



Vlaanderen
is wetenschap

19_076_8
WL rapporten

Sedimentbalans Schelde-estuarium

Deelrapport 8
Vergelijking toestellen voor het meten van de conductiviteit

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Sedimentbalans Schelde-estuarium

Deelrapport 8 – Vergelijking toestellen voor het meten van de conductiviteit

Kaptein, S.; Claeys S.; Plancke, Y.

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 2022
D/2022/3241/065

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Kaptein, S.; Claey, S.; Plancke, Y. (2022). Sedimentbalans Schelde-estuarium: Deelrapport 8 – Vergelijking toestellen voor het meten van de conductiviteit. Versie 3.0. WL Rapporten, 19_076_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	MOW - Maritieme Toegang	Ref.:	WL2022R19_076_8
Trefwoorden (3-5):	Conductiviteit, zout, Schelde-estuarium, meting		
Kennisdomeinen:	Hydraulica en sediment > Zout > Terreinmetingen		
Tekst (p.):	13	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Kaptein, S.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Claey, S.	Getekend door: Slyn Claey (Signature) Getekend op: 2022-04-28 11:03:01 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Slyn Claey</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2022-06-03 11:56:20 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-04-04 12:24:24 +02:0 Reden: Ik keur dit document goed <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



Abstract

In het kader van de opmaak van de sedimentbalans voor de Zeeschelde, worden de verschillende sinks en sources van sediment onderzocht. Eén van deze sinks is het transport van sediment door de sluizen richting de dokken. Dit transport vindt plaats door verschillende aandrijvende processen, waarvan de densiteitsstroming doorheen de saskolk de belangrijkste is.

Ter voorbereiding van een in situ meetcampagne, werden verschillende meettoestellen in gecontroleerde omstandigheden getest. Hiervoor werden stapsgewijs watermengsels met een toenemend zoutgehalte aangemaakt. De verschillende toestellen registreerden gelijktijdig hun meetwaarde (specifieke conductiviteit of reële conductiviteit en temperatuur) en deze werd vergeleken met de conductiviteit gemeten met behulp van de ionenchromatograaf (referentie).

De resultaten geven aan dat er weinig verschil zit tussen de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de verschillende instrumenten (CTD's, SODAQ, RBR en YSI), wanneer vergeleken met de resultaten uit de ionenchromatograaf. De CTD's lijken iets gevoeliger voor saliniteitsveranderingen in de tijd waardoor de meetwaarde soms iets doorschiet. De SODAQ geeft een iets groter verschil ten opzichte van de ionenchromatograaf bij lagere saliniteitswaarden.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
1.1 Situering.....	1
2 Opzet van de proeven	2
2.1 Testopstelling	2
2.2 Uitvoering proeven.....	3
2.3 Verwerking resultaten	3
3 Meettoestellen	4
3.1 Staalname en ionenchromatograaf.....	4
3.2 CTD-diver	4
3.3 YSI-multiparametersonde.....	4
3.4 RBR-conductiviteitsmeter.....	4
3.5 SODAQ	4
4 Resultaten.....	5
5 Conclusies en aanbevelingen	12
5.1 Conclusies	12
5.2 Aanbevelingen	12
6 Referenties	13

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht gemiddelde conductiviteit per meetsensor voor verschillende zoutgehaltes	8
Tabel 2 – Overzicht afwijking gemiddelde conductiviteit per meetsensor t.o.v. ionenchromatograaf.....	9

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Foto testopstelling.....	2
Figuur 2 – Conductiviteit in $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ als functie van de tijd voor de verschillende meettoestellen	5
Figuur 3 – Conductiviteit in $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ als functie van de tijd voor de verschillende meettoestellen, uitvergroot voor twee specifieke zoutgehaltes.....	6
Figuur 4 – Conductiviteit in $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ van een van de CTD meters (CTD1) als functie van de tijd	7
Figuur 5 – Conductiviteit in $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ van de SODAQ meter als functie van de tijd.....	7
Figuur 6 – Error (%), in conductiviteit tussen de meetwaarde van het toestel en de ionenchromatograaf. ..	10
Figuur 7 – Standaarddeviatie van de verschillende meettoestellen	11
Figuur 8 – Standaarddeviatie van de verschillende meettoestellen, genormaliseerd met de gemiddelde waarde	11

1 Inleiding

1.1 Situering

In het kader van de Evaluatie Verdrag Beleid & Beheer 2014-2018 (Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie, 2019) werd door de beheerders een lijst onderzoeksvragen voor toekomstig onderzoek geformuleerd. Deze lijst ligt aan de basis van het onderzoeksprogramma Agenda voor de Toekomst II. Door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) werd voor de prioritaire onderzoeksvragen (geïdentificeerd door de beheerders en op te starten in 2019) een screening uitgevoerd van potentiële bijdrages. Met voorliggend onderzoek tracht het WL de inzichten rond het topic “sedimentbalans” te vergroten. Hierbij worden volgende onderzoeksvragen opgepakt:

1. Hoe groot en in welke richting verloopt de sedimentuitwisseling tussen de monding en het estuarium en is er een verschil tussen zand- en slibtransport?
2. Wat zijn de aandrijvende krachten in dit proces?
3. Hoe ver staan we nu eigenlijk met de opmaak van een slibbalans?
4. Wat is de bergingscapaciteit van het estuarium voor sediment, uitgesplitst in zand en slib?
5. Hoeveel sediment kan zonder gevolgen extra worden toegevoegd aan het systeem uitgaande van de huidige gebruiksfuncties.

Voorliggend rapport kadert in de opmaak van de sedimentbalans voor het Schelde-estuarium. Hierbij zullen de verschillende sinks en sources in beeld gebracht worden. Eén van deze sinks is het transport van sediment door de sluizen, richting de dokken. Dit transport vindt plaats door verschillende aandrijvende processen, waarvan de densiteitsstroming doorheen de saskolk waarschijnlijk de belangrijkste is.

