



Vlaanderen
is wetenschap



17_119_1
WL rapporten

Bepaling saliniteit op basis van conductiviteits- en temperatuursmetingen

Rekenmethodiek en gevoeligheidsanalyse

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Bepaling saliniteit op basis van conductiviteits- en temperatuursmetingen

Rekenmethodiek en gevoeligheidsanalyse

Meire, D.; Vandenbruwaene, W.; De Bruyn, L.; Thant, S.; Vereecken, H.; Claeys, S.; Deschamps, M.

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/2022/3241/067

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Vandenbruwaene, W.; De Bruyn, L.; Thant, S.; Vereecken, H.; Claeys, S.; Deschamps, M. (2022). Bepaling saliniteit op basis van conductiviteits- en temperatuursmetingen: Rekenmethodiek en gevoeligheidsanalyse. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_119_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2022R17_119_1
Trefwoorden (3-5):	Conductiviteit, saliniteit, UNESCO, gevoeligheidsanalyse		
Kennisdomeinen:	Waterbeheer > Waterkwaliteit > Zoutintrusie Waterbeheer > Statistiek > Gevoeligheidsanalyse Waterbeheer > Meetnetten > Fysico-chemische parameters		
Tekst (p.):	29	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee ☒ Online beschikbaar		

Auteur(s):	Meire, D.; Vandenbruwaene, W.; De Bruyn, L.; Thant, S.
------------	--

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Vereecken, H.; Claeys, S.	Getekend door: Hans Vereecken (Signature) Getekend op: 2022-05-03 09:39:43 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed Getekend door: Slyn Claeys (Signature) Getekend op: 2022-06-14 14:07:38 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed
Projectleider:	Vandenbruwaene, W.	Getekend door: Wouter Vandenbruwaene Getekend op: 2022-04-26 12:28:44 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC:	Deschamps, M.	Getekend door: Maarten Deschamps (Sig) Getekend op: 2022-04-27 11:16:01 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed
Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2022-04-27 12:21:05 +02:00 Reden: Ik keur dit document goed



Abstract

Het WL-HIC registreert hoogfrequent conductiviteit en temperatuur om de saliniteit in de waterwegen te berekenen op basis van de UNESCO formule. Staalanalyse toont aan dat het verschil tussen berekende UNESCO saliniteit en de werkelijke saliniteit minder dan 5% bedraagt. De continue conductiviteitsensoren die WL-HIC gebruikt om saliniteit berekenen zijn dus representatief voor de werkelijke saliniteit. Enkel voor de laagste zoutgehaltes ($< 2\text{‰}$, nagenoeg zoet water) onderschat de berekende saliniteit sterk de werkelijke saliniteit. Staalanalyse toont verder aan dat voor de verschillende type conductiviteitsensoren het verschil met de referentie over het algemeen minder dan 10% bedraagt. RBR, Valeport en Seaguard sensoren zijn hierbij het meest in overeenstemming met de referentie. Ook de YSI toestellen zijn in goede overeenstemming met de referentie, maar daar is het type kalibratie erg van belang.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
Lijst van afkortingen	X
1 Inleiding	1
2 Methodiek	2
2.1 Meting van de conductiviteit.....	2
2.1.1 Algemeen.....	2
2.1.2 Specifieke conductiviteit	2
2.1.3 Vergelijking conductiviteit per type meettoestel.....	2
2.2 Bepaling van de saliniteit.....	4
2.2.1 Algemeen.....	4
2.2.2 Theoretische formules.....	5
2.2.3 Bepalen ionenconcentraties met IC	7
2.2.4 Berekening saliniteit voor stalen genomen tijdens halftij-ebvaart	8
3 Resultaten.....	9
3.1 Vergelijking conductiviteit per type meettoestel.....	9
3.1.1 Referentie	9
3.1.2 Analyse per locatie	10
3.1.3 Analyse kalibratiestalen.....	16
3.1.4 Synthese alle stalen	19
3.2 Saliniteit stalen halftij-ebvaart december 2020	21
3.2.1 Gemeten conductiviteit.....	21
3.2.2 Bepaalde saliniteit	23
3.2.3 Gevoeligheid type conductiviteitsmeting.....	24
3.2.4 Gevoeligheid omrekeningsformule	26
4 Conclusie.....	28
5 Referenties	29

Bijlage: Overzicht uitgevoerde metingen met terreintoestellen	B1
A. CTD.....	B1
B. Valeport	B3
C. Seaguard	B4
D. RBR.....	B5
E. YSI	B6

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de gebruikte instrumenten voor de vergelijkende conductiviteitstest.	3
Tabel 2 – Tijdstip van staalname voor de stalen in de Zeeschelde	3
Tabel 3 – Verschillende waarden van de h_i op basis van de waarde van G_{hulp}	7
Tabel 4 – Moleculaire gewichten van de betrokken ionen	7
Tabel 5 – Overzicht van de metingen met de IC voor de stalen afkomstig vanop het terrein.....	9
Tabel 6 – Overzicht van de metingen met de IC voor de kalibratiestalen	9
Tabel 7 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Dendersluis.	10
Tabel 8 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Steendorp.	11
Tabel 9 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Deurganckdok.....	12
Tabel 10 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor B85a. ..	13
Tabel 11 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Emden.	14
Tabel 12 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Mariakerke (zeewater).....	15
Tabel 13 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor het kalibratiestaal van 1 mS/cm (alle getallen in mS/cm).....	16
Tabel 14 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 10 mS/cm.....	17
Tabel 15 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 50 mS/cm.....	18
Tabel 16 – Overzicht van de verschillende meetstappen voor beide gebruikte divers, met starttijd en aantal samples per meetstap	1
Tabel 17 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de Valeport sonde	3
Tabel 18 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de Seaguard sonde	4
Tabel 19 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de RBR-ctd sonde	5
Tabel 20 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples, voor de verschillende YSIs.	6

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht staalnamelocaties voor conductiviteitsmetingen.	4
Figuur 2 – Overzicht van de staalnamelocaties voor bepaling zoutgehalte (halftij-ebvaart december 2020). 8	
Figuur 3 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van de Dendersluis, bemeten met de verschillende instrumenten.....	10
Figuur 4 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Steendorp, bemeten met de verschillende instrumenten.	11
Figuur 5 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Deurganckdok, bemeten met de verschillende instrumenten.....	12
Figuur 6 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van B85a, bemeten met de verschillende instrumenten.....	13
Figuur 7 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Emden, bemeten met de verschillende instrumenten.....	14
Figuur 8 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Mariakerke (zeewater), bemeten met de verschillende instrumenten.....	15
Figuur 9 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 1 mS/cm	16
Figuur 10 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 10 mS/cm.....	17
Figuur 11 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 50 mS/cm.....	18
Figuur 12 – XY-plot van de metingen voor specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de verschillende meettoestellen, ten opzichte van de referentie (IC meting).....	19
Figuur 13 – Relatieve fout voor de verschillende meetstalen en meetinstrumenten	20
Figuur 14 – Verloop van de relatieve fout in relatie tot de opgemeten specifieke conductiviteit in het referentiestaal.....	20
Figuur 15 – De variatiecoëfficiënt voor alle meetinstrumenten en metingen.....	21
Figuur 16 – Overzicht conductiviteitsmetingen stalen Beneden-Zeeschelde	22
Figuur 17 – Overzicht conductiviteitsmetingen stalen Boven-Zeeschelde	22
Figuur 18 – Berekende saliniteit (UNESCO gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 12,8 mS/cm) versus saliniteit op basis van ionengehaltes.....	23
Figuur 19 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 12,8 mS/cm) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.....	24
Figuur 20 – Omgerekende saliniteit (UNESCO) op basis van verschillende type conductiviteitsmetingen versus saliniteit IC.	25

Figuur 21 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.	25
Figuur 22 – Omgerekende saliniteit (UNESCO, RWS, WL o.b.v. IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm) versus bepaalde saliniteit	26
Figuur 23 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO, RWS, WL o.b.v. IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.....	27
Figuur 24 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - divers.	2
Figuur 25 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - Valeport sonde.	3
Figuur 26 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - Seaguard sonde.	4
Figuur 27 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de RBR over de volledige meetperiode.	5
Figuur 28 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_1 over de volledige meetperiode.	7
Figuur 29 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_10 over de volledige meetperiode.....	7
Figuur 30 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_50 over de volledige meetperiode.....	8

Lijst van afkortingen

Cond:	Conductiviteit
CTD:	Conductiviteit Temperatuur Druk
HIC:	Hydrologisch Informatiecentrum
IC:	Ionenchromatograaf
PSU:	Practical Salinity Unit
RBR:	fabrikant van oceanografische meetinstrumenten
RWS:	Rijkswaterstaat
T:	Temperatuur
UNESCO:	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
WL:	Waterbouwkundig Laboratorium
YSI:	Yellow Springs Instrument Company

1 Inleiding

Vandaag de dag meet het WL-HIC op diverse locaties langsheen de bevaarbare waterlopen hoogfrequent de conductiviteit en temperatuur gebruik makende van multiparametersondes. Aan de hand van theoretische formules (bv. UNESCO) kunnen de conductiviteit en temperatuur omgezet worden naar saliniteit (zoutgehalte). De keuze voor hoogfrequente conductiviteitsmetingen versus het nemen van waterstalen (waarbij zoutgehalte nadien in het labo moet bepaald worden), heeft vooral te maken met de variabiliteit van deze parameter. Het merendeel van de meetlocaties bevindt zich immers in het Schelde estuarium, waar de saliniteit zowel ruimtelijk (afstand tot de zeemonding), als temporeel (als functie van het getij en de bovenafvoer) varieert. Daarnaast kan de saliniteit ook op langere termijn evolueren (bijvoorbeeld verzilting). Het hoogfrequent meten met multiparametersondes laat dus toe om deze variabiliteit in saliniteit gedetailleerd in beeld te brengen, zonder een grote hoeveelheid aan waterstalen te nemen op het terrein, en te analyseren in het labo.

Conductiviteitsmetingen brengen echter ook een aantal onzekerheden met zich mee. Verschillende type conductiviteitssensoren kunnen gebruikt worden, sommige zijn eerder geschikt voor zoute condities, andere voor eerder zoete condities. Daarnaast moet de conductiviteit nog omgerekend worden naar saliniteit. Hiervoor zijn verschillende theoretische formules bruikbaar.

Doel van dit rapport is om een overzicht te geven van de sensoren die WL-HIC gebruikt om conductiviteit te meten, de verschillen te bespreken tussen de verschillende type meettoestellen conductiviteit, inzicht te geven in hoe de saliniteit berekend wordt, en wat de te verwachten onzekerheid is op de berekende saliniteit ten gevolge type toestel en omrekeningsformule.

2 Methodiek

2.1 Meting van de conductiviteit

2.1.1 Algemeen

De conductiviteit of geleidbaarheid van een waterige oplossing is afhankelijk van de hoeveelheid opgeloste ionen in een oplossing. De geleidbaarheid wordt niet alleen bepaald door de concentratie aan ionen, maar ook door de temperatuur van de oplossing. Bij hogere temperatuur gaan de ionen sneller bewegen en wordt de geleidbaarheid dus groter. Er is een exponentieel verband tussen de temperatuur van de vloeistof en de geleidbaarheid, waarbij de coëfficiënten van deze relatie afhankelijk zijn van de samenstelling van de oplossing.

2.1.2 Specifieke conductiviteit

In voorliggend rapport wordt het verschil in conductiviteit tussen verschillende type toestellen begroot (zie §2.1.3 en §3.1). Om de invloed van temperatuur bij deze vergelijking te elimineren wordt er gebruik gemaakt van de specifieke conductiviteit. Dit is de conductiviteit gemeten op een referentietemperatuur van 25°C. Bij de meeste toestellen die geschikt zijn om conductiviteit te meten, kan een keuze gemaakt worden tussen bepalingen van de gemeten conductiviteit (temperatuur wordt ook geregistreerd) en bepalingen van specifieke conductiviteit. Daartoe heeft elk toestel een voorgeprogrammeerde formule om de gemeten conductiviteit bij een bepaalde temperatuur om te rekenen naar de specifieke conductiviteit. Onderstaande formule wordt vaak gebruikt om de specifieke conductiviteit te bepalen:

$$\text{Specifieke conductiviteit} = \frac{\text{gemeten conductiviteit}}{1 + 0,0191 \cdot (T - 25)}$$

Hierbij is T de gemeten temperatuur in °C en 0,0191 een constante die bepaald is aan de hand van een zuivere KCl oplossing.

2.1.3 Vergelijking conductiviteit per type meettoestel

Om het verschil in conductiviteit tussen verschillende type toestellen te bepalen werden er metingen uitgevoerd op stalen genomen langsheen het Schelde estuarium. In totaal werden er 7 type toestellen gebruikt, elke met hun eigen meetprincipe en type kalibratie (Tabel 1). Het YSI toestel werd voor de vergelijkende conductiviteitstest gekalibreerd voor drie verschillende standaardvloeistoffen (1 mS/cm, 10 mS/cm en 50 mS/cm, respectievelijk aangeduid als YSI 1, YSI 10, YSI 50). Voor de CTD werden er dan weer twee verschillende toestellen gebruikt (firma Eijkelkamp, beide gekalibreerd volgens hetzelfde principe). De toestellen die normaal op het terrein gebruikt worden, werden voor de test naar het labo gehaald voor uitvoering van de metingen.

Tabel 1 – Overzicht van de gebruikte instrumenten voor de vergelijkende conductiviteitstest.

Instrument	Meetprincipe	Type kalibratie	Waar gebruikt	Meetfrequentie [Hz]
CTD 1	Elektrode	Meerpuntskalibratie	Terrein	1
CTD 2	Elektrode	Meerpuntskalibratie	Terrein	1
Hanna	Elektrode	Meerpuntskalibratie	Labo	Continu
Ionenchromatograaf	Elektrode	Eénpuntskalibratie	Labo	Continu
RBR	Inductief	Tweepuntskalibratie	Terrein	0,5
Aanderaa Seaguard	Inductief	Eénpuntskalibratie	Terrein	0,25
Valeport	Inductief	Eénpuntskalibratie	Terrein	1
YSI 1	Elektrode	Eénpuntskalibratie	Terrein	2
YSI 10	Elektrode	Eénpuntskalibratie	Terrein	2
YSI 50	Elektrode	Eénpuntskalibratie	Terrein	2

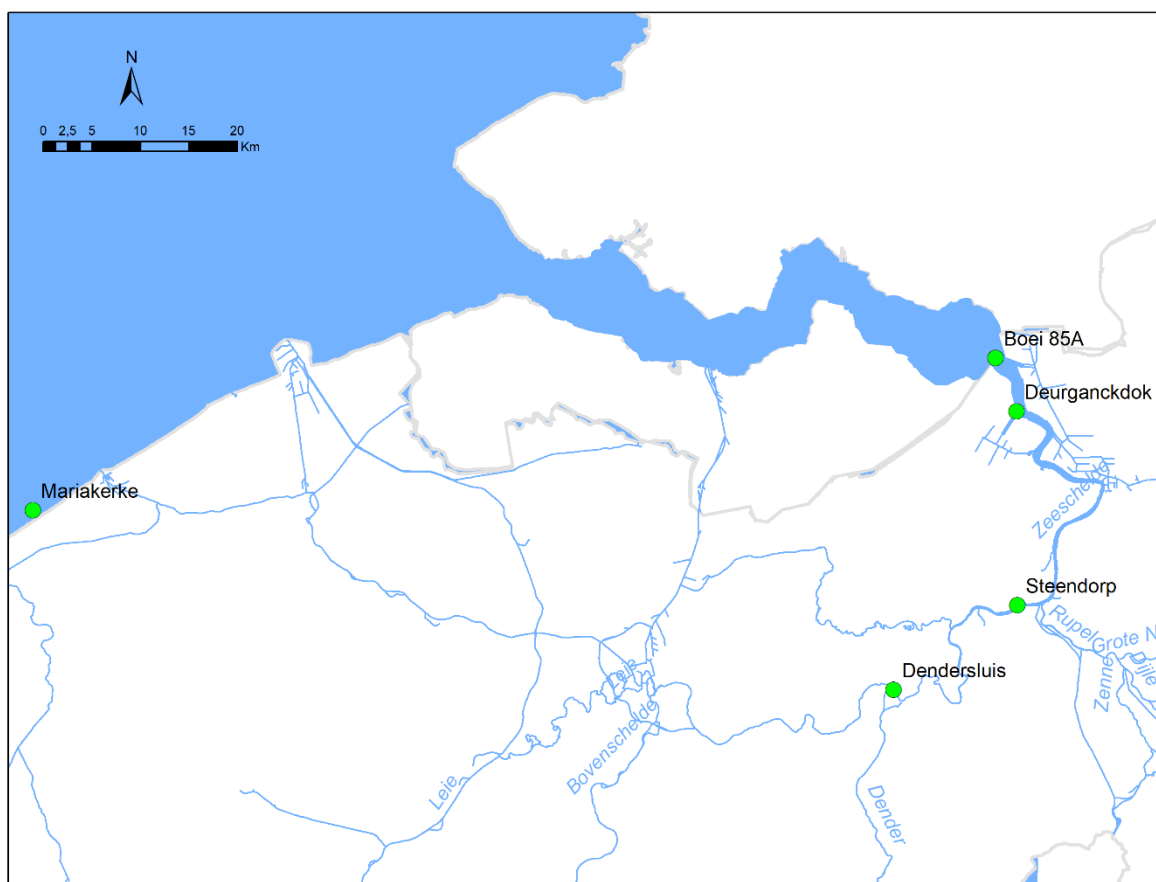
Langsheen het Schelde estuarium werden er op 4 locaties stalen genomen (Figuur 1). Het conductiviteitsbereik van het Scheldewater gaat immers van zoet in het opwaarts gedeelte, naar brak tot zout richting afwaarts.

