppervlak en de meting nabij de bodem minimaal is, treedt vanaf de herinstallatie in oktober een merkelijk verschil op tussen beide metingen. Omwille van dit gewijzigd patroon werd bij de uitlezing van 29/11/2018 de CTD Diver nabij het oppervlak met serienummer R5530 vervangen door de CTD Diver met serienummer R5529. Hierbij werd geen trendverschil opgemerkt. Ook wordt opgemerkt dat de CTD Diver nabij de bodem merkelijk grotere fluctuaties meet dan de CTD Diver nabij het oppervlak. In paragraaf 5.2 wordt verder uitgezocht of deze fluctuaties te wijten zijn aan het verschutten met de Vandammesluis. Uit de controlemeting uitgevoerd in februari 2019, zie bijlage B, volgde dat zowel CTD Diver R5518 als CTD Diver R5529 de specifieke conductiviteit van een kalibratiestaal met 15 tot 20 mS/cm overschatten.

Specifiek voor de metingen op locatie voorhaven, zie Figuur 6, wordt opgemerkt:

Voor de metingen nabij het wateroppervlak werd voor de volledige periode de CTD Diver met serienummer R5514 ingezet. Voor de metingen nabij de bodem werd gestart met de CTD Diver met serienummer R5528. Tijdens de in oktober 2018 uitgevoerde controle werd opgemerkt dat deze CTD Diver merkelijk afweek waarna besloten werd om deze niet meer in te zetten. Hierop werd deze vervangen door de CTD Diver met serienummer V7983. Deze CTD Diver heeft een maximaal dieptebereik van 20 m waardoor de waterdiepte niet meer afgetoet wordt op ca. 11 m. Voor september vertonen de metingen nabij de bodem en nabij het oppervlak een onderling verschil dat lijkt af te nemen in de tijd. Vanaf oktober is er een quasi constant verschil tussen de meting aan het oppervlak en de meting nabij de bodem, waarbij aan de bodem een beperkt hogere saliniteit opgemeten wordt dan aan het oppervlak. Vanaf 4/12 tot en met de uitlezing en reiniging van 19/12 wordt opgemerkt dat de conductiviteit van de CTD Diver nabij de bodem afwijkt. Deze afwijking wordt verklaard door het aantreffen van slib op het plaatje waarmee de conductiviteit opgemeten wordt tijdens de op 19/12 uitgevoerde reiniging.

Tabel 4 – Vergelijking continue metingen met meetvaarten

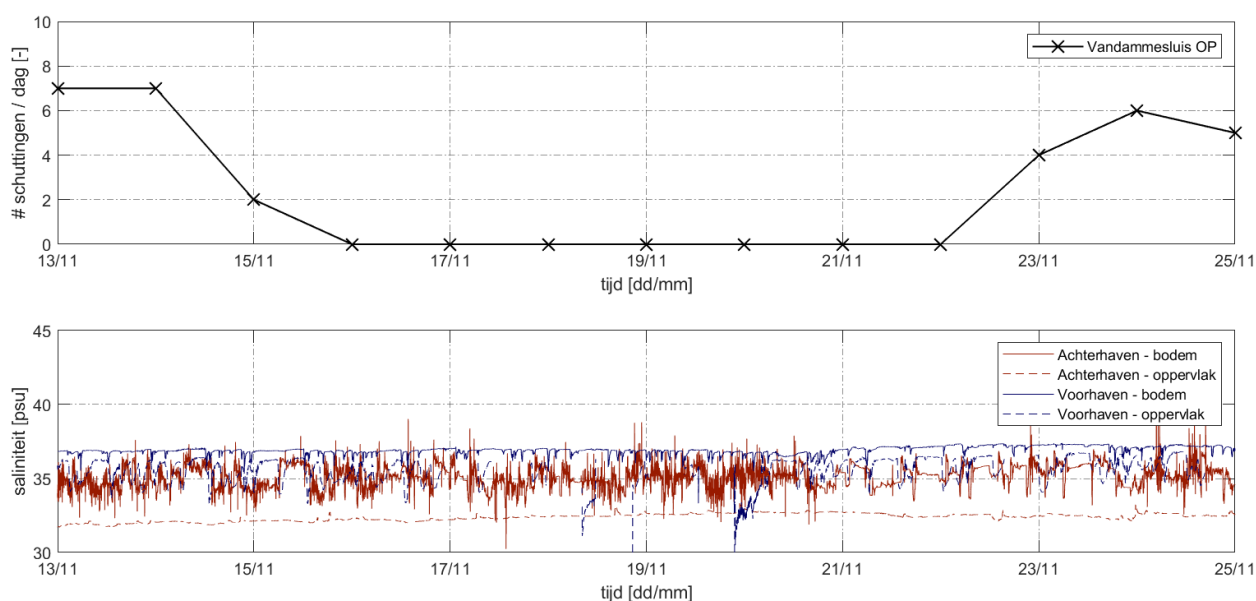
Locatie Herdersbrug													
		Augustus						December					
		wateroppervlak			bodem			wateroppervlak			bodem		
		CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ
tijd	[uu:mm]	9:01	9:01		9:04	9:04		7:36	7:36		7:36	7:36	
druk	[m H2O]	1.1	1.1	0.0	6.5	6.2	0.3	1.1	1.2	0.0	6.4	6.2	0.2
temperatuur	[°C]	22.5	22.1	0.4	22.5	22.4	0.1	9.1	8.9	0.2	9.0	8.9	0.1
conductiviteit	[mS/cm]	42.7	44.7	-2.1	43.3	47.0	-3.7	31.5	32.1	-0.6	33.4	35.0	-1.6
saliniteit	[psu]	29.0	30.9	-1.8	29.5	32.4	-2.9	29.0	29.8	-0.8	31.1	32.8	-1.7
densiteit	[kg/m3]	1020	1021	-1.0	1020	1022	-2.0	1022	1023	-1.0	1024	1025	-1.0
Locatie Achterhaven													
		Augustus						December					
		wateroppervlak			bodem			wateroppervlak			bodem		
		CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ
tijd	[uu:mm]	10:59	10:59		10:58	10:58		7:44	7:44		7:45	7:45	
druk	[m H2O]	/	1.1	/	11.2	12.3	-1.1	1.1	1.2	-0.1	11.1	12.1	-1.1
temperatuur	[°C]	/	21.9	/	21.6	21.9	-0.4	8.0	8.4	-0.3	8.8	8.6	0.2
conductiviteit	[mS/cm]	/	46.5	/	43.4	46.9	-3.4	32.9	34.6	-1.7	38.1	35.2	2.9
saliniteit	[psu]	/	32.4	/	30.2	32.6	-2.4	31.5	33.0	-1.5	36.2	33.3	3.0
densiteit	[kg/m3]	/	1022	/	1021	1022	-2.0	1024	1026	-1.0	1028	1026	2.0
Locatie Voorhaven													
		Augustus						December					
		wateroppervlak			bodem			wateroppervlak			bodem		
		CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ	CTD Diver	RBR	Δ
tijd	[uu:mm]	12:26	12:26		12:33	12:33		7:20	7:20		7:20	7:20	
druk	[m H2O]	1.1	1.1	0.0	11.1	14.7	-3.6	1.4	1.2	0.2	/	14.7	/
temperatuur	[°C]	21.7	21.7	0.0	21.4	21.4	0.0	8.6	8.4	0.2	/	8.5	/
conductiviteit	[mS/cm]	44.3	48.3	-4.0	53.3	49.7	3.6	37.7	37.2	0.5	/	38.7	/
saliniteit	[psu]	30.8	33.9	-3.1	38.2	35.3	2.9	36.0	35.7	0.3	/	37.1	/
densiteit	[kg/m3]	1021	1023	-2.0	1027	1025	2.0	1028	1028	0.0	/	1029	/

/ = Geen meting beschikbaar

Doordat de CTD Divers geplaatst zijn in een buis bestaat het risico dat stratificatie in de buis optreedt waardoor het saliniteitsprofiel in de buis niet meer overeenkomt met het saliniteitsprofiel rondom de buis. Verwacht wordt dat, wanneer stratificatie optreedt, dit verstoord wordt wanneer een schip passeert. Om dit

te controleren wordt voor een periode van 7 dagen waarin de Vandammesluis buiten gebruik is nagegaan of er een invloed waar te nemen is in het verloop van de opgemeten conductiviteit, zie Figuur 7. Hieruit valt geen merkelijk verschil op tussen de periodes voor, tijdens en na het buiten dienst zijn van de Vandammesluis. Wel wordt opgemerkt dat de CTD Diver meting nabij de bodem van de achterhaven gekenmerkt wordt door plotse sprongen en fluctuaties. Hiervoor lijkt niet meteen een fysische verklaring te zijn. Ook de CTD Diver meting nabij het oppervlak van de voorhaven vertoont sprongen. Deze kunnen vermoedelijk verklaard worden door het spuien met het Afleidingskanaal van de Leie of het Leopoldkanaal waardoor een zoete oppervlaktestroming ontstaat in de voorhaven (IMDC NV *et al.*, 2011).

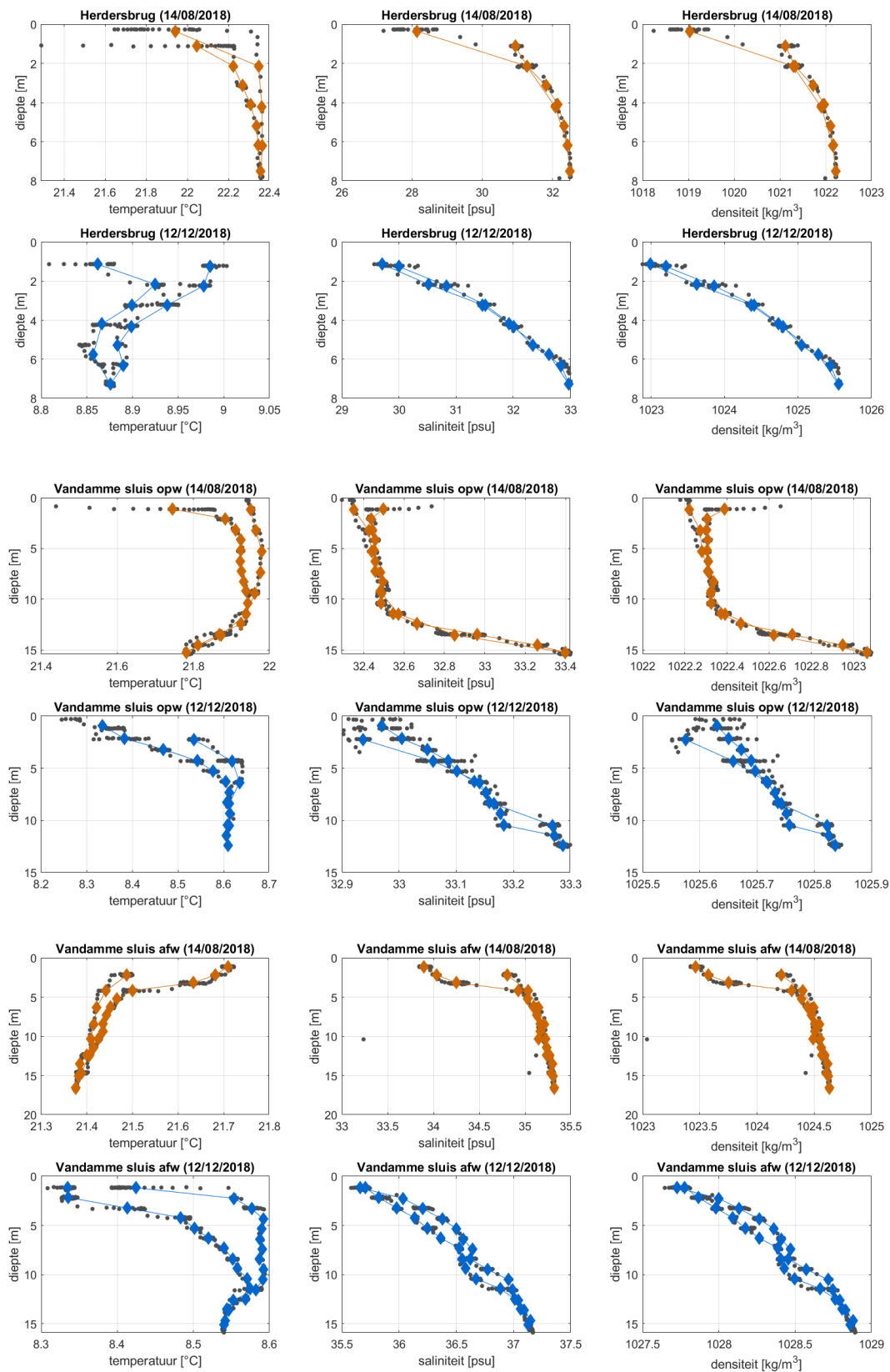
Figuur 7 – Invloed schuttingen op opgemeten conductiviteit



3.2 Meetvaarten

Voor de profielen genomen op de locaties Herdersbrug, Vandammesluis opwaarts en Vandammesluis afwaarts wordt in Figuur 8 de temperatuur, saliniteit en dichtheid in functie van de diepte gegeven. Zoals beschreven in paragraaf 2.2 verliep de profielmeting met een tussenstap 1.0 m of 2.0 m en werden zowel tijdens de neergaande als tijdens de opgaande beweging metingen uitgevoerd. Op basis van de dieptemetingen worden de trappen gedetecteerd. Vervolgens wordt per trap het gemiddelde gebruikt. De grijze puntjes in de figuren betreffen een plot van alle gemeten punten. De gekleurde punten zijn de automatisch bepaalde gemiddelde waarden per meetstap.

Figuur 8 – Meetvaarten – profielmeting Herdersbrug



Voor de temperatuur wordt een afwijking vastgesteld tussen de opgaande en de neergaande beweging. Deze afwijking is echter zeer beperkt (minder dan 0.2°C) en dus verwaarloosbaar. Voor de in augustus uitgevoerde metingen wordt op de bovenste meetpunten voor de saliniteit een grotere spreiding opgemerkt en een verschil tussen de op- en neergaande beweging. Voor de in december uitgevoerde metingen wordt dit niet opgemerkt. In het algemeen kan besloten worden dat de spreiding binnen een meetpunt beperkt is, dat het verschil tussen de op- en neergaande beweging beperkt is en dat de automatische verwerking representatieve puntwaarden geeft in functie van de diepte.

3.3 Conclusie

Tijdens het verloop van de continue metingen werden verschillende problemen opgemerkt met de ingezette CTD Divers. Voor de helft van de ingezette CTD Divers dienen de metingen gedeeltelijk of geheel als onbetrouwbaar beschouwd te worden. Omwille van deze problemen is er voor september 2018 geen betrouwbaar resultaat voor de saliniteit/dichtheid aan de voorhaven, voor de metingen vanaf oktober 2018 is er geen betrouwbaar resultaat voor de saliniteit/dichtheid aan de achterhaven. Dit maakt dat het niet mogelijk is om uit de continue metingen het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven met de gewenste nauwkeurigheid te bepalen.

Bij de profielmetingen werden geen problemen vastgesteld. Als controle werd zowel gemeten tijdens de neergaande als tijdens de opgaande beweging, met goede overeenkomst. Ook uit de controlemetingen van het voor de meetvaart ingezette RBR toestel volgden geen bijzonderheden.

