



Vlaanderen
is wetenschap

19_079_1
WL rapporten

Proefstortingen Westerschelde

Deelrapport 1
Stromings- en sedimenttransport metingen ter hoogte van
de diepe put van Hansweert – situatie T0

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Proefstortingen Westerschelde

Deelrapport 1 – Stromings- en sedimenttransport metingen ter hoogte van de diepe put van Hansweert – situatie T0

Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

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

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2020
D/2020/3241/125

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (2020). Proefstortingen Westerschelde: Deelrapport 1 – Stromings- en sedimenttransport metingen ter hoogte van de diepe put van Hansweert – situatie T0. Versie 3.0. WL Rapporten, 19_079_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Maritieme Toegang	Ref.:	WL2020R19_079_1
Keywords (3-5):	Stroming, sediment, monitoring, Westerschelde		
Kennisdomeinen	Stroomsnelheden -en patronen > In situ metingen Niet-cohesief sediment > In situ metingen		
Tekst (p.):	24	Bijlagen (p.):	8
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2020-08-24 13:14:17 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>
Projectleider:	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2020-07-03 12:40:28 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-06-22 10:37:49 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Ten behoeve van de invulling van de toekomstige stortstrategie in de Westerschelde is het van groot belang om te kunnen inschatten hoe snel en hoeveel de gestorte specie zal getransporteerd worden. Door het Waterbouwkundig Laboratorium werden hiervoor stromings- en sedimenttransportmetingen uitgevoerd in de diepe put van Hansweert, gelegen in de Westerschelde tussen macrocel 4 en 5.

Gedurende 2 dagen (31 juli en 1 augustus 2019) werd gedurende de periode van maximum vloed de stroming en het sedimenttransport gemeten ter hoogte van de rand van de vaargeul, zowel langs de opwaartse als de afwaartse zone van de diepe put. De stroomsnelheid bereikte een maximum in het midden van de vaargeul (dag 1) van ca. 170 cm/s. De sedimentconcentraties bleven tijdens beide dagen beperkt tot maximaal 100 mg/l (nabij de bodem), wat aanzienlijk lager is dan bij eerdere metingen.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
2 Beschrijving meetcampagne	2
2.1 Meetlocaties	2
2.2 Meettechnieken	3
2.2.1 Waterstanden.....	3
2.2.2 Stroming	3
2.2.3 Sedimenttransport	4
2.2.4 Sedimentconcentratie	5
2.2.5 Korrelgrootte	5
2.2.6 Overige parameters.....	5
2.3 Verwerking indirecte meettechnieken.....	6
2.3.1 Sedimentconcentratie op basis van optische signalen	6
2.3.2 Sedimentconcentratie op basis van akoestische backscatter	6
3 Resultaten dag 1 (31/07/2019)	8
3.1 Waterstanden.....	9
3.2 Stroming	10
3.3 Sedimenttransport	11
3.3.1 Delftse fles	11
3.3.2 ADCP – Akoestische backscatter	12
4 Resultaten dag 2 (01/08/2019)	15
4.1 Waterstanden.....	15
4.2 Stroming	16
4.3 Sedimenttransport	17
4.3.1 Delftse fles	17
4.3.2 YSI - Optische backscatter	18
4.3.3 ADCP – Akoestische backscatter	20
5 Conclusies en aanbevelingen	22

5.1	Conclusies	22
5.2	Aanbevelingen	22
6	Referenties	23
Bijlage A – Verloop stroomsnelheid en SSC - dag 1		B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht karakteristieken ADCP	3
Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP	8

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht studiegebied en ligging meetlocaties.....	2
Figuur 2 – Opgehangen Delftse fles.....	4
Figuur 3 – Verloop waterstand en stroomsnelheid op stationaire punten tijdens meetdag 1 (31/07/2019) ..	9
Figuur 4 – Stroomsnelheid rond het moment van maximum vloed tijdens meetdag 1	10
Figuur 5 – Verloop sedimenttransport (ADCP en Delftse fles) en D50 (Delftse fles) tijdens meetdag 1 (31/07/2019)	11
Figuur 6 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC pompstalen op beide meetdagen	12
Figuur 7 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC pompstalen voor meetcampagne 2018 uit (Plancke <i>et al.</i> , 2019).....	13
Figuur 8 – Sedimentconcentratie rond het moment van maximum vloed tijdens meetdag 1	14
Figuur 9 – Verloop waterstand en stroomsnelheid tijdens meetdag 2 (01/08/2019)	15
Figuur 10 – Stroomsnelheid (in cm/s) nabij boei 40b voor periode rond maximum vloed tijdens meetdag 2 (01/08/2019))	16
Figuur 11 – Verloop sedimenttransport (ADCP en Delftse fles) en D50 (Delftse fles) tijdens meetdag 2 (01/08/2019)	17
Figuur 12 – Relatie tussen de turbiditeit (YSI) en SSC pompstalen op de 2 ^e meetdag.....	18
Figuur 13 – Relatie tussen de turbiditeit (YSI) en SSC pompstalen op de 2 ^e meetdag, inclusief theoretische relaties	19
Figuur 14 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC uit turbiditeit YSI op meetdag 2	20
Figuur 15 – Sedimentconcentratie (in mg/l) nabij boei 40b voor periode rond maximum vloed tijdens meetdag 2 (01/08/2019))	21
Figuur 16 –Dwarsprofiel 1 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)	B1
Figuur 17 –Dwarsprofiel 2 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)	B2
Figuur 18 –Dwarsprofiel 3 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)	B2
Figuur 19 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49	B3
Figuur 20 –Dwarsprofiel 4 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)	B3
Figuur 21 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B42	B4
Figuur 22 –Dwarsprofiel 5 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)	B4
Figuur 23 –Dwarsprofiel 6 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)	B5

Figuur 24 –Dwarsprofiel 7 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 1100 m)	B5
Figuur 25 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van mid vaargeul	B6
Figuur 26 –Dwarsprofiel 8 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 760 m)	B6
Figuur 27 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49	B7
Figuur 28 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49	B7
Figuur 29 –Dwarsprofiel 9 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)	B8

1 Inleiding

In het kader van de verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde werd een stortstrategie ontwikkeld waarbij de onderhoudsspecie deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden wordt teruggestort. Deze strategie werd ook na het aflopen van de vergunningstermijn van 5 jaar verdergezet in de vigerende vergunning.

Ter voorbereiding van de toekomstige stortstrategie werd, na voorbereidend onderzoek (Arcadis, 2015), in 2016 een vergunning verkregen voor het uitvoeren van proefstortingen (maximaal 2 campagnes met storthoeveelheid van maximaal 1 Mm³ per campagne) in de Westerschelde, waaronder 2 locaties in de diepe delen van de vaargeul (Inloop Ossensisse en Diepe put Hansweert). Deze proefstortingen werden opgevolgd met multibeam echo-sounder (MBES) peilingen, met als doel de stabiliteit van de gestorte specie op te kunnen volgen. Uit deze resultaten bleek dat de stabiliteit eerder beperkt was, zowel initieel (tijdens en vlak de stortingen) als op de langere (~ 1 jaar) termijn. Om een beter inzicht te krijgen in de sedimentverspreiding, werden aanvullende acties ondernomen:

1. Inschatten van de sedimentverspreiding tijdens het storten aan de hand van een meetcampagne tijdens de 2^e proefstortcampagne (juli 2017) (Plancke *et al.*, 2017)
2. Inschatten van het sedimenttransport in en nabij de diepe put van Hansweert.
3. Herhaling van de proefstortingen om op basis van aanvullende metingen een beter inzicht te krijgen van de sedimentverspreiding. Hiervoor werd in de eerste helft van 2019 een nieuwe vergunning bekomen en zullen in de loop van 2019 en 2020 nieuwe proefstortingen (telkens 1 Mm³) georganiseerd worden.

Voorliggend rapport gaat dieper in op de tweede actie uit bovenstaande lijst, waartoe reeds in 2018 een eerste meetcampagne plaatsvond (Plancke *et al.*, 2019). Tijdens de meetcampagne in 2019 werd op twee locaties nabij de diepe put van Hansweert, gedurende de periode van maximale vloedstroming, de stroming en het sedimenttransport gemeten.

Bij het uitvoeren van terreinmetingen zijn verschillende partijen betrokken die niet op de voorgrond verschijnen. Vandaar een woord van dank aan zij die hebben meegewerkt aan het tot stand komen van deze meetcampagne: Erwin De Backer en Styn Claeys voor de mobilisatie van het meetschip, de bemanningen van de MS Pierre Petit en verschillende collega's voor het uitvoeren van de metingen en de dames van het sedimentologisch laboratorium voor het analyseren van de genomen stalen.