Tabel 2 – Tijdstip van staalname voor de stalen in de Zeeschelde

Locatie	Staalname
Dendersluis	25/9/2017
Steendorp	26/9/2017
Deurganckdok	15/5/2018
B85a	27/9/2017

Bijkomend werd er 1 staal zeewater genomen ter hoogte van Mariakerke en 1 staal gebruikt van water afkomstig van Emden (Eems estuarium). Er werd telkens een voldoende groot staalvolume genomen om op die manier te kunnen meten met alle betrokken terreintoestellen. Vervolgens werd met elk type meettoestel de conductiviteit en temperatuur van de verschillende stalen gemeten. Naast de zes stalen werden ook 3 kalibratievloeistoffen doorgemeten (van 1 mS/cm, 10 mS/cm en 50 mS/cm). Enkel voor de Aanderaa was het niet mogelijk om deze kalibratievloeistoffen te bemeten. Een overzicht van de uitgevoerde meting per type terreintoestel wordt gegeven in Bijlage A: Overzicht uitgevoerde metingen met terreintoestellen. Het overzicht specificeert wanneer de meting werd uitgevoerd per locatie (staal), hoe lang de meting duurde, en hoeveel samples (meetpunten) iedere meetperiode omvat. Voor iedere meting werd er in eerste instantie naar gestreefd om een stabiel meetsignaal te hebben, vervolgens werd voldoende lang doorgemeten om een voldoende aantal samples te hebben onder stabiele omstandigheden. Het aantal samples weerhouden voor de berekening van de statistieken (zie § 3.1) is voor ieder staal gelijk, om op die manier de variabiliteit onafhankelijk te maken van het aantal metingen. Het aantal samples is hierbij per type meettoestel gebaseerd op het kleinst

aantal stabiele samples beschikbaar over de verschillende stalen heen. De periode met weerhouden samples is eveneens terug te vinden in Bijlage A: Overzicht uitgevoerde metingen met terreintoestellen (aangeduid in de figuren met de grijze balken). Voor de metingen uitgevoerd met de labotoestellen (IC en Hanna) werd er continu doorgemeten tot een stabiele meetwaarde werd bekomen.



Figuur 1 – Overzicht staalnamelocaties voor conductiviteitsmetingen.
De staalnamelocatie Emden is gelegen in de Eems (noorden grens Nederland-Duitsland).

2.2 Bepaling van de saliniteit

2.2.1 Algemeen

Saliniteit is het zoutgehalte van een waterige oplossing. Dit is dus de concentratie van alle ionen in water, zowel kationen als anionen. Dit gehalte wordt normaal uitgedrukt in promille (‰), wat ook (zo goed als) identiek is aan PSU (Practical Salinity Unit). De concentratie van ionen kan enkel bepaald worden op waterstalen die in het labo worden geanalyseerd. Om echter de dagelijkse saliniteitsvariatie in het estuarium in beeld te brengen wordt op het terrein gewerkt met continue, hoogfrequente sensoren. Deze sensoren meten de conductiviteit en temperatuur, en op basis van theoretische formules kan hieruit de saliniteit berekend worden. Hieronder wordt in §2.2.2 een overzicht gegeven van drie verschillende theoretische formules die conductiviteit en temperatuur gebruiken om saliniteit te berekenen: UNESCO, de formule van het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) en de formule van Rijkswaterstaat (RWS). Daarnaast wordt besproken hoe de saliniteit bepaald wordt door de concentratiebepaling van ionen aan de hand van de ionenchromatograaf (§2.2.3). Om beide methodieken (theoretische formules en IC) te vergelijken met elkaar werden extra stalen genomen

tijdens de halftij-ebvaart van december 2020 (§2.2.4). De resultaten van deze vergelijking worden besproken in §3.2.

2.2.2 Theoretische formules

Unesco

De UNESCO formule gebruikt conductiviteit en temperatuur om de saliniteit in PSU te berekenen (Fofonoff & Millard, 1983). Hieronder wordt de UNESCO methodiek weergegeven, en de verschillende tussenparameters die moeten berekend worden om uiteindelijk te komen tot de saliniteit.

- stap 1
 $R = \text{conductiviteit} / 4291,4 \text{ [mS/m]}$
 $t = \text{temperatuur} * 1,00024$
 $p = \text{water pressure [bar]}$
- stap 2
 $R_p = 1 + p * (e_1 + e_2 * p + e_3 * p^2) / (1 + d_1 + d_2 * t^2 + (d_3 + d_4 * t) * R)$
 $e_1 = 2,070 e^{-5}$
 $e_2 = -6,370 e^{-10}$
 $e_3 = 3,989 e^{-15}$
 $d_1 = 3,426 e^{-2}$
 $d_2 = 4,464 e^{-4}$
 $d_3 = 4,215 e^{-1}$
 $d_4 = -3,107 e^{-3}$

- stap 3
 $R_{\text{tempm}} = c_0 + c_1 * t + c_2 * t^2 + c_3 * t^3 + c_4 * t^4$
 Met:
 $c_0 = 0,6766097$
 $c_1 = 2,00564 e^{-2}$
 $c_2 = 1,104259 e^{-4}$
 $c_3 = -6,9698 e^{-7}$
 $c_4 = 1,0031 e^{-9}$

- stap 4
 $R_t = R / (R_p * R_{\text{tempm}})$

- stap 5

$$dS = \frac{(t - 15) * (b_0 + b_1 * R_t^{\frac{1}{2}} + b_2 * R_t + b_3 * R_t^{\frac{3}{2}} + b_4 * R_t^2 + b_5 * R_t^{\frac{5}{2}})}{(1 + k * (t - 15))}$$

Met:

$b_0 = 0,0005$
 $b_1 = -0,0056$
 $b_2 = -0,0066$
 $b_3 = -0,0375$
 $b_4 = 0,0636$
 $b_5 = -0,0144$
 $k = 0,0162$

- stap 6

$$\text{Saliniteit} = a_0 + a_1 * R_t^{\frac{1}{2}} + a_2 * R_t + a_3 * R_t^{\frac{3}{2}} + a_4 * R_t^2 + a_5 * R_t^{\frac{5}{2}} + dS$$

Met:

$$a_0 = 0,0080$$

$$a_1 = -0,1692$$

$$a_2 = 25,3851$$

$$a_3 = 14,0941$$

$$a_4 = -7,0261$$

$$a_5 = 2,7081$$

WL formule

Onderstaande empirische relatie werd door het WL opgesteld ter bepaling van saliniteit (g/kg) in. Net zoals de UNESCO formule gebruikt deze formule conductiviteit (mS/cm) en temperatuur (°C) als inputparameters.

$$\text{Saliniteit} = A * \text{Cond}^2 + B * \text{Cond} - 0,1219$$

Waarbij

$$B = 0,00036 * T^2 - 0,02874 * T + 1,06171$$

Als $T < 10^\circ\text{C}$

$$A = -0,000208 * T + 0,00488$$

Als $T \geq 10^\circ\text{C}$

$$A = -0,000065 * T + 0,003492$$

RWS formule

Bij de RWS formule (Kuijt, 2005) wordt de conductiviteit voor de laagste concentraties niet omgerekend naar saliniteit, maar wordt er enkel gewerkt met het chloridegehalte. Bij de hogere concentraties, wordt saliniteit berekend volgens UNESCO en wordt het chloridegehalte bepaald uit de saliniteit. Om het chloridegehalte te berekenen uit de gemeten conductiviteit voor de lage concentraties, wordt een empirische formule gebruikt. Bij de berekening wordt o.a. rekening gehouden met een temperatuurscorrectie en verhouding met de conductiviteit van standaard zeewater (35 mS/cm).

De temperatuurscorrectie (r_T) wordt als volgt bepaald:

$$r_T = c_0 + c_1 * T + c_2 * T^2 + c_3 * T^3 + c_4 * T^4$$

waarbij:

$$c_0 = 0,6766097$$

$$c_1 = 2,00564 * 10^{-2}$$

$$c_2 = 1,104259 * 10^{-4}$$

$$c_3 = -6,9698 * 10^{-7}$$

$$c_4 = 1,0031 * 10^{-9}$$

Met behulp van deze temperatuurscorrectie wordt dan R_T berekend (conductiviteitsverhouding):

$$R_T = \frac{\text{Gemeten conductiviteit}}{4,291 * r_T}$$

Als deze $R_T < 0.1$ is, wordt het chloride-gehalte met deze formule bepaald:

$$Cl = h_0 + h_1 * G_{hulp} + h_2 * G_{hulp}^2$$

Waarbij:

$$G_{Hulp} = R_T * 45,89$$

En op basis van deze waarde, worden de juiste coëfficiënten afgeleid uit Tabel 3.

Tabel 3 – Verschillende waarden van de h_i op basis van de waarde van G_{hulp}

	$0,2 \leq G_{hulp} \leq 1,2$	$1,2 < G_{hulp} \leq 2,5$	$2,5 < G_{hulp} \leq 12,5$	$12,5 < G_{hulp} \leq 19$	$19 < G_{hulp} \leq 19,97$	$19,97 < G_{hulp} \leq 33$	$G_{hulp} > 33$
h_0	-16	-137	-140	-330	-340	-350	-1960
h_1	139	345	345	380	380	380	475
h_2	95.8	5.1	3	1.4	1.4	1.4	0

Als $R_T \geq 0.1$ dan wordt de formule van UNESCO toegepast.

2.2.3 Bepalen ionenconcentraties met IC

De ionenchromatograaf op het WL wordt gebruikt om de concentratie aan ionen te bepalen in een genomen waterstaal. Deze ionenconcentraties laten vervolgens toe om de saliniteit van het waterstaal te bepalen. Met de ionenchromatograaf worden momenteel enkel anionen (negatief geladen ionen) gemeten. Meer dan 80% van alle kationen (positief geladen ionen) in zeewater zijn natrium. Om de saliniteit van het water te berekenen op basis van de gemeten concentraties anionen, wordt er van uitgegaan dat alle kationen natriumionen zijn. Hiermee wordt dus een kleine fout gemaakt. Om deze fout correct te begroten, zou het nodig zijn om op zijn minst van een aantal stalen de volledige kationensamenstelling te bepalen. Indien nodig kan dan op basis van deze waarden de berekening bijgesteld worden. Om te kunnen berekenen wat de equivalente hoeveelheden natrium zijn die in de oplossing aanwezig zijn, is het nodig om de verhoudingen in moleculair gewicht tussen natrium en het tegenion te kennen. Deze gewichten zijn opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4 - Moleculaire gewichten van de betrokken ionen

Ion	Na^+	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
Moleculair gewicht (MW)	22.99	35.453	62.0037	96.056

Om de massa van het aantal geassocieerde natriumionen aan een gemeten anion te kennen, is het dus nodig om de gemeten concentratie van dat anion te vermenigvuldigen met de verhouding van het moleculaire gewicht. Onderstaande formule geeft een voorbeeld van deze berekening weer voor de geassocieerde Na-ionen voor Chloride (Cl_{Na}), waarbij MW_{Na} en MW_{Cl} respectievelijk de moleculaire gewichten van Na en Cl zijn zoals opgenomen in Tabel 4.

$$Cl_{Na} = Cl * \frac{MW_{Na}}{MW_{Cl}}$$

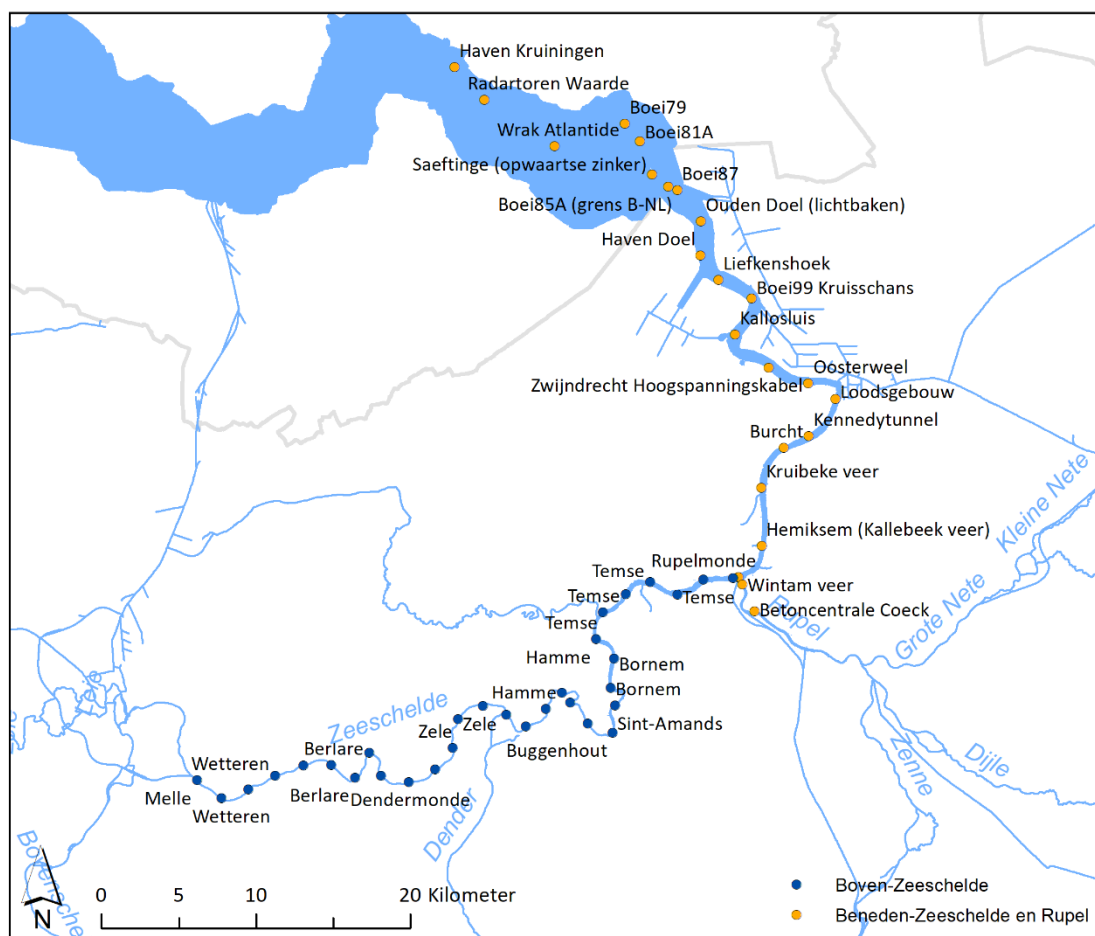
De andere geassocieerde Na-ionen worden op een gelijkaardige manier berekend.

Sulfaat (SO_4^{2-}) is een tweewaardig geladen anion, waardoor er twee geassocieerde Na-ionen zijn voor dit anion. In dit geval is het dus nodig om een factor 2 in rekening te brengen. De finale formule om de saliniteit uit de anionen te berekenen is dus als volgt, waarbij de factor 1000 afkomstig is van het feit dat de metingen van de anionen in ppm gebeuren (ppm = parts per milion en dus een factor 1000 groter dan promille):

$$\text{Saliniteit} = \frac{(Cl + Cl_{Na} + NO_3 + (NO_3)_{Na} + SO_4 + 2 * (SO_4)_{Na})}{1000}$$

2.2.4 Berekening saliniteit voor stalen genomen tijdens halftij-ebvaart

Tijdens een halftij-eb vaart wordt het grootste deel van de zoutgradiënt in het Schelde estuarium op een korte periode bemonsterd. Gespreid over 3 vaardagen, wordt in opwaartse richting gevaren en worden op regelmatige locaties watermonsters genomen zodat zowel de meest zoete als de brakke (vanaf Hansweert) zones bemonsterd worden. De halftij-ebvaarten worden in eerste instantie uitgevoerd om de hoeveelheid zwevende stof in beeld te brengen langsheen het estuarium. Tijdens de campagne van december 2020 werden er echter ook stalen genomen om het zoutgehalte te bepalen (Figuur 2). Op deze stalen werd de saliniteit zowel berekend met de verschillende theoretische formules (§2.2.2), als bepaald met de IC (zie §2.2.3). De resultaten van deze staalanalyse en de vergelijking tussen de verschillende methodieken wordt gepresenteerd in §3.2.



Figuur 2 – Overzicht van de staalnamelocaties voor bepaling zoutgehalte (halftij-ebvaart december 2020).