Ter voorbereiding van een in situ meetcampagne, werden verschillende toestellen voor het meten van de conductiviteit in gecontroleerde omstandigheden getest. Voorliggende rapport beschrijft de resultaten.

Dankwoord

Deze vergelijkende metingen was mogelijk dankzij de inbreng van een aantal personen die we expliciet willen bedanken. Enerzijds was het mogelijk de SODAQ CT-meter in te zetten in de vergelijkende meting. Deze werd ter beschikking gesteld door FLUVES, waarbij zij ook de programmering, uitvoering tijdens de meting en verwerking uitvoerden. Anderzijds werden de stalen geanalyseerd door de medewerkers in het sedimentlabo van het Waterbouwkundig Laboratorium. Ook hiervoor een bedanking voor het aanleveren van deze resultaten die als referentie werden gebruik in de vergelijking van de toestellen.

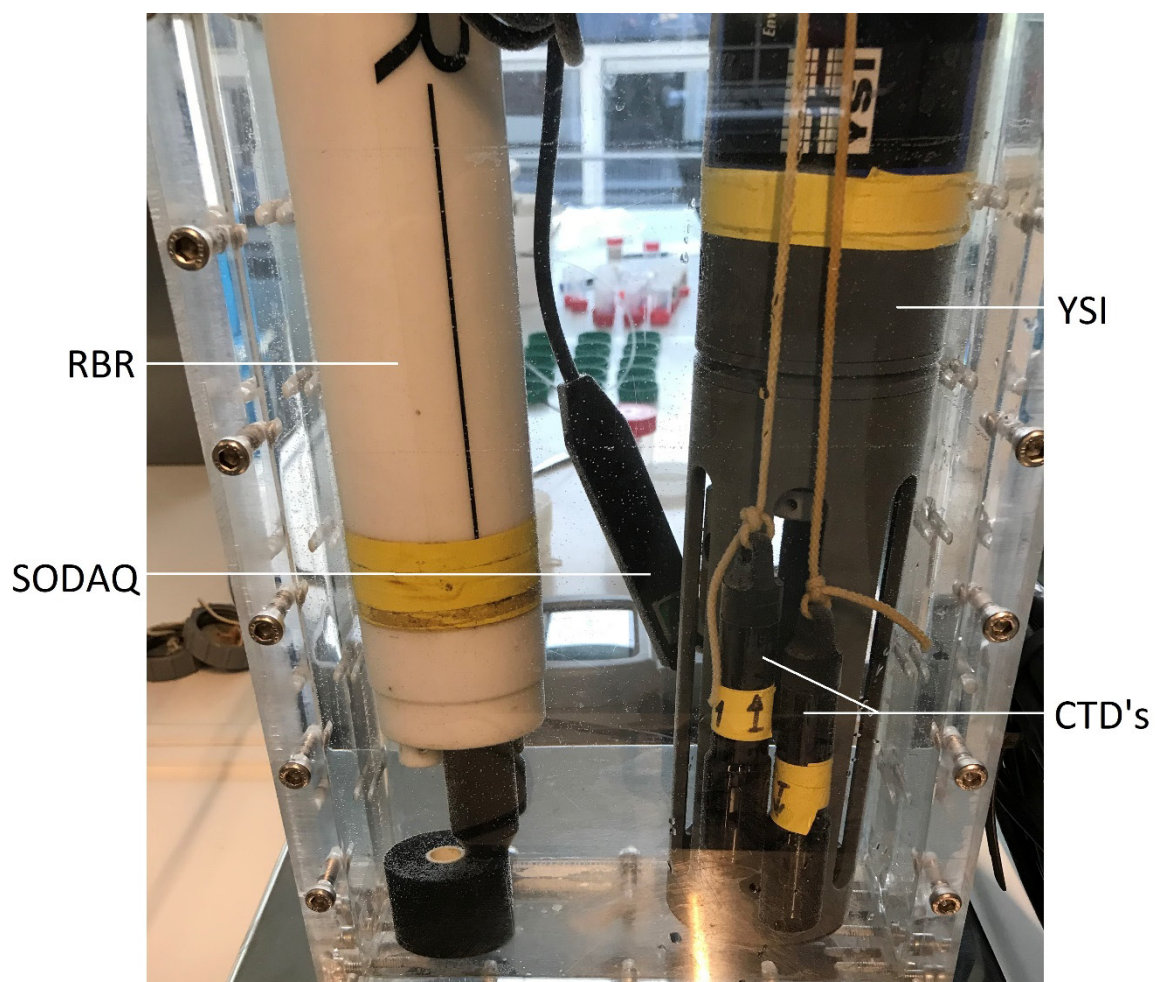
2 Opzet van de proeven

2.1 Testopstelling

De testopstelling (Figuur 1) bestond uit een tank met volume van ca. 6,5 liter die gevuld werd met water. In de tank werden vier verschillende typesmeetsensoren geplaatst die allemaal minimaal de conductiviteit meten:

- YSI-multiparametersonde
- RBR-conductiviteitssonde (CTD)
- Schlumberger CTD-diver (2 stuks)
- SODAQ CT meter,

Later in dit rapport wordt het meetprincipe van de verschillende toestellen beschreven.



Figuur 1 – Foto testopstelling

2.2 Uitvoering proeven

De proeven werden uitgevoerd door stapsgewijs zout toe te voegen aan het water in de tank, waarbij elk stap bestond uit 10 g zout ($[I]=10 \text{ g/6,5 l}$). Om tot een gelijkaardig bereik te komen dan in het Schelde-estuarium kan teruggevonden worden, werd in 20 stappen in totaal 200 g zout ($[I]=200 \text{ g/6,5 l}$) toegevoegd. Er is bij benadering 10 g zout toegevoegd, en er is eveneens geen rekening gehouden met een eventuele volumetoename. De met de ionenchromatograaf gemeten conductiviteit werd beschouwd als de referentie (ground-truth).

Onderaan de tank werd een magnetische roerder geactiveerd om te menging te realiseren. Initieel werd het zout direct toegevoegd aan de meetopstelling, maar al snel bleek dat het zout niet goed oploste. Vanaf de tweede toevoeging werd het zout eerst opgelost in een klein volume water alvorens het werd toegevoegd aan de testopstelling.