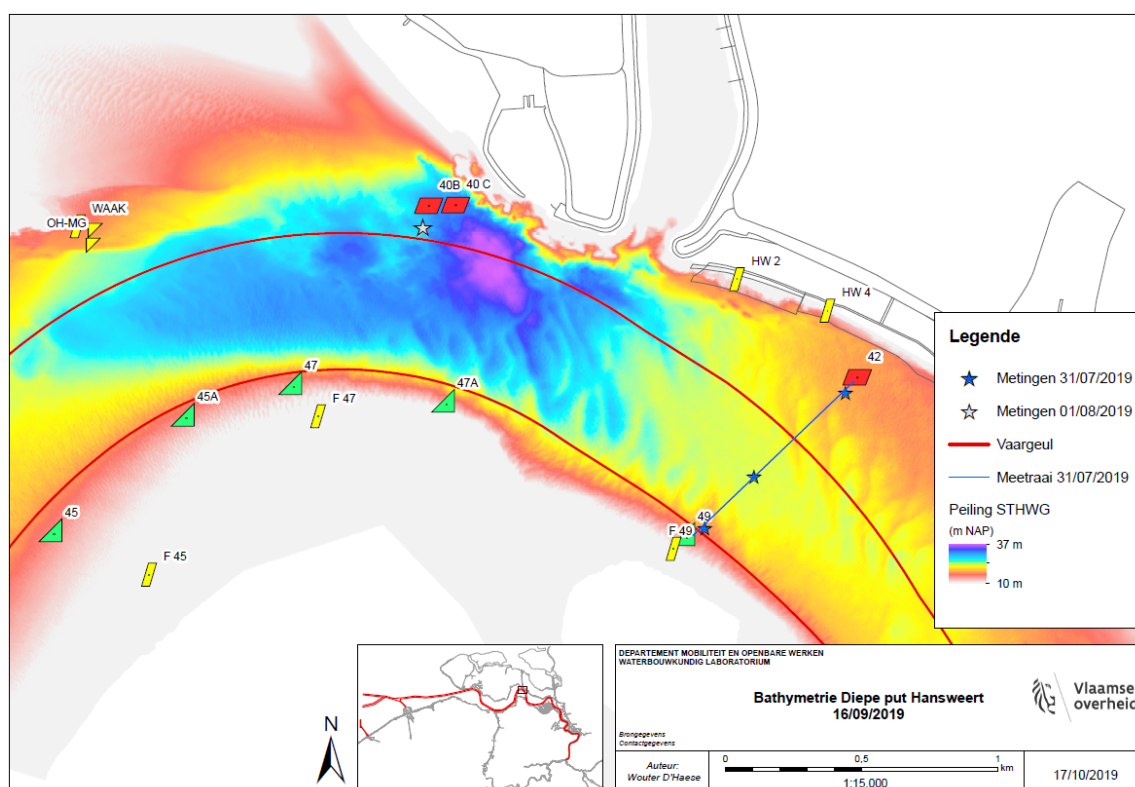
2 Beschrijving meetcampagne

2.1 Meetlocaties

De diepe put van Hansweert is gelegen in het midden deel van de Westerschelde op de overgang tussen macrocel 4 en 5. De put wordt in het zuiden begrensd door de Platen van Ossenis, terwijl de noordelijk grens vastligt door de dijken en de ingang tot het Kanaal door Zuid-Beveland (Figuur 1). De diepe put van Hansweert is een dynamisch gebied waarbij de diepte lokaal oploopt tot 35 m onder het laagwater. Uit eerdere metingen is gebleken dat de uitgevoerde stortingen een kleine stabiliteit ($\sim 50\%$) kennen op de korte termijn (IMDC, 2019) en dat de stroming een 3-dimensionaal karakter kent (Plancke *et al.*, 2017). Met het oog op de nieuwe proefstortingen, gepland in 2019 en 2020, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium een beperkte meetcampagne uitgevoerd om de stromingen en sedimenttransporten in een periode zonder stortingen in beeld te brengen (referentietoestand). Er werd geopteerd om enkel te meten in de periode met de hoogste snelheden (en vermoedelijk ook hoogste sedimenttransporten), wat overeenkomt met de periode van maximum vloed gedurende een springtij. Er werden 2 zones geselecteerd voor het uitvoeren van de metingen:

- Dag 1 (31/07/2019): de opwaartse zone van de diepe put; omwille van de scheepvaart werden stationaire punten (noodzakelijk voor de uitvoering van de metingen met opgehangen toestellen) gekozen buiten de vaargeul, met name nabij boei 49 (groene boeizijde) en boei 42 (rode boeizijde); in de mate van het mogelijke werd ook getracht metingen uit te voeren in het midden van de vaargeul (centraal tussen bovenstaande boeien);
- Dag 2 (1/08/2019): de afwaartse zone van de diepe put; omwille van de scheepvaart werd ook hier een stationaire punt gekozen buiten de vaargeul, met name nabij boei 40b (rode boeizijde);

Figuur 1 – Overzicht studiegebied en ligging meetlocaties



2.2 Meettechnieken

Tijdens de meetcampagne werden verschillende toestellen ingezet voor het meten van zowel de stroming als het sedimenttransport. Het sedimenttransport werd zowel “direct” gemeten als “indirect”, waarbij een optisch of akoestisch signaal geconverteerd wordt naar sedimentconcentratie (via waterstalen), wat in combinatie met een stroomsnelheid uiteindelijk een sedimenttransport geeft. De verschillende ingezette meettechnieken worden hieronder kort beschreven.

2.2.1 Waterstanden

Voor de waterstanden werd beroep gedaan op de databank van Rijkswaterstaat (<https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/dataleveringen/ophalen-opgetreden-data>). De metingen van de waterstandsmeter Hansweert worden gebruikt in dit rapport.

2.2.2 Stroming

Acoustic Doppler Current Profiler

De stroming werd gemeten aan de hand van een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). De karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 – Overzicht karakteristieken ADCP

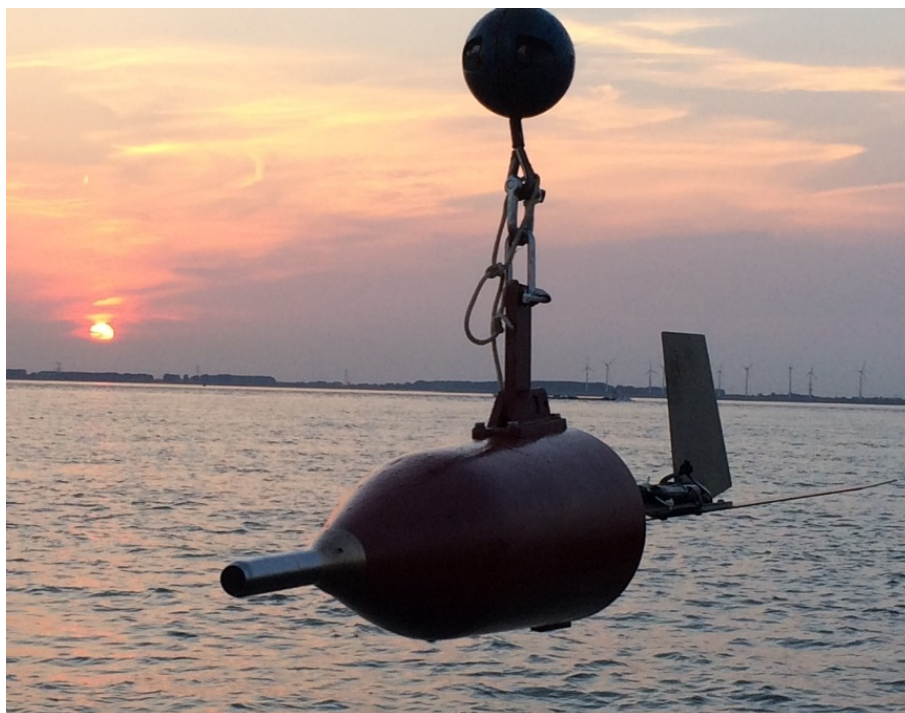
Toesteleigenschappen	
Type	RDI Workhorse Monitor
Frequentie	600 kHz
Configuratie	Down-looking vanaf meetschip
Beam hoek	20°
Aantal beams	4
Snelheidsresolutie	0,1 cm/s
Accuraatheid	0,3%
Ping rate	2 Hz (typical)
Instellingen	
Cel grootte	0,5 m
Eerste cel (midden)	0,8 m
Maximaal bereik	38 m
Ensemble interval	4 s
Pings per ensemble	4

2.2.3 Sedimenttransport

Het sedimenttransport wordt direct gemeten met behulp van de Delftse fles. De Delftse fles bestaat uit een bronzen lichaam met vooraan een kleine inlaatopening en achteraan vier openingen waardoor het water uitstroomt. Bij deze meetcampagne is gebruik gemaakt van de inlaatdiameter van 3,8 mm waarbij de 4 openingen aan de achterwand open gelaten worden. Door de uitwendige vorm ontstaat een drukverschil tussen inlaat en uitlaatopeningen dat de ladingsverliezen binnen het toestel ongeveer evenaart voor alle stroomsnelheden. Binnen moet het water en het sediment door een labyrint waarin de snelheid geleidelijk afneemt, zodat de sedimentdeeltjes groter dan 50 micron zich afzetten binnen het lichaam. De duur van de bemonstering kan worden aangepast aan de stroomsnelheid en sedimentconcentratie opdat het monster voldoende vaste stof zou bevatten. Het “gefilterd” volume water kan dus verschillende liters of zelfs tientallen liters bedragen. De fout die gemaakt wordt door de extra sedimentinvoer tijdens het neer- en ophalen van de Delftse fles is in het algemeen verwaarloosbaar. Gewoonlijk is het sedimentmonster groot genoeg om de korrelverdeling te bepalen. Daar de inlaatopening en de bemonsteringstijd gekend is, kan uit het gemeten volume sediment, mits een aanname voor de porositeit en de densiteit van het sediment, het sedimenttransport berekend worden.

Binnen de meetcampagne werd enkel gebruik gemaakt van de opgehangen Delftse fles, waarmee het suspensietransport kan gemeten worden. De fles wordt opgehangen aan een kabel, terwijl een bijkomend gemonteerde staart zorgt voor de oriëntatie volgens de stroomrichting (Figuur 2).

Figuur 2 – Opgehangen Delftse fles



2.2.4 Sedimentconcentratie

Staalname

Tijdens de meetcampagnes werden op regelmatige tijdstippen watermonsters genomen met behulp van een pomp. De waterstalen werden opgeslagen in flessen van 1000 ml. De sedimentconcentratie werd hierop later in het laboratorium bepaald via filtratie. Er werd geopteerd om enkel de totale (en geen aparte zand- en slibfractie) sedimentfractie te bepalen, gebruik makend van een filter van 0,45 µm.

Aan de hand van deze sedimentconcentraties kan een ijkingskromme worden opgesteld voor de indirecte meettechnieken en kan het meetsignaal omgezet worden in sedimentconcentraties.

Optische backscatter

Tijdens de meetcampagne werd gebruik gemaakt van een YSI-6600 multiparametersonde, die was uitgerust met een turbiditeitsensor. Deze sensor steunt op het principe van de verstrooiing van licht, een relatieve maat voor de lokale sedimentconcentratie (zowel slib als zand). Om de meting om te zetten naar sedimentconcentratie, is een ijking van de meetsensor vereist omdat de verschillende vaste stoffen volgens samenstelling en grootte een andere lichtverstrooiing geven. De YSI-sonde werd ingesteld om één meting uit te voeren elke 1 seconde.

Akoestische backscatter ADCP

De sterkte van het gereflecteerde akoestische signaal van de ADCP (acoustic backscatter – ABS) is eveneens een maat voor de sedimentconcentratie. Hiervoor dient de gemeten intensiteit van het gereflecteerde signaal gecorrigeerd te worden voor de diepte, geluidsverliezen in het water en absorptie door het sediment (zie § 2.3.1) en dient een ijking te gebeuren op basis van de waterstalen.

2.2.5 Korrelgrootte

Op de stalen verzameld met de Delftse fles, werd de korrelgrootteverdeling bepaald. Dit gebeurt door middel van laserdiffractie met behulp van de Mastersizer 2000 (Malvern Instruments). De analyse wordt uitgevoerd volgens een vastgelegd protocol. Hierbij wordt het staal eerst gezeefd op een zeef met maaswijdte 2 mm. Vervolgens wordt een representatief deelstaal genomen dat in het toestel wordt ingebracht. Alvorens de korrelgrootte te bepalen, wordt het ingebrachte staal onderworpen aan een ultrasone voorbehandeling, met als doel eventueel vlokken op te breken. Vervolgens wordt de korrelgrootte 3-maal bepaald op hetzelfde staal en wordt een gemiddelde kromme bepaald. Hiervan worden tenslotte de karakteristieke korreldiameters (D10, D35, D50, D65, D90) afgeleid.

2.2.6 Overige parameters

Voor de bepaling van de sedimentconcentratie uit het akoestische backscatter signaal dient de saliniteit en de temperatuur van het water ingegeven worden. Deze werd niet specifiek gemeten tijdens de meetcampagne, maar er werd gebruik gemaakt van de continue metingen ter hoogte van de meetpaal in de Overloop van Hansweert. De metingen tijdens beide meetdagen bleken echter te ontbreken, waardoor gekozen is om de gemiddelde waarde te hanteren van de eerstvolgende beschikbare dag (2/8/2019).