4 Densiteitsverschil

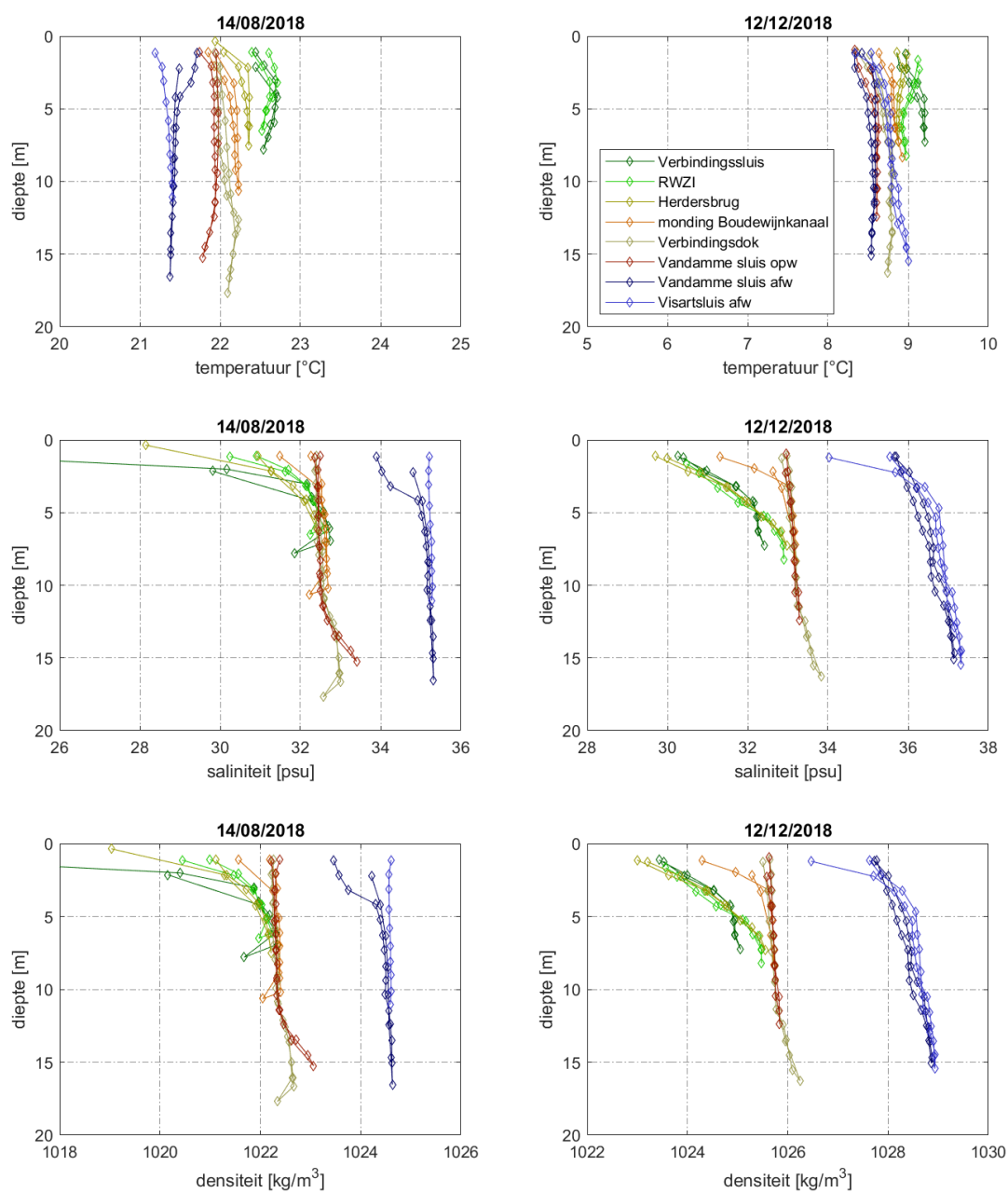
In onderhavig hoofdstuk wordt op basis van de beschikbare meetdata het densiteitsverschil tussen het Boudewijnkanaal, de achterhaven en de voorhaven gekarakteriseerd. Hiervoor werd eerst een kwalitatieve analyse van de door WL uitgevoerde metingen uitgevoerd in hoofdstuk 3. In paragraaf 4.1 worden de door WL in 2018 uitgevoerde profielmetingen vanaf de Verbindingsluis tot en met de voorhaven besproken. In 2008 werden door IMDC ook profielmetingen uitgevoerd vanaf de Verbindingsluis tot en met de voorhaven, deze worden besproken in paragraaf 4.2. Het densiteitsverschil op basis van de continue metingen van WL vanaf juli 2018 tot en met januari 2019 wordt besproken in paragraaf 4.3. Het densiteitsverschil op basis van de langdurige periodieke oppervlakte metingen van VMM op het Boudewijnkanaal en in de voorhaven wordt besproken in paragraaf 4.4.

De resultaten in dit hoofdstuk worden beperkt tot de temperatuur, saliniteit en densiteit. Conductiviteit en chloridegehalte zijn beide een tussenstap om de saliniteit te bepalen en worden hierom niet verder gebruikt in dit en in volgend hoofdstuk.

4.1 Profielmetingen WL

Tijdens de meetcampagne van WL werd op twee tijdstippen een meetvaart uitgevoerd. De locatie van de meetpunten wordt gegeven in Figuur 2. De verwerking van de metingen wordt beschreven in paragraaf 3.2. De uit deze twee meetvaarten volgende temperatuur-, saliniteit- en densiteitsprofielen per locatie worden gegeven in Figuur 9. De meetpunten in de legende zijn gesorteerd van opwaarts naar afwaarts. Hierbij kan opgemerkt worden dat er een duidelijk onderscheid is tussen de metingen uitgevoerd in het Boudewijnkanaal, de achterhaven en de voorhaven. In het Boudewijnkanaal is er zeker in de saliniteit en vervolgens ook de densiteit een gelaagdheid op te merken met aan het oppervlak een lagere saliniteit. Het verschil tussen bodem en 1.0 m onder het oppervlak bedraagt 3 tot 4 psu. Bij het uitvoeren van nieuwe profielmetingen is het aan te raden om de eerste 2.0 m onder het oppervlak een kleinere stapgrootte toe te passen. Ook aan de monding van het Boudewijnkanaal in de achterhaven is de saliniteit en dus ook densiteit van de metingen aan het oppervlak lager. Het verschil in saliniteit tussen de meetpunten op het Boudewijnkanaal is beperkt. De densiteit tussen de drie meetpunten in de achterhaven (mondong Boudewijnkanaal, Verbindingsdok en Vandammesluis afwaarts) valt vrijwel samen. Op de meting van 14/08/2018 is er een goede overeenkomst tussen de densiteit vanaf een diepte ca. 4 m in het Boudewijnkanaal en de densiteit in de achterhaven. Op 12/12/2018 is de densiteit in het Boudewijnkanaal lager dan de densiteit in de achterhaven. Ook de lagere densiteit aan de oppervlakte voor het meetpunt monding Boudewijnkanaal is meer uitgesproken tijdens de op 12/12/2018 uitgevoerde meting. De op 12/12/2018 uitgevoerde metingen in de voorhaven vertonen een gelaagdheid met iets lagere saliniteit/densiteit aan het oppervlak. Voor de op 14/8/2018 uitgevoerde meting is dit minder uitgesproken. Voor beide meetpunten is de overeenkomst tussen de meting nabij de Visartsluis en de meting afwaarts de Vandammesluis goed. Het saliniteitsverschil tussen voor -en achterhaven bedroeg ca. 3 psu op 14/08/2018 en ca. 4 psu op 12/12/2018. Het densiteitsverschil bedroeg ca. 2 kg/m³ op 14/08/2018 en ca. 3 kg/m³ op 12/12/2018.

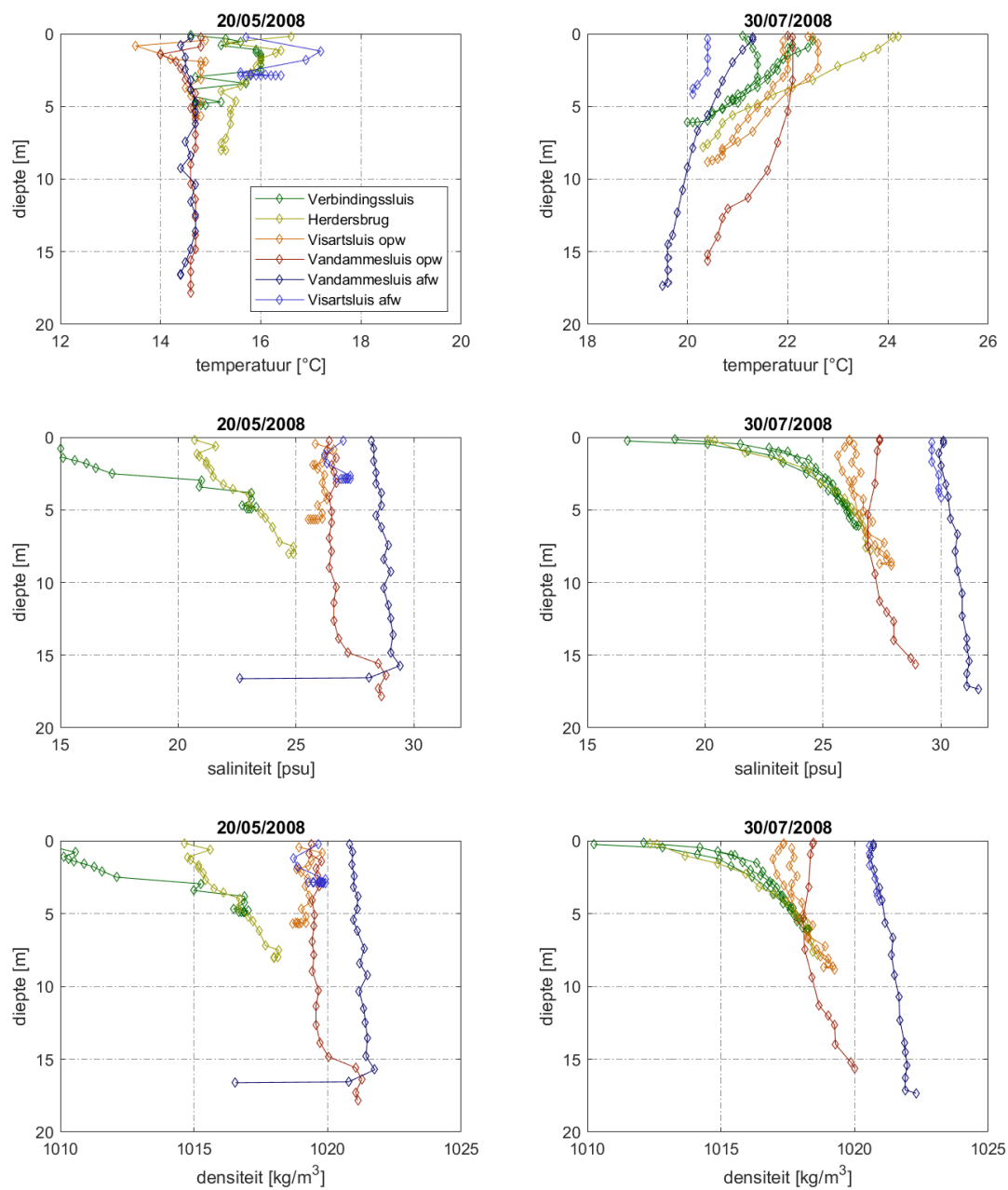
Figuur 9 – Profielmetingen WL 2018



4.2 Profielmetingen IMDC - UGENT

In 2008 werd door IMDC in samenwerking met UGent een soortgelijke meting uitgevoerd (IMDC NV, 2009). Hierbij werden profielmetingen uitgevoerd ter hoogte van de Verbindingsluis, Herdersbrug en op- en afwaarts van de Visartsluis en Vandammesluis. De metingen werden uitgevoerd vanop de kade. Van deze metingen werd een analoge figuur opgemaakt als van de door WL uitgevoerde profielmetingen, zie Figuur 10. Merk op dat de relatief grote variatie in temperatuur bij de profielmetingen van juli 2008 vermoedelijk te wijten is aan het stabiliseren van de temperatuurmeting van het toestel. De invloed van enkele graden Celsius afwijking op de dichtheid is evenwel beperkt. De in mei 2008 uitgevoerde meting lijkt te volgen op een schutting of spui-event met de Verbindingsluis. Ter hoogte van de Verbindingsluis is de saliniteit tot 2.5 m onder het oppervlak merkbaar lager. De onderste meetwaarden aan de Verbindingsluis, bemerk dat in mei 2019 de meting stopte op 5 m onder het wateroppervlak, vallen wel samen met de Herdersbrug. De dichtheid op het Boudewijnkanaal (Verbindingsluis en Herdersbrug) is in mei 2008 merkbaar lager dan de dichtheid in de achterhaven (afwaarts de Visart- en Vandammesluis). Opwaarts de Vandammesluis is aan de bodem een sterke toename van de dichtheid waar te nemen tot eenzelfde dichtheid als de voorhaven. Dit heeft mogelijk te maken met het uitwisselen van de schutkolk. De afwijking nabij de bodem voor de in mei 2008 uitgevoerde meting Vandammesluis afwaarts is vermoedelijk te wijten aan contact van de sensor met de bodem. Ter hoogte van de Visartsluis wordt in mei 2008 geen dichtheidsverschil opgemerkt tussen opwaarts en afwaarts. Over de Vandammesluis treedt wel een dichtheidsverschil op. De metingen uitgevoerd in juli 2008 zijn van trends vergelijkbaar met de door WL uitgevoerde metingen in december 2018. De metingen op het Boudewijnkanaal (Verbindingsluis en Herdersbrug) vallen zo goed als samen. Voor deze meetpunten neemt de saliniteit af naar het oppervlak toe. De saliniteit nabij de bodem sluit aan met de saliniteit opgemeten in de achterhaven. In de achterhaven wordt opgemerkt dat de saliniteit nabij het oppervlak aan de Visartsluis lager is dan ter hoogte van de Vandammesluis. Dit is analoog met de door WL uitgevoerde meting nabij de monding van het Boudewijnkanaal. Voor de meting nabij de Vandammesluis wordt een beperkte verhoging van de saliniteit opgemerkt bij een diepte onder 12 m. Deze trend komt ook voor bij de door WL in augustus 2018 uitgevoerde meting opwaarts de Vandammesluis. De in juli 2008 uitgevoerde metingen aan de voorhaven zijde (Visart- en Vandammesluis afwaarts) vallen samen. Het saliniteitsverschil bedraagt ca. 1.5 psu tijdens de in mei 2008 uitgevoerde meting en ca. 3.0 psu tijdens de in juli 2008 uitgevoerde meting. Het dichtheidsverschil bedraagt ca. 1.0 kg/m³ tijdens de in mei 2008 uitgevoerde meting en ca. 2.5 kg/m³ tijdens de in juli 2008 uitgevoerde meting.