Iedere keer dat er zout werd toegevoegd, werd er naast de magnetische roerder, ook met de YSI “geroerd” in de testopstelling, om de menging te bevorderen. Vervolgens werd zowel de reële conductiviteit en de specifieke conductiviteit afgelezen van de YSI. Vanwege een beperkte geheugencapaciteit was interne logging voor de YSI niet mogelijk. De CTD en de RBR logden intern terwijl de SODAQ verbonden was aan een computer. Aangezien de RBR een op een magnetisch veld gebaseerde meettechniek had, werd zodra de zoutverdeling in de tank quasi homogeen was, de RBR naar de bovenste helft van het watervolume gebracht zodat de meetwaarden niet beïnvloed werden door de elektromagnetische mixer. Tenslotte werd een waterstaal uit de tank genomen waarvan, met behulp van de ionenchromatograaf, de conductiviteit en het zoutgehalte werd bepaald als referentie voor de overige meettechnieken.

2.3 Verwerking resultaten

De meetwaarden van de YSI werden afgelezen en in een logboek ingevoerd. De monsters zijn geanalyseerd aan de hand van een ionenchromatograaf en de gemeten waardes opgeslagen in een .xlsx bestand. Zowel de CTD meters als de SODAQ CT meter registreerden continu (CTD iedere seconde en SODAQ iedere vijf seconden). De output werd uiteindelijk opgeslagen in twee .MON bestanden voor de CTD divers en in een .csv bestand voor de SODAQ. Voor de RBR was het cruciaal om het apparaat na iedere zouttoevoeging naar boven (bovenste helft tank) te halen om te zorgen dat de meetwaarde niet beïnvloed werd door het magnetische veld van de mixer (zoals hierboven al beschreven). De meetwaarden zijn uiteindelijk opgeslagen in een .txt bestand.

De output van de CTD's en de RBR was in mS.cm^{-1} , de output van de SODAQ CT divers, de YSI en de ionenchromatograaf analyse waren in $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Alle conductiviteiten zijn omgezet naar $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Daarnaast is het nodig om de conductiviteit waardes van de RBR te filteren, zodat alleen de waardes gemeten op momenten dat de RBR zich buiten het magnetisch invloedsgebied van de roerder bevindt. Hiervoor is de druk gebruikt: als de druk lager is dan 10.75dbar wordt de meetwaarde meegenomen, 10.75dbar is daarbij een arbitraire waarde waarbij de irrealistische conductiviteit waardes uitgesloten konden worden.

Tot slot, werd er in het geval van de CT's, de CTD's, de YSI en de ionenchromatograaf de specifieke conductiviteit gemeten, terwijl bij de RBR de reële conductiviteit werd gemeten. Om tot een goede vergelijking te komen, moet de reële conductiviteit omgezet worden naar specifieke conductiviteit. Dit kan aan de hand van de vergelijking (1), zie ook (YSI Incorporated, 2009)

$$\gamma_{25} = \frac{\gamma_{\theta}}{1 + (\alpha/100)(\theta - 25)} \quad (1)$$

In deze vergelijking is γ_{25} de specifieke geleidbaarheid (bij in dit geval 25°C), θ de specifieke meettemperatuur (in $^{\circ}\text{C}$), γ_{θ} de geleidbaarheid bij deze meettemperatuur en α de temperatuurscoëfficiënt (in $\%^{\circ}\text{C}^{-1}$). Voor de omzetting werd een coëfficiënt van $\alpha = 2\%^{\circ}\text{C}^{-1}$, de waarde die is gecommuniceerd door de medewerkers van het sediment labo

3 Meettoestellen

3.1 Staalname en ionenchromatograaf

Bij elke staalname werd een potje van een paar cl gevuld met water uit de tank. Het recipiënt werd afgesloten en koel bewaard om later geanalyseerd te worden met de ionenchromatograaf. Dit toestel, een ionenchromatograaf Compact IC plus type 880 van Metrohm (Metrohm, s.d.), bepaalt o.a. de hoeveelheid chloride, sulfaat en nitraat. De conductiviteit, de grootte die uiteindelijk is vergeleken in deze studie, is gemeten aan de hand van een conductiviteitsmeter type 856 van Metrohm met een conductiviteit meetcel van 5 ringen en een Pt1000 temperatuur sensor (Metrohm, 2013).

3.2 CTD-diver

De CTD divers zijn van het type Schlumberger. Ze meten de elektrische geleidbaarheid van water in mS.cm^{-1} aan de hand van een 4-elektrode-meetcel. Voor de registratie van de geleidbaarheid kan er gekozen worden voor de geleidbaarheid of de specifieke geleidbaarheid bij 25 °C. Deze keuze wordt gemaakt door middel van een instelling in de diver die voor de start van een meting moet worden geselecteerd. Voor meer info, zie (Schlumberger Water Services, 2014).

3.3 YSI-multiparametersonde

De sonde gebruikt een cel met 4 'pure nickel' elektrodes om de geleiding te meten. De geleiding wordt omgezet naar een geleidbaarheid in mS.cm^{-1} . Ook bij de YSI is het mogelijk om voor de temperatuur de compenseren, door de 'Specific Conductance' instelling te selecteren. De conductiviteit wordt dan omgerekend naar specifieke conductiviteit aan de hand van formule (1), waarbij een waarde voor α van $= 1,91\%.\text{°C}^{-1}$ wordt gebruikt. Deze waarde verschilt iets met de waarde die gebruikt lijkt te zijn voor de analyse van de stalen. Voor meer info, zie (YSI Incorporated, 2009).