2.3 Verwerking indirecte meettechnieken

2.3.1 Sedimentconcentratie op basis van optische signalen

Om het signaal van turbiditeit bekomen uit de optische backscatter toestellen om te kunnen rekenen naar een sedimentconcentratie, worden pompstalen genomen ter hoogte van de sensor. Elke sedimentconcentratie, bepaald via filtratie, van een pompstaal wordt gerelateerd aan de turbiditeit van de OBS op moment van de staalname. Op basis van deze koppels (turbiditeit, SSC) wordt de ijking uitgevoerd tussen het OBS-signaal en de bijbehorende sedimentconcentratie.

Deze ijkingscurve wordt vervolgens toegepast op de volledige meetreeks van turbiditeit om een meetreeks van de sedimentconcentratie te verkrijgen.

2.3.2 Sedimentconcentratie op basis van akoestische backscatter

Om de sedimentconcentratie af te leiden uit de akoestische backscatter, dient vooreerst de gemeten intensiteit van het gereflecteerde signaal gecorrigeerd te worden voor de diepte, geluidsverliezen in het water en absorptie door het sediment. De methodiek die binnen voorliggend rapport is gebruikt is analoog aan deze van (Landers *et al.*, 2016) en bevat volgende stappen:

1. Converteren interne units (counts) naar log schaal (dB)
2. Range normalization – corrigeren van de ruwe intensiteit van de backscatter ABS (dB) voor geluidsabsorptie in water en door sediment
3. Kalibratie van het genormaliseerde backscatter signal cABS (dB) op basis van pompstalen waaruit de SSC is bepaald via filtratie (mg/l)
4. Omrekenen van cABS (dB) naar SSC (mg/l) met kalibratieformule

Vooraleer deze stappen worden toegepast, vindt een validatie van de metingen plaats. Hierbij worden enerzijds de niet-bemeten cellen verwijderd en worden anderzijds slechte metingen verwijderd.

Validatie metingen

De ADCP geeft resultaten voor het volledige bereik van de cellen. Op basis van de diepte van bodem, bepaald via de bodemdetectie functie (“bottom-track”), werden alle metingen beneden dit niveau verwijderd. Daarnaast werden ook alle metingen (en dit voor alle parameters) met onrealistische waarden (cfr. dummy waarde = -32768) verwijderd.

Stap 1: Converteren interne units naar log schaal

Lohrmann (2001) stelt dat de interne units (counts) geconverteerd kunnen worden naar decibels (dB) via een lineaire omrekening met een range van 70 dB. Binnen deze range (overeenkomend met 1 tot 10000 mg/l) bedraagt de schaalfactor (toestel-afhankelijk) $K_c = 0,43 \text{ counts/dB}$ (range 0,40 tot 0,47). Buiten deze range is de conversie niet-lineair.

$$K_c = 0.43 \text{ dB/count}$$

Stap 2: Range normalization

De tweede stap omvat het corrigeren van het ruwe ABS-signaal naar een gecorrigeerd signal (cABS). De correcties die uitgevoerd dienen te worden omvatten 3 factoren: akoestische spreiding, water absorptie en sediment absorptie. Voor een uitgebreide beschrijving worden verwezen naar (Landers *et al.*, 2016; Lohrmann, 2001).

$$\text{akoestische spreiding} = 20 \log_{10} R$$

$$\begin{aligned} \text{water absorptie} &= 2\alpha_w R \quad \left(\alpha_w = \text{water absorptie in } \frac{dB}{m} \right) \\ \text{sediment absorptie} &= 20R \int \alpha_p dr \quad \left(\alpha_p = \text{sediment absorptie in } \frac{dB}{m} \right) \\ R &= \text{range} = z / \cos(\text{hoek van bundel}) \end{aligned}$$

De water absorptie is afhankelijk van de densiteit van het water (en dus saliniteit), de druk en de frequentie van het uitgezonden akoestische signaal.

Hoewel de sediment absorptie bij lage (< 1 g/l) concentratie meestal verwaarloosbaar is, wordt hij expliciet meegenomen. Deze coëfficiënt α_p wordt berekend volgens de hybride manier ((Landers *et al.*, 2016) gebaseerd op (Urick, 1983) en (Sheng & Hay, 1988)).

De range normalization levert de gecorrigeerde/normaliseerde akoestische backscatter (cABS) volgens volgende formule:

$$cABS = Amp * K_c + \text{akoestische spreiding} + \text{water absorptie} + \text{sediment absorptie}$$

Stap 3: kalibratie cABS naar SSC

In de volgende stap wordt de gecorrigeerde akoestische backscatter (cABS) vergeleken met de sedimentconcentratie bekomen uit de pompstalen. Hiertoe wordt de cABS geselecteerd op het moment van de staalname (bin) en wordt de overeenkomstige cel bepaald op basis van de diepte waarop de staalname plaatsvond. Dit laat toe een ijking uit te voeren tussen het cABS-signaal en de bijbehorende sedimentconcentratie.

Tijdens de tweede meetdag werden bijkomende SSC-gegevens bekomen via profilering met de multiparametersonde (meting van turbiditeit). De hieruit afgeleide sedimentconcentraties worden gebruikt voor het kalibreren van de cABS.

Stap 4: converteren van cABS naar SSC

De kalibratiecurve uit de vorige stap wordt tenslotte toegepast op de volledige meetreeks van cABS. Op deze manier kan de cABS geconverteerd worden naar een sedimentconcentratie.

3 Resultaten dag 1 (31/07/2019)

In de volgende paragrafen worden de resultaten gepresenteerd per toestel. Bij de Delftse fles wordt onmiddellijk het sedimenttransport gemeten, terwijl bij de indirecte toestellen de sedimentconcentratie wordt afgeleid na kalibratie uit het gemeten signaal. Combinatie van de sedimentconcentratie met de snelheid laat toe het sedimenttransport te bepalen.

Door een foute programmatie ("Discrete sample" in plaats van "Unattended sample" in het "Run setup"-menu) van de YSI-6600 voor de eerste meetdag werden geen gegevens geregistreerd.

Tijdens deze meetdag werden er zowel dwarsraai en gevaren als metingen uitgevoerd op stationaire punten (B42, B49 en mid vaargeul). Tabel 2 geeft een overzicht van de verschillende uitgevoerde metingen waarbij het type en het moment ten opzichte van hoogwater van de meting zijn weergegeven.

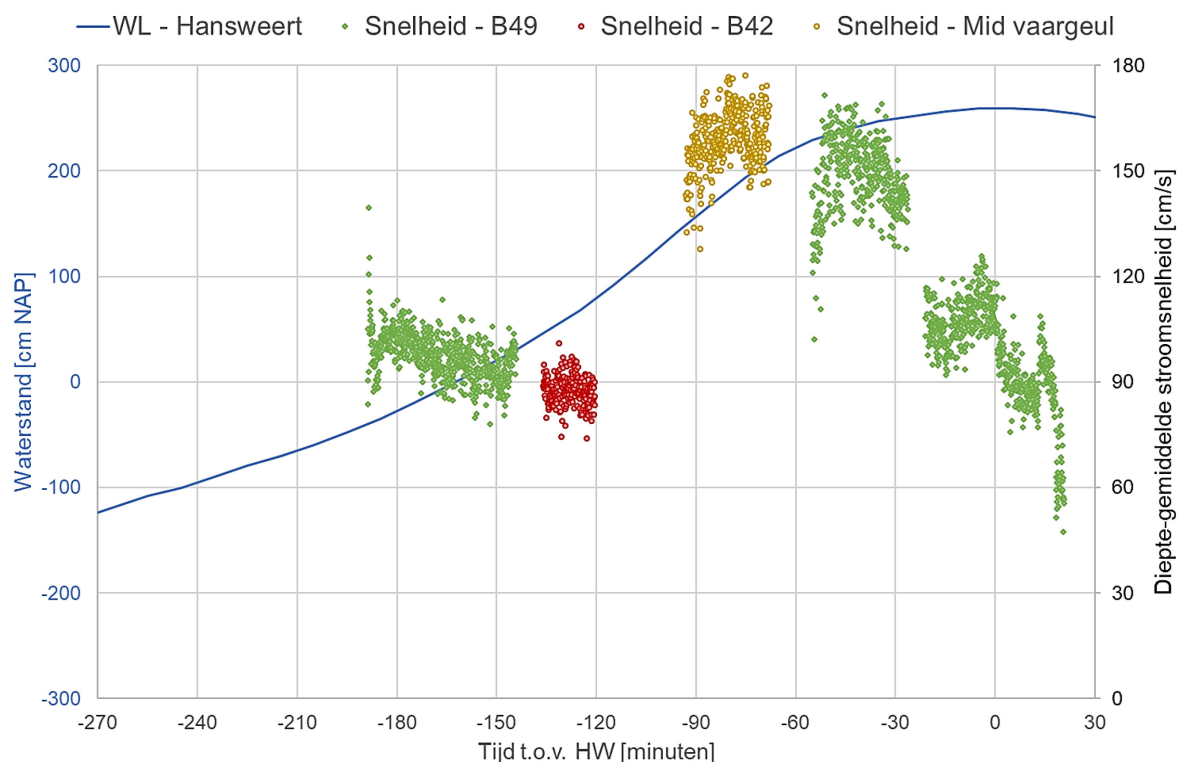
Tabel 2 – Overzicht karakteristieken ADCP

<i>ID</i>	<i>Type</i>	<i>Nr</i>	<i>Locatie</i>	<i>Tijd t.o.v. HW [minuten]</i>
000	Dwarsraai	1	B42 => B49	-211 tot -205
001	Dwarsraai	2	B49 => B42	-203 tot -198
002	Dwarsraai	3	B42 => B49	-197 tot -191
003	Stationair	-	B49	-189 tot -144
004	Dwarsraai	4	B49 => B42	-143 tot -137
005	Stationair	-	B42	-136 tot -121
006	Dwarsraai	5	B42 => B49	-119 tot -113
007	Dwarsraai	6	B49 => B42	-112 tot -104
008	Dwarsraai	7	B42 => B49	-104 tot -96
009	Stationair	-	Mid vaargeul	-93 tot -68
010	Dwarsraai	8	B42 => B49	-64 tot -56
011	Stationair	-	B49	-55 tot -27
012	Stationair	-	B49	-21 tot 22
013	Dwarsraai	9	B49 => B42	23 tot 29

3.1 Waterstanden

Figuur 3 geeft het verloop van de waterstand te Hansweert weer. De stijging tijdens de meetdag bedroeg 463 cm, wat overeenkomt met de matig springtij. Ter vergelijking: over de periode 2011-2015 bedroeg het gemiddeld getijverschil te Hansweert 449 cm, terwijl dit bij springtij 506 cm bedroeg (Hertoghs *et al.*, 2018).