3 Resultaten

3.1 Vergelijking conductiviteit per type meettoestel

In onderstaande paragrafen worden de resultaten van de conductiviteitsmetingen uitgevoerd met de verschillende type meettoestellen besproken. Voor vergelijkbaarheid moet gekeken worden naar de conductiviteit onder dezelfde temperatuurscondities, en bijgevolg wordt de specifieke conductiviteit besproken (zie ook §2.1.2). Om de verschillen in conductiviteit tussen de verschillende type meettoestellen te visualiseren werden de metingen van één toestel als referentie gekozen. Er werd gekozen om de IC als referentietoestel te gebruiken (§3.1.1). In §3.1.2 en §3.1.3 wordt dan de vergelijking gemaakt met respectievelijk de terreinstalen en de kalibratiestalen. Per staal wordt de gemiddelde waarde weergegeven en de standaardafwijking hierop. De absolute afwijking en relatieve fout worden gedefinieerd als het verschil tussen de gemiddelde meting van het beschouwde toestel en de IC meting die als referentie wordt beschouwd. De variatiecoëfficiënt wordt gedefinieerd als de verhouding van de standaardafwijking op de gemiddelde waarde, en kan gezien worden als een relatieve spreidingsmaat voor de metingen van elk toestel op zich. Naast deze parameters (weergegeven in tabelvorm) is er ook steeds een grafische boxplotvoorstelling van de verschillen met de IC waarden. Tenslotte wordt in §3.1.4 de synthese gemaakt voor alle stalen.

3.1.1 Referentie

De resultaten van de metingen uitgevoerd met de IC (referentie) op de verschillende terreinstalen is terug te vinden in Tabel 5.

Tabel 5 – Overzicht van de metingen met de IC voor de stalen afkomstig vanop het terrein

Locatie	Temperatuur [°C]	Sp. conductiviteit [mS/cm]
Dendersluis	20,84	0,9841
Steendorp	20,84	5,1535
Deurganckdok	20,94	13,8929
B85a	20,87	27,9654
Emden	20,86	34,1065
Zeewater - Mariakerke	20,91	50,0525

De resultaten van de IC voor de kalibratiestalen worden weergegeven in Tabel 6. De kalibratiestalen hebben een gekende specifieke conductiviteit van 1 mS/cm, 10 mS/cm en 50 mS/cm en de resultaten van de metingen kunnen beschouwd worden als een minimale maat voor de fout.

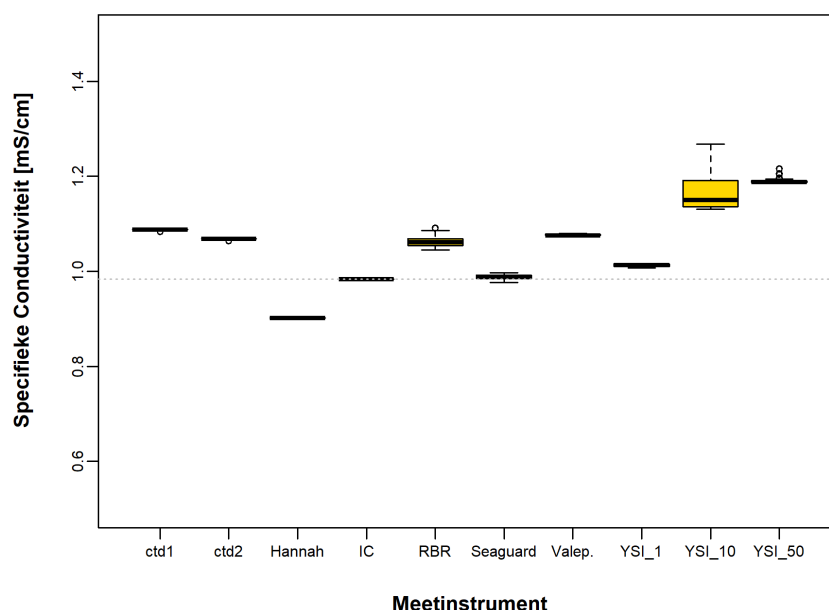
Tabel 6 – Overzicht van de metingen met de IC voor de kalibratiestalen

Locatie	Temperatuur [°C]	Sp. conductiviteit [mS/cm]
1 mS/cm	21,05	1,0011
10 mS/cm	20,93	9,8632
50 mS/cm	20,99	48,9528

3.1.2 Analyse per locatie

Dendersluis

In Figuur 3 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van Dendersluis. De meting met de IC gaf een specifieke conductiviteit van 0,984 mS/cm. Een overzicht van de statistieken is weergegeven in Tabel 7. Zowel een gemiddelde waarde als standaardafwijking wordt gegeven. Hiernaast wordt ook de absolute afwijking of bias¹ weergegeven, de relatieve fout², en de variatiecoëfficiënt³. De meeste instrumenten hebben een positieve bias en geven dus een hogere meetwaarde dan de IC meting, dit met uitzondering van de Hanna. De Seaguard en YSI_1 hebben de kleinste relatieve fout t.o.v. de referentie. De YSI_10 en YSI_50 hebben de grootste afwijking t.o.v. de referentiemeting (rond 20%). De spreiding op de resultaten is voor alle metingen rond 1% of lager, met uitzondering van de YSI_10 waar deze rond 4% ligt.



Figuur 3 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van de Dendersluis, bemeaten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 7 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Dendersluis. Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

0,984	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	1,087	1,067	0,9017	0,988	1,076	1,063	1,013	1,169	1,190
ST dev.	0,001	0,002	/	0,005	0,002	0,010	0,003	0,042	0,006
Variatie-coëfficiënt	0,1%	0,2%	/	0,6%	0,2%	1,1%	0,3%	4,3%	0,6%
Absolute afw.	0,103	0,083	-0,082	0,004	0,092	0,079	0,028	0,185	0,206
Relatieve fout (%)	10,5%	8,4%	8,3%	0,4%	9,3%	8,0%	2,9%	18,8%	20,9%

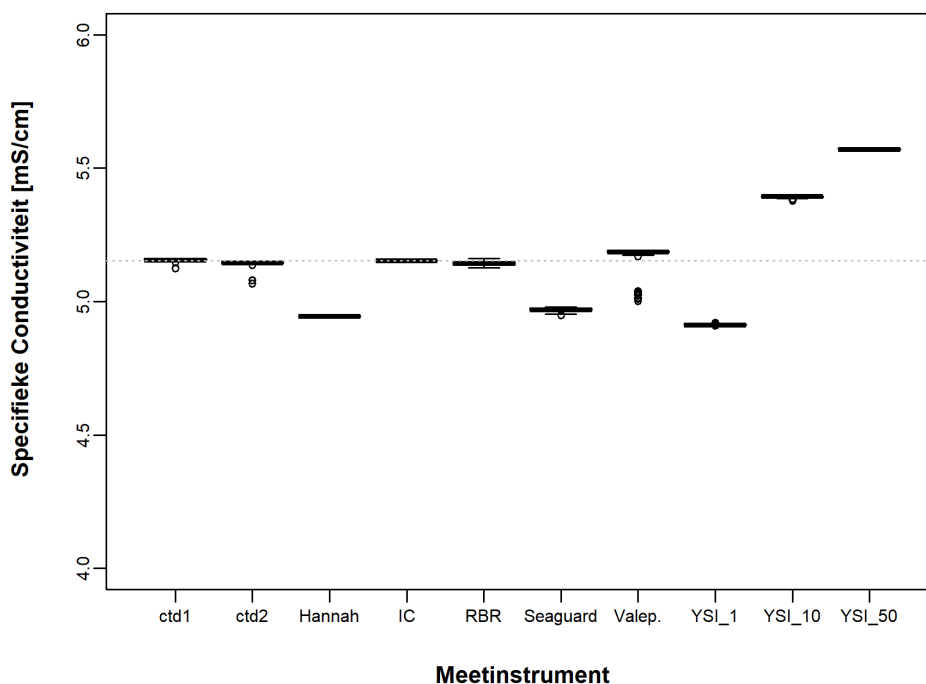
¹ Absolute afwijking: de afwijking van een meting (als absolute waarde) t.o.v. het gemiddelde van de metingen.

² Relatieve fout: de verhouding van bias over de gemiddelde waarde van de metingen.

³ Variatiecoëfficiënt: de verhouding van de spreiding t.o.v. de gemiddelde waarde.

Steendorp

In Figuur 4 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van Steendorp. In Tabel 8 is een overzicht weergegeven van de karakteristieken van de metingen. De meting met de IC gaf een specifieke conductiviteit van 5,154 mS/cm. De grootste afwijkingen zijn waarneembaar bij de YSI toestellen, met een onderschatting voor de YSI_1 (ong. 5%) en een overschatting voor de YSI_10 (5%) en YSI_50 (8%). Voor de Hanna en Seaguard is eveneens een afwijking van 4 % t.o.v. de IC waargenomen, de andere metingen zijn gelijk met de IC waarde. Voor alle meetinstrumenten is de spreiding op de resultaten zeer klein, met een maximale variatiecoëfficiënt voor de Valeport van 1,2%.



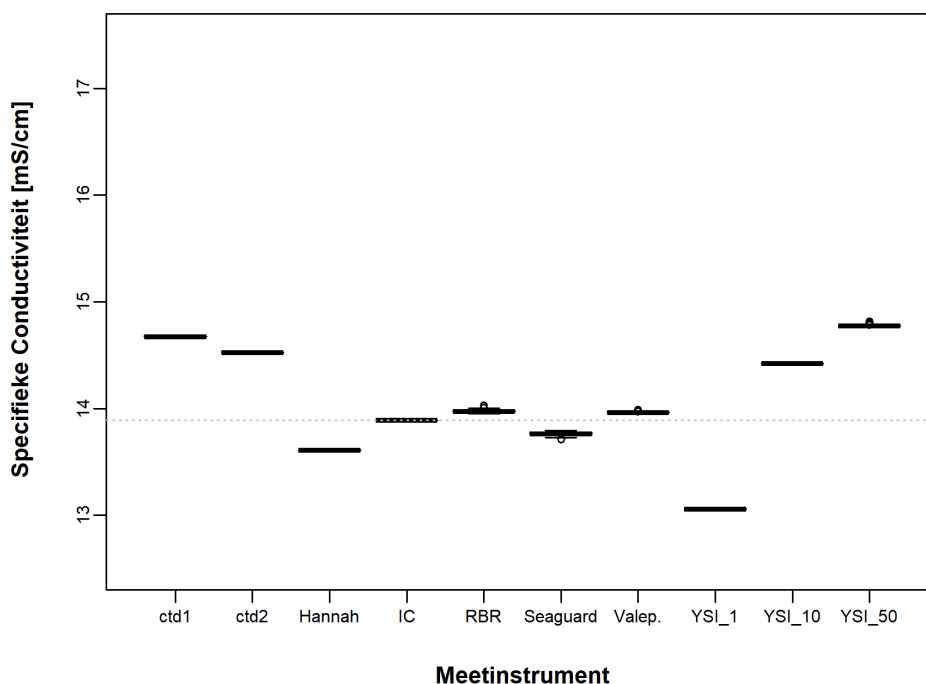
Figuur 4 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Steendorp, bemeten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 8 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Steendorp. Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

5,154	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	5,156	5,142	4,568	4,969	5,157	5,144	4,914	5,392	5,571
ST dev.	0,005	0,014	/	0,008	0,063	0,009	0,002	0,005	0,001
Variatie-coëfficiënt	0,1%	0,3%	/	0,2%	1,2%	0,2%	0,03%	0,01%	0,02%
Absolute afw.	0,003	-0,011	-0,208	-0,185	0,003	-0,009	-0,240	0,239	0,418
Relatieve fout (%)	0,05%	0,02%	4,0%	3,6%	0,07%	0,2%	4,7%	4,6%	8,1%

Deurganckdok

In Figuur 5 en Tabel 9 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van Deurganckdok. De specifieke conductiviteit bedraagt hier 13,893 mS/cm. De maximale afwijking wordt hier opnieuw waargenomen op de metingen van de YSI_1 (een onderschatting van 6%), en de YSI_50 (overschatting van 6%). De metingen met de CTD divers zijn ca. 5% hoger dan de IC metingen. De spreiding op de resultaten is zeer klein, met een variatiecoëfficiënt die schommelt tussen 0,1 en 0,2.



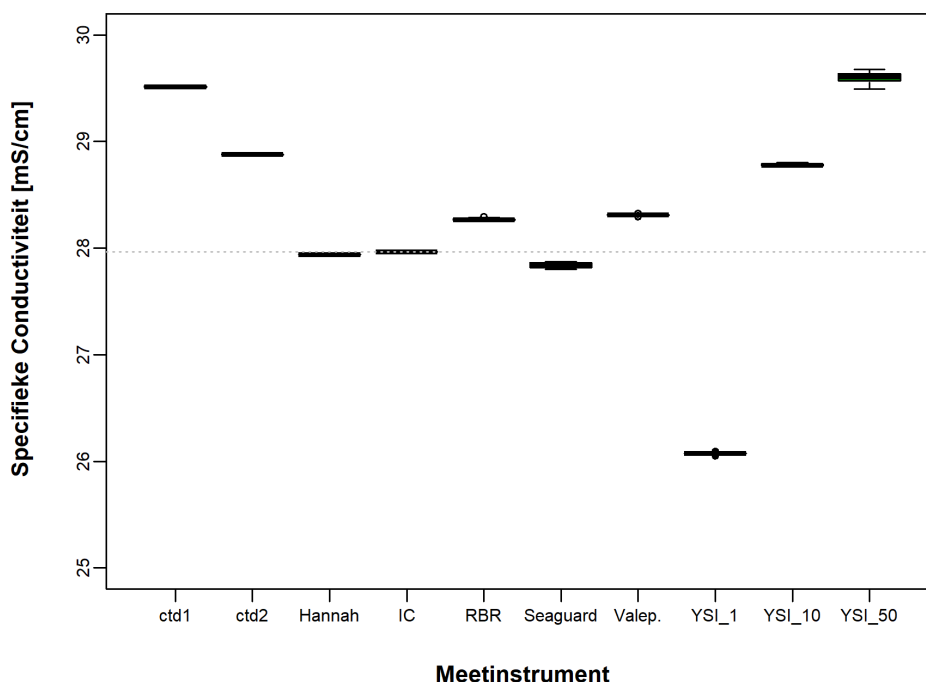
Figuur 5 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Deurganckdok, bemeten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 9 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Deurganckdok. Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

13,893	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	14,674	14,527	13,61	13,764	13,967	13,978	13,058	14,421	14,779
ST dev.	0,002	0,006	/	0,020	0,006	0,015	0,002	0,001	0,011
Variatie-coëfficiënt	0,01%	0,04%	/	0,14%	0,04%	0,2%	0,01%	0,01%	0,07%
Absolute afw.	0,781	0,634	-0,283	-0,129	0,075	0,085	-0,835	0,529	0,886
Relatieve fout (%)	5,6%	4,6%	2,0%	0,9%	0,5%	0,6%	6,1%	3,8%	6,4%

B85a

In Figuur 6 en Tabel 10 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van boei 86 a. De specifieke conductiviteit bedraagt hier 27,965 mS/cm. Eenzelfde patroon is waarneembaar als voor de metingen op het DGD staal, met de grootste afwijkingen voor de YSI_1 en YSI_50, die respectievelijk een onderschatting en overschatting van 7% en 6% vertonen. De CTD divers vertonen een overschatting van 5% en 3%. De andere metingen vertonen nagenoeg geen afwijking t.o.v. de IC meting (< 1%). De spreiding op de resultaten is opnieuw zeer klein (variatiecoëfficiënt kleiner dan 0,1%), met uitzondering van de YSI_50, die een variatiecoëfficiënt van 2% geeft.