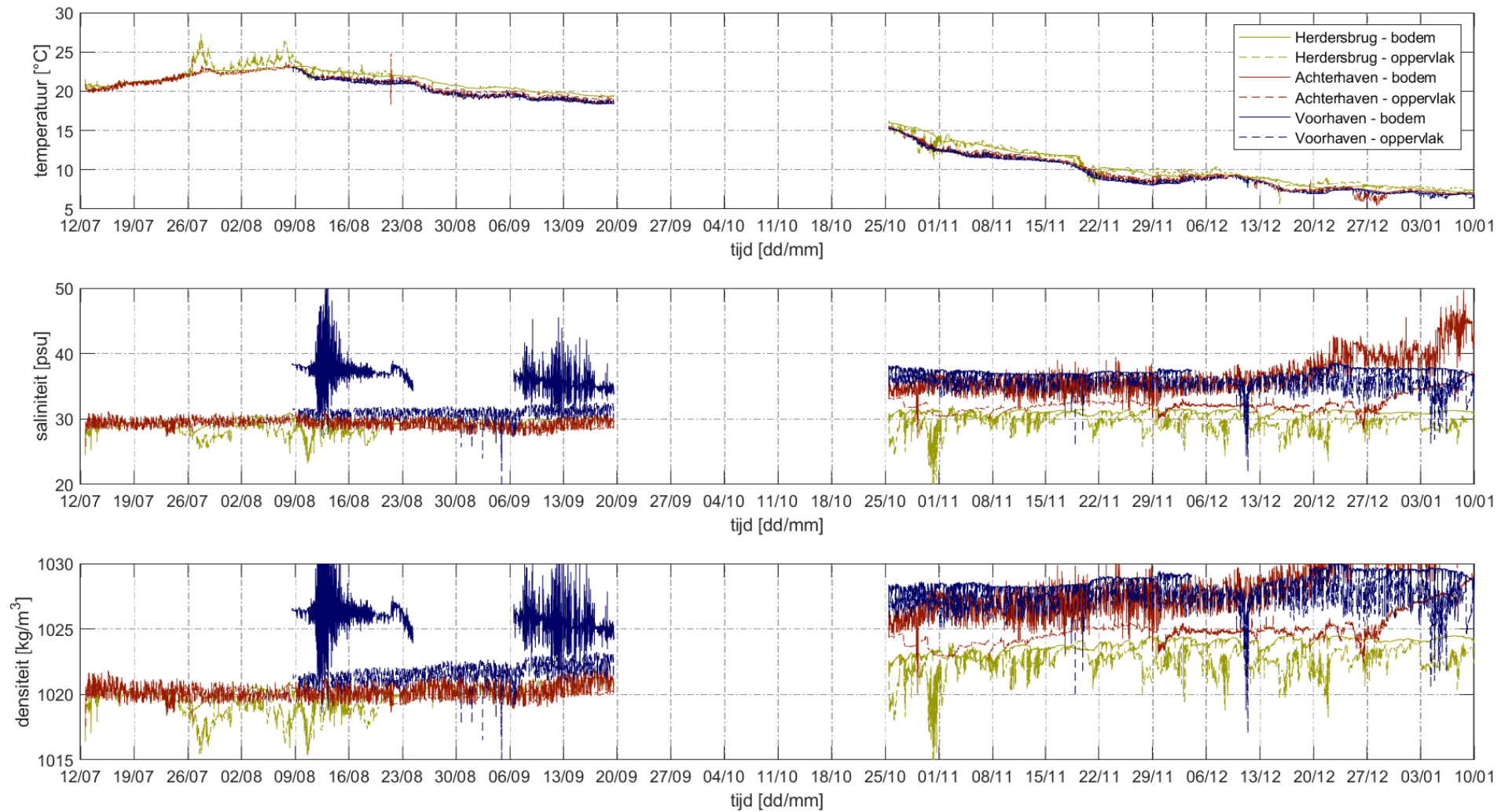
Figuur 10 – Profielmetingen IMDC 2008



4.3 Continue metingen WL

Het verloop van de temperatuur, saliniteit en dichtheid van de door WL uitgevoerde continue metingen wordt gegeven in Figuur 11. De kwalitatieve analyse van deze metingen werd uitgevoerd in paragraaf 3.1. Op basis van deze analyse werd de data gedeeltelijk opgekuist. Door het grote aantal problemen met de ingezette sensoren is er geen periode beschikbaar waarbij zowel de metingen aan zijde achterhaven als de metingen aan zijde voorhaven betrouwbaar zijn. Hierom werd besloten om de data niet volledig op te kuisen. Verwacht wordt dat het verschil tussen de CTD meting nabij het oppervlak en de CTD meting nabij de bodem relatief beperkt is. Voor de metingen in de voorhaven voor 20/9 is er een onrealistisch hoog verschil tussen de meting nabij de bodem en de meting nabij het oppervlak. Voor de metingen in de achterhaven is de onderlinge afwijking na 25/10 onrealistisch hoog en werd bij een controle van beide sensoren achteraf vastgesteld dat de conductiviteit een positieve afwijking vertoont, zie bijlage B. Hiernaast werden ook een aantal spikes vastgesteld die vermoedelijk een meettechnische oorzaak hebben. Wanneer geen rekening gehouden wordt met deze onzekerheden bedraagt het maximaal dichtheidsverschil tussen voor en achterhaven, zonder spikes, 4 tot 6 kg/m³. De saliniteit en dichtheid ter hoogte van de Herdersbrug nabij het oppervlak tonen periodes met een sterke afname. Dit stemt overeen met de in paragraaf 4.1 vastgestelde gelaagdheid uit de profielmetingen op het Boudewijnkanaal.

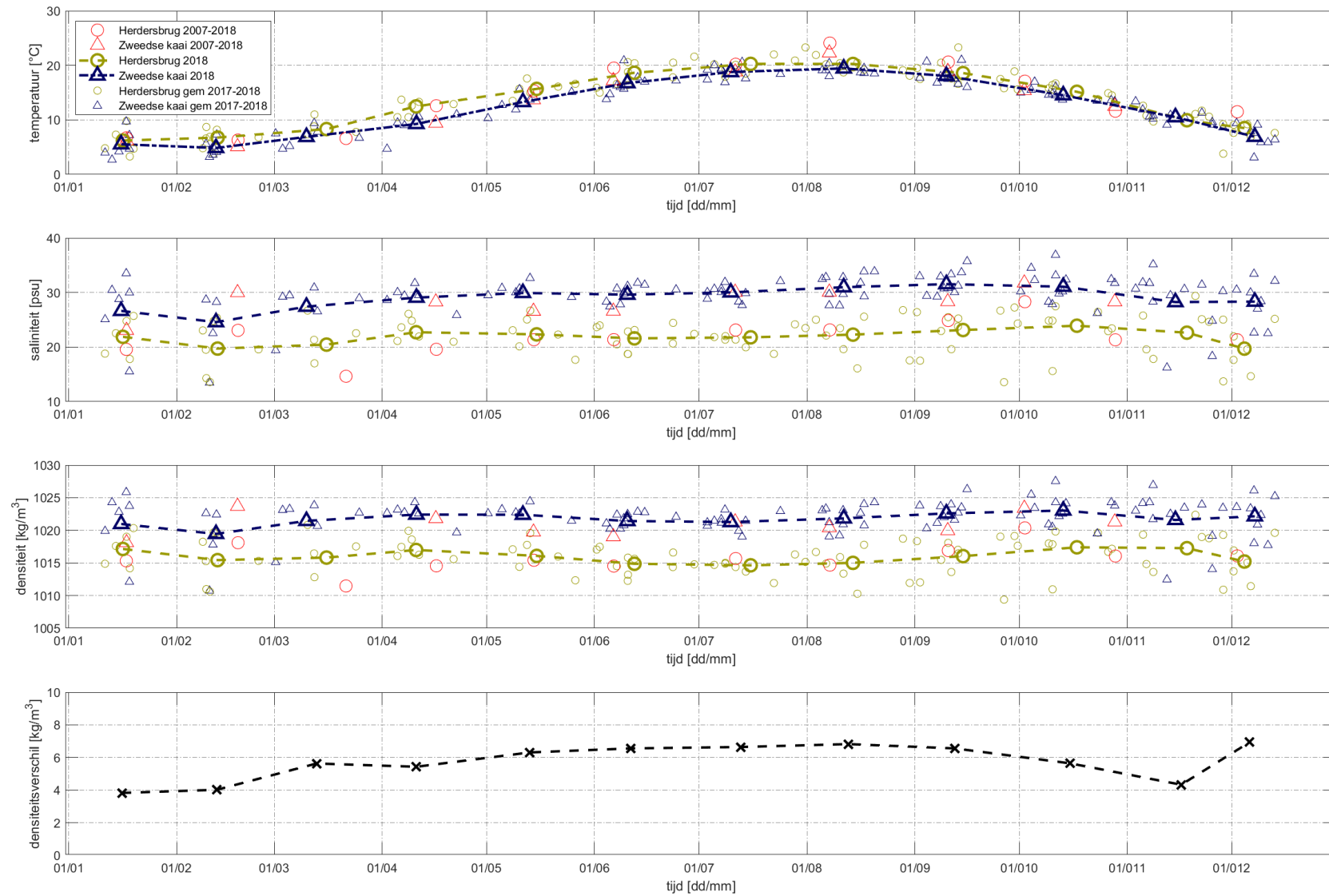
Figuur 11 – Vergelijking temperatuur, saliniteit en densiteit continue metingen



4.4 Periodieke oppervlaktemetingen VMM

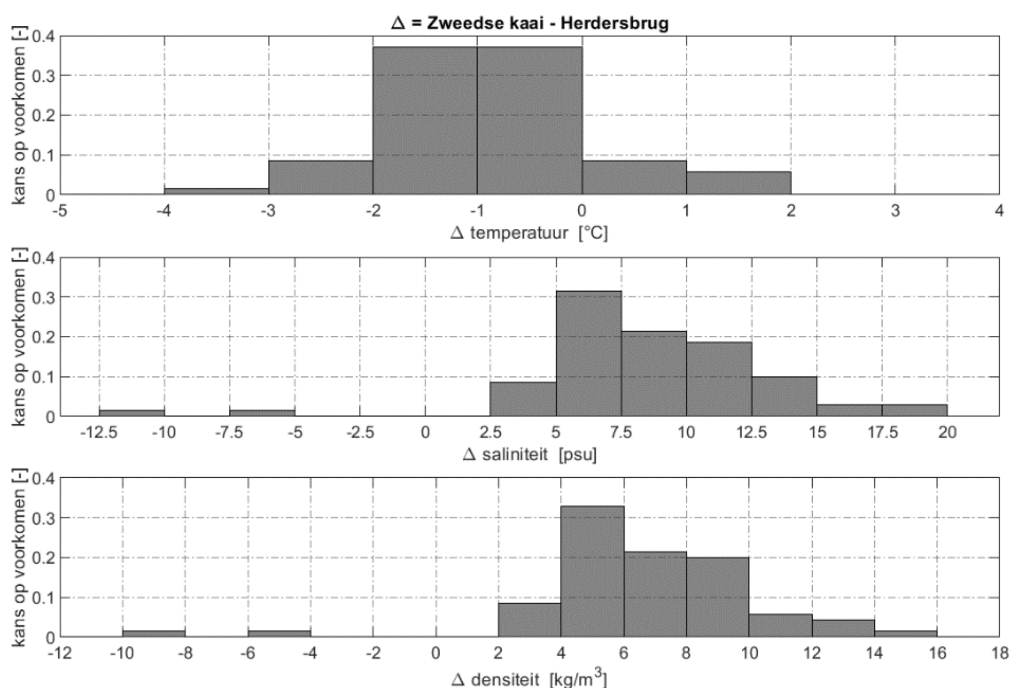
De temperatuur, saliniteit en dichtheid voor de VMM oppervlaktemetingen nabij de Herdersbrug en Zweedse kaai worden gegeven in Figuur 12. Voor de figuur worden metingen van 2007 tot en met 2018 gebruikt. De tijd-as betreft het dagnummer van de meting. De metingen van de verschillende jaren worden hierdoor op elkaar geplot. De kleine markers betreffen de jaarresultaten. De grote markers verbonden met een stippellijn zijn de maandgemiddelden over de volledige periode. Op basis van deze gemiddelden wordt ook nog het dichtheidsverschil tussen de locatie Herdersbrug en de locatie Zweedse kaai per maand berekend. De in 2018 uitgevoerde metingen worden weergegeven door middel van een rode marker. Bemerkt in Figuur 12 dat het temperatuurverloop tussen Herdersbrug en Zweedse kaai gelijkaardig verloopt met een maximum van ca. 20°C in augustus en een minimum van ca. 6 °C in februari. Het water aan de Herdersbrug is tussen 0.5°C en 2.0°C warmer dan aan Zweedse kaai. De maandgemiddelde saliniteit aan Zweedse kaai is tussen 5 psu en 9 psu hoger dan aan Herdersbrug. Bemerkt dat aan Zweedse kaai in de wintermaanden enkele negatieve uitschieters voorkomen die het gemiddelde naar beneden halen. Deze negatieve uitschieters kunnen mogelijks verklaard worden door lozingen van het Afleidingskanaal van de Leie en/of het Leopoldkanaal. Het dichtheidsverschil tussen Zweedse kaai en Herdersbrug bedraagt 4 tot 7 kg/m³. Niettegenstaande de uitzonderlijke warme en droge zomer van 2018 valt de saliniteit, en dus ook dichtheid, in 2018 vrij goed samen met het gemiddelde voor de periode 2007-2018. Voor de maanden augustus en september wordt zelfs een lager dan gemiddelde saliniteit opgemeten. De temperatuurmeting begin augustus 2018 is zowel aan Herdersbrug als aan Zweedse kaai ca. 4°C hoger dan het gemiddelde.

Figuur 12 – Temperatuur, saliniteit, densiteit en densiteitsverschil VMM metingen



De oppervlaktemeetpunten Herdersbrug en Zweedse kaai van VMM worden veelal niet op dezelfde dag bemonsterd. Voor de periode 2007 tot 2018 zijn 116 metingen van Zweedse kaai beschikbaar en 105 metingen voor Herdersbrug. Van deze metingen zijn er 70 waarvan het verschil in tijdstip van staalname tussen beide meetpunten beperkt is tot 1 dag. Van de punten waarbij het verschil in tijdstip van staalname beperkt is tot 1 dag wordt in Figuur 13 het verschil tussen beide meetpunten gegeven op vlak van temperatuur, saliniteit en densiteit. Hierin valt op dat de temperatuur voor het meetpunt Zweedse kaai voor het merendeel van de punten tussen 0 en 2 °C lager is dan de temperatuur in het meetpunt Herdersbrug. De saliniteit aan het meetpunt Zweedse kaai is veelal 2.5 psu tot 15 psu hoger dan de saliniteit aan de Herdersbrug. Voor de densiteit komt dit overeen met een densiteitsverschil tussen 2 kg/m³ en 10 kg/m³. Voor een kleine 10 % van de metingen is het saliniteitsverschil en densiteitsverschil hoger, tot 20 psu voor saliniteit en tot 16 kg/m³ voor densiteit. Hiernaast zijn er ook enkele metingen met zeer lage saliniteit en bijgevolg ook densiteit aan Zweedse kaai. Deze werden reeds opgemerkt in Figuur 12. Bij deze analyse dient opgemerkt te worden dat zowel uit de door WL in 2018 uitgevoerde profielmetingen als uit de door IMDC in 2008 uitgevoerde profielmetingen vastgesteld werd dat in het Boudewijnkanaal gelaagdheid optreedt met een lagere saliniteit/densiteit nabij het oppervlak. Hieruit volgt dat de door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen nabij de Herdersbrug niet representatief zijn voor het bepalen van het densiteitsverschil tussen voor- en achterhaven.

Figuur 13 – Oppervlakte metingen VMM verschil tussen meetpunt Zweedse Kaai en Herdersbrug



(o.b.v. van metingen met max. 1 dag verschil)

4.5 Conclusie

Uit de profielmetingen nabij de Verbindingsluis, aan het begin van het Boudewijnkanaal, en ter hoogte van de Herdersbrug, halverwege het Boudewijnkanaal, werd opgemerkt dat gelaagdheid optreedt waardoor de saliniteit/dichtheid nabij het oppervlak lager is dan aan de bodem. Deze gelaagdheid nabij het oppervlak werd ook nog opgemerkt in de achterhaven nabij de monding van het Boudewijnkanaal. Bij twee van de vier profielmetingen komt de saliniteit/dichtheid onderaan de waterkolom op de meetpunten in het begin en halverwege het Boudewijnkanaal overeen met de saliniteit/dichtheid op eenzelfde hoogte in de achterhaven. Bij de overige twee profielmetingen is de saliniteit/dichtheid onderaan de waterkolom in het Boudewijnkanaal lager dan op dezelfde hoogte in de achterhaven. In de achterhaven is de gelaagdheid vanaf het wateroppervlak tot de eerste 12 m diepte beperkt. Onder een diepte 12 m wordt een toename van de saliniteit met enkele psu opgemerkt.

De dichtheidsverschillen tussen voor- en achterhaven op basis van de profielmetingen, de continue metingen en de door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen worden samengevat in Tabel 5.