3.4 RBR-conductiviteitsmeter

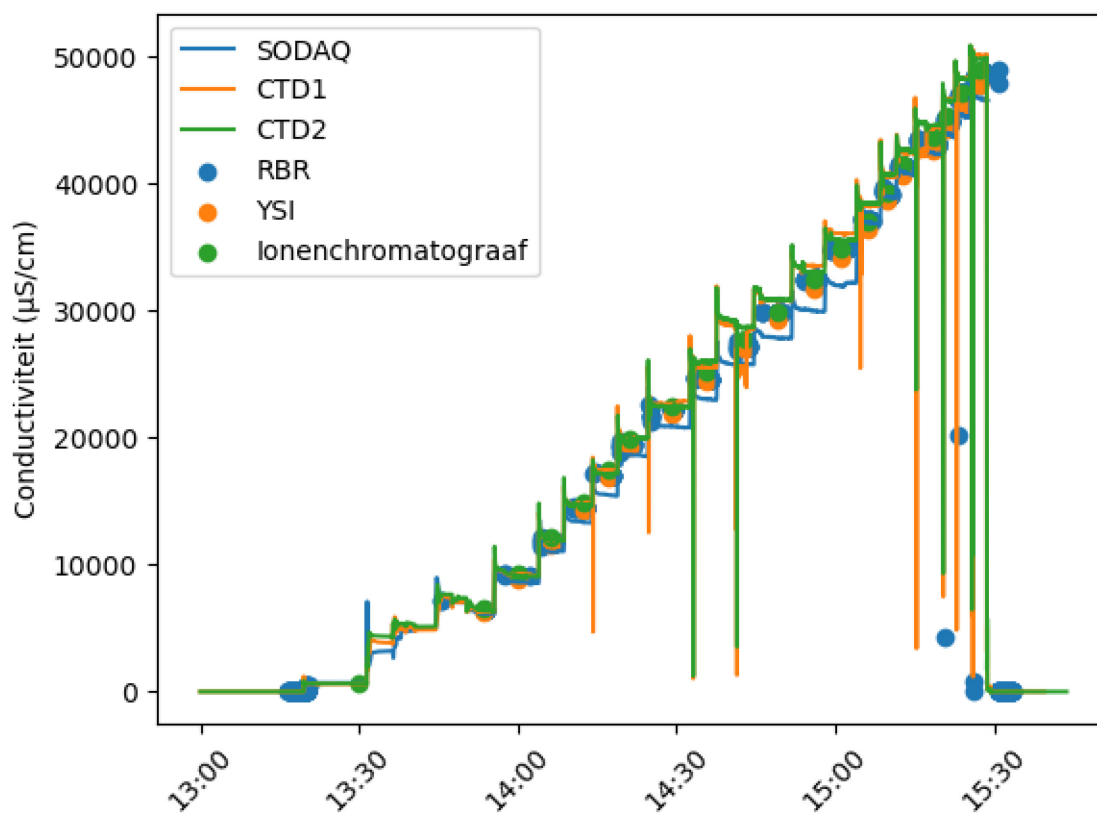
De conductiviteitssensor is een spoel die in een keramische Delrin cylinder gehuisvest is. Het volume waarover de Delrin cylinder meet is groter dan het diameter van de Delrin cylinder en is ongeveer 20 tot 30 cm in diameter. Meer informatie kan gevonden worden in (Halverson *et al.*, 2017).

3.5 SODAQ

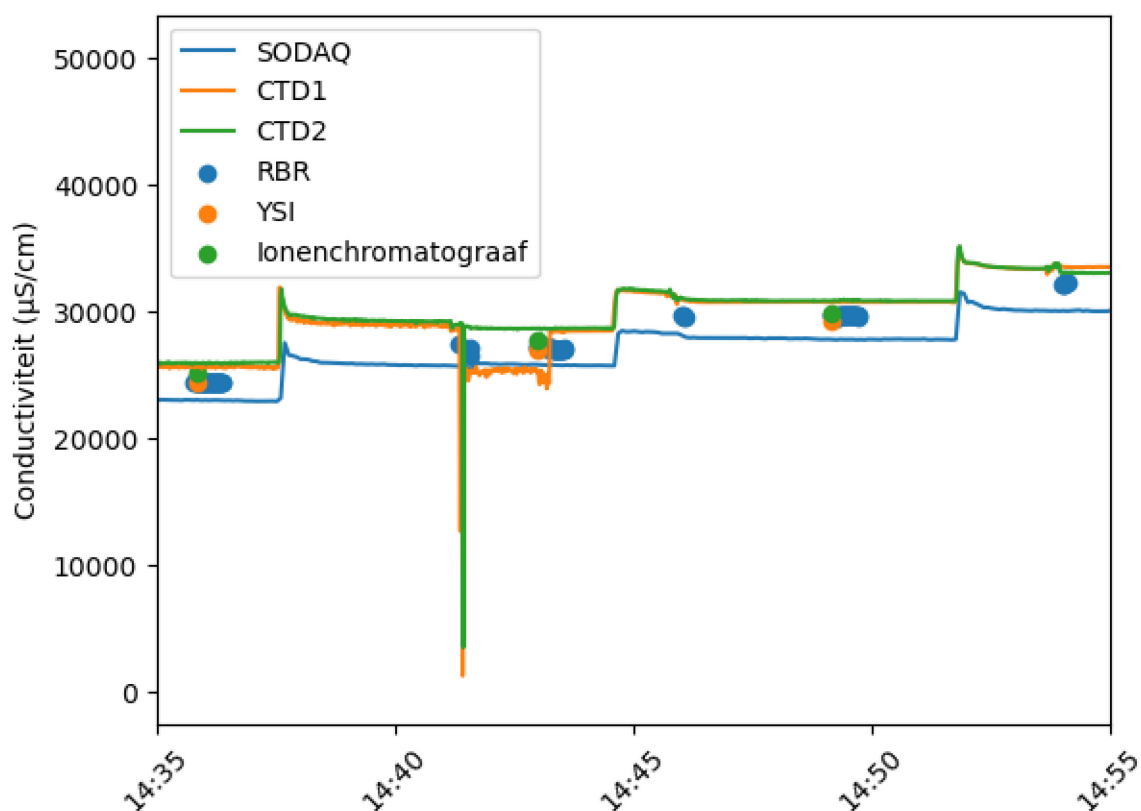
The SODAQ EC Water sensor is ontwikkelt door SODAQ. Het meet de conductiviteit aan de hand van een paar interagerende sensoren. De sonde gebruikt een meetcel met twee goud gecoate elektrodes die de geleiding van de oplossing meten. Dit wordt omgezet naar een geleidbaarheid in $\mu\text{S.cm}^{-1}$. De output data is een temperatuur gecompenseerde specifieke geleidbaarheid (referentie temperatuur 25 °C) die wordt bepaald met behulp van een temperatuursensor onderaan de sonde. Een één-punts-Kalibratie gebeurt in een standaardoplossing van $1413 \mu\text{S.cm}^{-1}$ bij 25 °C. (SODAQ, 2020).