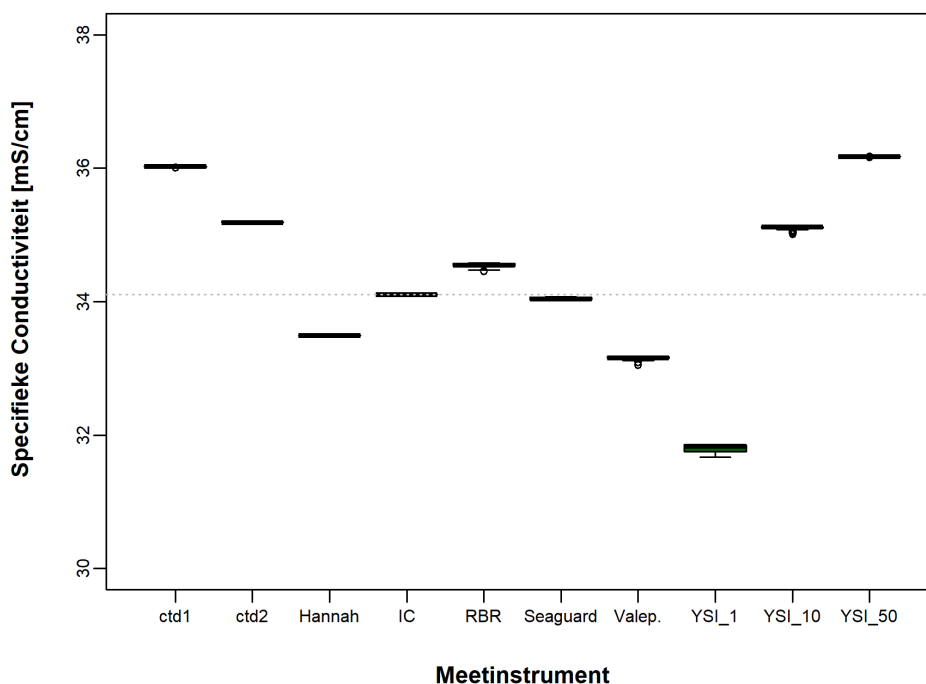
Figuur 6 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van B85a, bemeten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 10 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor B85a. Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

27,965	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	29,512	28,878	27,940	27,841	28,310	28,269	26,075	28,779	29,501
ST dev.	0,005	0,005	/	0,023	0,006	0,009	0,006	0,011	0,787
Variatie-coëfficiënt	0,02%	0,022%	/	0,08%	0,02%	0,03%	0,02%	0,04%	2,8%
Absolute afw.	1,547	0,913	-0,025	-0,125	0,345	0,303	-1,890	0,814	1,536
Relatieve fout (%)	5,5%	3,2%	0,1%	0,4%	1,2%	1,1%	6,8%	2,9%	5,5%

Emden

In Figuur 7 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van Emden (specifieke conductiviteit: 34,107 mS/cm). In Tabel 11 zijn de karakteristieken voor deze metingen weergegeven. De spreiding op de metingen voor elke meettoestel is klein, met een variatiecoëfficiënt die in alle gevallen kleiner is dan 0,2%. Eenzelfde patroon blijft waarneembaar. Er is een duidelijk onderschatting opgemeten door de YSI_1 (ca. 7 %) en overschatting door de YSI_50 (ca. 6%). De metingen met de CTD divers vertonen eveneens een overschatting van respectievelijk 5,6% en 3,2%.



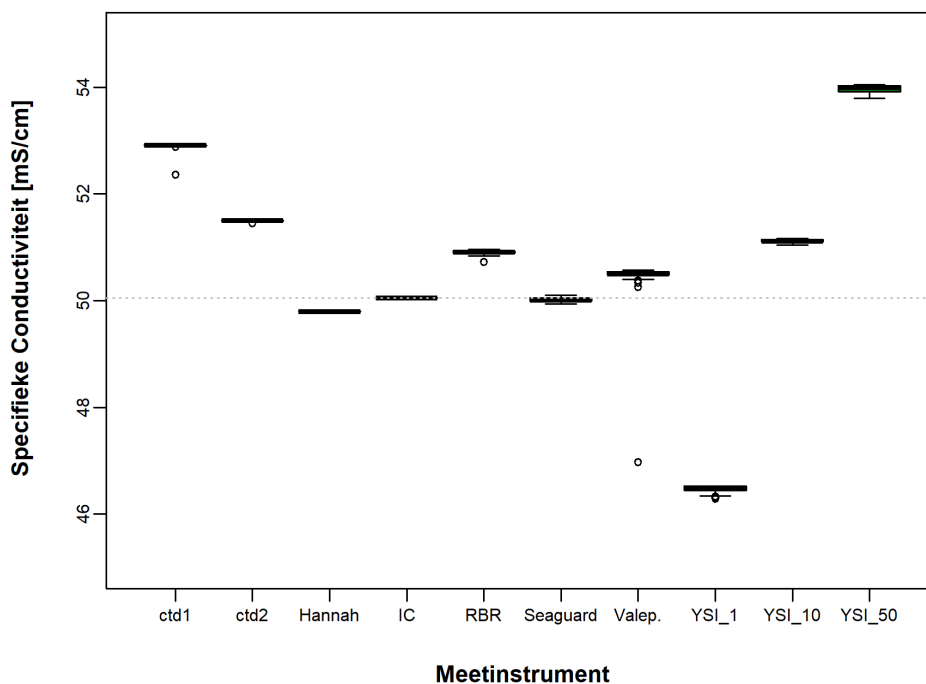
Figuur 7 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Emden, bemeten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 11 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Emden. Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

34,107	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	36,024	35,188	33,490	34,045	33,156	34,546	31,797	35,104	36,171
ST dev.	0,004	0,004	/	0,020	0,020	0,030	0,065	0,027	0,002
Variatie-coëfficiënt	0,01%	0,01%	/	0,06%	0,05%	0,08%	0,19%	0,07%	0,15%
Absolute afw.	1,917	1,082	-0,617	-0,062	-0,950	0,440	-2,310	0,997	2,065
Relatieve fout (%)	5,6%	3,2%	1,8%	1,8%	2,7%	1,2%	6,7%	2,9%	6,1%

Mariakerke (zeewater)

In Figuur 8 en Tabel 12 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het meetstaal van zeewater, met een specifieke conductiviteit van 50,053 mS/cm. Er wordt een duidelijke overschatting opgemeten door de YSI_50 en onderschatting door de YSI_1, beide van een grootte orde van 7%. De CTD divers vertonen een overschatting, de andere metingen zijn binnen 2% t.o.v. de referentie.



Figuur 8 – Specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de samples van Mariakerke (zeewater), bemeten met de verschillende instrumenten. De referentiemeting (IC) wordt weergegeven met de horizontale lijn.

Tabel 12 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor Mariakerke (zeewater). Resultaat referentiemeting (IC) wordt linksboven weergegeven in tabel (alle getallen in mS/cm).

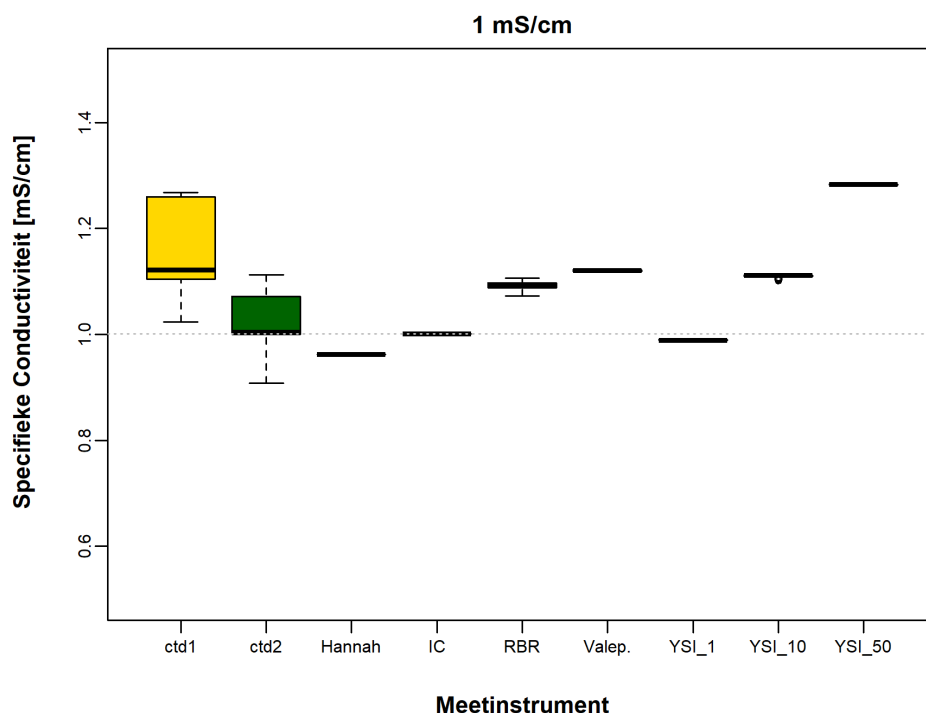
50,053	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	52,897	51,496	49,800	50,021	50,452	50,905	46,475	51,118	53,959
ST dev.	0,074	0,011	/	0,043	0,422	0,042	0,060	0,030	0,080
Variatie-coëfficiënt	0,14%	0,02%	/	0,09%	0,8%	0,08%	0,12%	0,06%	0,15%
Absolute afw.	2,845	1,444	-0,253	-0,031	0,400	0,852	-3,578	1,066	3,907
Relatieve fout (%)	5,7%	2,9%	0,5%	0,06%	0,7%	1,7%	7,1%	2,1%	7,8%

3.1.3 Analyse kalibratiestalen

Naast de samples die verzameld werden op het terrein, werden de toestellen eveneens in een standaardoplossing gebracht. Deze standaardoplossingen varieerden van 1 mS/cm over 10 mS/cm tot 50 mS/cm. De range hiervan is dus gelijkaardig dan deze van de terreinstalen.

1 mS/cm

In Figuur 9 en Tabel 13 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor de standaardoplossing van 1 mS/cm. De meting met de IC voor dit staal bedroeg 1,001 mS/cm. Enkel een kleine onderschatting van de meting wordt opgemeten met Hanna, de andere meetinstrumenten geven iets hogere waarden. De spreiding op de metingen voor de CTD is veel groter dan gewoonlijk.



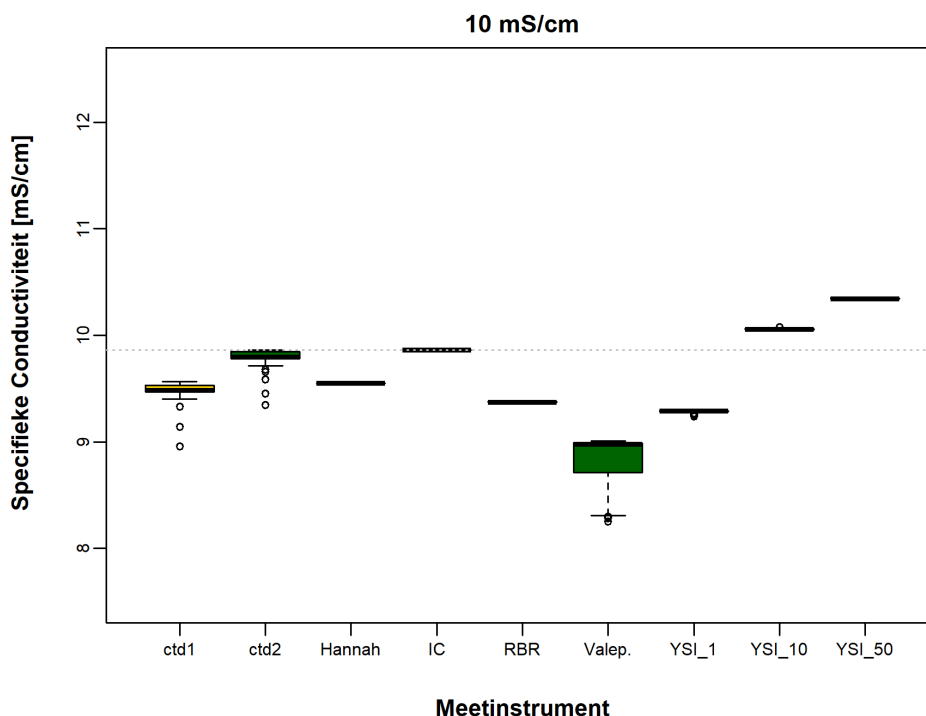
Figuur 9 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 1 mS/cm

Tabel 13 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor het kalibratiestaal van 1 mS/cm (alle getallen in mS/cm)

1,001	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	1,143	0,980	0,962	/	1,120	1,091	0,989	1,110	1,282
ST dev.	0,205	0,201	/	/	0,002	0,008	0,001	0,002	0,001
Variatie-coëfficiënt	20,4%	20,0%	/	/	0,2%	0,8%	0,04%	0,2%	0,2%
Absolute afw.	0,142	-0,021	-0,039	/	0,120	0,090	-0,012	0,109	0,281
Relatieve fout (%)	14,2%	2%	3,8%	/	11,9%	9,0%	1,1%	10,9%	28,1%

10 mS/cm

In Figuur 10 en Tabel 14 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor het kalibratiestaal van 10 mS/cm. De meting met de IC voor dit staal bedroeg 9,863 mS/cm.



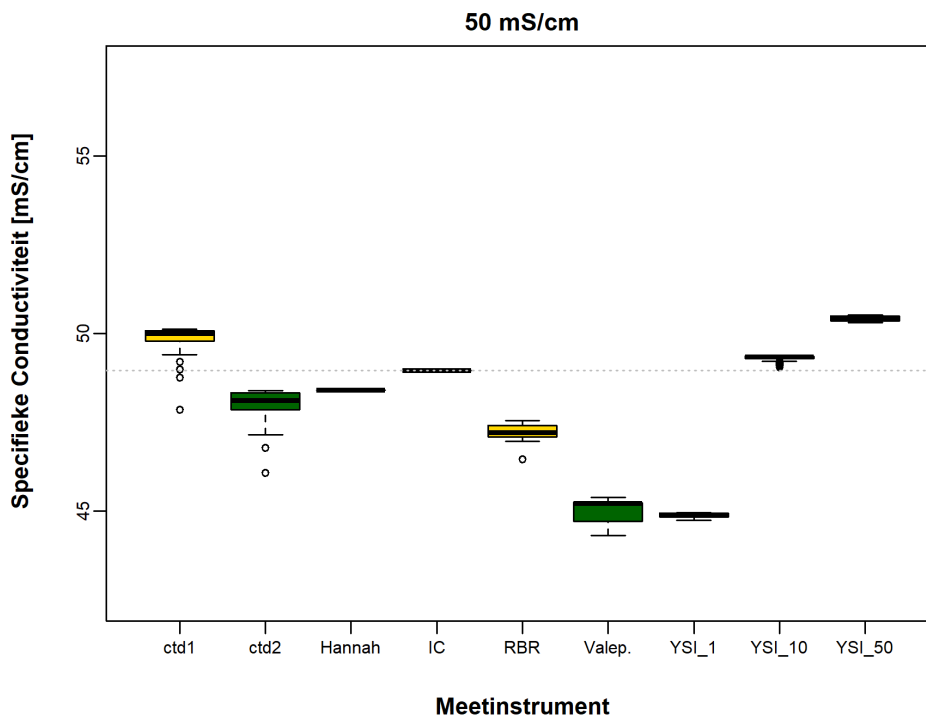
Figuur 10 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 10 mS/cm

Tabel 14 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 10 mS/cm (alle getallen in mS/cm, tenzij anders aangegeven)

9,863	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	9,477	9,785	9,548	/	8,807	9,373	9,282	10,057	10,346
ST dev.	0,094	0,094	/	/	0,264	0,004	0,012	0,006	0,004
Variatie-Coëfficiënt	0,9%	1,0%	/	/	2,7%	0,04%	0,12%	0,06%	0,14%
Absolute afw.	-0,386	-0,078	-0,315	/	-1,056	-0,490	-0,581	0,194	0,483
Relatieve fout (%)	3,9%	0,7%	3,2%	/	10,7%	4,9%	5,8%	1,9%	4,9%

50 mS/cm

In Figuur 11 en Tabel 15 is een overzicht gegeven van de resultaten met de verschillende meetinstrumenten voor de standaardoplossing van 50 mS/cm. De meting met de IC voor dit staal bedroeg 48,954 mS/cm.