Tabel 5 – Dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven

Metingen	Dichtheidsverschil [kg/m^3]
Profielmetingen WL 2018	2.0 / 3.0
Profielmetingen IMDC 2008	1.0 / 2.5
Continue metingen WL 7/2018 tot 1/2019	maximaal 4 tot 6
Oppervlakte metingen VMM 2007-2018	tussen 2 en 10 enkele uitschieters tot max. 16

Uit de vier profielmetingen volgt een dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven van 1.0 kg/m^3 tot 3.0 kg/m^3 . Voor de continue metingen dient opgemerkt te worden dat door de vastgestelde problemen met de ingezette sensoren er geen tijdstip is waarbij zowel aan zijde voorhaven als aan zijde achterhaven goede metingen beschikbaar zijn. Wanneer geen rekening gehouden wordt met deze onzekerheid en met optredende spikes wordt op basis van de continue metingen een maximaal dichtheidsverschil van 4 à 6 kg/m^3 bepaald tussen voor- en achterhaven. Het grootste dichtheidsverschil - 2 kg/m^3 tot 10 kg/m^3 met uitschieters tot 16 kg/m^3 - wordt bepaald op basis van de oppervlaktemetingen van VMM aan de Zweedse kaai en aan de Herdersbrug. Uit de profielmetingen en continue metingen nabij de Herdersbrug werd echter opgemerkt dat op het Boudewijnkanaal gelaagdheid ontstaat en dat de dichtheid op het Boudewijnkanaal bij momenten lager is dan in de achterhaven. De door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen nabij de Herdersbrug zijn hierdoor niet representatief voor het bepalen van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven.

5 Invloeden

Onderhavig hoofdstuk onderzoekt de invloed van het peilbeheer met de afvoerkoker, sluisbewegingen en neerslag/evaporatie op de meetresultaten. Het toevoegen en afvoeren van water door zowel de afvoerkoker naast de Vandammesluis als door middel van de Verbindingsluis wordt besproken in paragraaf 5.1. De sluis uitwisselingen met de Vandammesluis en de Verbindingsluis worden besproken in paragraaf 5.2. De invloed van neerslag/evaporatie op de metingen wordt besproken in paragraaf 5.3.

Bemerk hierbij dat het doel van deze studie het karakteriseren van het densiteitsverschil tussen voor- en achterhaven is. Het opstellen van een saliniteitsbalans en het analyseren van de parameters die de densiteit beïnvloeden valt buiten de scope van deze studie. Onderstaand hoofdstuk is hierom beperkt tot een snelle analyse.

5.1 Peilbeheer afvoerkoker Vandammesluis

Om de achterhaven en het Boudewijnkanaal op peil te houden wordt water toegevoegd door middel van een afvoerkoker gelegen naast de Vandammesluis. Deze afvoerkoker bestaat uit drie deelskokers. Uit (Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst der Kust, 1979) volgt per deelskoker een breedte 3.5 m, een hoogte 3.0 m en een bodempcil 0.5 m TAW. De lengte van de kokers bedraagt ca. 705 m (opgemeten via www.geopunt.be). Door MBZ nv. werd een bestand overgemaakt met de positie van de hefschuiven in de tijd. De hefschuiven zijn hierin of open of gesloten. Het debiet wordt gestuurd aan de hand van het aantal geopende hefschuiven (1, 2 of 3).

Het debiet doorheen een afvoerkoker wordt berekend door middel van volgende formule:

$$Q = n \cdot A^2 \left(\frac{2 \cdot g \cdot |\Delta H|}{\left(\sum \xi + \frac{fL}{D_H} \right)} \right)^{1/2} \cdot \frac{\Delta H}{|\Delta H|}$$

De Darcy Weisbach wrijvingsfactor f in bovenstaande vergelijking wordt als volgt berekend:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -2.0 \cdot \log \left[\frac{\varepsilon/D_H}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \cdot \log \left(\frac{\varepsilon/D_H}{3.7} + \frac{13}{Re} \right) \right] \quad (\text{Zigrang \& Sylvester, 1982})$$

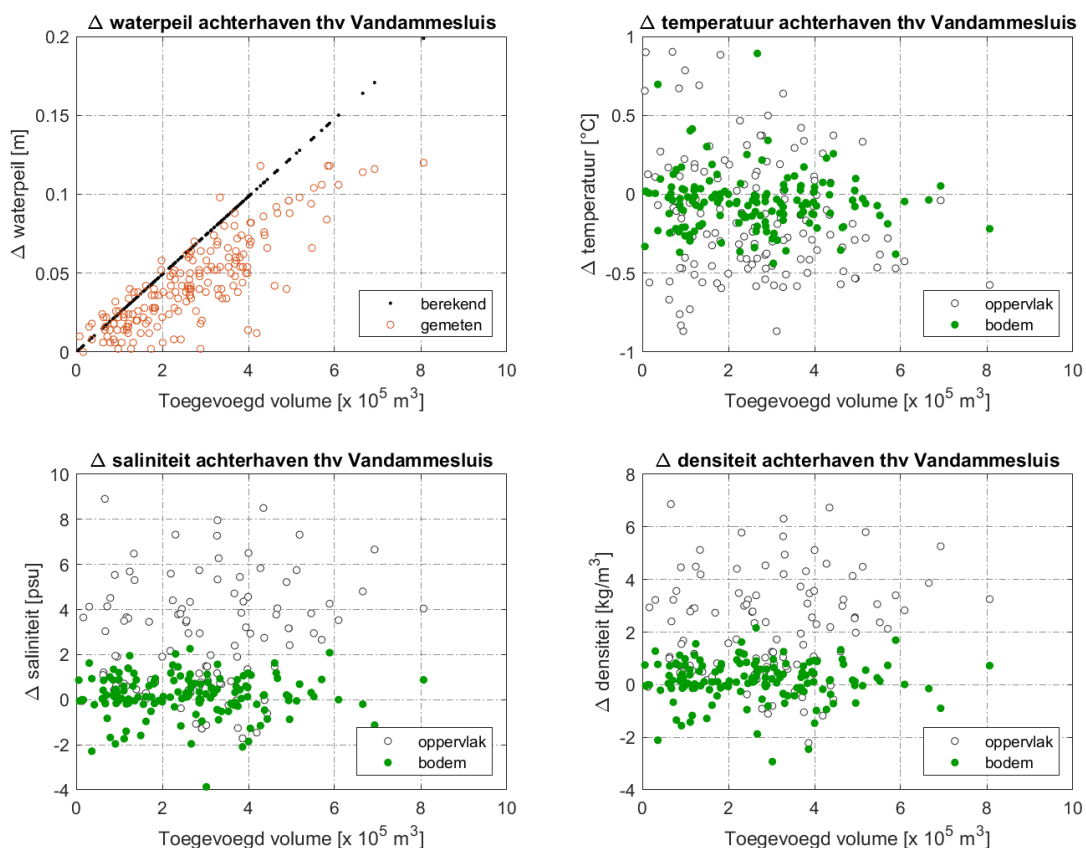
Met

• Q	Debiet	[m ³ /s]
• ΔH	Verval $P_{\text{voorhaven}} - P_{\text{achterhaven}}$	[m]
• $P_{\text{voorhaven}}$	Waterpeilmeting Vandammesluis afwaarts	[m TAW]
• $P_{\text{achterhaven}}$	Waterpeilmeting Vandammesluis opwaarts	[m TAW]
• n	Aantal kokers in gebruik	[-]
• B_k	Breedte koker = 3.5 m	[m]
• H_k	Hoogte koker = 3.0 m	[m]
• A	Sectie koker $A_k = B_k \cdot H_k = 3.5 \cdot 3.0 = 10.5 \text{ m}^2$	[m ²]
• P	Natte omtrek $P = 2 \cdot (B_k + H_k) = 13 \text{ m}$	[m]
• D_H	Hydraulische diameter $D_H = 4 \cdot A/P = 3.23 \text{ m}$	[m]
• Re	Reynoldsgetal = $V \cdot D_H / \nu$	[-]
• ν	Kinematische viscositeit = $1.308 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bij 10°C (Munson <i>et al.</i> , 1990)	[m ² /s]
• V	Snelheid in koker = Q/A	[m/s]
• ϵ	Wandruwheid beton $\approx 0.0015 \text{ m}$	[m]
• f	Darcy Weisbach wrijvingsfactor	[-]
• L	Lengte afvoerkoker $L = 705 \text{ m}$	[m]
• $\sum \xi$	Verliescoëfficiënt bijzondere ladingsverliezen: inlaat, uitlaat, schuiven ≈ 1.5	[-]

Het plafond van de uitwateringskoker ligt op 3.5 m TAW, wat overeenkomt met het streefpeil in de achterhaven. Uit de tijdreeksen van de hefschuiven volgt dat deze soms opengelaten worden wanneer bij eb het peil in de voorhaven zakt tot onder het peil in de achterhaven. De uitwatering van de koker in de voorhaven zal hierbij niet meer verdronken zijn. Voor een dergelijke stromingsconditie wordt in DHI (2011) bovenstaande formule voor het debiet gegeven waarbij het verval gelijkgesteld wordt aan het verschil tussen het opwaarts peil en het plafondpeil in het dagvlak van de uitlaat. Bij een peil in de voorhaven lager dan het plafondpeil van de uitwateringskoker wordt deze aanpassing aan de formule toegepast. Bemerkt dat deze formules van toepassing zijn voor stroming onder druk. Doordat het plafondpeil van de afvoerkoker samenvalt met het peil in de achterhaven zal dit vermoedelijk niet het geval zijn bij stroming van Achterhaven naar Voorhaven waardoor in principe overgeschakeld moet worden naar een complexere berekening (bv. Bodhaine (1968)). Voor het doel van de vergelijking, en rekening houdend met dat het een uitzonderingssituatie betreft, wordt aangenomen dat bovenstaande formule ook voor stroming van de Achterhaven naar de Voorhaven voldoende nauwkeurig is.

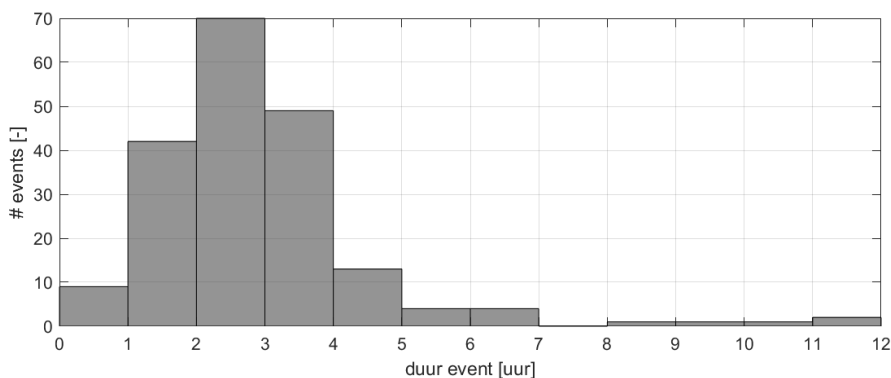
Door het berekende debiet te integreren over de tijd wordt het inkomend volume per event berekend. In Figuur 14 wordt vervolgens de relatie tussen het inkomend volume en het peilverschil, het temperatuurverschil, het saliniteitsverschil en dichtheidsverschil tussen het startmoment en het eindmoment van een event gegeven. Voor temperatuur, saliniteit en dichtheid wordt een zwevend gemiddelde van 5 metingen toegepast op de 1 minuut data. De theoretische toename van het waterpeil wordt berekend door het volume te delen door het wateroppervlak van het Boudewijnkanaal en de achterhaven (ca. 4057407 m², zie paragraaf 2.4.5). Uit de vergelijking tussen de theoretische en de berekende stijging van het peil in de achterhaven lijkt te volgen dat de formule voor het debiet het toegevoegd volume beperkt overschat. Merk op dat hier een snelle berekeningswijze toegepast wordt op basis van beperkte informatie. Om dit beter in kaart te brengen zou eerst de geometrie van de afvoerkoker verder onderzocht moeten worden alsook de hefhoogte van de schuiven. Vervolgens kan de gebruikte debietformule verder uitgewerkt worden voor niet verdronken stroming. Voor temperatuur, saliniteit en dichtheid kan gesteld worden dat de invloed op de meting nabij het oppervlak merkbaar hoger is dan de invloed op de meting nabij de bodem.

Figuur 14 – Effect peilbeheer event met afvoerkoker Vandammesluis
op peil, temperatuur, saliniteit en densiteit achterhaven t.h.v. Vandammesluis



Een histogram met de duurtijd van de events wordt gegeven in Figuur 15. De meeste events duren tussen 1 en 4 uur. De as van deze figuur is beperkt tot 12u. Hierbuiten valt nog één event met een duur tot 17u en één event met een duur tot 40u.

Figuur 15 – Duur events



Bij een wasdebiet op het kanaal Gent-Oostende wordt, indien nodig, gespuid met de Verbindingssluis. Tijdens de periode van de meetcampagne was het uitzonderlijk droog waardoor gedurende het volledige verloop van de meetcampagne niet gespuid werd met de Verbindingssluis. Hiernaast wordt ook door de RWZI van Brugge zoet water geloosd op het kanaal.

5.2 Sluisbewegingen

Tijdens het verschutten van een kolk ontstaat op twee wijzen menging van het water in de kolk met water uit het pand waarnaar genivelleerd wordt. Bij het vullen van de kolk wordt water toegevoegd vanuit het pand waarnaar genivelleerd wordt in de kolk. Na afloop van nivelleren worden de deuren geopend waarna een uitwisselingsstroom ontstaat. In Ontwerp van Schutsluizen (Beem *et al.*, 2000) wordt volgende formule gegeven voor de verhouding van het uitgewisseld volume in functie van de tijd na het openen van de sluisdeuren:

$$U = \tanh\left(\frac{t \cdot \sqrt{\epsilon \cdot g \cdot (h_{bi} - z_k)}}{4 \cdot l_k}\right)$$

Met:

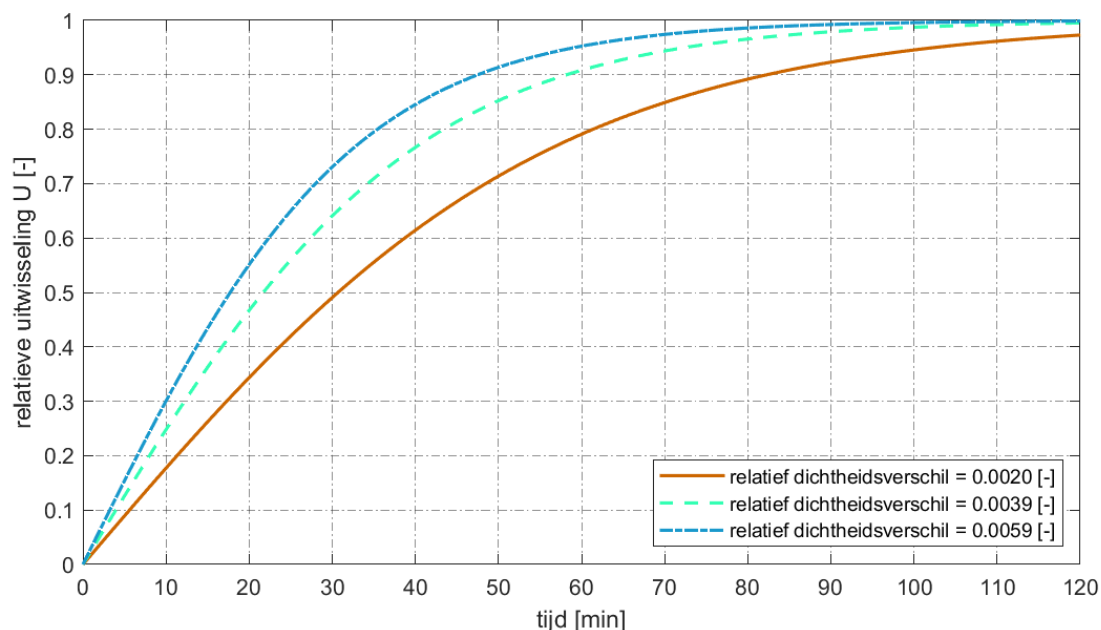
- U Verhouding uitgewisselde hoeveelheid water ten opzichte van maximaal volume uit te wisselen water [-]
- t tijd [s]
- ϵ Relatief dichtheidsverschil $(\rho_1 - \rho_2)/\rho_2$, zie Tabel 6 [-]
- h_{bi} Kolkpeil = +3.5 m TAW [m TAW]
- z_k Bodempeil kolk = -15.0 m TAW [m TAW]
- l_k Lengte kolk = 500 m [m]