Figuur 3 – Verloop waterstand en stroomsnelheid op stationaire punten tijdens meetdag 1 (31/07/2019)



3.2 Stroming

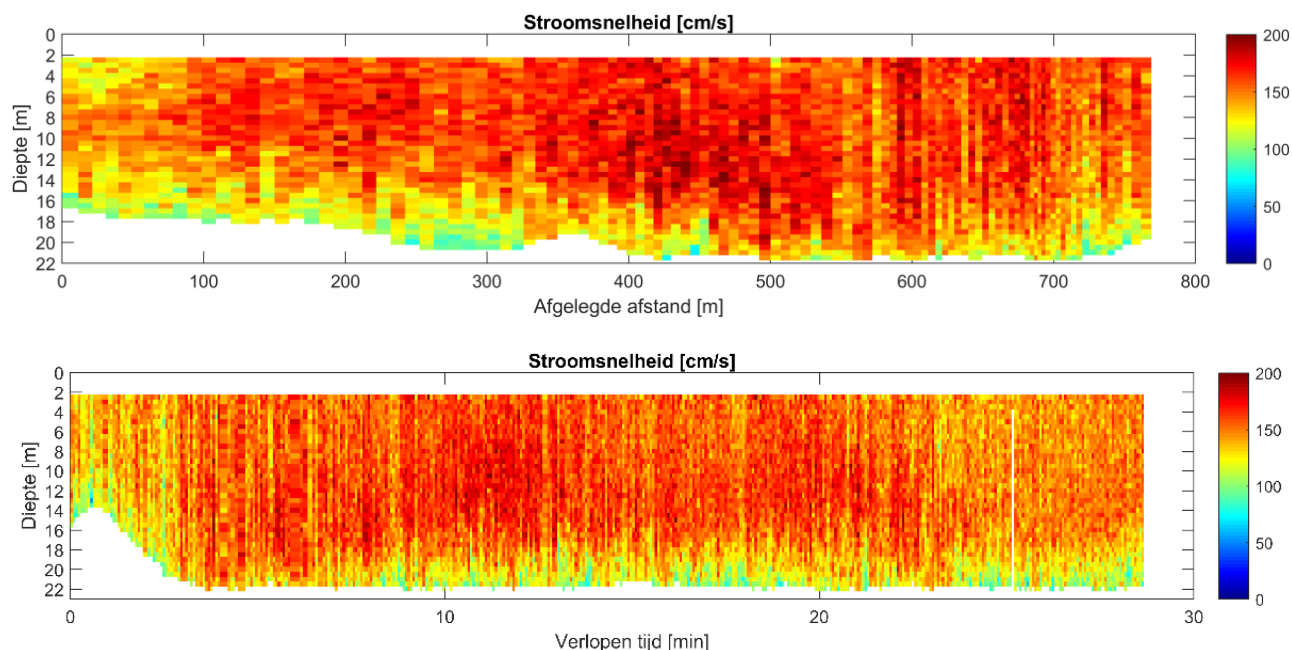
Tijdens de eerste meetdag werd zowel varend (dwarsraai) als stationair gemeten. De stationaire punten liggen zowel langs de groene boeizijde (B49), de rode boeizijde (B42) als centraal in de vaargeul (Figuur 1). De dwarsraai is gelegen tussen de stationaire punten ter hoogte van de boeienlijn (i.e. tussen B49 en B42).

Figuur 3 geeft het verloop van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid weer ter hoogte van de verschillende stationaire punten (verschillende kleur per locatie). De hoogste snelheden (~ 170 cm/s) werden gemeten in het midden van de vaargeul ca. 90 minuten voor hoogwater. Doordat sequentieel werd gemeten op de verschillende locaties, kunnen de stroomsnelheden niet op hetzelfde moment vergeleken worden voor de verschillende locaties. Figuur 4 geeft de stroomsnelheid weer rond het moment van maximum vloed (HW – 60'), enerzijds over de dwarsraai en anderzijds op nabij B49.

Uit deze resultaten kan vastgesteld worden dat de maximale stroomsnelheden centraal op de dwarsraai voorkomen, maar dat deze weinig verschillen met deze langs de groene boeizijde (B49, rechts op figuur). Ter hoogte van de rode boeizijde (B42, links op figuur) liggen de stroomsnelheden ietwat lager (130 cm/s t.o.v. 160 cm/s). De verticale gradiënt van de stroomsnelheid is eerder beperkt over het grootste deel van de waterkolom, met enkel in de onderste 4 m een afname naar de bodem toe.

In Bijlage A – Verloop stroomsnelheid en SSC - dag 1 wordt voor alle metingen het verloop (in ruimte voor dwarsraaien, in tijd voor stationaire metingen) van de stroomsnelheid, de sedimentconcentratie (SSC) en de diepte-gemiddelde waarden weergegeven.

Figuur 4 – Stroomsnelheid rond het moment van maximum vloed tijdens meetdag 1
dwarsraai B42 (links – 0 m) – B49 (rechts – 760 m) (boven) en stationair ter hoogte van B49 (onder, 0' ~ HW-60')



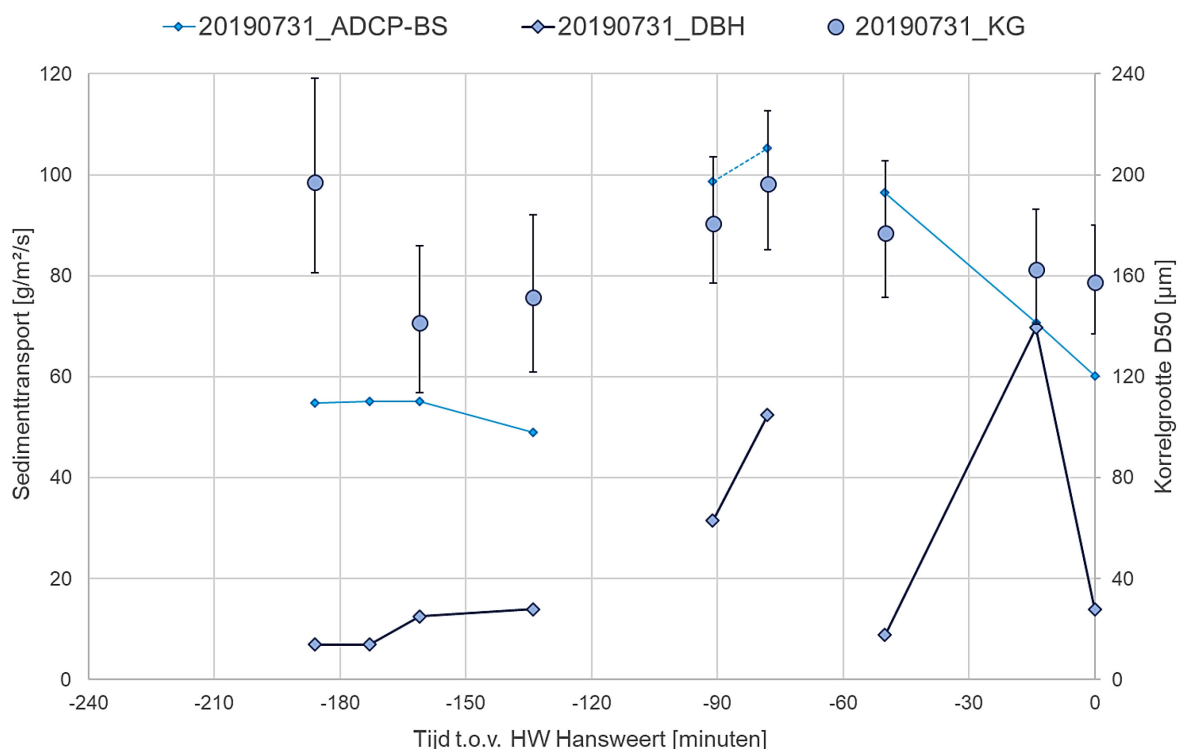
3.3 Sedimenttransport

3.3.1 Delftse fles

Tijdens de meetcampagne werd de opgehangen Delftse fles gebruikt voor het bepalen van het suspensie transport. De opgehangen Delftse fles werd in het onderste derde (tussen 66% en 87%) van de waterkolom gepositioneerd in de veronderstelling dat het sedimenttransport in de bovenste helft van de waterkolom minder uitgesproken is. Naast het sedimenttransport (direct afgeleid uit de sedimentvolumes afgevangen in de fles) werden voor een selectie van de monsters ook de korrelverdeling bepaald in het laboratorium.

Figuur 5 geeft het verloop weer van zowel het sedimenttransport als de mediane korrelgrootte (D50) en de D35 en D65 (weergegeven d.m.v. foutbalken). De gemeten transporten (maximaal 75 g/m²/s) blijven beperkt gedurende de meetperiode, dit voor de verschillende bemeten locaties. Ter vergelijking: ter hoogte van de Plaat van Walsoorden werden bij maximum vloed transporten gemeten van 50 g/m²/s (Ides *et al.*, 2007), langs de Platen van Ossensisse 1300 g/m²/s (Plancke *et al.*, 2018) en ter hoogte van de Hooie Platen waarden tot 350 g/m²/s (Plancke *et al.*, 2008). Op basis van de metingen met de Delftse fles komt het klassieke patroon, met een piek op het moment van maximale vloedstroming niet naar voor, maar werden de hoogste transporten gemeten net voor hoogwater. De mediane korrelgrootte vertoont een variatie tussen 140 µm en 200 µm, waarbij de grofste sediment worden getransporteerd op het moment van maximum vloed (HW – 60')¹.

Figuur 5 – Verloop sedimenttransport (ADCP en Delftse fles) en D50 (Delftse fles) tijdens meetdag 1 (31/07/2019)
DBH = opgehangen Delftse fles | KG = korrelgrootte (foutbalken geven D35 en D65 weer)



¹ Ook op HW-190' werd er grover sediment (D50 ~ 200 µm) in de Delftse fles teruggevonden, maar de sedimenttransporten waren zeer beperkt op dit moment van de getijcyclus.