Figuur 11 – Overzicht van de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 50 mS/cm

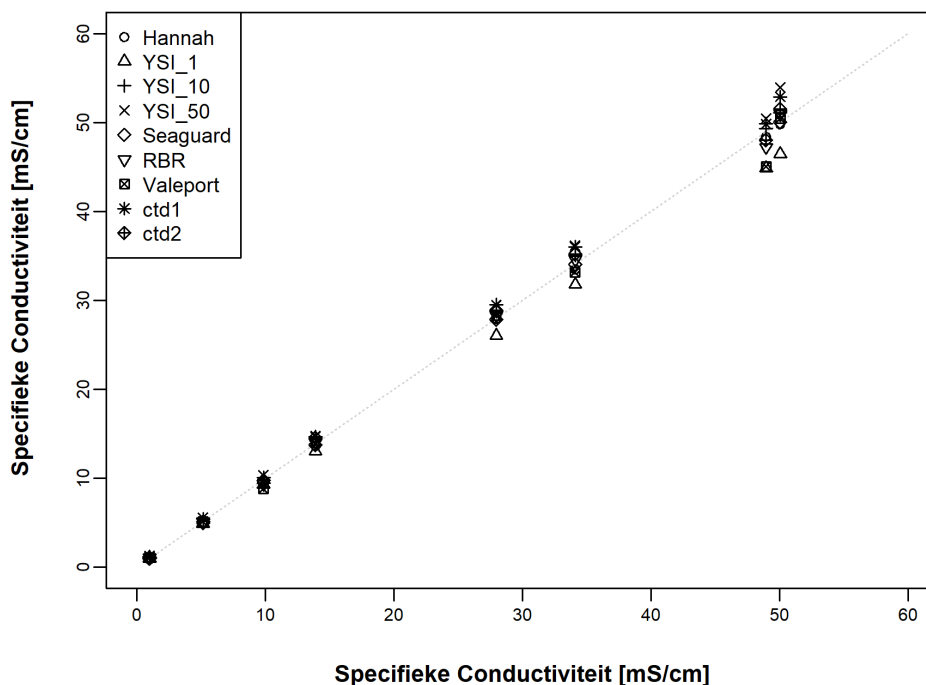
Tabel 15 – Overzicht van de karakteristieken voor de metingen van specifieke conductiviteit voor de standaardoplossing van 50 mS/cm (alle getallen in mS/cm, tenzij anders aangegeven)

48,954	CTD		Hanna	Seaguard	Valeport	RBR	YSI		
	1	2					1	10	50
Gemiddelde	49,840	48,016	48,410	/	45,032	47,222	44,885	49,307	50,423
ST dev.	0,396	0,420	/	/	0,314	0,221	0,068	0,070	0,072
Variatie-coëfficiënt	0,8%	0,9%	/	/	0,6%	0,5%	0,1%	0,1%	0,1%
Absolute afw.	0,887	-0,936	-0,543	/	-3,921	-1,731	-4,068	0,354	1,470
Relatieve fout (%)	1,8%	1,9%	1,1%	/	8,0%	3,5%	8,3%	0,7%	3,0%

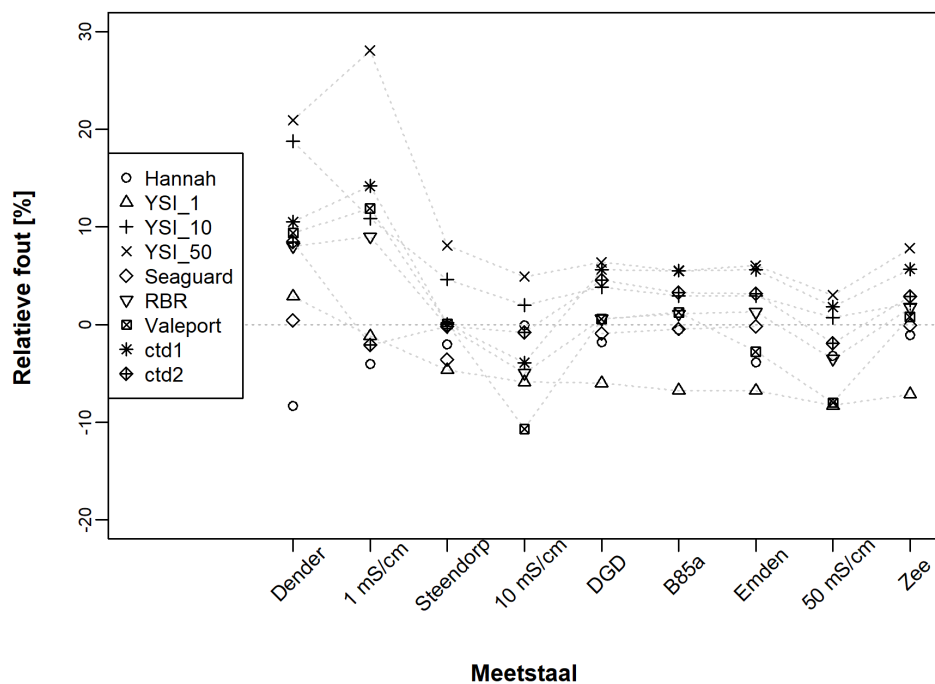
3.1.4 Synthese alle stalen

In deze sectie wordt een overzicht gegeven van de resultaten die in voorgaande paragrafen werden besproken. In Figuur 12 is het duidelijk dat de absolute afwijking van de conductiviteitsmetingen toeneemt naarmate de oplossing zouter wordt. Wanneer men naar de relatieve fouten kijkt (dit is de verhouding van de absolute afwijking over de gemiddelde waarde van de metingen, zie ook §3.1.2) ziet men het tegenovergestelde. De relatieve fout ligt over het algemeen binnen de range van 10%, bij de lagere zoutgehaltes is de spreiding echter groter (Figuur 13 en Figuur 14).

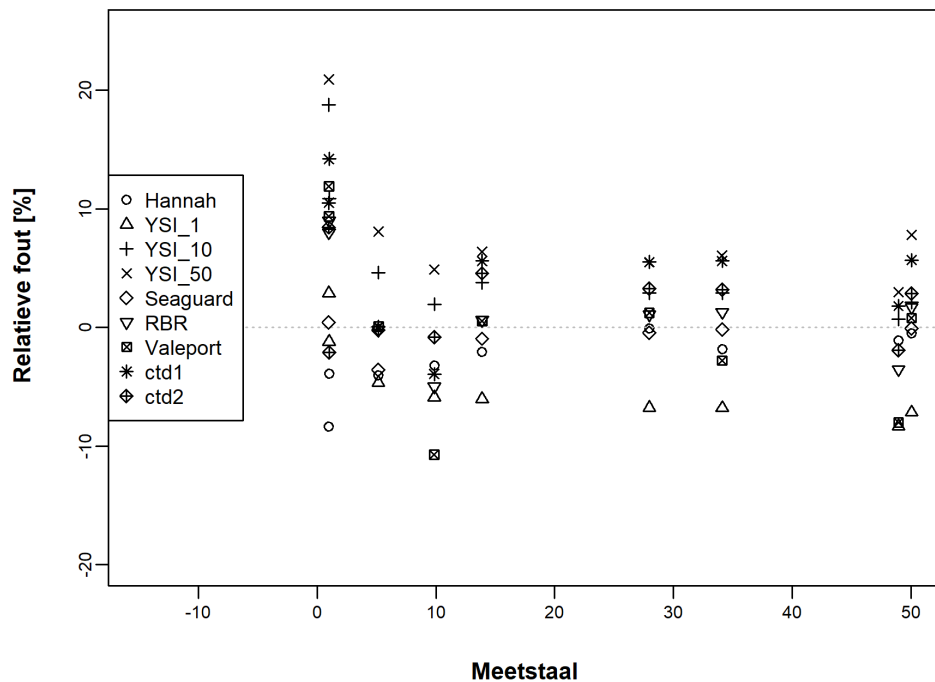
Voor de YSI is het duidelijk dat de kalibratie met de standaardoplossing een belangrijke invloed heeft op het resultaat. Voor de YSI_1 worden goede metingen geregistreerd voor de oplossingen met de laagste zoutgehaltes (standaardoplossing 1 mS/cm en Dendersluis). Voor de YSI_10 en YSI_50 wordt een tegengesteld patroon waargenomen. Er is een sterke overschatting van de waarde voor de laagste zoutoplossingen, die afneemt naarmate de zoutconcentratie toeneemt. Het is hierbij opvallend dat de YSI_50 geen betere meetresultaten levert bij de oplossingen met een hogere zoutconcentratie. Voor de Seaguard kon een goede overeenkomst worden gevonden, onafhankelijk van de concentratie. Er werden 2 CTD divers ingezet. Deze hebben op de terreinstalen steeds een bias van ca. 5 % tov de referentie. Dit patroon wordt echter niet bevestigd bij de standaardoplossingen, waar de divers eerder een onderschatting vertonen t.o.v. de referentie en de afwijking ook kleiner is. De Valeport, RBR en Hanna vertonen een goede overeenkomst met de referentie, binnen de 2% foutenmarge, met een grotere afwijking voor de laagste zoutoplossingen. Voor de Valeport, en in mindere mate de RBR, wordt dit niet bevestigd in de metingen op de standaardoplossingen. Eventueel zou het kleiner meetvolume een effect kunnen hebben op de meting zelf. Hetzelfde is nogmaals weergegeven in Figuur 14, waar de relatieve fout is weergegeven in relatie tot de specifieke conductiviteit van de referentie. In Figuur 15 is een overzicht weergegeven van de variatiecoëfficiënt in relatie tot de specifieke conductiviteit. Duidelijke patronen zijn niet waarneembaar en zoals eerder opgemerkt is de variatie van de metingen klein.



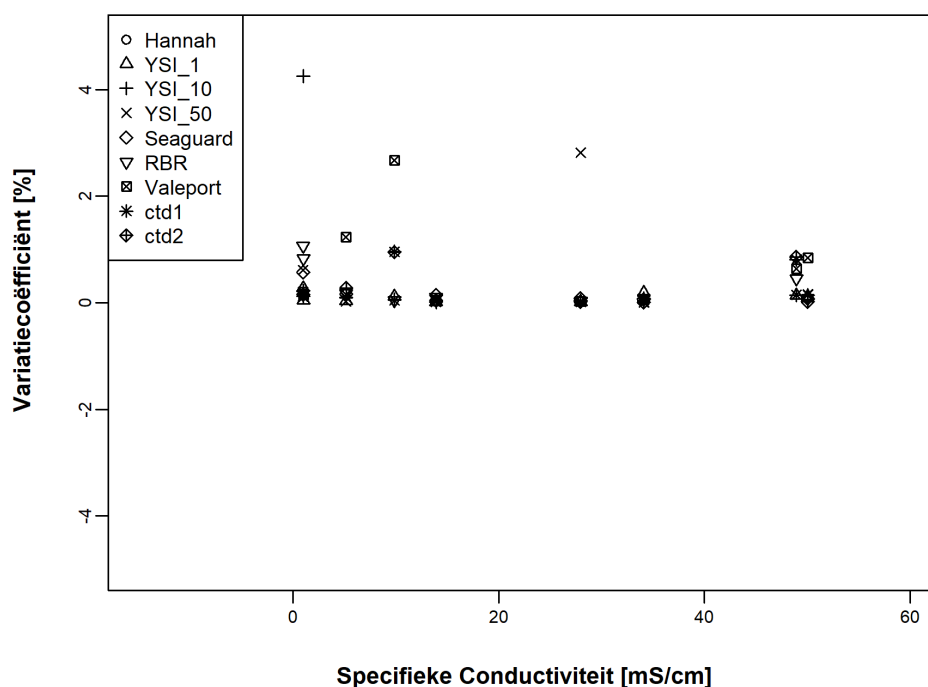
Figuur 12 – XY-plot van de metingen voor specifieke conductiviteit (mS/cm) voor de verschillende meettoestellen, ten opzichte van de referentie (IC meting)



Figuur 13 – Relatieve fout voor de verschillende meetstalen en meetinstrumenten



Figuur 14 – Verloop van de relatieve fout in relatie tot de opgemeten specifieke conductiviteit in het referentiestaal.



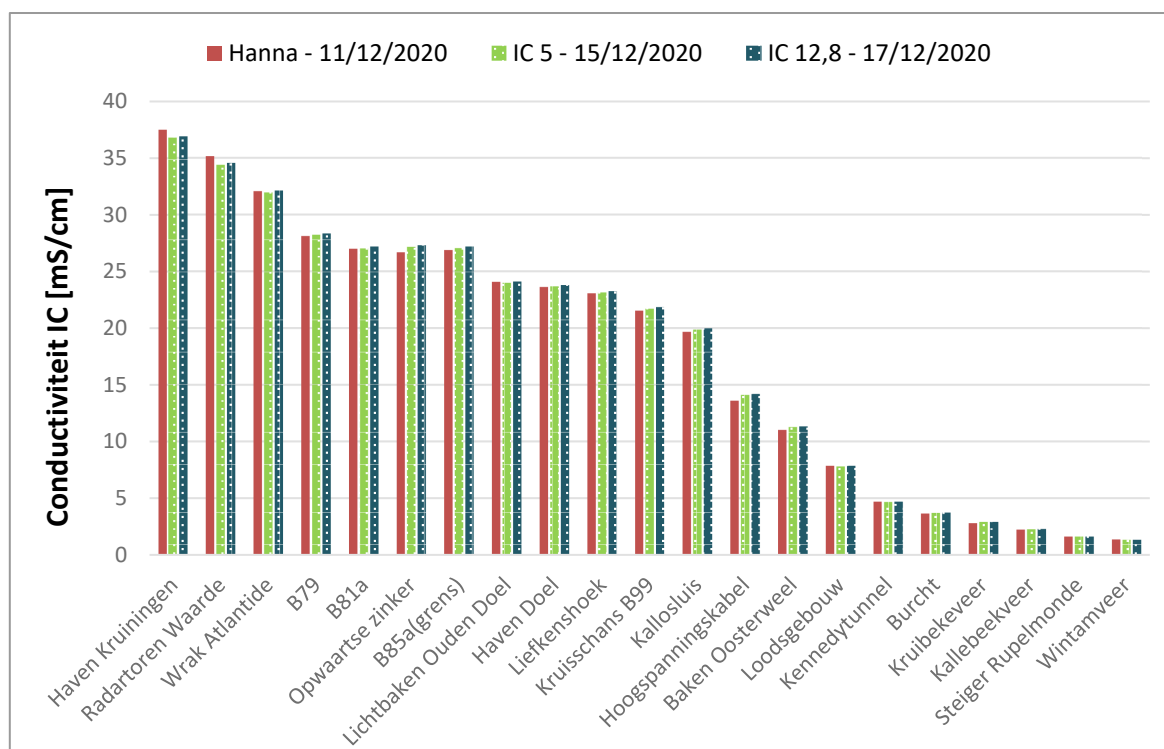
Figuur 15 – De variatiecoëfficiënt voor alle meetinstrumenten en metingen

3.2 Saliniteit stalen halftij-ebvaart december 2020

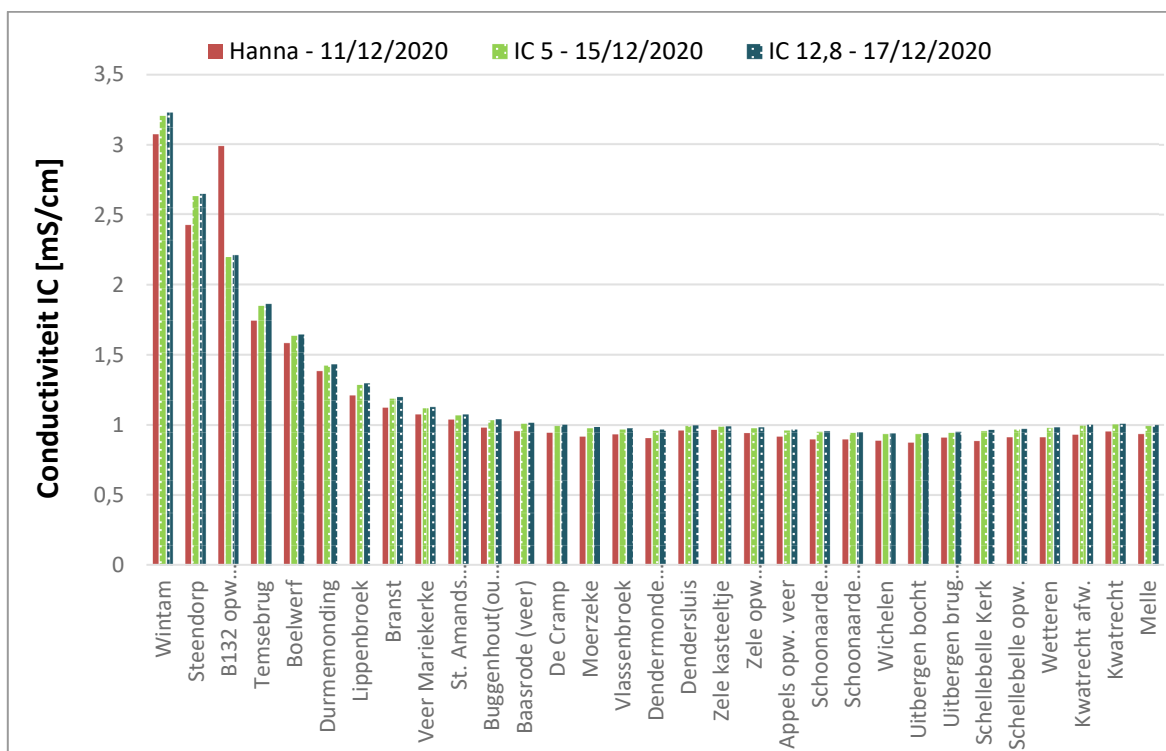
In deze paragraaf worden de resultaten getoond van de analyses uitgevoerd op de stalen van de halftij-ebvaart 2020 (zie ook §2.2.4). Eerst worden de gemeten conductiviteit getoond (§3.2.1). Nadien wordt dieper ingegaan op de bepaalde saliniteit (§3.2.2), en de gevoeligheid op de bepaalde saliniteit door de gebruikte conductiviteitsmeting (§3.2.3) en type omrekeningsformule (§3.2.4).

3.2.1 Gemeten conductiviteit

Figuur 16 en Figuur 17 geven de conductiviteitsmetingen weer uitgevoerd met de Hanna en de ionenchromatograaf (IC). De laatste is hierbij zowel gekalibreerd op 12,8 mS/cm als op 5 mS/cm. Zoals verwacht is er een duidelijk graduele afname in conductiviteit van afwaarts gelegen meetlocaties naar opwaarts gelegen posten, met een stagnatie ter hoogte van Baasrode. Algemeen is er een goede overeenkomst qua resultaten tussen de verschillende meettoestellen, met uitzondering van Boei 132 opwaarts waarbij een duidelijke afwijking van de Hanna kan vastgesteld worden.