Tabel 6 – Dichtheidsverschil voor berekening uitwisseling

Densiteit achterhaven	Densiteit voorhaven		Relatief dichtheidsverschil
ρ_2	$\Delta \rho$	ρ_1	$\epsilon = (\rho_1 - \rho_2)/\rho_2$
1020	2	1022	0.0020
1020	4	1024	0.0039
1020	6	1026	0.0059

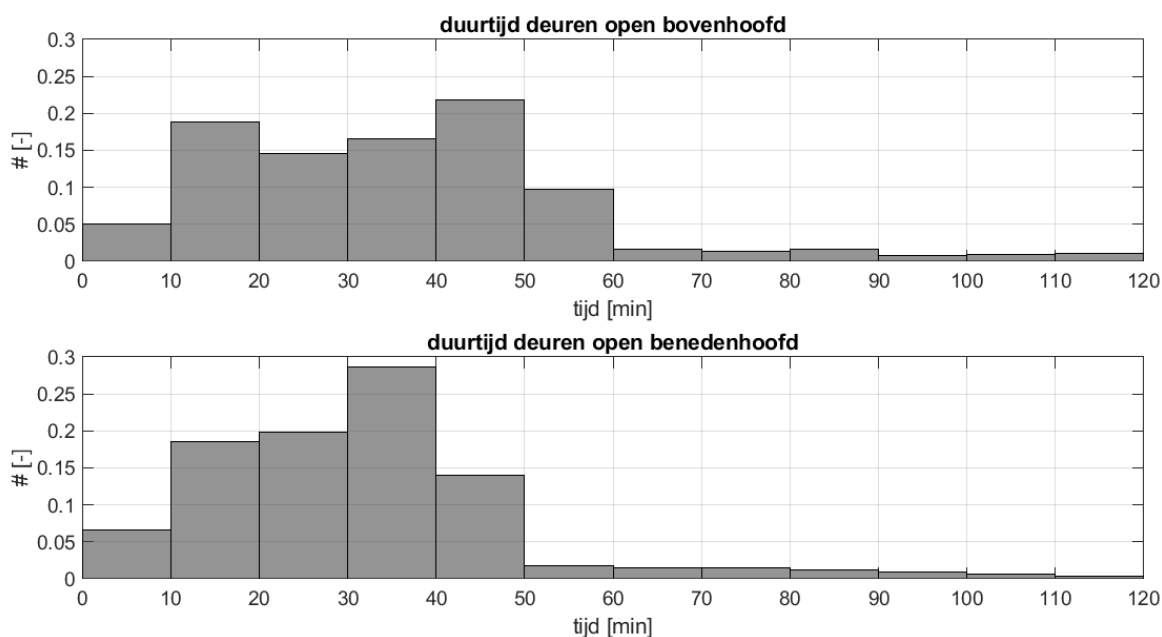
Uit Figuur 16 volgt dat de helft van de uitwisseling gebeurt in 18 min tot 30 min na het openen van de deuren. De snelste uitwisseling treedt op bij het grootste relatieve dichtheidsverschil. Na 70 min tot 120 min is 97 % uitgewisseld.

Figuur 16 – Uitwisseling kolk in functie van tijd en dichtheidsverschil



Op basis van het door MBZ aangeleverde bestand met de positie van de roldeuren wordt bepaald hoe lang de deuren in het boven- en benedenhoofd van de Vandammesluis open blijven. Hiervan wordt het in Figuur 17 gegeven histogram opgesteld. Bemerkt hierin dat voor het bovenhoofd de deuren tussen 10 min en 60 min open blijven. Uit Figuur 16 volgt dat de bijhorende uitwisseling 17 % en 95 % bedraagt. Voor het benedenhoofd wordt opgemerkt dat iets sneller gesloten wordt en voor het merendeel van de registraties bedraagt de tijd dat de deuren geopend zijn tussen 10 en 50 min.

Figuur 17 – Duurtijd deuren open Vandammesluis

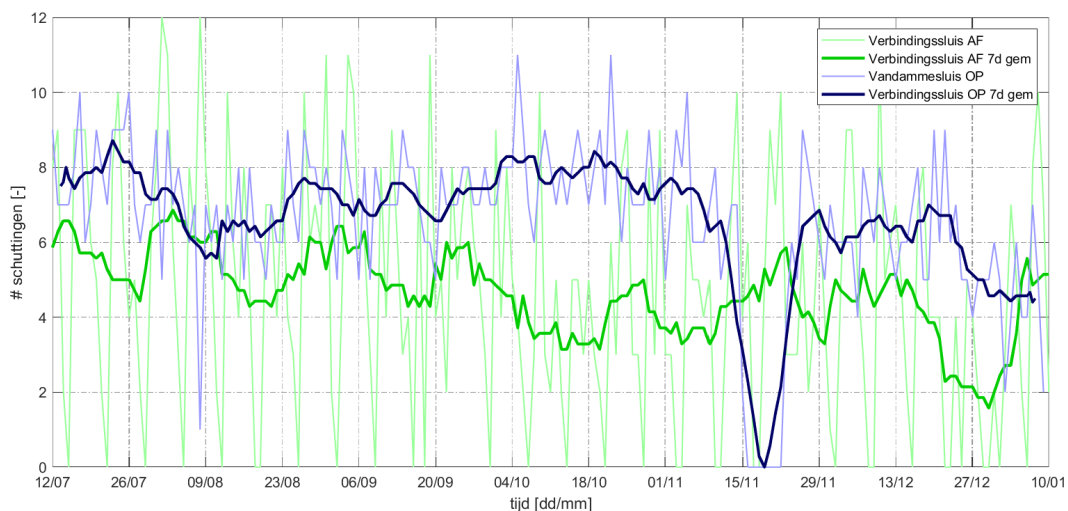


Het aantal uitgevoerde nivelleringen met het bovenhoofd van de Vandammesluis en met het benedenhoofd van de Verbindingsluis wordt gegeven in Figuur 18. Voor de duidelijkheid wordt per sluis ook een zwevend gemiddelde over 7 dagen gegeven. Het gemiddeld aantal nivelleringen per hoofd per dag met de Vandammesluis bedraagt 6.6. Voor de Verbindingsluis bedraagt het gemiddeld aantal nivelleringen per dag 4.7, of gemiddeld 2 nivelleringen minder. Gelet op het feit dat het volume van de Vandammesluis 74 keer groter is dan het volume van de Verbindingsluis is de invloed van de Verbindingsluis op het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven verwaarloosbaar.

Tabel 7 – Afmetingen Vandammesluis en Verbindingsluis

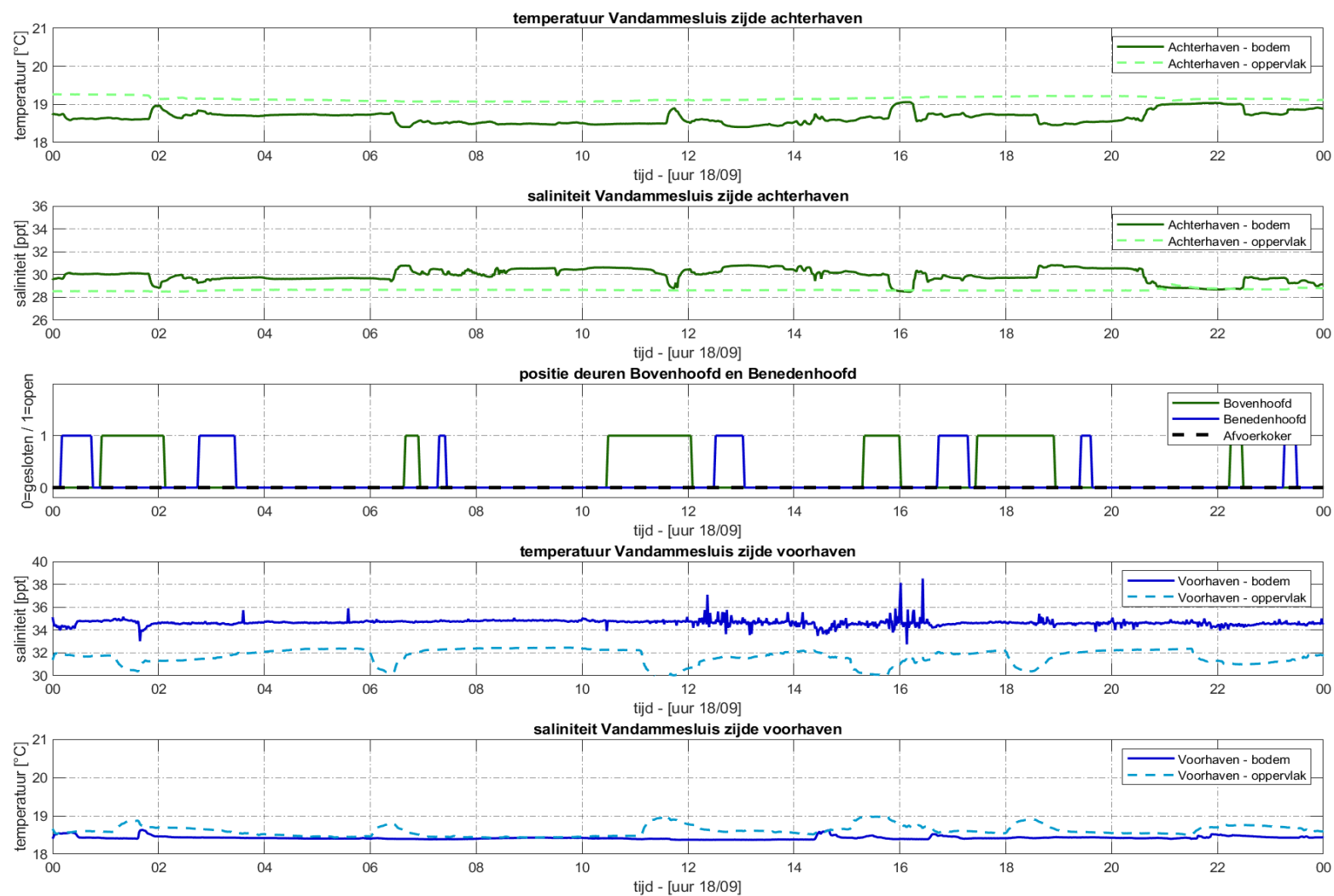
		Vandammesluis	Verbindingsluis
Lengte	[m]	500	125
Breedte	[m]	57	12
Waterdiepte bij peil achterhaven	[m]	18.5	4.75
Volume bij peil achterhaven	[m ³]	527250	7125

Figuur 18 – Aantal uitgevoerde nivelleringen per hoofd en per dag met de Vandammesluis en Verbindingsluis

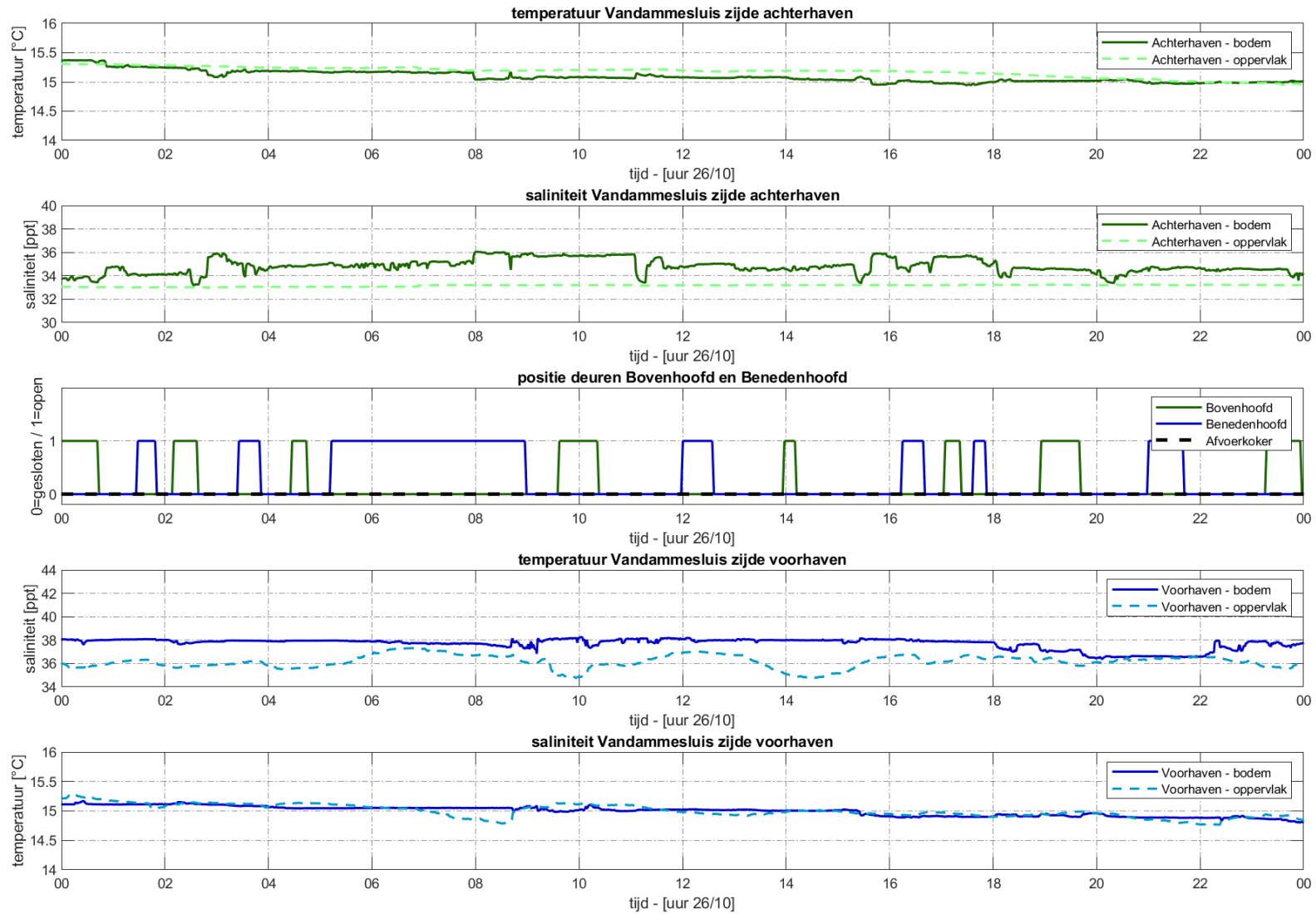


In Figuur 19 wordt voor twee dagen (18/09 en 26/10) de invloed van het openen van de deuren van de Vandammesluis op de temperatuur en saliniteit gegeven. Zowel aan zijde achterhaven als aan zijde voorhaven. Op deze beide dagen werd niet gespuid met de afvoerkoker. Voor de op 18/09 uitgevoerde metingen is er een duidelijke link tussen de saliniteit en de temperatuursmeting. Voor de meting van 26/10 is het samenvallen van wijzigingen in temperatuur en saliniteit minder uitgesproken. Voor de metingen aan zijde achterhaven nabij de bodem worden plotse wijzigingen van temperatuur, tot 0.5°C, en saliniteit, tot 2 psu, opgemerkt. Deze lijken echter random op te treden. Er is dus geen duidelijk verband met het openen van de sluisdeuren, de passage van een schip of het nivelleren van de sluis. Dit werd reeds vastgesteld in paragraaf 3.1. Voor de metingen nabij het oppervlak wordt quasi geen invloed opgemerkt. Voor de metingen aan zijde voorhaven worden voornamelijk variaties opgemerkt voor de meting nabij het oppervlak. De metingen nabij de bodem aan zijde voorhaven bevatten minder variatie zowel op het vlak van temperatuur als op het vlak van saliniteit.