4 Resultaten

De specifieke conductiviteitswaarden gemeten door de verschillende toestellen zijn uitgezet tegen de tijd in Figuur 2. Als we de zouttesten via de ionenchromatograaf als referentie nemen, volgen de conductiviteitswaarden van de andere meettoestellen goed. De waarden van de CTD's liggen iets hoger, de waarden van de YSI en de SODAQ liggen iets lager. Wat opvalt is dat de waarden van de continue metingen, van de CTD's en van de SODAQ, beide kortstondig doorschieten zodra er zout wordt toegevoegd aan de tank. Dit zou kunnen liggen aan de hogere meetfrequentie van die sondes. Aangezien de waterkolom in het begin nog niet goed gemengd is, is het mogelijk dat er lokaal hogere saliniteitswaarden optreden die vervolgens weer afnemen naar mate de menging toeneemt. Tevens weergeven de meetwaarden van de CTD's een iets instabiel beeld. Dit is beter te zien in Figuur 3: vrij snel na de piek meten de de CTD's een constante waarde, waarna er soms toch nog schommelingen worden gemeten.



Figuur 2 – Conductiviteit in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ als functie van de tijd voor de verschillende meettoestellen

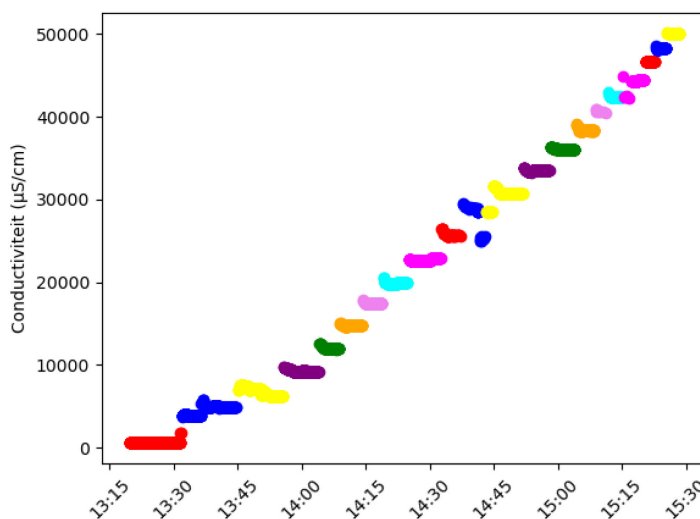


Figuur 3 – Conductiviteit in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ als functie van de tijd voor de verschillende meettoestellen, uitvergroot voor twee specifieke zoutgehalten

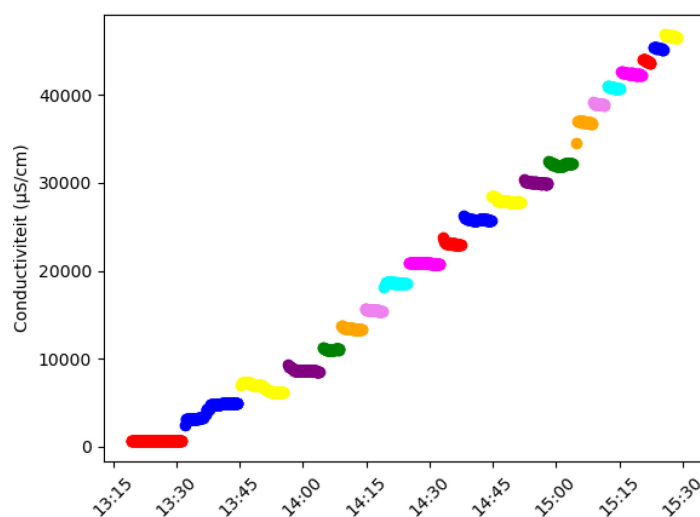
Aan de hand van de conductiviteiten is het mogelijk om de verschillende toestellen met elkaar te vergelijken. Daarvoor is er per zoutconcentratie een referentie waarde nodig voor de conductiviteit. De meeste toestellen (CTD's, RBR en SODAQ) hebben echter meerdere waarden voor de conductiviteit per zoutconcentratie. Voor die specifieke meettoestellen berekenen we de gemiddelde zoutwaarde en de standaard deviatie.

Als eerste stap identificeren we het moment waarop de meters een nieuwe conductiviteitswaarde meten, na het toevoegen van zout. Als noodzakelijke conditie gaan we op zoek naar een sprong in de meetwaarden. We nemen aan dat als het verschil tussen twee opeenvolgende meetpunten groter is dan is $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, het mogelijk is dat er een nieuwe zouttoevoeging heeft plaatsgevonden. Deze manier van detecteren gaf een redelijke inschatting, maar moest nog wel gecorrigeerd worden voor overschrijdingen van de $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ die niet overeenstemden met saliniteit toevoegingen. Door de instabiliteit van de metingen moest er voor de CTD meters vaker gecorrigeerd worden dan voor andere apparaten.