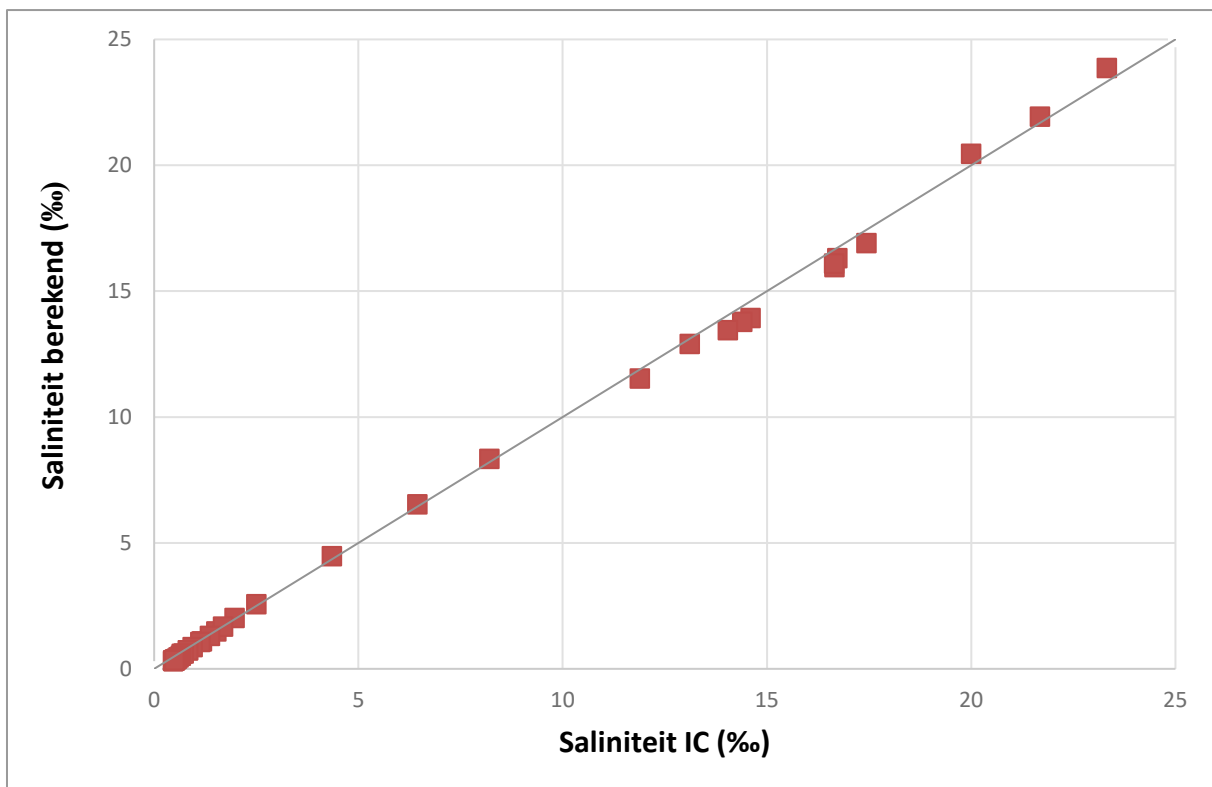
Figuur 16 – Overzicht conductiviteitsmetingen stalen Beneden-Zeeschelde
(IC 5/IC 12,8 = gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 5 en 12,8 mS/cm)



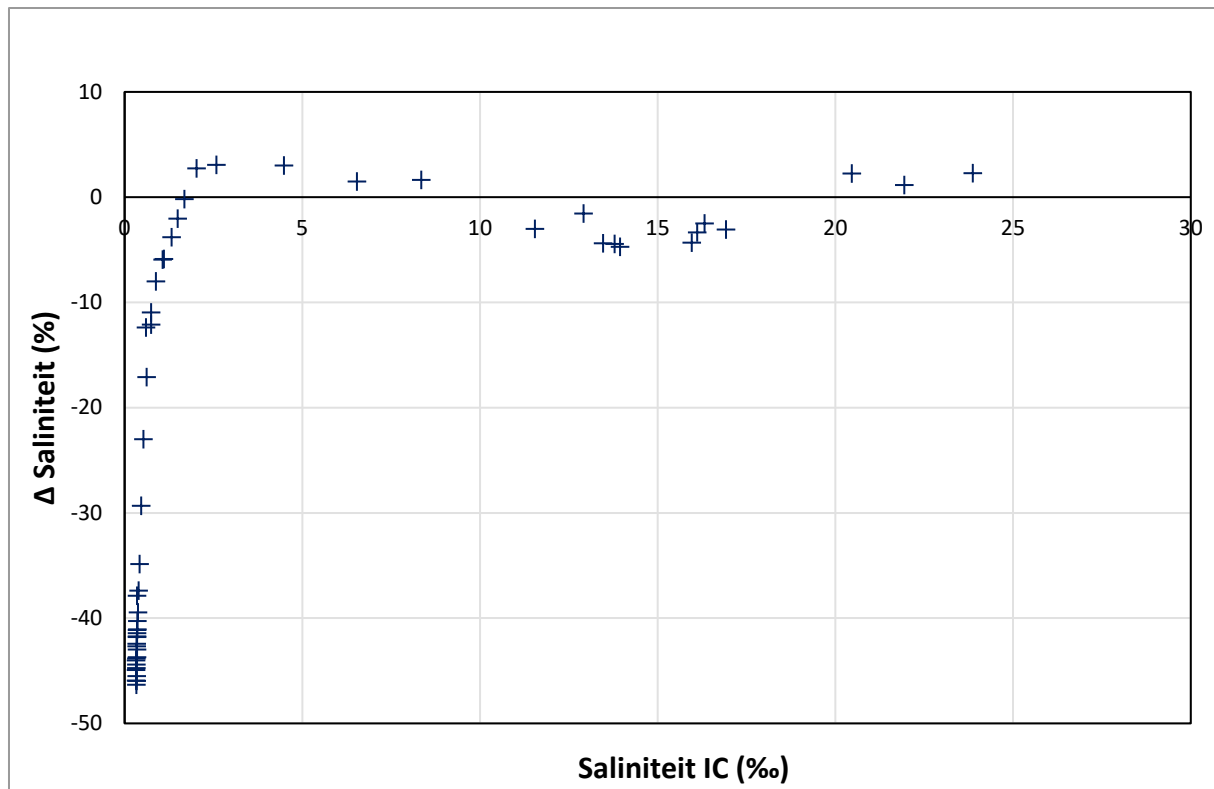
Figuur 17 – Overzicht conductiviteitsmetingen stalen Boven-Zeeschelde
(IC 5/IC 12,8 = gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 5 en 12,8 mS/cm)

3.2.2 Bepaalde saliniteit

Figuur 18 geeft de berekende saliniteit weer ten opzichte van de saliniteit bepaald aan de hand van de ionengehaltes. De berekende saliniteit is gebaseerd op de UNESCO omrekeningsformule (§2.2.2), die de conductiviteit (gemeten met de IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm) als input parameter gebruikt. Figuur 19 geeft het relatief verschil weer tussen de berekende saliniteit o.b.v. de UNESCO formule en de saliniteit bepaald op basis van ionengehaltes. Beide figuren tonen de goede overeenstemming aan tussen de berekende saliniteit (UNESCO) en de saliniteit op basis van ionengehaltes. Over het algemeen wijkt de berekende saliniteit minder dan 5 % af van de saliniteit IC (Figuur 19). Enkel voor stalen met een saliniteit <2 ‰ geeft de UNESCO formule een sterke onderschatting van de saliniteit IC.



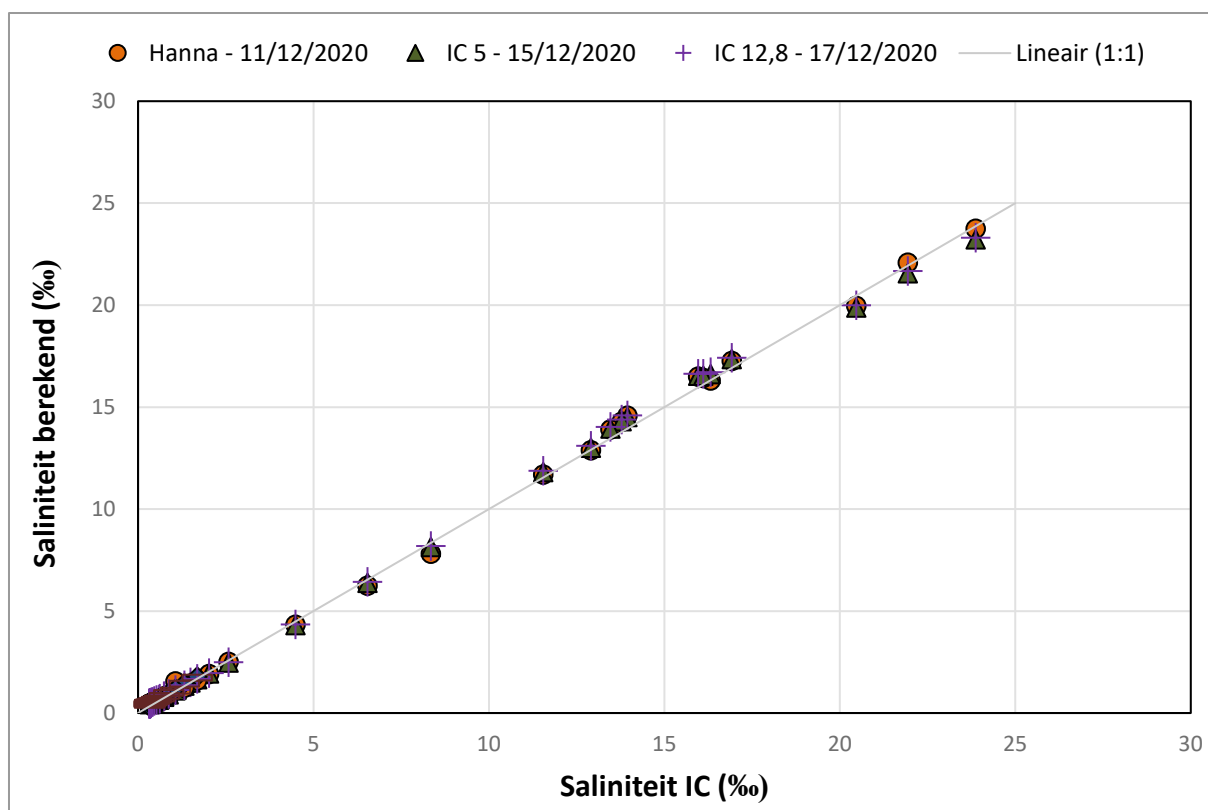
Figuur 18 – Berekende saliniteit (UNESCO gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 12,8 mS/cm) versus saliniteit op basis van ionengehaltes.
Donkergrijze lijn stelt de 1:1 lijn voor.



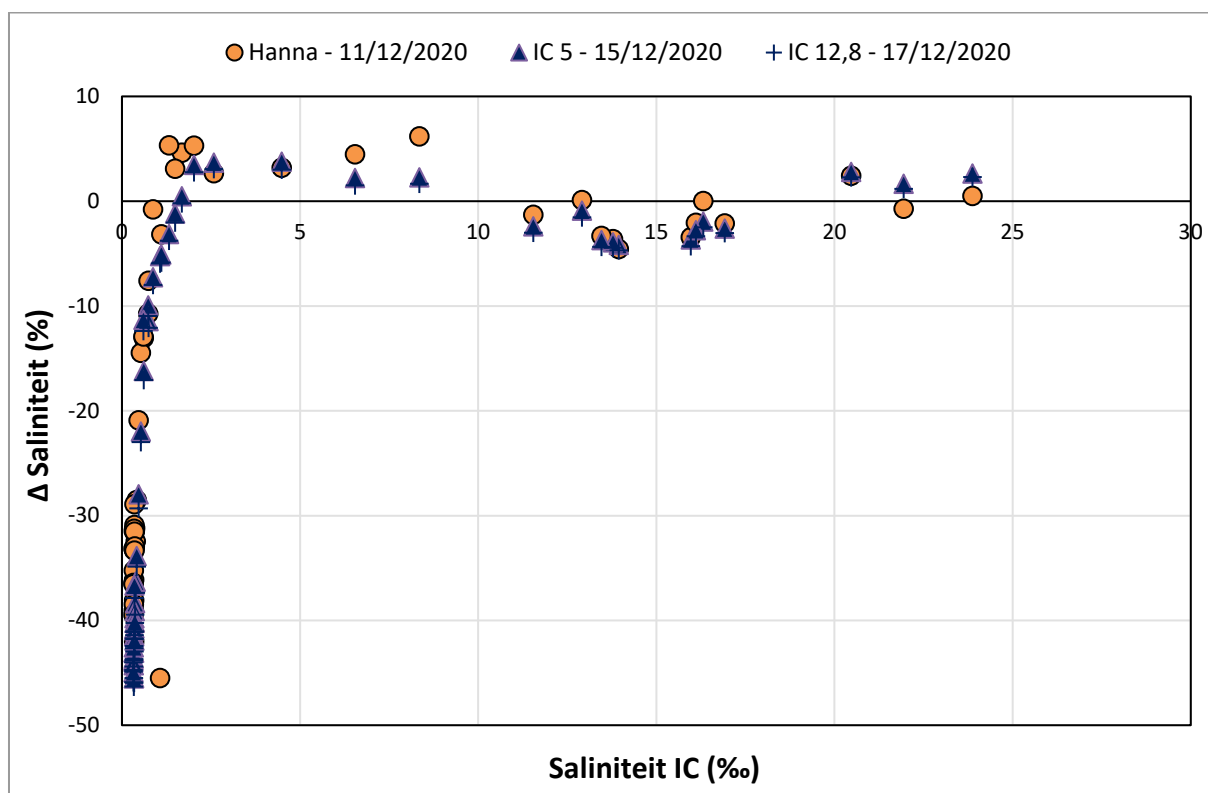
Figuur 19 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO gebaseerd op IC meting gekalibreerd op 12,8 mS/cm) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.

3.2.3 Gevoeligheid type conductiviteitsmeting

Figuur 18 geeft de berekende saliniteit weer. De saliniteit is berekend op basis van de UNESCO formule, met als input conductiviteitsmeting deze van de IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm. Het type conductiviteitsmeting gebruikt als input voor het berekenen van de saliniteit (Hanna, IC gekalibreerd op 5 mS/cm of 12,8 mS/cm) heeft geen significante impact op de berekende saliniteit. Dit blijkt uit Figuur 20 waarin de berekende saliniteit op basis van de verschillende conductiviteitsmetingen wordt weergegeven. Bij toenemende saliniteit IC (20 – 25 ‰) lijken de resultaten bekomen op basis van de Hanna conductiviteitsmetingen echter in lichte mate af te wijken van deze van de ionenchromatograaf. Figuur 21 geeft gelijkaardige, doch iets grotere, relatieve verschillen weer voor de Hanna metingen ten opzichte van de IC metingen. Algemeen kan echter gesteld worden dat het type conductiviteitsmeting geen significante impact heeft op de berekende saliniteit (UNESCO).



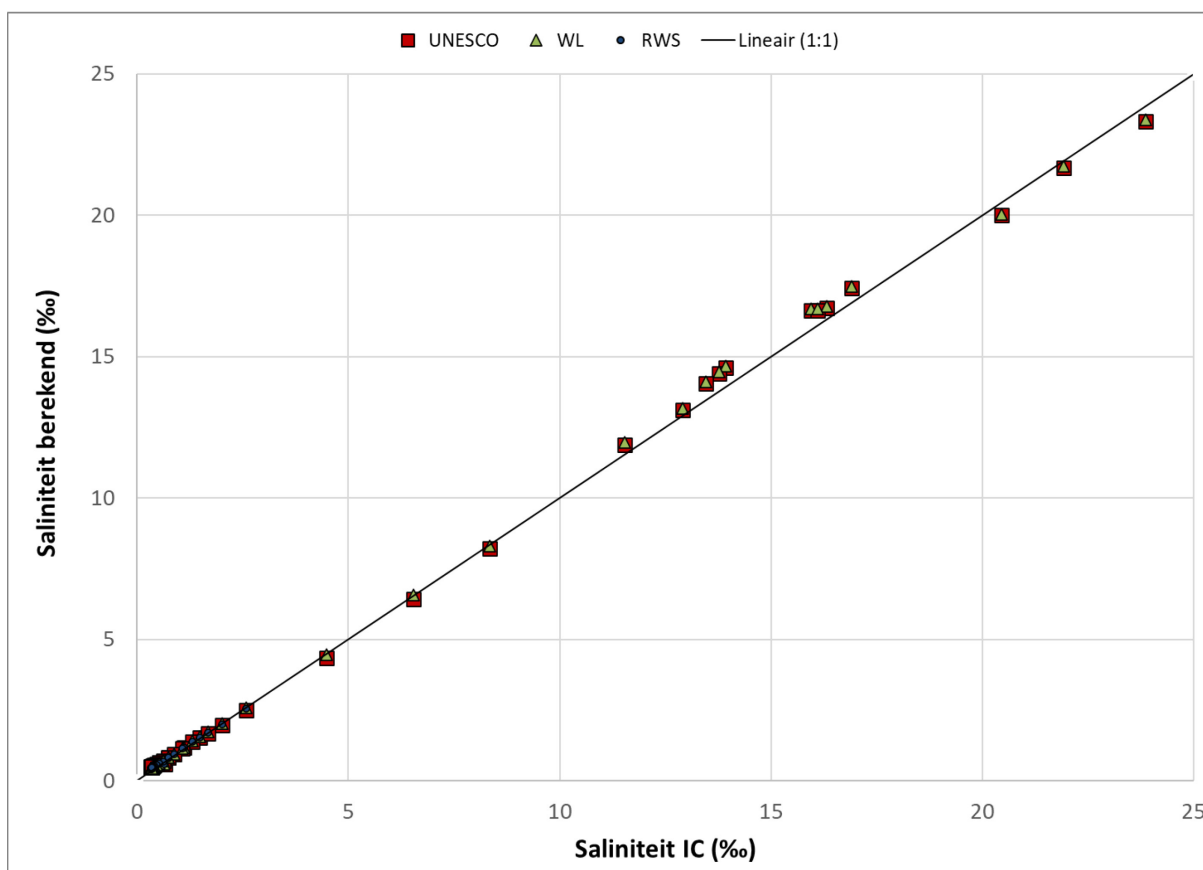
Figuur 20 – Omgerekende saliniteit (UNESCO) op basis van verschillende type conductiviteitsmetingen versus saliniteit IC.