3.3.2 ADCP – Akoestische backscatter

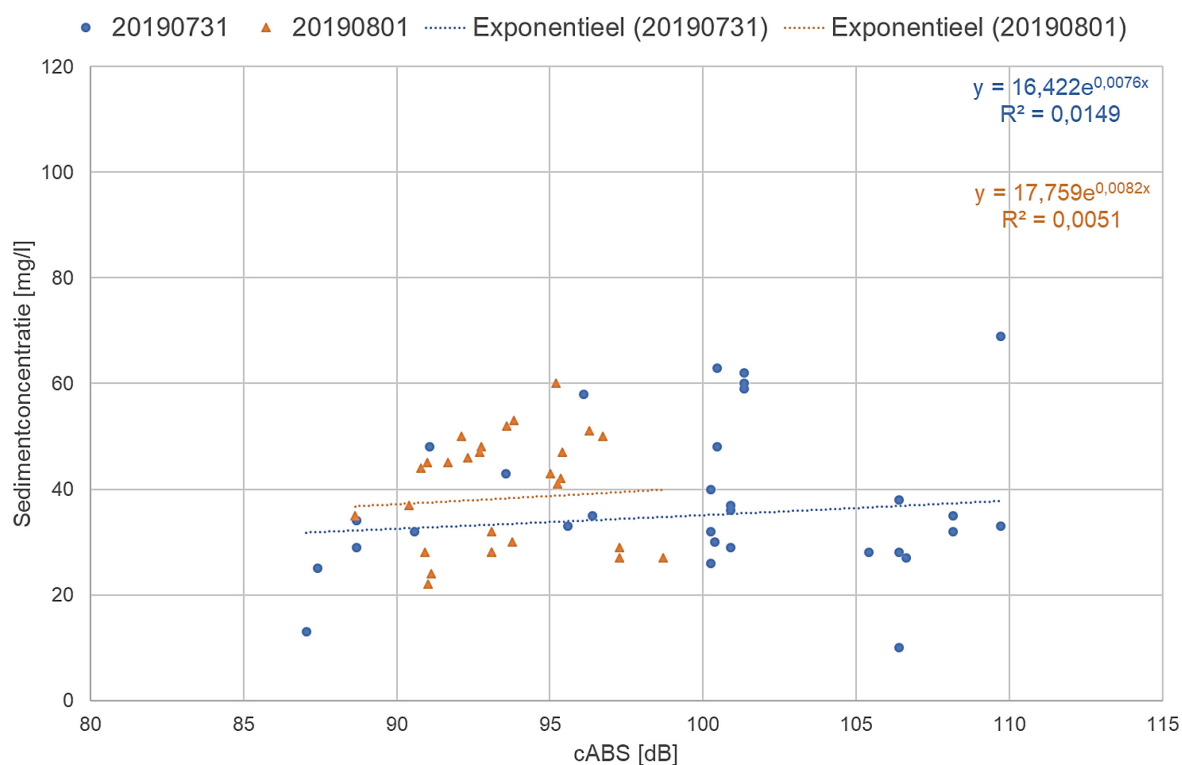
Kalibratie

Om het akoestisch backscatter signaal (ABS) om te rekenen naar sedimentconcentraties, dient enerzijds het signaal gecorrigeerd (cABS) te worden voor verliezen in de waterkolom (o.a. water- en sedimentabsorptie) en anderzijds dient een kalibratie te gebeuren met gekende sedimentconcentraties (SSC), bepaald uit waterstalen. Deze relatie is volgens de theorie exponentieel en wordt dan ook zo toegepast. Figuur 6 geeft de relatie voor beide meetdagen weer tussen de gecorrigeerde akoestische backscatter (cABS in dB) gemeten door de ADCP en de overeenkomstige sedimentconcentratie afgeleid uit de pompstalen (mg/l). Er wordt een zeer slechte correlatie vastgesteld voor beide meetdagen. Een mogelijke verklaring hiervoor is de zeer kleine range aan sedimentconcentraties die tijdens de meetdagen werd opgemeten.

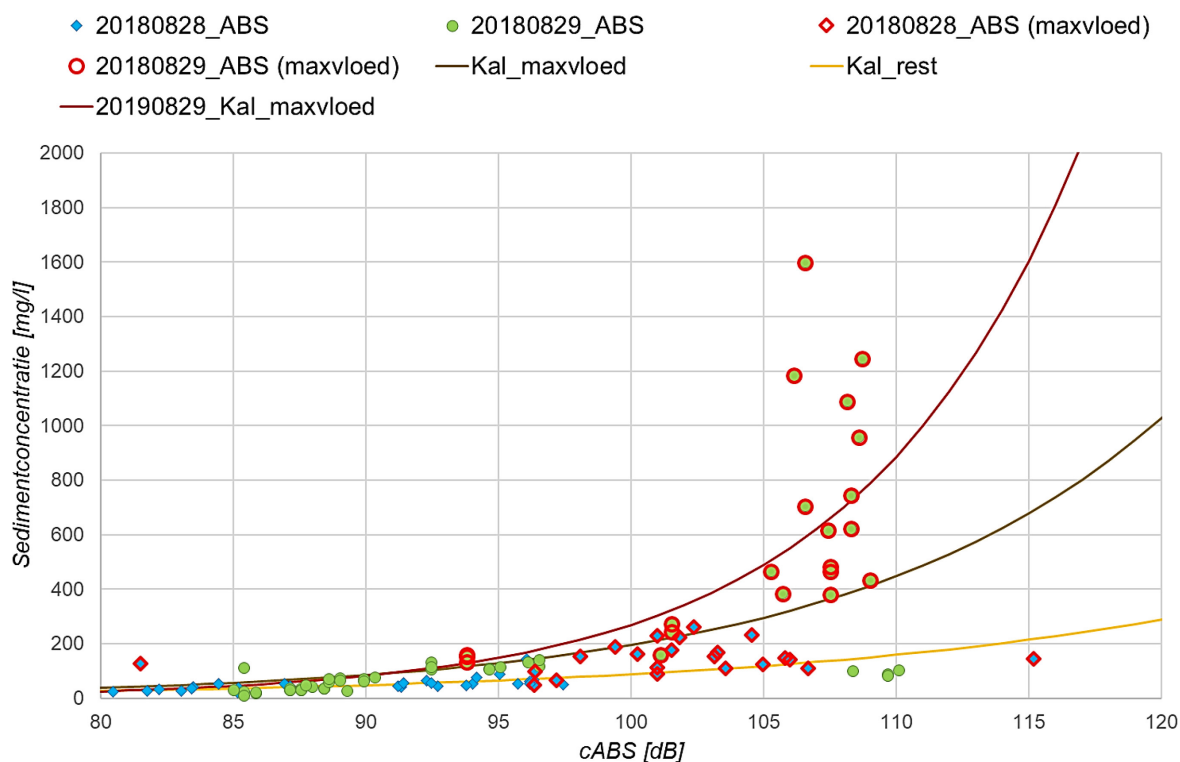
Figuur 7 geeft de relatie weer voor de metingen uit 2018. Hieruit blijkt dat de range die toen bemeten werd aanzienlijk groter (0 - 1600 mg/l vs. 0 – 80 mg/l) was, doch dat dit hoofdzakelijk tijdens maximum vloed ter hoogte van de westrand van de Platen van Ossensisse (op 29/08/2018) optrad. In de overige fasen van het getij werd een vergelijkbare range (zowel in cABS als SSC) gemeten. Desalniettemin is het opmerkelijk dat tijdens de metingen in 2019, die eveneens plaatsvonden bij maximum vloed, deze variatie in SSC aanzienlijk kleiner (75 mg/l ⇔ 250 mg/l) blijft dan op de eerste meetdag in 2018, waar ook langs de oostrand van de Platen van Ossensisse werd gemeten (i.e. nabij de locatie B49).

Omwille van de slechte correlatie tussen cABS en SSC is ervoor geopteerd een alternatieve methodiek te volgen waarbij gebruik gemaakt werd van de uit de gemeten turbiditeit afgeleide sedimentconcentratie. Aangezien tijdens de eerste meetdag er geen data geregistreerd werden door de multiparametersonde, werden enkel de gegevens van de tweede meetdag gebruikt (zie § 4.3.2 en § 4.3.3). Aangezien beide meetlocaties in elkaars nabijheid lagen en de getransporteerde sedimenten gelijkaardig bleken te zijn (vergelijkbare D50 van gemeten sediment met de Delftse fles), is deze aanname gerechtvaardigd.

Figuur 6 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC pompstalen op beide meetdagen



Figuur 7 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC pompstalen voor meetcampagne 2018 uit (Plancke *et al.*, 2019)



Sedimentconcentratie

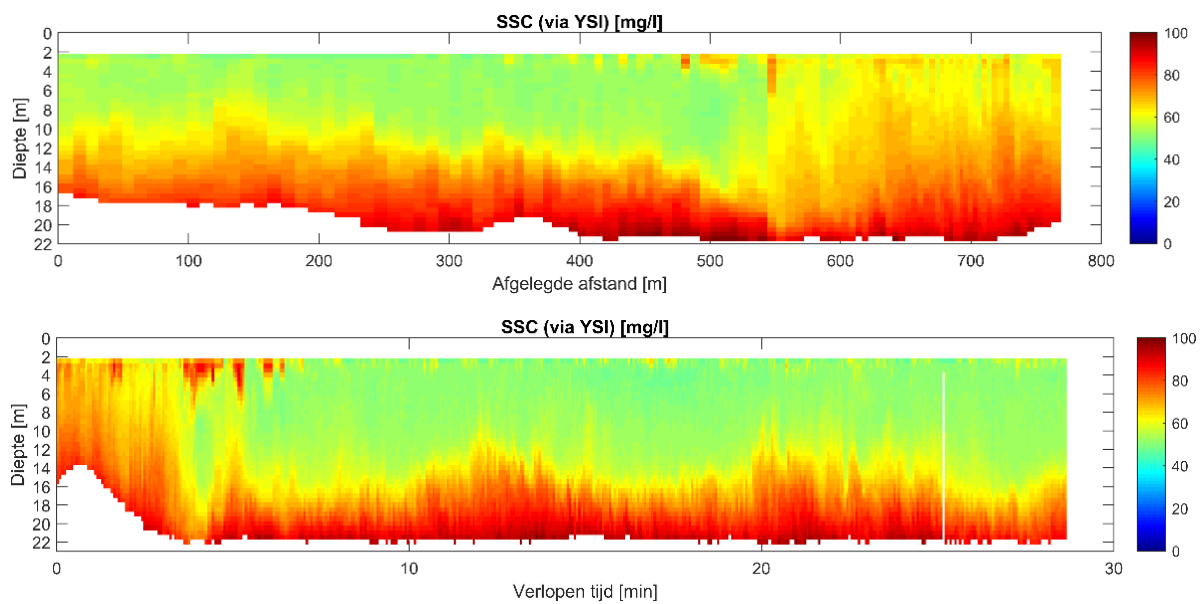
Tijdens de eerste meetdag werd zowel varend (dwarsraai) als stationair gemeten. De stationaire punten liggen zowel langs de groene boeizijde (B49), de rode boeizijde (B42) als centraal in de vaargeul (Figuur 1). De dwarsraai is gelegen tussen de stationaire punten ter hoogte van de boeienlijn (i.e. tussen B49 en B42).

Figuur 8 geeft het verloop van de afgeleide sedimentconcentratie weer rond het moment van maximum vloed, zowel voor een dwarsraai als stationair ter hoogte van B49. Op de dwarsraai valt het op dat de gradiënt over het dwarsprofiel een variatie kent: over het eerste 2/3 van de raai (0 – 550 m, dus eerder aan de buitenbocht) is er een duidelijke gradiënt over de verticale zichtbaar, waarbij de concentratie in de bovenste helft van de waterkolom ca. 50 mg/l bedraagt en ca. 100 mg/l nabij de bodem in het laatste 1/3 van de raai is deze gradiënt minder uitgesproken en komen er ook hogere concentraties (~ 70 mg/l) voor in de bovenste helft van de waterkolom.