Als tweede stap, werd er voor de CTD's en de SODAQ net als bij de RBR een filter toegepast. Zoals te zien is in Figuur 2, schieten met name de CTD's en de SODAQ door na toevoeging van het zout. Het meenemen van deze "doorschietwaardes" heeft tot gevolg dat de afgeleide waardes minder betrouwbaar zijn. Het is daarom van belang om ook de doorschietwaardes weg te filteren. De filtermethode is gebaseerd op tijdsafgeleide van de meetwaarden: als de absolute waarde van de tijdsafgeleide groter is dan een bepaalde waarde, wordt de meetwaarde niet meegenomen in de statistiek. Deze waarde werd voor de CTD's gezet op $7.5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. De gefilterde conductiviteit voor de CTD wordt getoond in Figuur 4, en voor de SODAQ in Figuur 5 waarbij de kleuren meetwaarden aangeven die bij dezelfde zoutgehalte horen. Het algoritme heeft de sprong in de CTD1 meeting iets na 14:40, die ook al zichtbaar was in Figuur 3, niet kunnen filteren.



Figuur 4 – Conductiviteit in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ van een van de CTD meters (CTD1) als functie van de tijd



Figuur 5 – Conductiviteit in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ van de SODAQ meter als functie van de tijd

Op basis van de gefilterde conductiviteit is het mogelijk om een gemiddelde conductiviteit en een standaard deviatie toe te berekenen. De gemiddelde conductiviteit is dan een maat voor de nauwkeurigheid van het toestel en de standaard deviatie een maat voor de betrouwbaarheid. De gemiddelde waarden worden getoond in Tabel 1. Het is te zien dat de waarden van de verschillende meettoestellen elkaar niet veel ontlopen. De conductiviteitswaarden waarvoor in Figuur 4 en 5 afwijkingen werden waargenomen zijn nu schuingedrukt (staal 10, 11 en 17 voor CTD1 en staal 14 voor de SODAQ). Deze afwijkingen geven geen groot verschil in de gemiddelde conductiviteitswaarde. Tabel 2 geeft de afwijking weer van de gemeten conductiviteit ten opzichte van de referentie. Wederom zijn de conductiviteitswaarden van stalen 10, 11 en 17 (voor de CTD1) en 14 (voor de SODAQ) schuingedrukt vanwege de eerder vernoemde afwijkingen. Ook hier worden de afwijkingen niet waargenomen. Het verschil tussen de CTD1 en de ionenchromatograaf is zelfs kleiner, doordat de overschatting van de CTD1 door de afwijking iets gecompenseerd wordt.

Er zijn echter wel verschillen die afhankelijk zijn van de hoeveelheid zout in oplossing. Zo onderschat de RBR de conductiviteit van de samples bij lage conductiviteit, maar overschat hij deze bij hogere conductiviteit. De gemiddelde conductiviteit gemeten door de RBR voor sample 20 duidt op een stabiliteitsprobleem. Voor de SODAQ is het beeld omgekeerd. De SODAQ overschat de conductiviteit bij hele lage waarden, maar onderschat de conductiviteit bij hogere waarden. Het is daarbij belangrijk om te benadrukken dat de standaarden van de SODAQ liggen tussen 147 en 11880 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en dat de meetwaarden binnen de specificaties van de SODAQ liggen. Vanaf sample 9 liggen de waarden echter boven de range van SODAQ. De YSI meet permanent een lagere conductiviteit en de CTD's en hogere conductiviteit dan de ionenchromatograaf.

Tabel 1 – Overzicht gemiddelde conductiviteit per meetsensor voor verschillende zoutgehaltes

sample nr.	Ionenchr.	CTD1	CTD2	SODAQ	RBR
0	611	615	649	674	568
1	-	4546	4902	4203	-
2	6494	6786	6974	6678	6448
3	9324	9275	9235	8667	9148
4	12098	12041	12042	11040	11918
5	14856	14786	14705	13410	14491
6	17412	17447	17172	15506	17051
7	19937	19924	19874	18604	19516
8	22527	22723	22462	20869	22207
9	25128	25778	25963	23077	24597
10	27723	28241	28991	25832	27243
11	29948	30498	30959	27942	29886
12	32514	33496	33167	30025	32511
13	34889	36101	35576	32114	34927
14	37062	38412	38438	36844	36949
15	39315	40679	40704	38958	39071
16	41506	42409	42640	40807	41298
17	43730	44336	44592	42426	43231
18	45343	46689	46532	43872	45007
19	47088	48253	48233	45334	47116
20	48936	50087	49791	46713	29128

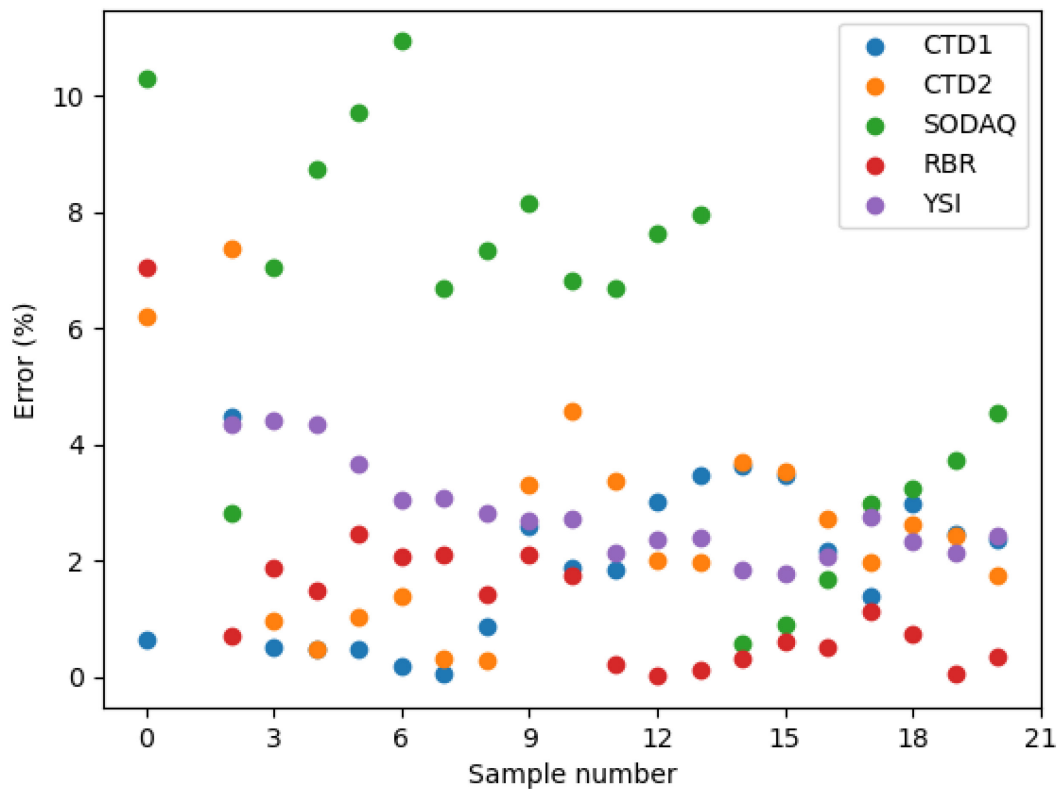
Tabel 2 – Overzicht afwijking gemiddelde conductiviteit per meetsensor t.o.v. ionenchromatograaf