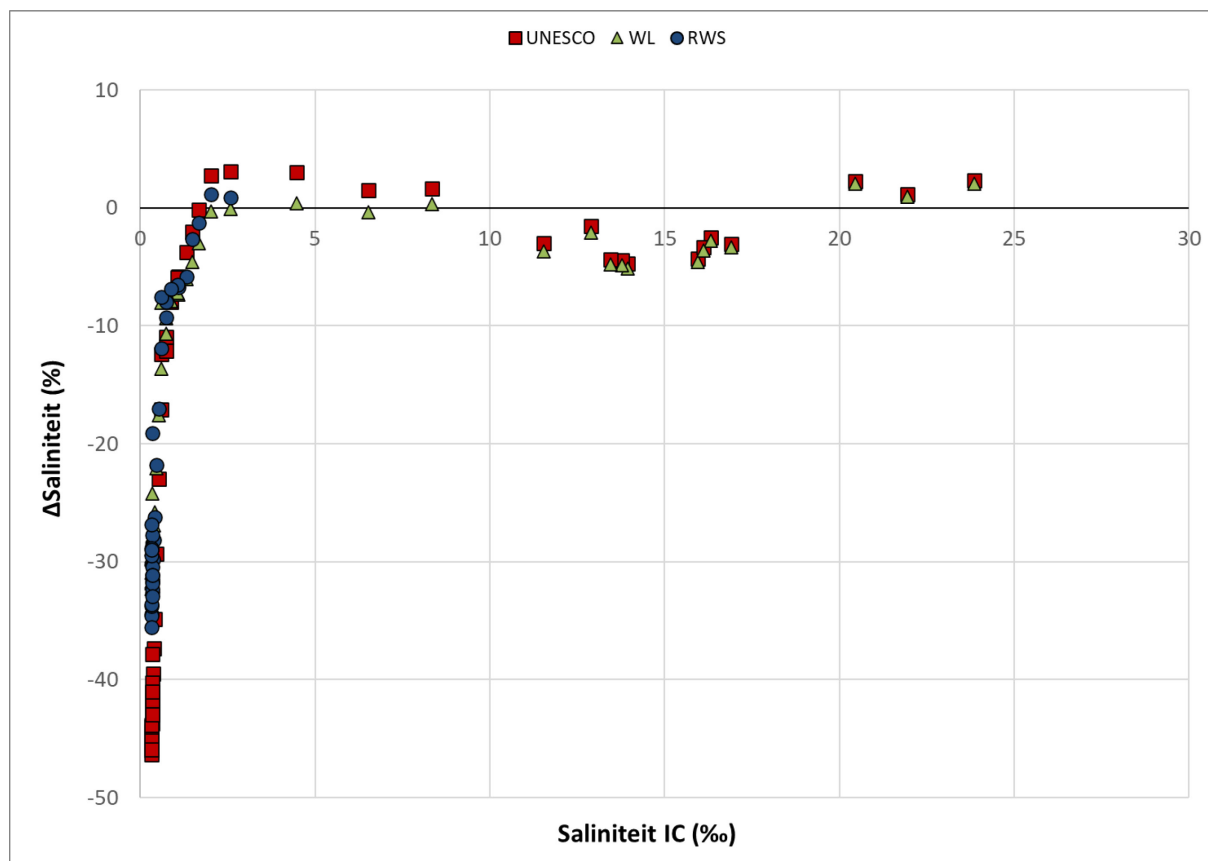
Figuur 21 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.

3.2.4 Gevoeligheid omrekeningsformule

In §3.2.3 werd aangetoond dat verschillen in type conductiviteitsmeting geen significant effect hebben op de berekende saliniteit. Voor het berekenen van de saliniteit zijn er echter verschillende omrekeningsformules beschikbaar naast de UNESCO formule (gebruikt in §3.2.3). Deze formules (WL & RWS) worden beschreven in §2.2.2. Figuur 22 en Figuur 23 geven de afwijkingen weer tussen de verschillende omrekeningsformules (o.b.v. conductiviteit IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm). Er kan worden vastgesteld dat de resultaten voor de drie berekeningswijzen sterk vergelijkbaar zijn met elkaar. Net als voor UNESCO wijkt de berekende saliniteit voor de WL en RWS omrekening minder dan 5 % af. Enkel voor stalen met een saliniteit <2 ‰ is er een sterke onderschatting van de saliniteit IC. De omrekening volgens RWS is niet weergegeven voor stalen met hogere zoutgehaltes aangezien vanaf dan de UNESCO methodiek van toepassing is (zie §2.2.2, RWS formule).



Figuur 22 – Omgerekende saliniteit (UNESCO, RWS, WL o.b.v. IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm) versus bepaalde saliniteit



Figuur 23 – Relatief verschil tussen berekende saliniteit (UNESCO, RWS, WL o.b.v. IC gekalibreerd op 12,8 mS/cm) en saliniteit berekend op basis van ionengehaltes.

4 Conclusie

Analyse van de conductiviteitsmetingen uitgevoerd op 6 stalen met sterk verschillende zoutconcentraties toont aan dat de variatie tussen de verschillende meettoestellen beperkt is, en dat de verschillen binnen de 10% afwijking liggen ten opzichte van de referentie (Figuur 12, Figuur 13 en Figuur 14). Enkel voor de laagste conductiviteiten (≤ 1 mS/cm) wordt de afwijking groter. Beschouwen we de toestellen afzonderlijk dan is het voor de YSI toestellen duidelijk dat de kwaliteit van de metingen zeer sterk afhankelijk is van de keuze van de standaardoplossing voor de kalibratie. Een kalibratie met een standaardoplossing van 1 mS/cm leidt enkel bij zeer lage zoutconcentraties tot goede resultaten, in de andere gevallen wordt steeds een duidelijke onderschatting t.o.v. de referentie waargenomen. De YSI_50 vertoont nooit de beste resultaten, de YSI_10 blijkt het meest geschikt. Voor de CTD divers wordt een continu verschil tussen beide toestellen waargenomen dat niet kan worden verklaard. De Hanna, RBR, Valeport en Aanderaa Seaguard vertonen de beste resultaten. De metingen voor RBR en Valeport voor de standaardoplossing liggen echter niet in lijn met de metingen van de in-situ oplossingen. Het volume van het recipiënt zou hier eventueel een rol kunnen spelen.

Op basis van 42 halftij-eb stalen wordt aangetoond dat de berekende saliniteit (op basis van conductiviteit en temperatuur) minder dan 5% afwijkt van de saliniteit bepaald op basis van de ionenconcentraties (Figuur 18 en Figuur 19). Enkel voor de laagste zoutgehaltes ($< 2\text{‰}$, nagenoeg zoet water) onderschat de berekende saliniteit sterk de saliniteit IC. Voor alle omrekeningsformules (UNESCO, WL en RWS) die gebruikt worden om saliniteit te berekenen blijft de afwijking met werkelijke saliniteit binnen de 5% indien het zoutgehalte $> 2\text{‰}$ (Figuur 22 en Figuur 23). Ook het type conductiviteitsmeting heeft slechts een beperkte invloed op de berekende saliniteit en afwijking met saliniteit IC. Hier dient echter opgemerkt te worden dat de conductiviteitsmetingen van de halftij-eb stalen enkel uitgevoerd werden met Hanna en IC. Grotere afwijkingen kunnen mogelijks optreden indien andere meettoestellen gebruikt worden. Over het algemeen is de afwijking in conductiviteit met de referentie (IC) van de verschillende toestellen $< 10\%$.

Samenvattend kunnen we stellen dat de continue conductiviteitssensoren die WL-HIC gebruikt om saliniteit te berekenen representatief zijn voor de werkelijke saliniteit. Verschillende formules kunnen gebruikt worden om de saliniteit te berekenen. Het WL-HIC maakt gebruik van de UNESCO formule aangezien deze goed de werkelijke saliniteit benadert en algemeen wordt toegepast. Indien de saliniteit < 2 PSU⁴ bedraagt (dit is wanneer de berekende saliniteit sterk begint af te wijken van de werkelijke saliniteit), wordt dit meegegeven in de kwaliteitsvlaggen van de berekende data in de HIC databank.

⁴ Practical Salinity Unit. Gebruikte eenheid voor berekende saliniteit met UNESCO formule. Stemt nagenoeg overeen met ‰.

5 Referenties

De Boeck, K.; Van Hoestenbergh, T.; Vanlierde, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Saliniteit – Chloriniteit – Chlorositeit: Relaties in gebruik in zeewater en in de Beneden-Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 12_076. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Fofonoff, N.P. and Millard Jr, R.C. (1983). Algorithms for the computation of fundamental properties of seawater. Paris, France, UNESCO, 53pp. (UNESCO Technical Papers in Marine Sciences; 44), <http://hdl.handle.net/11329/109>.

Kuijt, A. (2005). Zoutafleiding – bijlage bij de RWS standaard.

Vandenbruwaene, W.; Bertels, J.; Michiels, S.; Thant, S.; van den Berg, M.; Brackx, M.; Hertoghs, R.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2021). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2020: Data rapportage monitoring waterbeweging en fysische parameters in Zeeschelde en bijrivieren. Versie 4.0. WL Rapporten, PA047_10. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

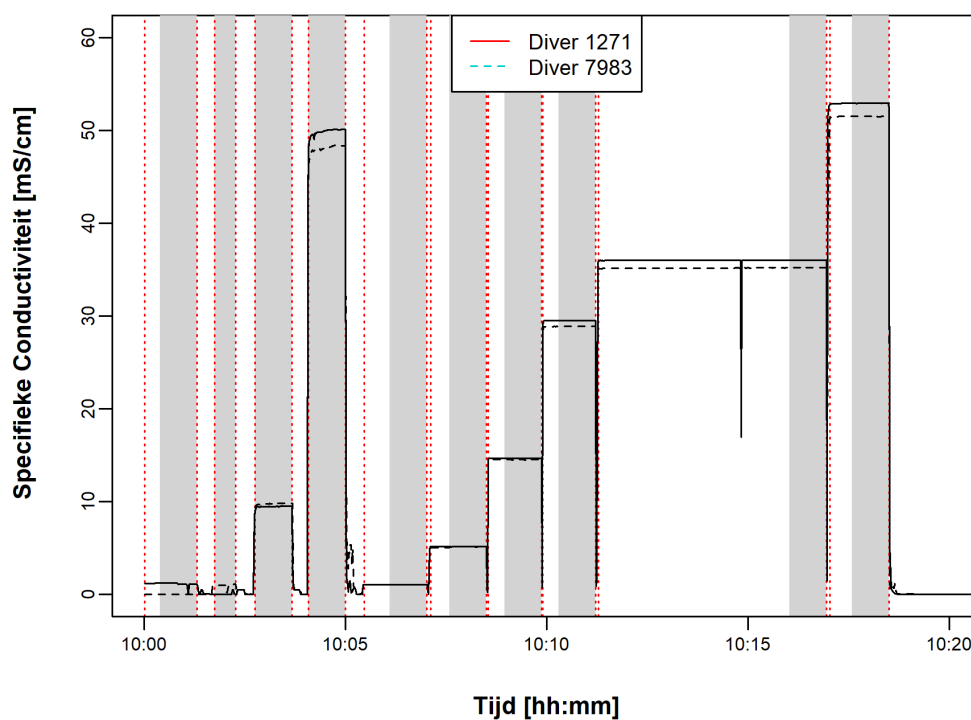
Bijlage: Overzicht uitgevoerde metingen met terreintoestellen

A. CTD

Er werden tijdens de testen 2 CTD divers ingezet, met name diver 1271 en diver 7983. Deze werden ingezet met een meetfrequentie van 1 seconde. Een overzicht van de verschillende meetstappen is weergegeven in Tabel 16 en Figuur 24. De metingen met beide toestellen werden steeds parallel uitgevoerd, met uitzondering van de kalibratievloei stof van 1 mS/cm, waar diver 2 iets later werd ingebracht, vergeleken met diver 1 (Tabel 16). Het is duidelijk uit Figuur 24 dat voor alle meetwaarden een constante meting werd bekomen, met uitzondering van de meting op de standaard van 50 mS/cm, waar voor beide instrumenten een licht stijgend verloop wordt geobserveerd voor deze meting (rond 10:05 in Figuur 24). De tijd om een stabiele meetwaarde te bekomen is ook verwaarloosbaar. Voor Emden wordt één uitschieter waargenomen (rond 10:15). De langste meting bevat 341 samples, de kortste meting heeft 56 samples. Om de variabiliteit onafhankelijk te maken van het aantal metingen, werden meetreeksen met een lengte van 55 samples geselecteerd. Deze periodes zijn aangeduid in Figuur 24 met een grijze achtergrond.

Tabel 16 – Overzicht van de verschillende meetstappen voor beide gebruikte divers, met starttijd en aantal samples per meetstap

Staal	Start (D1)	Start (D2)	Samples (D1)	Samples (D2)
Dendersluis	11:05:28	11:05:28	79	32
Steendorp	11:07:07	11:07:07	56	56
Deurganckdok	11:08:32	11:08:32	56	56
B85a	11:09:57	11:09:57	94	94
Emden	11:11:14	11:11:14	84	84
Zeewater Mariakerke	11:16:58	11:16:58	80	80
1 mS/cm	11:00:00	11:01:14	80	80
10 mS/cm	11:02:42	11:02:42	341	341
50 mS/cm	11:04:04	11:04:04	89	89



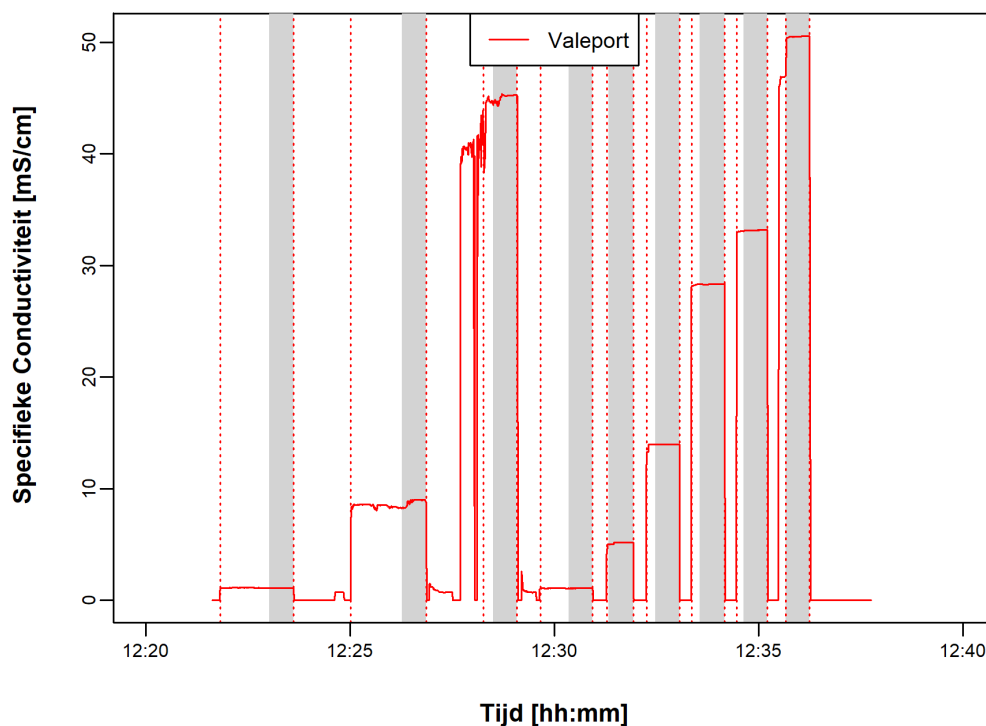
Figuur 24 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - divers.
De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.