Figuur 19 – Invloed schutten op temperatuur en saliniteit 18/09/2018



Figuur 20 – Invloed schutten op temperatuur en saliniteit 26/10/2018

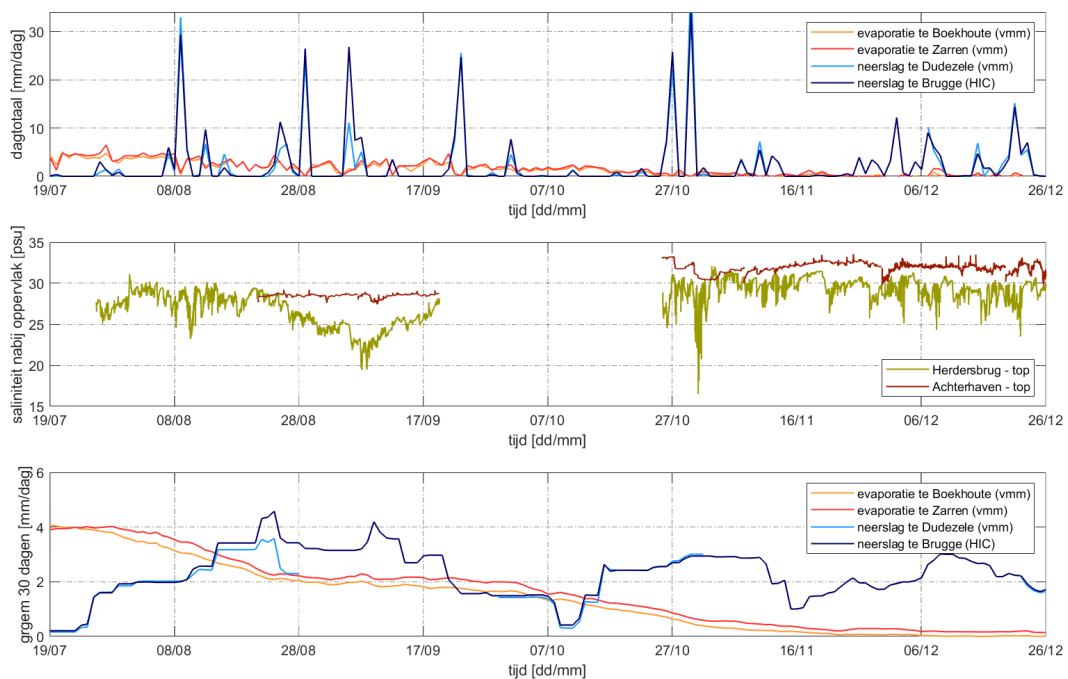


Door het ontbreken van trends wordt geen verdere systematische analyse meer uitgevoerd op de invloed van het openen van de deuren op de opgemeten saliniteit. Om dit verder te onderzoeken dienen specifieke metingen uitgevoerd te worden. De benodigde meetstap hiervoor is van de grootteorde van 10 s. Alsook dienen de bewegingen van de deuren en vlinderkleppen synchroon met de CTD metingen gelogd te worden. Om een eventuele fout ten gevolge van het niet voldoende snel uitwisselen van het water in de buis met het omliggende water te vermijden worden de CTD toestellen bij voorkeur vrij opgehangen, dus niet in een buis zoals tijdens de continue metingen. Deze meting is hierdoor niet mogelijk in combinatie met scheepvaart.

5.3 Neerslag/evaporatie

Door evaporatie wordt zoetwater verwijderd en door neerslag wordt zoetwater toegevoegd. In deze paragraaf wordt een snelle controle uitgevoerd of er een invloed waar te nemen is van evaporatie en/of neerslag op de continue saliniteitsmetingen nabij het oppervlak op het Boudewijnkanaal en de achterhaven. Zie Figuur 21. Naast de dagtotalen voor evaporatie en neerslag wordt ook het zwevend gemiddelde over een periode van 30 dagen gegeven.

Figuur 21 – Invloed neerslag en evaporatie op saliniteitsmeting nabij oppervlak



Uit Figuur 21 volgt dat gedurende de periode van de continue metingen de berekende evaporatie maximaal is in de maand juli met ca. 4 mm verdamping om vervolgens af te nemen naar ca. 0 mm in de maanden december/januari. De neerslag is veel fragmentarischer dan de evaporatie. Lange droge periodes worden opgemerkt in juli, oktober en november 2018. Gemiddeld gezien is de hoeveelheid neerslag hoger dan de evaporatie. Een duidelijke link tussen neerslag en de saliniteit nabij het oppervlak wordt niet waargenomen.

5.4 Conclusies

De invloed van het op peil houden van het Boudewijnkanaal door middel van de afvoerkoker naast de Vandammesluis op de temperatuur, saliniteit en dichtheid in de achterhaven is voornamelijk waar te nemen bij de meting nabij het oppervlak. Voor de meting nabij de bodem is er geen eenduidige invloed waarneembaar ten gevolge van het gebruik van de afvoerkoker.

Bij het optreden van een dichtheidsverschil zal bij het openen van de sluisdeuren dichtheidsuitwisseling optreden. Uit het toepassen van een formule voor het uitwisselingspercentage in functie van de tijd en de openingsduur van de deuren in het bovenhoofd volgt dat afhankelijk van de openingsduur en het dichtheidsverschil het uitgewisseld volume bij geopende deuren in het bovenhoofd tussen 17 % en 95 % bedraagt. Uit de continue metingen op- en afwaarts de Vandammesluis is geen duidelijke invloed van het schutten waar te nemen. Om dit verder te onderzoeken zouden specifieke metingen uitgevoerd kunnen worden.

Uit de vergelijking van de evaporatie met de neerslag gegevens volgt dat meer water toegevoegd wordt door neerslag dan dat er water verwijderd wordt door evaporatie. De invloed van dagen met een grote hoeveelheid neerslag (piek ca. 30 mm/dag) is niet te zien in de metingen nabij het oppervlak.

6 Conclusies

Het complex project nieuwe sluis Zeebrugge heeft als doel om de nautische toegankelijkheid tot de achterhaven van Zeebrugge te verbeteren. In het kader van dit project vraagt afdeling Maritieme Toegang (aMT, contactpersoon Frederik Buffel) aan het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) om het dichtheidsverschil tussen de voor- en achterhaven te bepalen. Het karakteriseren van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven is belangrijk voor het ontwerp van een, eventuele, nieuwe sluis omdat een dichtheidsverschil zowel een invloed heeft op het nivelleren van de kolk als op de uitwisselingsstroming die ontstaat na het openen van de deuren.

Voor het karakteriseren van dit dichtheidsverschil heeft WL van juli 2018 tot en met januari 2019 continue metingen uitgevoerd op drie locaties. Bijkomend werden ook twee meetvaarten uitgevoerd waarbij op 8 locaties een profiel werd opgemeten. Naast de door WL uitgevoerde metingen werden ook de door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) uitgevoerde periodieke metingen van het oppervlaktewater en in het verleden uitgevoerde meetcampagnes beschouwd bij de analyse.

Tijdens het verloop van de continue metingen werden verschillende problemen opgemerkt met de ingezette CTD sensoren. Voor de helft van de ingezette CTD sensoren dienen de metingen gedeeltelijk of geheel als onbetrouwbaar beschouwd te worden. Omwille van deze problemen is er tot en met september 2018 geen betrouwbaar resultaat voor de saliniteit/dichtheid aan zijde voorhaven. Voor de metingen vanaf oktober 2018 is er geen betrouwbaar resultaat voor de saliniteit/dichtheid aan de achterhaven. Dit maakt dat het niet mogelijk is om uit de continue metingen het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven met de gewenste nauwkeurigheid te bepalen. De profielmetingen werden uitgevoerd met een ander type CTD sensor. Hierbij werden geen problemen vastgesteld. Als controle werd zowel gemeten tijdens de neergaande als tijdens de opgaande beweging van de CTD sensor, met goede overeenkomst. Ook uit de controlemetingen van de voor de meetvaart ingezette CTD sensor volgden geen bijzonderheden.

Uit de profielmetingen nabij de Verbindingsluis, aan het begin van het Boudewijnkanaal, en ter hoogte van de Herdersbrug, halverwege Boudewijnkanaal, werd opgemerkt dat gelaagdheid optreedt waardoor de saliniteit/dichtheid nabij het oppervlak lager is dan aan de bodem. Deze gelaagdheid nabij het oppervlak werd ook nog opgemerkt in de achterhaven nabij de monding van het Boudewijnkanaal. Bij twee van de vier profielmetingen komt de saliniteit/dichtheid onderaan de waterkolom op de meetpunten in begin en halverwege het Boudewijnkanaal overeen met de saliniteit/dichtheid op een zelfde hoogte in de achterhaven. Bij de overige twee profielmetingen is de saliniteit/dichtheid onderaan de waterkolom in het Boudewijnkanaal lager dan op eenzelfde hoogte in de achterhaven. In de achterhaven is de gelaagdheid vanaf het wateroppervlak tot de eerste 12 m beperkt. Onder een diepte 12 m wordt een toename van de saliniteit met enkele psu opgemerkt.

De dichtheidsverschillen tussen voor- en achterhaven op basis van de profielmetingen, de continue metingen en de door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen worden samengevat in Tabel 8.

Tabel 8 – Dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven

Metingen	Dichtheidsverschil [kg/m ³]
Profielmetingen WL 2018	2.0 / 3.0
Profielmetingen IMDC 2008	1.0 / 2.5
Continue metingen WL 7/2018 tot 1/2019	max. 4 à 6
Oppervlakte metingen VMM 2007-2018	tussen 2 en 10 enkele uitschieters tot max. 16

Uit de vier profielmetingen volgt een dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven van 1.0 kg/m^3 tot 3.0 kg/m^3 . Voor de continue metingen dient opgemerkt te worden dat door de vastgestelde problemen met de ingezette sensoren er geen tijdstip is waarbij zowel aan zijde voorhaven als aan zijde achterhaven goede metingen beschikbaar zijn. Wanneer geen rekening gehouden wordt met deze onzekerheid en met optredende spikes wordt op basis van de continue metingen een maximaal dichtheidsverschil van 4 à 6 kg/m^3 bepaald tussen voor- en achterhaven. Het grootste dichtheidsverschil - 2 kg/m^3 tot 10 kg/m^3 met uitschieters tot 16 kg/m^3 - wordt bepaald op basis van de oppervlaktemetingen van VMM aan de Zweedse kaai en aan de Herdersbrug. Uit de profielmetingen en continue metingen nabij de Herdersbrug werd echter opgemerkt dat op het Boudewijnkanaal gelaagdheid optreedt en dat de dichtheid op het Boudewijnkanaal bij momenten lager is dan in de achterhaven. De door VMM uitgevoerde oppervlaktemetingen nabij de Herdersbrug zijn hierdoor niet representatief voor het bepalen van het dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven.

De invloed van het op peil houden van het Boudewijnkanaal door middel van de afvoerkoker naast de Vandammesluis op de temperatuur, saliniteit en dichtheid in de achterhaven is voornamelijk waar te nemen bij de meting nabij het oppervlak. Voor de meting nabij de bodem is er geen eenduidige invloed waarneembaar ten gevolge van het gebruik van de afvoerkoker.

Bij het optreden van een dichtheidsverschil zal bij het openen van de sluisdeuren een uitwisselingsstroming voordoen. Uit het toepassen van een formule voor het uitwisselingspercentage in functie van de tijd en de openingsduur van de deuren in het bovenhoofd volgt dat afhankelijk van de openingsduur en het dichtheidsverschil het uitgewisseld volume bij geopende deuren in het bovenhoofd tussen 17 % en 95 % bedraagt. Uit de continue metingen op- en afwaarts de Vandammesluis is dit uitwisselen niet duidelijk waar te nemen. Om dit verder te onderzoeken zouden specifieke metingen uitgevoerd kunnen worden.

7 Referenties

Beem, R.C.A.; Boogaard, A.; Glerum, A.; de Graaf, M.A.; Henneberque, S.D.; Hiddinga, P.H.; Kranenburg, D.; van der Meer, M.T.J.; Nagtegaal, G.; Van der Paverd, M.; Smink, L.M.C.; Vrijburcht, A.; Weijers, J. (2000). Ontwerp van schutsluizen: deel 2. Bouwdienst Rijkswaterstaat: Utrecht. ISBN 90-369-3306-4

Bodhaine, G.L. (1968). Measurement of peak discharge at culverts by indirect methods. *Techniques of Water-Resources Investigations Reports*, 3-A3. USGS: [S.I.]

De Breuck, W.; Vercruysse, M.; Monteyne, J. (1992). Verzilting van het Boudewijnkanaal. Centrum voor de Studie van Water, Bodem en Lucht: Gent. v, 45 pp.

DHI. (2011). MIKE1D DHI simulation Engine for MOUSE and MIKE 11 Reference Manual. 276 pp.

Eijkelkamp. (2016). Product Manual: Diver. Available at: www.vanessen.com/manuals

IMDC NV. (2009). Haalbaarheidsstudie Seine-Schelde West Bestek 16EGGE/06/51 Verkennend onderzoek over de waterbeschikbaarheid en verziltingsaspecten. 308 pp.

IMDC NV; Deltares; GEMS; Waterbouwkundig Laboratorium. (2011). Langdurige monitoring van zout/zoet-verdeling in de haven van Zeebrugge en monitoring van zoutconcentratie, slibconcentratie en hooggeconcentreerde slibsuspensies in de Belgische kustzone: salinity profiling during 2007-2008 in the harbour of Zeebrugge. Versie 2.0. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. III, 18 + appendices pp.

Ministerie van Openbare Werken. Bruggen en Wegen. Dienst der Kust. (1979). Zeesluis Zeebrugge drainering kolkmuur Doorsneden en details (plan). pp.1

Munson, B.R.; Young, D.F.; Okiishi, T.H. (1990). Fundamentals of fluid mechanics. Wiley: New York. ISBN 0-471-85526-X

UNESCO. (1966). Second report of the joint panel on oceanographic tables and standards.

UNESCO. (1983). Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. pp.58

Verelst, K.; Vercruysse, J.B.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2012). Haven Zeebrugge - SHIP: deelrapport 2. Ontwerp nivelleersysteem. *WL Rapporten*, 12_036. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Zigrang, D.J.; Sylvester, N.D. (1982). Explicit Approximations to the Solution of Colebrook's Friction Factor Equation. *AIChE J., The Am. Inst. Chem. Eng. Vol. 28(No. 3)*: 514–515

Bijlage A: Gebruikte formules voor berekening dichtheid

Onderhavige bijlage bespreekt de omrekening van conductiviteit/chloriniteit naar saliniteit en vervolgens de omrekening van temperatuur en saliniteit naar dichtheid.

Voor de omrekening van conductiviteit naar saliniteit worden de in UNESCO (1983) gegeven vergelijkingen toegepast. Hiervoor wordt eerst de opgemeten conductiviteit omgerekend naar de conductiviteitsratio als volgt:

$$R = \frac{C_{(S,t,p)}}{C_{(35,15,0)}} \quad (1)$$

Waarbij:

- R Conductiviteitsratio [-]
- $C_{(S,t,p)}$ Conductiviteit (opgemeten waarde) [S/m]
- $C_{(35,15,0)}$ Conductiviteit bij saliniteit 35 psu, temperatuur 15 °C en atmosferische druk [S/m]

De saliniteit wordt vervolgens als volgt berekend uit de conductiviteitsratio en de opgemeten temperatuur:

$$S = a_0 + a_1 \cdot R_t^{\frac{1}{2}} + a_2 \cdot R_t + a_3 \cdot R_t^{\frac{3}{2}} + a_4 \cdot R_t^2 + a_5 \cdot R_t^5 + \Delta S \quad (2)$$

Met:

$$\Delta S = \frac{(t - 15)}{1 + k(t - 15)} \cdot \left(b_0 + b_1 \cdot R_t^{\frac{1}{2}} + b_2 \cdot R_t + b_3 \cdot R_t^{\frac{3}{2}} + b_4 \cdot R_t^2 + b_5 \cdot R_t^5 \right)$$

Waarbij

- S Saliniteit [psu]
- t Temperatuur (opgemeten waarde) [°C]

De constanten worden overgenomen uit UNESCO (1983):

$a_0=+0.0080$	$b_0=+0.0005$	$k=+0.0162$
$a_1=-0.1692$	$b_1=-0.0056$	
$a_2=+25.3851$	$b_2=-0.0066$	
$a_3=+14.0941$	$b_3=-0.0375$	
$a_4=-7.0261$	$b_4=+0.0636$	
$a_5=+2.7081$	$b_5=-0.0144$	

Deze vergelijking is geldig voor een temperatuur -2 tot 35°C en saliniteit tussen 2 en 42 psu. De opgemeten temperatuur en conductiviteit vallen hier steeds binnen.