sample nr.	CTD1	CTD2	SODAQ	RBR
0	0.7%	6.2%	10.3%	-7.0%
1				
2	4.5%	7.4%	2.8%	-0.7%
3	-0.5%	-1.0%	-7.0%	-1.9%
4	-0.5%	-0.5%	-8.7%	-1.5%
5	-0.5%	-1.0%	-9.7%	-2.5%
6	0.2%	-1.4%	-10.9%	-2.1%
7	-0.1%	-0.3%	-6.7%	-2.1%
8	0.9%	-0.3%	-7.4%	-1.4%
9	2.6%	3.3%	-8.2%	-2.1%
10	1.9%	4.6%	-6.8%	-1.7%
11	1.8%	3.4%	-6.7%	-0.2%
12	3.0%	2.0%	-7.7%	0.0%
13	3.5%	2.0%	-8.0%	0.1%
14	3.6%	3.7%	-0.6%	-0.3%
15	3.5%	3.5%	-0.9%	-0.6%
16	2.2%	2.7%	-1.7%	-0.5%
17	1.4%	2.0%	-3.0%	-1.1%
18	3.0%	2.6%	-3.2%	-0.7%
19	2.5%	2.4%	-3.7%	0.1%
20	2.4%	1.7%	-4.5%	-40.5%

Aan de hand van de gemiddelde conductiviteit waarde is het mogelijk om een relatief verschil (of error) te definiëren van de verschillende meettoestellen ten opzichte van de conductiviteit waarde van de ionenchromatograaf, die we als referentie gebruiken.

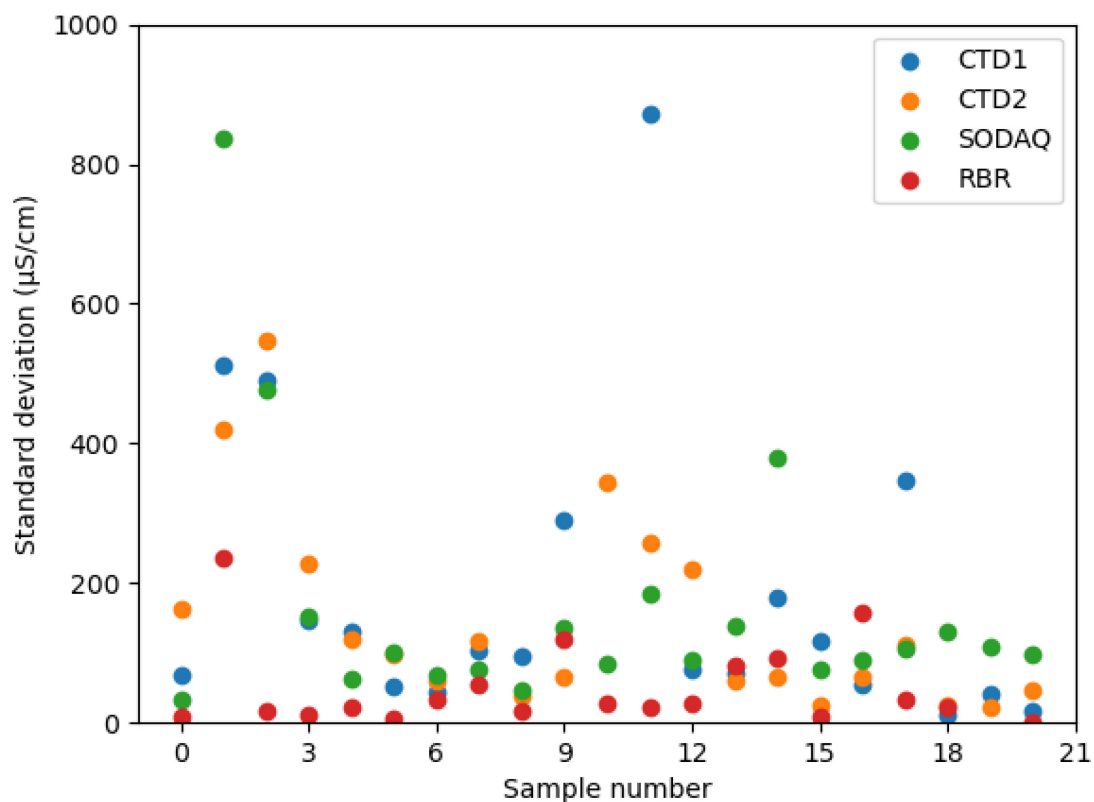
$$\text{Error} = 100 \left| \frac{\gamma_{\text{toestel}} - \gamma_{\text{ionenchromatograaf}}}{\gamma_{\text{ionenchromatograaf}}} \right|, \quad (2)$$

Waarbij γ_{toestel} de conductiviteit van het toestel is en $\gamma_{\text{ionenchromatograaf}}$ de conductiviteit van de ionenchromatograaf. De error van de verschillende toestellen worden getoond in Figuur 6. Het is te zien dat de RBR, de YSI en de CTD1 een fout hebben van minde dan 5% voor de hele meetreeks. De relatieve fout van de SODAQ meter is hoger voor de monsters 0 t/m 11 (boven de 6%), en zakt vervolgens naar vergelijkbare waardes als de andere toestellen. De reden voor dit verschil is niet bekend.