B. Valeport

Het Valeport toestel werd ingesteld met een meetfrequentie van 1 Hz. In de output files wordt de specifieke conductiviteit niet weergegeven, deze werd bepaald op basis van de vergelijking in §2.1.2. De metingen van de hoogste conductiviteiten vertonen een wat minder stabiele meting, voor de standaardvloeistof worden 2 stabilisatieniveaus waargenomen. Voor het zeewater eveneens, maar is er minder ruis op de meting. Deze ruis zou eventueel te wijten kunnen zijn aan het kleinere recipiënt vna de standaardoplossing, aangezien deze ook te zien is voor de standaardoplossing van 10 mS/cm. Ook hier werd de de lengte van de kortste meetperiode weerhouden voor de analyse van alles samples, er werd dus gewerkt met 71 samples, zoals ook weergegeven in Figuur 25.

Tabel 17 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de Valeport sonde

Staal	Start	Samples
1 mS/cm	12:21:49	217
10 mS/cm	12:25:01	222
50 mS/cm	12:28:16	99
Dendersluis	12:29:40	153
Steendorp	12:31:17	78
Deurganckdok	12:32:16	97
B85a	12:33:22	97
Emden	12:34:28	91
Zeewater Mariakerke	12:35:40	71



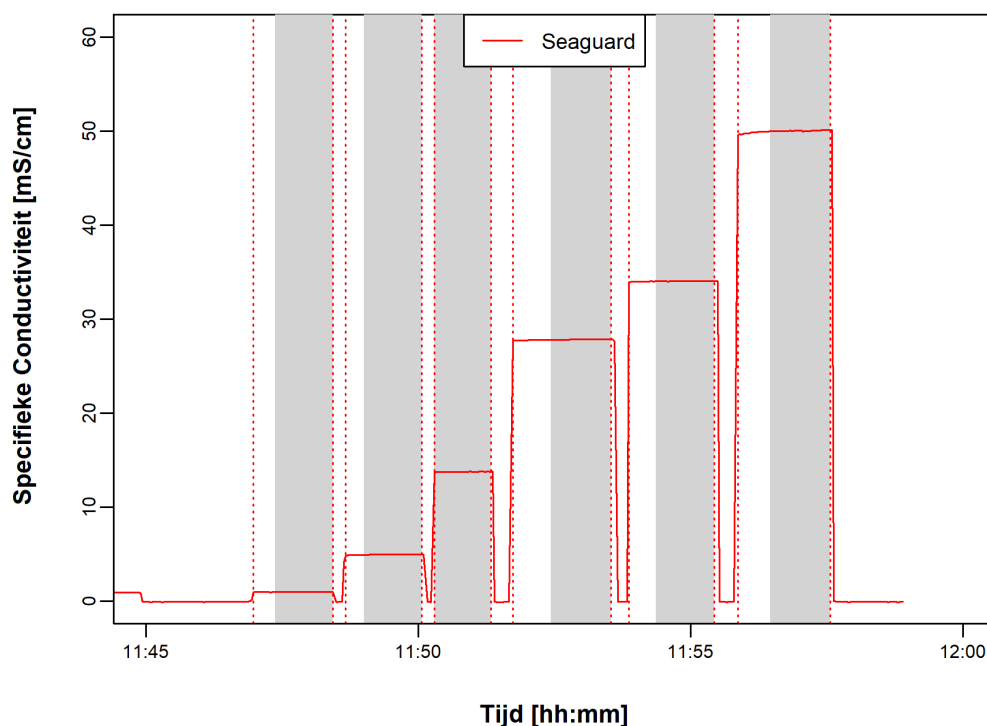
Figuur 25 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - Valeport sonde. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.

C. Seaguard

De Seaguard is ingesteld met een meetfrequentie van 0,25 Hz, m.a.w. 1 meting om de 4 seconde. De specifieke conductiviteit is niet als parameter weergegeven in de outputfile, en werd berekend op basis van de formule weergegeven in §2.1.2. Bij de Seaguard werden geen metingen gedaan met de kalibratievloeistoffen, de metingen op het terrein werden wel uitgevoerd, er zijn m.a.w. 6 meetstalen bemeten. Het kleinste aantal metingen in een meetstaal is 25, de statistieken werden dan ook bepaald met dit aantal metingen (Tabel 19). De aflijning van de verschillende metingen is weergegeven in Figuur 26, alsook de geselecteerde periode voor de analyse (grijze achtergrond).

Tabel 18 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de Seaguard sonde

Staal	Start	Samples
Dendersluis	11:47:06	34
Steendorp	11:48:38	32
Deurganckdok	11:50:12	25
B85a	11:51:38	41
Emden	11:53:48	36
Zeewater Mariakerke	11:55:46	39



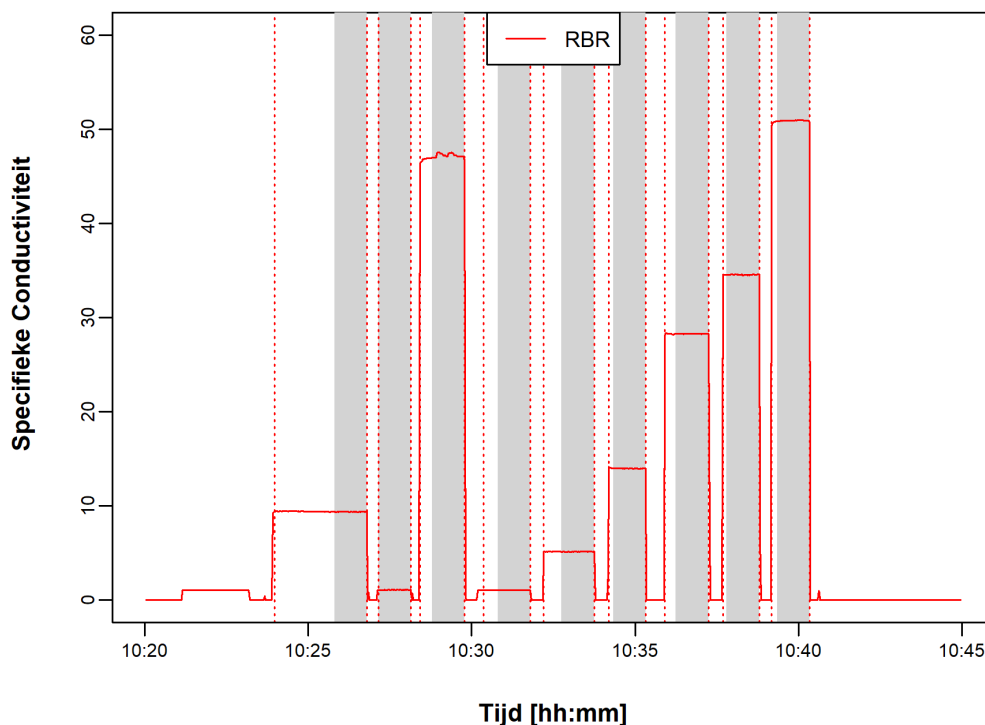
Figuur 26 – Verloop van de conductiviteit over de volledige meetperiode - Seaguard sonde. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.

D. RBR

Het RBR meettoestel werd ingesteld met een meetfrequentie van 0.5 Hz. Een overzicht van de verschillende meetstappen is weergegeven in Tabel 19 en Figuur 27. Met uitzondering van de derde meetstap, lijken de waarden steeds stabiel en snel bereikt na het inbrengen van de sonde in de oplossing. De langste meting bevat 115 samples, de kortste meting heeft 41 samples. Om de variabiliteit onafhankelijk te maken van het aantal metingen, werden meetreeksen met een lengte van 41 samples geselecteerd.

Tabel 19 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples met de RBR-ctd sonde

Staal	Start (D1)	Samples
1 mS/cm	11:23:50	115
10 mS/cm	11:27:00	41
50 mS/cm	11:28:25	56
Dendersluis	11:30:15	59
Steendorp	11:32:06	63
Deurganckdok	11:34:10	46
B85a	11:35:53	55
Emden	11:37:42	46
Zeewater Mariakerke	11:39:10	48



Figuur 27 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de RBR over de volledige meetperiode. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.

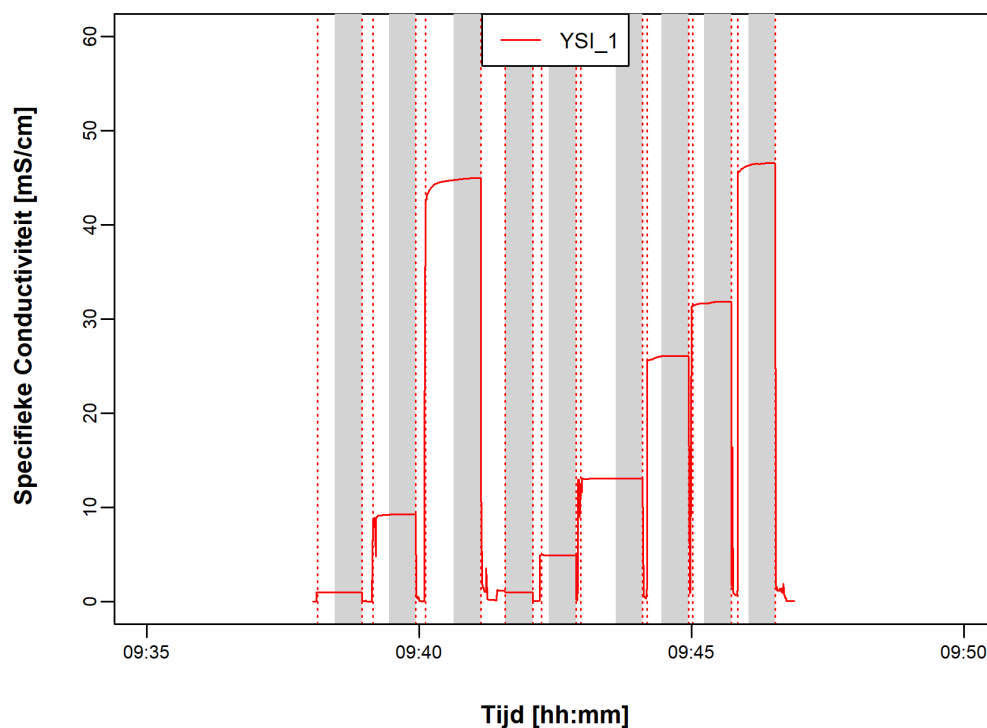
E. YSI

In deze test werden drie YSI multiparametersondes getest. Deze staan alle 3 ingesteld met een meetfrequentie van 2 Hz. Het verschil tussen de verschillende YSI's is de kalibratievloeistof die gebruikt werd, de toestellen zijn respectievelijk gekalibreerd met een vloeistof van 1 mS/cm, 10 mS/cm en 50 mS/cm.

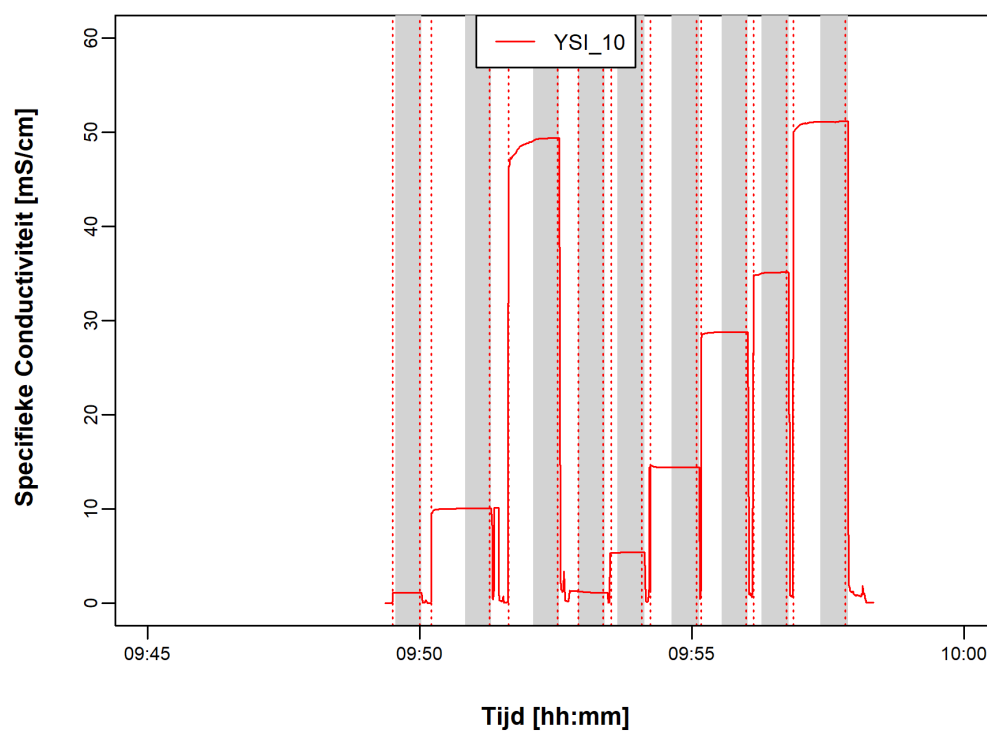
Een overzicht van de starttijd en het aantal metingen per oplossing is weergegeven in Tabel 20. In Figuur 28, Figuur 29 en Figuur 30 is dit weergegeven voor respectievelijk de YSI_1, YSI_10 en YSI_50. Het is duidelijk, dat de meetwaarden direct stijgen tot nagenoeg een plateau, en dan nog even licht doorstijgen tot een constante waarde, zeker voor de stalen met een hogere specifieke conductiviteit. Er wordt in de analyse gewerkt met de gemiddelde waarde van 60 stalen, aangezien dit het minimum aantal samples is voor 1 meetstap.

Tabel 20 – Overzicht van de verschillende meetstappen, met starttijd en aantal opgemeten samples, voor de verschillende YSIs.

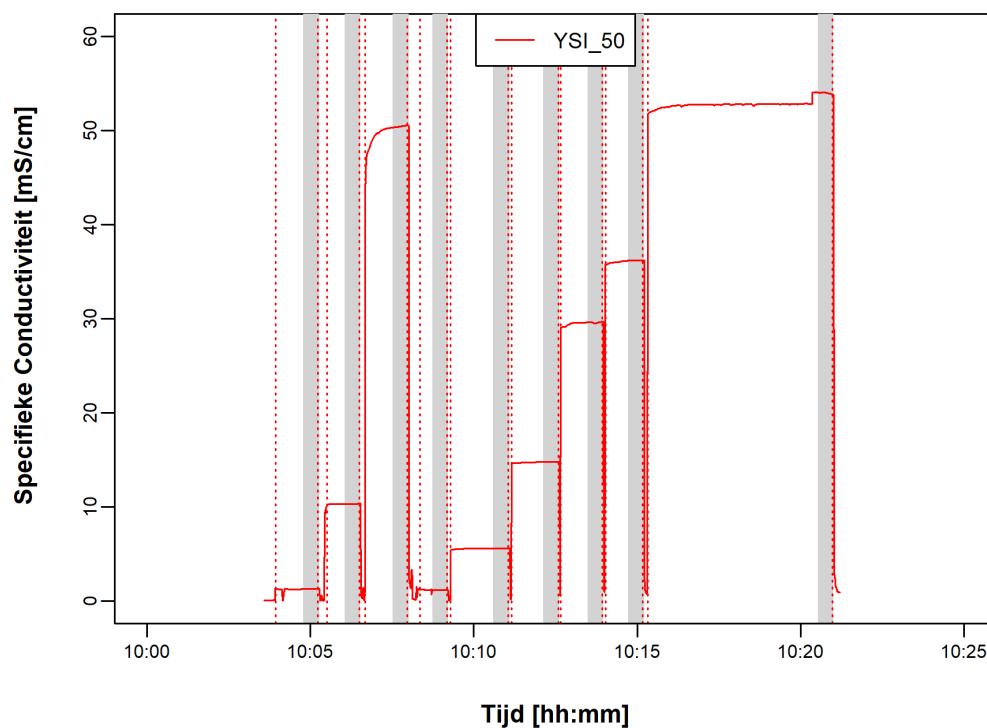
Staal	YSI_1		YSI_10		YSI_50	
	Start	Samples	Start	Samples	Start	Samples
Dendersluis	9:38:08	98	9:49:30	65	10:03:56	163
Steendorp	9:39:09	96	9:50:13	133	10:05:30	126
Deurganckdok	9:40:07	123	9:51:38	114	10:06:40	162
B85a	9:41:35	60	9:52:55	60	10:08:21	105
Emden	9:42:15	72	9:53:31	75	10:09:17	218
Zeewater Mariakerke	9:42:58	137	9:54:14	108	10:11:09	179
1 mS/cm	9:44:11	93	9:55:10	105	10:12:40	158
10 mS/cm	9:45:01	87	9:56:08	79	10:14:02	144
50 mS/cm	9:45:51	83	9:56:52	122	10:15:20	684



Figuur 28 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_1 over de volledige meetperiode. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.



Figuur 29 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_10 over de volledige meetperiode. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.



Figuur 30 – Verloop van de specifieke conductiviteit opgemeten met de YSI_50 over de volledige meetperiode. De verticale lijnen geven de afbakening weer van de meting in de verschillende oplossingen.

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