Uit de door VMM genomen oppervlaktetestalen wordt het chloridegehalte bepaald, dit betreft het aantal gram chloride per liter. Voor het berekenen van de saliniteit wordt de chloriniteit gebruikt, dit betreft het aantal gram chloride per kg. Voor het omrekenen van het chloridegehalte naar chloriniteit dient de densiteit gekend te zijn. Hiervoor wordt eerst het chloridegehalte gelijkgesteld aan de chloriniteit waarna saliniteit en vervolgens densiteit berekend worden. Door middel van deze benadering van de densiteit wordt het chloridegehalte omgerekend naar chloriniteit waarna de saliniteit en densiteit bepaald worden.

Voor het omrekenen van chloriniteit naar saliniteit wordt volgende vergelijking gebruikt (UNESCO, 1966):

$$S = 1.80655 \cdot Cl \quad (3)$$

Met:

- S Saliniteit [psu]
- Cl Chloriniteit [g/kg]

Voor het berekenen van de densiteit uit de druk, temperatuur en saliniteit wordt gebruik gemaakt van de in UNESCO (1983) gegeven formules. Hiervoor wordt eerst door middel van onderstaande vergelijking de densiteit voor zuiver (zoet) water bij de gegeven temperatuur berekend:

$$\rho_w = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + a_3 \cdot t^3 + a_4 \cdot t^4 + a_5 \cdot t^5 \quad (4)$$

Met:

- ρ_w Dichtheid zoet water bij een gegeven temperatuur [kg/m³]

De constanten worden overgenomen uit UNESCO (1983):

$$a_0 = +999.842594$$

$$a_1 = +6.793952 \cdot 10^{-2}$$

$$a_2 = -9.095290 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = +1.001685 \cdot 10^{-4}$$

$$a_4 = -1.120083 \cdot 10^{-6}$$

$$a_5 = +6.536332 \cdot 10^{-9}$$

De densiteit bij atmosferische druk wordt vervolgens berekend op basis van de densiteit van zoet water bij de gegeven temperatuur, de temperatuur en de saliniteit door middel van volgende vergelijking:

$$\rho_{(S,t,0)} = \rho_w + (b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3 + b_4 \cdot t^4) \cdot S + (c_0 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2) \cdot S^{\frac{3}{2}} + d_0 \cdot S^2 \quad (5)$$

De constanten worden overgenomen uit UNESCO (1983):

$$b_0 = +8.24493 \cdot 10^{-1} \quad c_0 = -5.72466 \cdot 10^{-3}$$

$$b_1 = -4.0899 \cdot 10^{-3} \quad c_1 = +1.0227 \cdot 10^{-4}$$

$$b_2 = +7.6438 \cdot 10^{-5} \quad c_2 = -1.6546 \cdot 10^{-6}$$

$$b_3 = -8.2467 \cdot 10^{-7}$$

$$b_4 = +5.3875 \cdot 10^{-9} \quad d_0 = +4.8314 \cdot 10^{-4}$$

Deze vergelijking is geldig voor een temperatuur -2 tot 40°C en saliniteit tussen 0 en 42 psu. De opgemeten temperatuur en conductiviteit vallen hier steeds binnen.

Bijlage B: Controle en justering sensoren

Onderhavige bijlage beschrijft de op de conductiviteitsmetingen van de CTD Divers en RBR uitgevoerde controles, kalibratie en justeringen. Deze zijn chronologisch opgedeeld in een paragraaf voor de meetcampagne (paragraaf B.1), tijdens de meetcampagne (paragraaf B.2) en na de meetcampagne (paragraaf B.3).

In deze bijlage worden de termen controle, justering en kalibratie toegepast. Met controle wordt bedoeld het vergelijken van de opgemeten conductiviteit met conductiviteitstandaarden (oplossing met gekende conductiviteit) of met een referentietoestel. Met kalibratie wordt bedoeld het intern aanpassen van het toestel zodat er een optimale overeenkomst is tussen het toestel en de voor de kalibratie gebruikte standaarden. Met justering wordt bedoeld het opstellen van een in post processing toe te passen correctie op basis van het opmeten van een aantal standaarden. Enkel de CTD Divers hebben een procedure voor kalibratie. Een justering in post processing werd zowel opgesteld voor de CTD Divers als voor de RBR.

B.1 Controle en justering voor de meetcampagne

Van de drie opgemeten parameters (druk, temperatuur en conductiviteit) is voornamelijk de conductiviteit gevoelig voor afwijking. Voor de meetcampagne werd een controle uitgevoerd op de door de RBR Concerto (serienummer RBR XR-420 6.77 017327) opgemeten conductiviteit. De hiervoor gebruikte conductiviteitsstandaarden worden gegeven in Tabel 9. Bemerk dat in deze tabel specifieke conductiviteit wordt vermeld. Dit is de naar een temperatuur van 25°C genormaliseerde conductiviteit. De controle en justering werd uitgevoerd op de werkelijke conductiviteit. Op basis van het verschil tussen de opgemeten conductiviteit en de gekende conductiviteit wordt een justering opgesteld die in post processing wordt toegepast op de meetresultaten. Voor de CTD Divers werd voor de meetcampagne geen specifieke controle uitgevoerd van de conductiviteitsmeting.

Tabel 9 – Specifieke conductiviteitstandaarden –meting RBR 21/06/2018

1.413 mS/cm
5.00 mS/cm
12.88 mS/cm
111.8 mS/cm

B.2 Controle en justering tijdens meetcampagne

Na het uitvoeren van de eerste meetvaart (14/08/2018) werd opgemerkt dat voor een zelfde locatie een andere conductiviteit werd opgemeten met de CTD Divers en met de RBR. Bij verder onderzoek hiernaar werd opgemerkt dat van de vier gebruikte conductiviteitstandaarden voor de RBR, zie Tabel 9, de onderste drie merkbaar lager zijn dan de range waarbinnen gemeten wordt en dat de uiterste conductiviteitstandaard meer dan twee keer hoger is dan de range waarbinnen gemeten wordt. Hierop werd besloten om de meting voor de justering van de RBR te herhalen met een bijkomend standaard met specifieke conductiviteit 50 mS/cm en om deze analyse uit te breiden naar de CTD Divers.

Voor de CTD Divers werd eerst een controlemeting uitgevoerd op standaarden met specifieke conductiviteit, 1.41 mS/cm, 5.00 mS/cm, 12.88 mS/cm, 50 mS/cm en 118.80 mS/cm, zie Tabel 10. Voor de controle wordt de specifieke conductiviteit, de conductiviteit bij een temperatuur 25°C, omgerekend naar de werkelijke conductiviteit. Hiervoor wordt de intern door de CTD Divers gebruikte vergelijking toegepast (Eijkelkamp, 2016), zie vergelijking (6).

$$C_{ref} = \frac{100}{100 + \theta(T - T_{ref})} \cdot C \quad (6)$$

Met

• C_{ref}	Specifieke conductiviteit	[mS/cm]
• C	Conductiviteit	[mS/cm]
• θ	Temperatuurcoëfficiënt (1.91 %/°C)	[1/°C]
• T	Temperatuur	[°C]
• T_{ref}	Referentie temperatuur = 25°C	[°C]

Aan de hand van deze metingen wordt een justering opgesteld voor de metingen uitgevoerd tot en met september 2018. Hiervoor wordt een lineaire regressie toegepast in Excel. De voor deze lineaire regressie toegepaste meetpunten worden aangegeven met een * in Tabel 10. Bemerkt dat gelet op de range van meetwaarden de lineaire regressie uitgevoerd wordt op de standaarden 12.88 mS/cm, 50.00 mS/cm en 111.80 mS/cm. Dit met uitzondering van de metingen waarbij voor de bovenste standaard 110.14 mS/cm werd opgemeten omdat deze meetwaarden overeenkomen met een specifieke conductiviteit 120 mS/cm wat neerkomt op het overtoppen van het ingestelde meetbereik. Uit de lineaire regressie volgen coëfficiënten A en B waarmee de metingen van voor oktober 2018 in post processing als volgt gejusteerd worden:

$$C_{just} = C_{meting} \cdot A + B \quad (7)$$

Met

• C_{just}	Conductiviteit na justering	[mS/cm]
• C_{meting}	Opgemeten conductiviteit	[mS/cm]
• A	Coëfficiënt volgend uit lineaire regressie	[-]
• B	Coëfficiënt volgend uit lineaire regressie	[mS/cm]

Tabel 10 – Controlemetingen CTD Divers

conductiviteit standaarden	Specifieke conducti viteit	voor justering					justering		na justering in post processing				
		1.41	5.00	12.88	50.00	111.80	A	B	1.41	5.00	12.88	50.00	111.80
serienummer Diver	Conducti viteit	1.30	4.59	11.82	45.89	102.62			1.30	4.59	11.82	45.89	102.62
	V7983	1.66	4.36	10.33*	45.03*	103.41*	0.98	1.84	3.46	6.10	11.91	45.75	102.67
	V1271	1.58	4.70	11.45*	43.68*	104.37*	0.97	1.79	3.33	6.35	12.91	44.23	103.20
	R5530	1.70	4.62	11.66*	47.20*	107.67*	0.94	0.99	2.60	5.36	12.01	45.59	102.73
	R5529	1.81	4.72	12.35*	48.00*	110.14*	0.96	0.01	1.74	4.52	11.82	45.89	105.30
	R5528	1.53	4.61	11.50*	41.29*	85.17*	1.24	-3.44	-1.54	2.26	10.79	47.63	101.91
	R5519	1.67	5.09	12.82*	50.01*	110.14	0.92	0.08	1.61	4.74	11.82	45.89	101.00
	R5518	1.77	4.55	11.32*	44.71*	104.74*	0.97	1.53	3.24	5.94	12.50	44.84	102.99
	R5514	1.81	4.94	12.34*	50.61*	110.14	0.89	0.83	2.45	5.23	11.82	45.89	98.90

Door middel van een via de software van de CTD Divers te volgen procedure kan een interne kalibratie toegepast worden op de conductiviteitsmeting. De te gebruiken conductiviteit standaarden liggen hierbij vast: 1.413 mS/cm, 5 mS/cm, 12.88 mS/cm en 80 mS/cm, wel kan gekozen worden om 3 of 4 punten van deze reeks op te meten. Indien uit de metingen volgt dat er niet voldoende correlatie is wordt een foutmelding gegeven. Indien de correlatie voldoende is wordt intern in de CTD Divers een kalibratie uitgevoerd. Deze volledige procedure verloopt intern in de software zonder mogelijkheid tot controle van de vastgestelde afwijking voor de kalibratie, de afwijking op de meetpunten na kalibratie of de toegepaste kalibratie. Voor de CTD Divers wordt gekozen om de kalibratie uit te voeren op standaarden met specifieke conductiviteit 5 mS/cm, 12.88 mS/cm en 80 mS/cm. De standaard met specifieke conductiviteit 1.413 mS/cm wordt bewust niet gebruikt omdat dit ver buiten de range van de terreinmetingen ligt. Vervolgens wordt een controlemeting uitgevoerd van een standaard met specifieke conductiviteit 50 mS/cm.

In Tabel 11 wordt de afwijking van de CTD Divers ten opzichte van de standaard met specifieke conductiviteit 50 mS/cm gegeven.

Tabel 11 – Controle opgemeten conductiviteit

serienummer	voor kalibratie CTD Divers (metingen tot en met september 2018)		na kalibratie CTD Divers (metingen vanaf oktober 2018)	
	In postprocessing gejusteerde conductiviteit [mS/cm]t	Δ afwijking ten opzichte van standaard [mS/cm]	opgemeten specifieke conductiviteit [mS/cm]t	Δ afwijking ten opzichte van standaard [mS/cm]
V7983	45.75	-0.14	51.89	1.89
R1271	44.23	-1.67	51.41	1.41
R5530	45.59	-0.30	51.66	1.66
R5529	/	/	51.57	1.57
R5528	47.63	1.74	43.87*	-6.13
R5519	/	/	50.87	0.87
R5518	44.84	-1.05	51.52	1.52
R5514	/	/	51.27	1.27

Bemerk in Tabel 11 dat de afwijking voor kalibratie van de CTD Divers na toepassen van de justering beperkt is tot +/- 1.7 mS/cm. Hierbij moet opgemerkt worden dat de resultaten vertekend zijn in positieve zin doordat de vergelijking uitgevoerd wordt op basis van een standaard die gebruikt werd voor het opstellen van de justering. Voor de drie CTD Divers waarbij geen resultaat gegeven wordt werd de justering in post processing opgesteld op twee punten waarvan één hier gebruikt wordt voor de controle. De vergelijking na kalibratie van de CTD Divers is betrouwbaarder omdat de vergelijking hier uitgevoerd wordt op een nieuwe meting met een waarde die niet gebruikt werd voor de kalibratie. Met uitzondering van één CTD Diver bedraagt de afwijking 0.9 tot 1.9 mS/cm. Voor de CTD Diver met serienummer R5528 bedraagt de afwijking -6 mS/cm. Bij het uitvoeren van de kalibratie werd opgemerkt dat het voor deze CTD Diver niet mogelijk was om de justering uit te voeren op de standaard met specifieke conductiviteit 80 mS/cm. Dit was ook de CTD Diver die het sterkste afweek bij de controlemeting, zie Tabel 10. Omwille van deze redenen werd besloten om de CTD Diver met serienummer R5528 niet meer in te zetten vanaf oktober 2018.

Begin november 2018 werd ook een nieuwe controlemeting uitgevoerd van de RBR op standaarden met specifieke conductiviteit 12.88 mS/cm, 50.00 mS/cm en 80 mS/cm. Door middel van een lineaire regressie wordt in Excel een in post processing toe te passen justering opgesteld. Hierbij horen de coëfficiënten $A=1.22$ [-] en $B=0.36$ mS/cm, zie vergelijking (7). De resultaten hiervan worden gegeven in Tabel 12.

Tabel 12 – Justering RBR metingen

Specifieke conductiviteit standaarden	Temperatuur [°C]	conductiviteit standaarden [mS/cm]	gemeten conductiviteit [mS/cm]	gemeten conductiviteit na justering [mS/cm]	Δ [mS/cm]
12.88	20.19	11.72	10.11	11.67	0.04
50.00	21.15	46.32	41.17	46.42	-0.10
80.00	21.65	74.79	66.48	74.73	0.05

B.3 Controle na de meetcampagne

Omdat uit de verwerking van de metingen vanaf oktober 2018 volgde dat het verschil in opgemeten conductiviteit tussen sommige CTD Divers groter was dan verwacht werd in februari 2018 een nieuwe controlemeting uitgevoerd van de CTD Divers en de RBR op een standaard met specifieke conductiviteit 50 mS/cm. De resultaten voor de CTD Divers worden gegeven in Tabel 13 en het resultaat voor de RBR wordt gegeven in Tabel 14. In de tabel van de CTD Divers wordt ook de locatie gegeven waar deze ingezet zijn na de in oktober 2018 uitgevoerde kalibratie. Bij de CTD Divers kan een onderscheid gemaakt worden in een eerste reeks van 4 waarbij de meetfout beperkt is tot ca. 5 mS/cm. Hiernaast treden bij CTD Divers R5529 en R5518 merkelijk hogere meetfouten op. Wat opvalt is dat deze beide gepositioneerd zijn aan de achterhaven. Uit een analyse van de metingen lijkt te volgen dat voor de tweede meetreeks de metingen aan oppervlak en bodem consistent zijn voor de Herdersbrug en de voorhaven. Voor de locatie achterhaven is de relatie tussen de meting aan oppervlak en bodem hiertegen niet consistent. Op 29/11/2018 werd hierom besloten om voor locatie achterhaven de CTD Diver nabij het oppervlak te wisselen (R5530 naar R5529). Bij deze overgang wordt slechts een beperkte sprong van 1.5 mS/cm opgemerkt. De drift treedt dus pas op een later tijdstip op. Voor de RBR wordt opgemerkt dat de fout ten opzichte van de conductiviteit standaard, na doorvoeren van de justering, beperkt is.