Ter hoogte van B49 is er initieel (HW - 60') een beperkte gradiënt over de verticale aanwezig, die na 5' verandert in een sterke gradiënt over de waterkolom. De concentraties zijn hier gelijkaardig aan deze gemeten op de dwarsraai. Wel dient opgemerkt te worden dat de bodemligging de eerste 5 minuten ondieper is dan de rest van de tijd in de stationaire meting, wat wijst op een verschil in meetlocatie. Dit kan toegeschreven worden aan de manier van meten, waarbij het meetschip ter plaatse gehouden werd op de motor (zonder uitleggen anker), waardoor de invloed van de stroming moeilijker te compenseren valt en het aanhouden van exact dezelfde positie quasi onmogelijk is.

In Bijlage A – Verloop stroomsnelheid en SSC - dag 1 wordt voor alle metingen het verloop (in ruimte voor dwarsraaien, in tijd voor stationaire metingen) van de stroomsnelheid, de sedimentconcentratie (SSC) en de diepte-gemiddelde waarden weergegeven.

Figuur 8 – Sedimentconcentratie rond het moment van maximum vloed tijdens meetdag 1
dwarsraai B42 (links – 0 m) – B49 (rechts – 760 m) (boven) en stationair ter hoogte van B49 (onder, 0' ~ HW-60')



4 Resultaten dag 2 (01/08/2019)

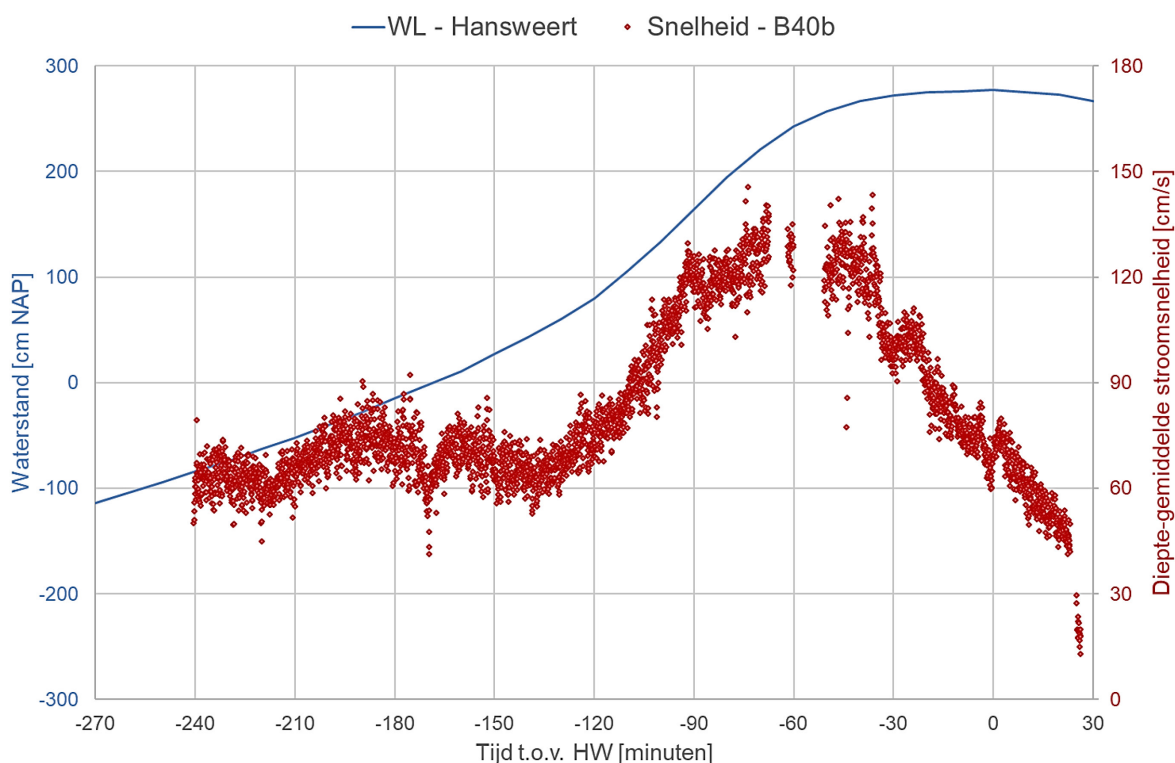
In de volgende paragrafen worden de resultaten gepresenteerd per toestel. Bij de Delftse fles wordt onmiddellijk het sedimenttransport gemeten, terwijl bij de indirecte toestellen de sedimentconcentratie wordt afgeleid na kalibratie uit het gemeten signaal. Combinatie van de sedimentconcentratie met de snelheid laat toe het sedimenttransport te bepalen.

Tijdens deze meetdag werd louter stationair gemeten, ter hoogte van boei 40b (Figuur 1).

4.1 Waterstanden

Figuur 3 geeft het verloop van de waterstand te Hansweert weer. De stijging tijdens de meetdag bedroeg 487 cm, wat overeenkomt met een redelijk springtij. Ter vergelijking: over de periode 2011-2015 bedroeg het gemiddeld getijverschil te Hansweert 449 cm, terwijl dit bij springtij 506 cm bedroeg (Hertoghs *et al.*, 2018). Deze stijging is ook iets hoger dan deze op de eerste meetdag (463 cm).

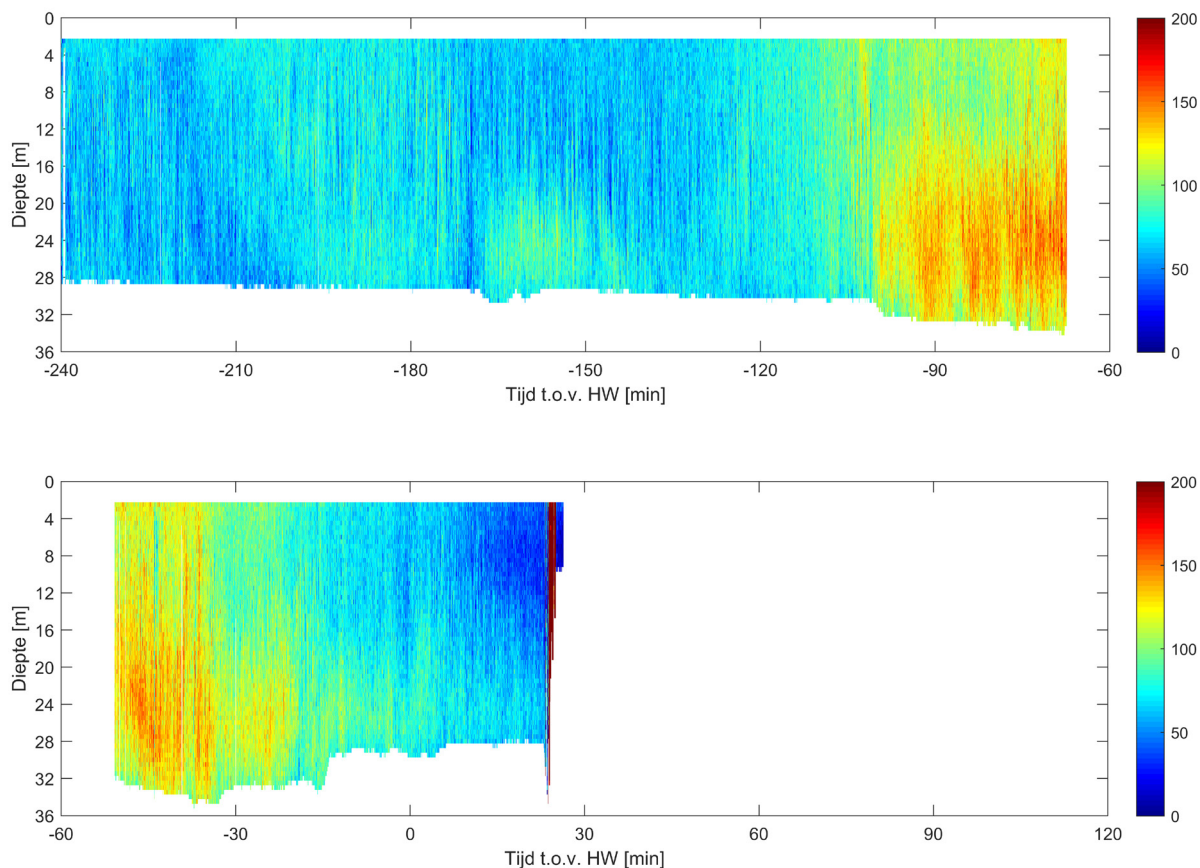
Figuur 9 – Verloop waterstand en stroomsnelheid tijdens meetdag 2 (01/08/2019)



4.2 Stroming

Tijdens de tweede meetdag werd enkel stationair gemeten nabij boei 40b (Figuur 1). Figuur 9 geeft het verloop van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid weer ter hoogte van dit punt. De hoogste snelheden (~ 140 cm/s) werden gemeten in de periode tussen 90 en 30 minuten voor hoogwater. Figuur 10 geeft het verloop van de stroomsnelheid weer met de variatie over de diepte. Hierbij valt op dat de hoogste stroomsnelheden werden gemeten onderaan de waterkolom, in tegenstelling van wat klassiek bij een logaritmisch stroomprofiel wordt waargenomen (i.e. hoogste snelheden nabij wateroppervlak). Het verschil tussen de stroomsnelheden in deze onderste laag van de waterkolom en de zone nabij het wateroppervlak kan oplopen tot 20 à 40 cm/s, wat aanzienlijk is. Dit verloop over de verticale werd ook in vroegere metingen ter hoogte van de diepe put van Borssele vastgesteld (Svasek Hydraulics, 2013).