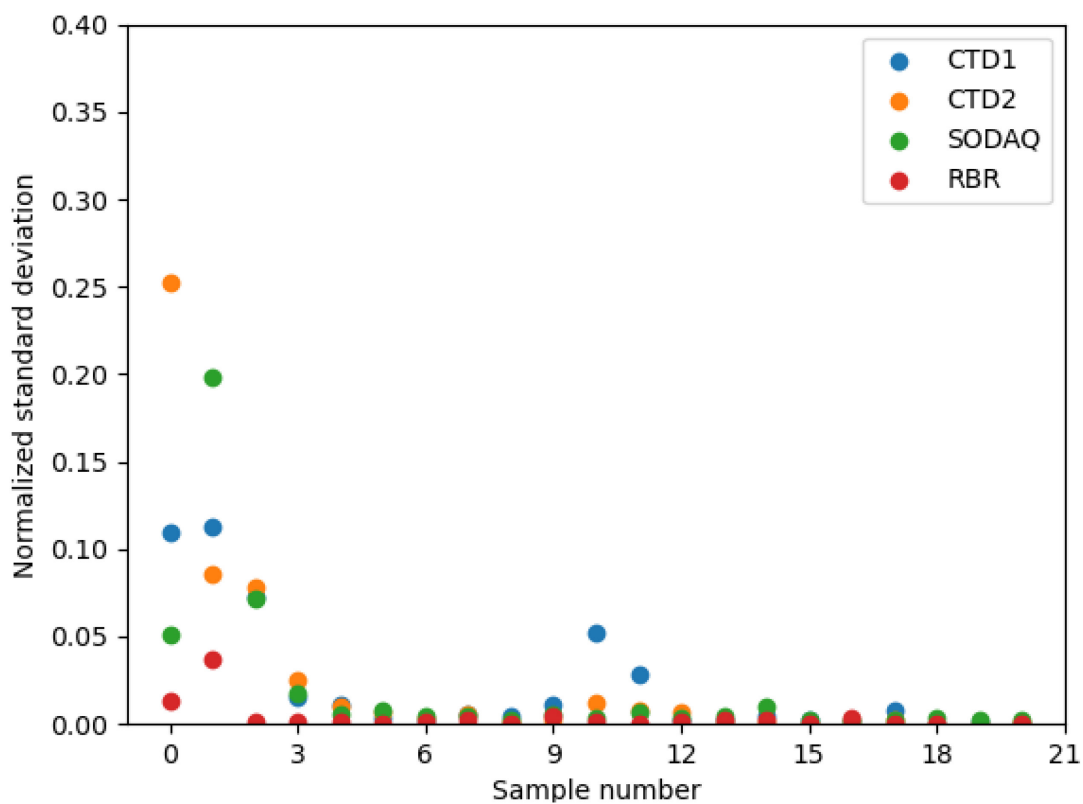


Figuur 6 – Error (%), in conductiviteit tussen de meetwaarde van het toestel en de ionenchromatograaf.

De standaard deviatie van ieder toestel wordt getoond in Figuur 7. De standaard deviatie is redelijk constant, onder de $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, op een paar uitschieters na. Over het algemeen lijken de meetwaardes van de RBR een minder hoge standaard deviatie te vertonen dan de CTD en de SODAQ, maar dit kan komen doordat deze standaard deviatie berekend is over minder meetpunten. Wanneer de standaard deviatie genormaliseerd wordt met de gemiddelde waarde is deze systematisch onder de 5%, behalve bij lagere waardes van de conductiviteit (stalen 0, 1 en 2), zie Figuur 8. In deze figuur zijn de afwijkende metingen (stalen 10, 11 en 17 voor de CTD1 en 14 voor de SODAQ) wel goed waarneembaar.



Figuur 7 – Standaarddeviatie van de verschillende meettoestellen



Figuur 8 – Standaarddeviatie van de verschillende meettoestellen, genormaliseerd met de gemiddelde waarde

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Op basis van de meetnauwkeurigheid kunnen de CTD's, de RBR en de YSI als gelijkwaardig worden beschouwd. Hun meetwaarden wijken maximaal 4% af van de meetwaarden van de ionenchromatograaf. De standaarddeviatie binnen de meetwaarden is ook van dezelfde orde grootte, ook al lijken de CTD's gevoeliger voor plotselinge schommelingen van de saliniteit. De meetwaarden van de SODAQ meter wijken meer dan 6% af voor lagere saliniteitsconcentraties maar liggen in dezelfde range als de overige meettoestellen dan voor hogere saliniteitswaarden.

5.2 Aanbevelingen

Aangezien de toestellen elkaar amper ontlopen wat betreft meetnauwkeurigheid en betrouwbaarheid kan de keuze tussen de apparaten van andere factoren afhangen, zoals prijs, toepasbaarheid en combinatie met het meten van andere grootheden.

6 Referenties

Halverson, M.; Jackson, J.; Richards, C.; Melling, H.; Hunt, B.; Brunsting, R.; Dempsey, M.; Gatien, G.; Hamilton, A.; Jacob, W.; Zimmerman, S. (2017). Guidelines for processing RBR CTD profiles Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 314, 314. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* ISBN 9780660060033. 44 pp. Available at: <http://publications.gc.ca/site/eng/9.822241/publication.html>

Metrohm. (2013). 5-Ring Conductivity Measuring Cells: 5–6

Metrohm. (S.d.). Metrohm 882 Compact IC plus

Schlumberger Water Services. (2014). Diver Handleiding: Delft. 27 pp.

SODAQ. (2020). Water EC startup guide. 0–9 pp.

Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie. (2019). Evaluatie Verdrag Beleid en Beheer Schelde-estuarium 2014-2018. 47 pp.

YSI Incorporated. (2009). Multiparameter Water Quality Sondes User Manual. 374 pp.

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