Tabel 13 – Controle 28/02/2019 opgemeten specifieke conductiviteit CTD Divers op standaard 50 mS/cm

serienummer	gemeten specifieke conductiviteit [mS/cm]	Δ [mS/cm]	locatie
V7983	52.2	2.2	Voorhaven nabij bodem
V1271	54.1	4.1	Herdersbrug nabij oppervlak
R5530	55.5	5.5	Achterhaven nabij oppervlak (tot 29/11/2018)
R5529	65.5	15.5	Achterhaven nabij oppervlak (vanaf 29/11/2018)
R5519	55.0	5.0	Herdersbrug nabij bodem
R5518	71.8	21.8	Achterhaven nabij bodem
R5514	52.2	2.2	Voorhaven nabij oppervlak

Tabel 14 – Controle 28/02/2019 opgemeten specifieke conductiviteit RBR op standaard 50 mS/cm

gemeten specifieke conductiviteit [mS/cm]	gemeten specifieke conductiviteit na justering [mS/cm]	Δ [mS/cm]
45.4	51.2	1.2

Uit de kwalitatieve analyse, zie hoofdstuk 3, volgde dat de saliniteit bepaald uit de door WL uitgevoerde conductiviteitsmetingen consequent hoger was dan de saliniteit bepaald uit de door de VMM uitgevoerde metingen van het chloridegehalte. Om de invloed van de meettechniek op de saliniteit en vervolgens

densiteit na te gaan werd in maart 2019 een controlemeting uitgevoerd. Hierbij werd van een staal water uit de voorhaven van Zeebrugge een ionenchromatisatie uitgevoerd ter bepaling van het chloridegehalte (analoog met oppervlaktemetingen VMM), een conductiviteitsmeting met de CTD Divers en met twee additionele conductiviteitsmeters en een rechtstreekse dichtheidsmeting. De metingen van conductiviteit en het chloridegehalte worden omgerekend naar saliniteit. Vervolgens wordt op basis van de saliniteit de dichtheid berekend bij een temperatuur 20°C berekend, analoog met de temperatuur waarbij de dichtheidsmeting uitgevoerd is. De resultaten worden gegeven in Tabel 15. Merk hierin op dat plots 5 van de 8 geteste CTD Divers aftoepen op de bovenwaarde (120 mS/cm). Deze toestellen zijn niet meer gebruikt sinds de op de 28/02/2019 uitgevoerde controlemeting. Voor de conductiviteitsmetingen valt op dat de met CTD R5514 opgemeten conductiviteit merkbaar hoger ligt, niettegenstaande dat bij de op 28/02/2019 uitgevoerde controlemeting de afwijking van dit toestel bij de laagste was. Voor de overige twee nog werkende CTD Divers is de berekende saliniteit ca. 5 psu hoger dan de saliniteit volgende uit het chloridegehalte. Ten opzichte van de conductiviteit meting van het IC toestel en de als controle ingezette conductiviteitsmeter, Hanna, is de door middel van het chloridegehalte bepaalde saliniteit 1.0 psu resp. 0.1 psu hoger. Ten opzichte van de dichtheidsmeting wordt het beste resultaat gehaald met de dichtheid berekend op basis van het opgemeten chloridegehalte ($\Delta=0 \text{ kg/m}^3$). De afwijking op de dichtheid ten opzichte van het conductiviteitsmeting van de ionenchromatisatie en het controlemeettoestel Hanna bedraagt -0.3 kg/m^3 tot -0.8 kg/m^3 . Voor de twee CTD Divers met de lagere opgemeten conductiviteit bedraagt de afwijking ca. 3.8 kg/m^3 .

Tabel 15 – Controle 19/03/2019 saliniteit en dichtheid

toestel	meetwaarden	conductiviteit	temperatuur	chloridegehalte	saliniteit	dichtheid bij 20°C	Δ t.o.v. dichtheidsmeting
		[mS/cm]	[°C]	[g/l]	[psu]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
CTD V7983	cond. & temp.	49.64	20.0	/	36.4	1025.8	3.8
CTD V1271	cond. & temp.	50.86	21.0	/	36.6	1025.7	3.7
CTD R5530	cond. & temp.	120.00	/	/	/	/	/
CTD R5529	cond. & temp.	120.00	/	/	/	/	/
CTD R5519	cond. & temp.	120.00	/	/	/	/	/
CTD R5518	cond. & temp.	120.00	/	/	/	/	/
CTD R5514	cond. & temp.	64.39	20.0	/	48.9	1035.4	13.4
Hanna	cond. & temp.	47.56	25.0	/	31.0	1021.7	-0.3
IC	cond. & temp.	46.23	19.2	/	30.1	1021.2	-0.8
IC	CL- & temp	/	19.2	17.60	31.1	1022.0	0.0
Dichtheidsmeter	Dichtheid en temp	/	20.0	/	/	1022.0	/

WL heeft voor de meetcampagne te Zeebrugge nog dichtheidsmetingen uitgevoerd met CTD Divers. Tijdens deze metingen werden enkel afwijkingen vastgesteld wanneer een filmlaag ontwikkelt op de sensor. Bemerkt dat met uitzondering van de sensoren waarvan het serienummer begint met een V (V7983 en V1271) de toestellen samen aangekocht zijn en zeer waarschijnlijk ook achtereenvolgens geproduceerd zijn. Deze vaststellingen worden voorgelegd aan de producent.

Bijlage C: Beschrijving opstelling

Onderhavige bijlage beschrijft de voor de continue metingen en de profielmetingen gebruikte opstellingen.

Continue metingen

Per locatie worden twee CTD Divers ingezet, één voor de meting 1.0 m onder het wateroppervlak en één voor de meting nabij de bodem. Deze CTD Divers worden opgehangen aan een kabel met ballastgewicht. Om te voorkomen dat deze kabel aangezogen wordt door schroefwerking van schepen is de opstelling geplaatst in een RVS 316 buis. Ter hoogte van de CTD Divers zijn openingen voorzien. Foto's van deze buizen worden gegeven in Figuur 22. Deze foto's zijn genomen tijdens een plaatsbezoek (dd. 11/06/2018). Hierbij werd opdracht gegeven om het aantal boorgaten uit te breiden. Van de uiteindelijke buis zijn geen foto's beschikbaar.

Figuur 22 – Onafgewerkte RVS316 buis voor continue metingen (plaatsbezoek 11/06/2018)



De kabel werd opgehangen aan een oog boven de buis, zie Figuur 23. Om toe te laten dat het uitlezen en reinigen uitgevoerd werd door één persoon werd een afscherming rondom de opstelling geplaatst.

Figuur 23 – Meetopstelling Vandammesluis Achterhaven



De meetsensor voor conductiviteit betreft een plaatje afgeschermd binnen het omhulsel van de CTD Diver. De verversing van water gebeurt via sleuven, zie Figuur 24 links. Om de sensoren te beschermen tegen algengroei werd een korfje, bestaande uit koperen ringen, rondom de sensoren aangebracht, zie Figuur 24 rechts.

Figuur 24 – CTD Diver voor continue metingen



De CTD Divers worden opgehangen aan een staalkabel, zie Figuur 25. Onderaan de staalkabel hangt een RVS316 ballastgewicht om de kabel strak te houden. Op ca. 0.30 m boven de onderzijde van het ballastgewicht wordt de CTD Diver voor de bodemnabije meting vast bevestigd. De CTD Diver voor de oppervlaktemeting wordt op ca. 1.0 m onder een vlotter opgehangen. Initieel werden 3D geprinte vlotters gebruikt, zie Figuur 25 rechts. Omdat bij de eerste uitlezing opgemerkt werd dat deze geleidelijk volliepen en hierdoor zonken werd overgegaan naar XPS vlotters, zie Figuur 25 links. Voor de locatie Herdersbrug en Achterhaven werden verder geen problemen opgemerkt met deze XPS vlotters. Voor de locatie Voorhaven werd opgemerkt dat de XPS vlotter nu en dan bleef hangen (zowel bij op- als bij neergaand waterpeil) en werd uitschuring van de XPS vlotter vastgesteld. Hierom werd op 29/11/2018 terug overgegaan naar de 3D geprinte vlotter die hiervoor opgevuld werd met PU schuim. Bij de XPS vlotter wordt de bovenste CTD Diver opgehangen aan een kabel, bij de 3D geprinte vlotter is de CTD Diver bevestigd aan een staaf.

Figuur 25 – Ophanging CTD Divers



Op de RVS316 staalkabel werd corrosie opgemerkt, zie Figuur 26. Voornamelijk de twee meetpunten aan de Vandammesluis hadden hier hinder van. De strengen van de kabel werden hierbij zeer bros. Na het afbreken van de staalkabel aan Vandammesluis voorhaven bij de uitlezing van 21/08/2018 werd een nieuwe staalkabel geplaatst. Hierbij werden ook zinkanodes toegevoegd, zie Figuur 26 rechts.

Figuur 26 – Corrosie op kabel RVS 316



Profielmetingen

De profielmetingen werden uitgevoerd vanaf een schip van DAB vloot. De RBR concerto werd, verzwaaard met een ballastgewicht, opgehangen aan een koord met meterindicatie. Het toestel met koord wordt getoond in Figuur 27. Merk op dat de probe van het toestel aan boord in een emmer wordt geplaatst zodat een kleinere temperatuursovergang optreedt.

Figuur 27 – Profielmeting



Bijlage D: Logboek continue metingen

Tabel 16 tot en met Tabel 18 geven het logboek van respectievelijk locatie Herdersbrug, Achterhaven en Voorhaven. Bemerkt hierin dat het gegeven serienummer de uitgelezen CTD Diver betreft

Tabel 16 – Continue meting logboek – locatie Herdersbrug

datum uitlezing	nabij bodem		nabij oppervlak	
/	serie-nummer	vaststellingen	serienummer	vaststellingen
26/07/18	V1271	Diver hangt tegen ballastgewicht. Corrosie van ophangingsoog ballastgewicht op CTD Diver. Na herinstallatie op 0.40 m boven onderzijde ballastgewicht + ballastgewicht in lood van WL	R5519	Vlotter gezonken, na herinstallatie op vaste positie gehangen. Ca. 1.0 m onder waterkolom. Bepaald door middel van meting actueel peil.
8/08/18	R5519	geen opmerkingen	v1271	Na herinstallatie XPS vlotter gebruikt.
21/08/18	R5519	geen opmerkingen	v1271	geen
6/09/18	R5519	Sediment op ballastgewicht en de CTD Diver. Bij herinstallatie nieuwe RVS316 kabel en zink anode toegevoegd tussen Diver en RVS gewicht.	V1271	Bij herinstallatie nieuwe RVS316 kabel gebruikt.
19/09/18	R5519	Cu-oxide korf CTD Diver reinigt vlot. Zink anode quasi niet aangetast.	v1271	Cu-oxide korf CTD Diver reinigt minder vlot. Dop druksensor gelost.
7/11/18	R5519	geen opmerkingen	V1271	geen opmerkingen
29/11/18	R5519	geen opmerkingen	V1271	geen opmerkingen
19/12/18	R5519	geen opmerkingen	V1271	geen opmerkingen
10/01/19	R5519	zinkanode aan één zijde los gekomen van kabel bij reiniging	V1271	geen opmerkingen

Tabel 17 – Continue meting logboek – locatie Achterhaven

datum uitlezing	nabij bodem		nabij oppervlak	
	serie- nummer	vaststellingen	serie- nummer	vaststellingen
26/07/18	R5520	Diver hangt tegen ballastgewicht. corrosie van ophangingsoog ballastgewicht op CTD Diver. Na herinstallatie CTD Diver op 0.40 m boven onderzijde ballastgewicht gehangen.	R5518	Vlotter gezonken, na installatie vervangen door XPS vlotter WL.
8/08/18	R5520	Nieuw ballastgewicht met halve massa en RVS lus. Ter voorkoming van corrosie op de CTD Diver	R5518	Door een verkeerd geplaatste zekering op de staalkabel tijdens voorgaande installatie werd de CTD Diver en de vlotter tijdens voorgaande periode naar beneden getrokken met het ballastgewicht.
21/08/18	R5518	geen opmerkingen	R5520	geen opmerkingen
6/09/18	R5518	Nieuwe RVS316 kabel geplaatst en zinkanode tussen CTD Diver en ballast gewicht toegevoegd.	R5530	Nieuwe RVS316 kabel bij herinstallatie.
19/09/18	R5518	geen opmerkingen	R5530	geen opmerkingen
7/11/18	R5518	Zinkanode losgekomen van kabel wegens corrosie. Moet volgende keer vernieuwd worden	R5530	Kabel waarmee CTD Diver onder vlotter hangt gedraaid rondom vlotter. Hierdoor werd meting op 0.30 m onder het wateroppervlak uitgevoerd.
29/11/18	R5518	Bouten zinkanode losgevreten door corrosie. Bouten werden vervangen.	R5530	R5530 vervangen door R5529 omwille van afwijkend verloop opgemerkt bij analyse uitlezing 7/11/2018
19/12/18	R5518	Corrosie op zinkanode. Bouten terug aangedraaid.	R5529	geen opmerkingen
10/01/19	R5518	Zinkanode volledig weg (1 bout + moer bleef over, zie foto's).	R5529	geen opmerkingen

Tabel 18 – Continue meting logboek – locatie Voorhaven

datum uitlezing	nabij bodem		nabij oppervlak	
/	serie nummer	vaststellingen	serie nummer	vaststellingen
26/07/18	/	Buis voor meetopstelling nog niet geplaatst.	/	Buis voor meetopstelling nog niet geplaatst.
8/08/18	/	Opstelling geïnstalleerd. Ballast gewicht met RVS lus.	/	Opstelling geïnstalleerd. XPS vlotter gebruikt.
21/08/18	/	Kabelbreuk tijdens ophalen	/	Kabelbreuk tijdens ophalen
6/09/18	R5528	Bij herinstallatie nieuwe RVS316 kabel geplaatst gebruikt en zink anode toegevoegd tussen CTD Diver en ballast gewicht.	R5514	Bij herinstallatie nieuwe RVS316 kabel geplaatst.
19/09/18	R5528	Kleine beschadiging aan nieuwe RVS316 kabel (uitrafeling & lichte roest). Zink anode minder aangetast dan in achterhaven.	R5514	XPS vlotter aan één zijde afgeschaafd.
7/11/18	V7983	Zinkanode losgekomen van kabel door corrosie. Bouten volgende keer te wisselen. Kabel beschadigd, voorlopig nog OK.	R5514	XPS vlotter aan één zijde afgeschaafd.
29/11/18	V7983	Bouten zinkanode losgekomen door corrosie. Bouten zijn vervangen.	R5514	Kabel nog OK. Wel losse bramen die beweging vlotter hinderen. Bij ophalen CTD Divers en ballastgewicht, blokkeerde de vlotter meermaals op de kabel waarna deze terugviel. Vlotter vervangen door een met PU opgevulde 3D geprinte vlotter.
19/12/18	V7983	Slib (licht bruin) in korf CTD Diver. Zinkanode iets minder aangetast dan aan zijde achterhaven.	R5514	Draadstang tussen vlotter en Diver met ca. 0.10 m ingekort zodat de opstelling veiliger gemonteerd kan worden.
10/01/19	V7983	Zinkanode los op kabel.	R5514	geen opmerkingen

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