Figuur 10 – Stroomsnelheid (in cm/s) nabij boei 40b voor periode rond maximum vloed tijdens meetdag 2 (01/08/2019))



4.3 Sedimenttransport

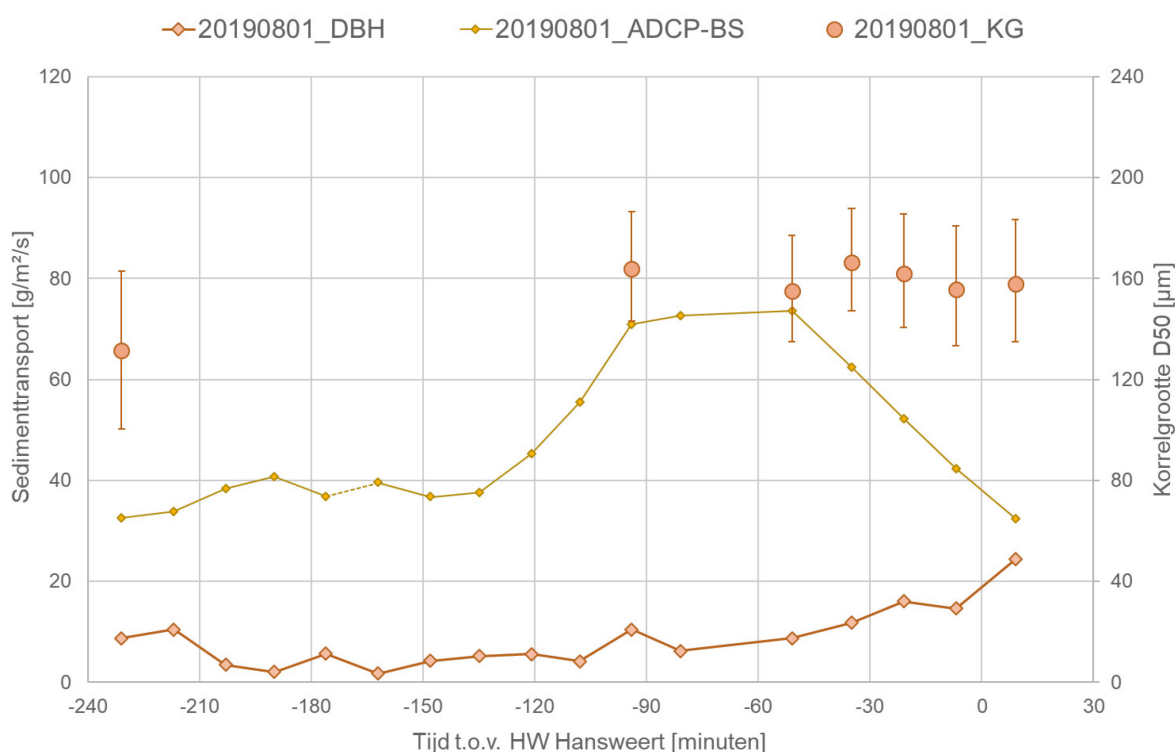
4.3.1 Delftse fles

Tijdens de meetcampagne werd de opgehangen Delftse fles gebruikt voor het bepalen van het suspensie transport. De opgehangen Delftse fles werd opnieuw in het onderste derde (tussen 64% en 92%) van de waterkolom gepositioneerd, in de veronderstelling dat het sedimenttransport in de bovenste helft van de waterkolom minder uitgesproken is. Naast het sedimenttransport (direct afgeleid uit de sedimentvolumes afgevangen in de fles) werden voor een selectie van de monsters ook de korrelverdeling bepaald in de laboratorium.

Figuur 11 geeft het verloop weer van zowel het sedimenttransport als de mediane korrelgrootte (D50) en de D35 en D65 (weergegeven d.m.v. foutbalken). De gemeten transporten (maximaal 25 g/m²/s) blijven zeer beperkt gedurende de volledige meetperiode. Deze waarde ligt beduidend lager dan de maximale transporten gemeten op andere locaties in de Westerschelde (zie § 3.3.1). Op basis van de metingen met de Delftse fles komt het klassieke patroon, met een piek op het moment van maximale vloedstroming niet naar voor, maar werden de hoogste transporten gemeten net na hoogwater.

De mediane korrelgrootte vertoont een zeer beperkte variatie, veelal rond 160 µm, met ietwat lagere waarde bij aanvang van de metingen (135 µm).

Figuur 11 – Verloop sedimenttransport (ADCP en Delftse fles) en D50 (Delftse fles) tijdens meetdag 2 (01/08/2019)
DBH = opgehangen Delftse fles | KG = korrelgrootte (foutbalken geven D35 en D65 weer)

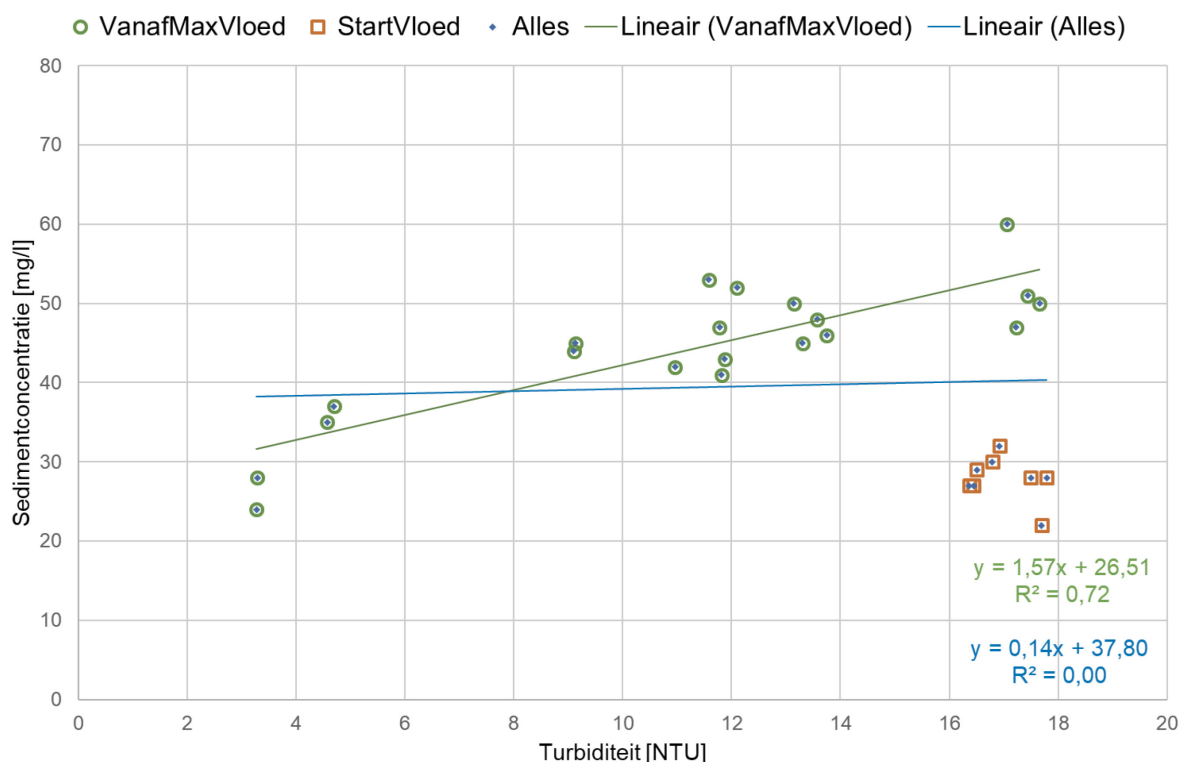


4.3.2 YSI - Optische backscatter

Kalibratie

Om het optische backscatter signaal (OBS) om te rekenen naar sedimentconcentraties dient een kalibratie te gebeuren met gekende sedimentconcentraties (SSC), bepaald uit waterstalen. Figuur 12 geeft de relatie weer tussen de turbiditeit (in NTU) gemeten door de YSI-multiparametersonde en de overeenkomstige sedimentconcentratie afgeleid uit de pompstalen (mg/l). Indien alle stalen in beschouwing worden genomen, wordt er een zeer slechte correlatie vastgesteld. Een aanzienlijke verbetering wordt waargenomen wanneer de eerste stalen, genomen tussen HW – 200' en HW – 90', worden weggelaten.

Figuur 12 – Relatie tussen de turbiditeit (YSI) en SSC pompstalen op de 2^e meetdag



Een mogelijke oorzaak kan een verschil in sedimentsamenstelling zijn, waar in de periode van maximum vloed meer zand getransporteerd wordt, terwijl in de initiële vloedfase meer slib in de waterkolom aanwezig is (eventueel afkomstig van het afwaartse gelegen platencomplex Molenplaat – Rug van Baarland), dat aanleiding geeft tot een andere respons van de turbiditeitsensor.

In (Fremau, 2019) is onderzoek verricht in gecontroleerde omstandigheden naar de relatie tussen turbiditeit en sedimentconcentratie; Hierbij is uitgegaan van de algemene vergelijking (Sutherland *et al.*, 2000) die de relatie beschrijft tussen de output van de optische backscatter sensor en de sedimenteigenschappen:

$$T \sim F = \frac{3}{2} \cdot \frac{V \cdot E \cdot C \cdot Q_B}{\rho \cdot D}$$

Met: T = turbiditeit [NTU]

F = stralingsstroom van licht-energie verstrooid door het staal [W]

V = volume van het staal [cm³]

E = straling, uitgezonden door toestel, dat op het staal valt [W/cm²]

C = sedimentconcentratie [g/l]

Q_b = verstrooiingsefficiëntie [-]

ρ = densiteit sediment [g/cm³]

D = korrelgrootte [μ m]

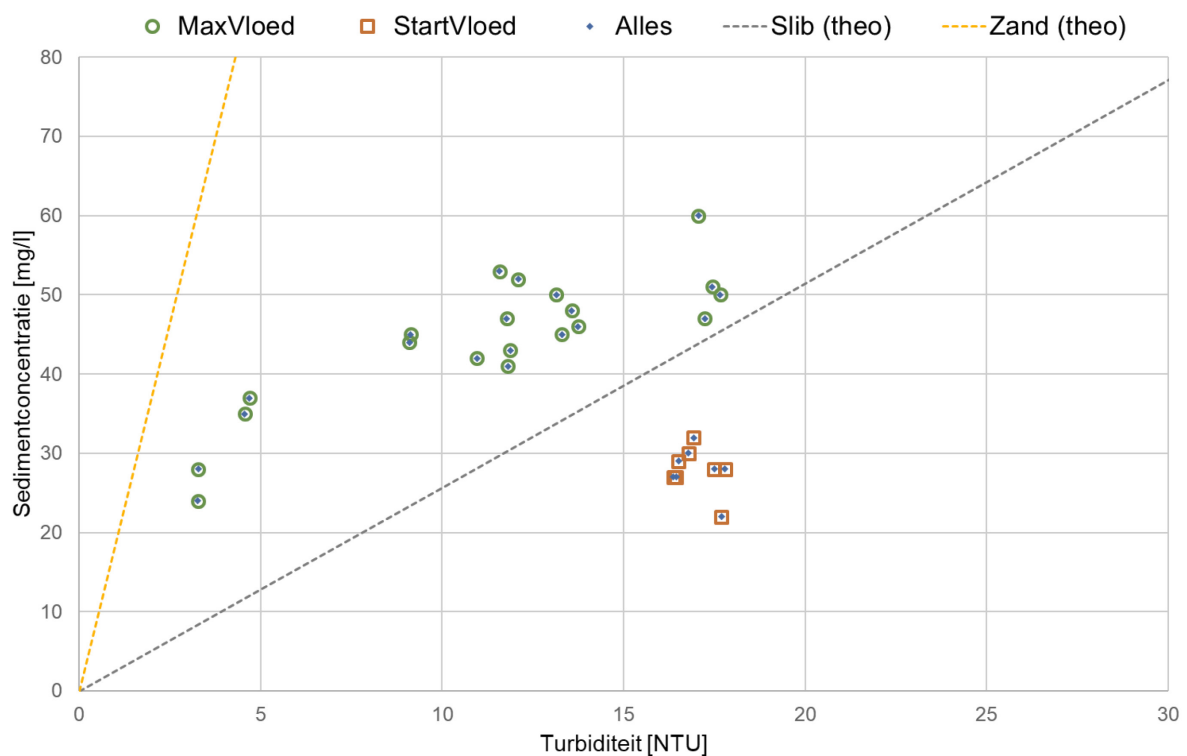
Deze formule kan vereenvoudigd worden tot een relatie tussen de sedimentconcentratie en de turbiditeit met daarnaast de densiteit, de diameter en een overkoepelende parameter (Q_c):

$$C = \frac{2}{3} \cdot \frac{\rho \cdot D \cdot T}{Q_c}$$

Binnen dit onderzoek werd voor een aantal sedimenten, waaronder zand uit de Westerschelde verzameld ter hoogte van Hansweert en slib uit de Zeeschelde, de waarde van de overkoepelende parameter Q_c bepaald. Op deze manier kan de theoretische relatie opgesteld worden, zowel voor zand ($D_{50} = 146 \mu\text{m}$) als voor slib ($D_{50} = 33 \mu\text{m}$), die weergegeven wordt in Figuur 13. Hieruit blijkt dat het merendeel van de waarden tussen beide theoretische rechten ligt. De punten behorend bij de initiële vloedfase vallen hier buiten, wat zou kunnen verklaard door de aanwezigheid van een fijnere slibfractie. Dit wordt bevestigd door de korrelverdeling van (weliswaar maar) één waterstaal dat een bimodale verdeling opleverde met één piek rond $10 \mu\text{m}$ en een tweede piek rond $180 \mu\text{m}$.

Hoewel er geen zekere onderbouwing mogelijk is, is, gelet op de focus van deze meting tijdens maximum vloed, ervoor gekozen de kalibratie van de turbiditeit uit te voeren op basis van de stalen tijdens maximum vloed en de stalen uit de initiële vloedfase te negeren.

Figuur 13 – Relatie tussen de turbiditeit (YSI) en SSC pompstalen op de 2^e meetdag, inclusief theoretische relaties



4.3.3 ADCP – Akoestische backscatter

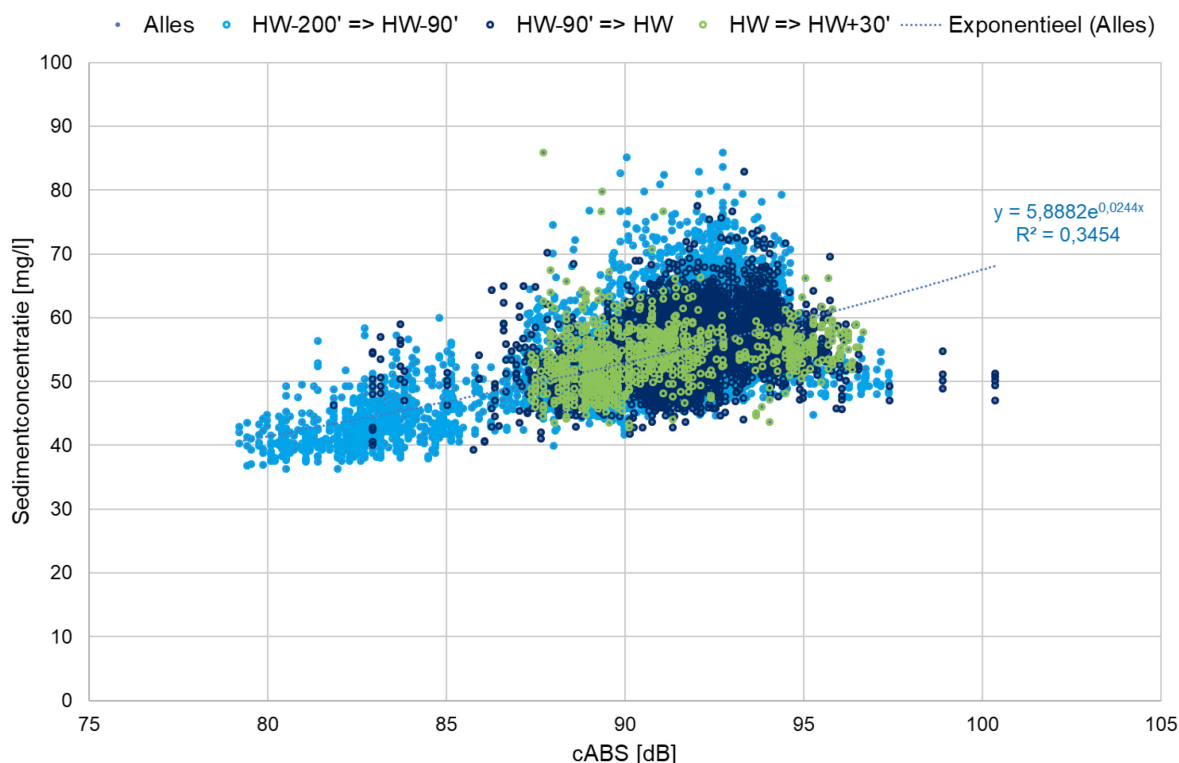
Kalibratie

Aangezien de kalibratie van het gecorrigeerde akoestische backscatter signaal (cABS) met de sedimentconcentraties (SSC), bepaald uit waterstalen aanleiding geeft tot een slechte correlatie (Figuur 6), is ervoor geopteerd een alternatieve methodiek te volgen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de uit de gemeten turbiditeit afgeleide sedimentconcentratie (Figuur 14). Dit geeft aanleiding tot een betere correlatie, maar er kan opgemerkt worden dat er nog steeds een grote spreiding aanwezig blijft. Deze variatie werd ook bij eerdere meetcampagnes vastgesteld (Plancke *et al.*, 2019; Vandebroek *et al.*, 2017).

Om meer inzicht te krijgen in de spreiding, werd in Figuur 14 een opdeling gemaakt in de tijd, waarbij een onderscheid is gemaakt tussen de initiële vloedfase (HW – 200' tot HW – 90'), de periode van maximum vloed (HW – 90' tot HW) en de periode rond de kentering (HW tot HW + 30'). Deze indeling, die gebaseerd op de verwachting dat andere sedimenten worden getransporteerd in de verschillende fases van het getij, levert geen verklaring voor de optredende spreiding. Aangezien er geen bijkomende informatie beschikbaar is over de sedimentsamenstelling tijdens de meting (bv. aan de hand van de LISST-100X), is het onmogelijk meer inzicht te krijgen in de oorzaken van de optredende variatie.

Binnen voorliggend rapport is er voor gekozen het akoestische backscatter signaal (ABS) te kalibreren naar sedimentconcentratie aan de hand van de correlatie uit Figuur 14, dit voor beide meetdagen.

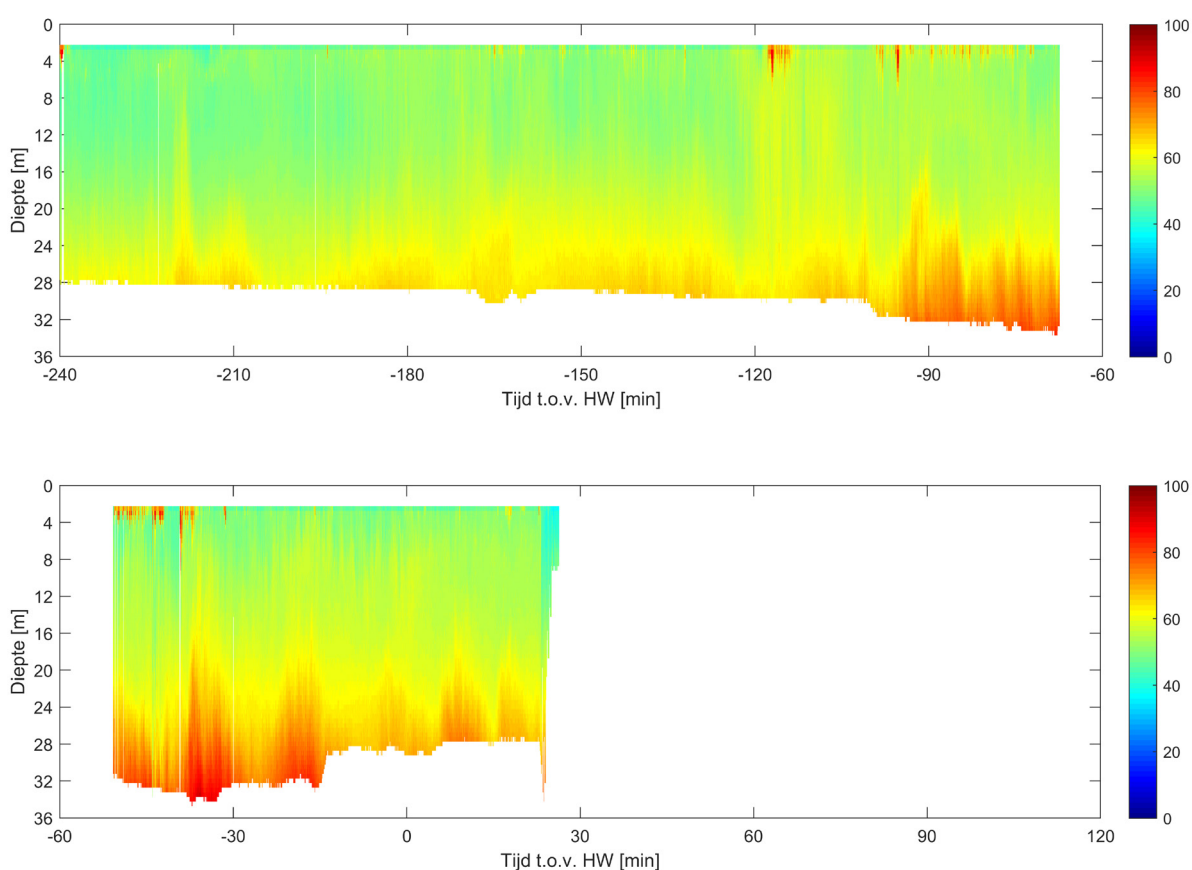
Figuur 14 – Relatie tussen gecorrigeerde ABS (ADCP) en SSC uit turbiditeit YSI op meetdag 2



Sedimentconcentratie

Figuur 15 geeft het verloop van de afgeleide sedimentconcentratie weer tijdens de tweede meetdag. De sedimentconcentratie is het hoogste in de periode tussen HW - 90' en HW - 15', wanneer ook de hoogste stroomsnelheden werden gemeten. De waarden zijn het hoogst nabij de bodem (piekwaarde ~ 100 mg/l) en nemen af hoger in de waterkolom (~ 50 mg/l). In vergelijking met eerdere metingen, zijn deze gemeten concentraties aan de lage kant (bv. in (Plancke *et al.*, 2019) worden langs de rand van de Platen van Ossenisse concentraties waargenomen tot 1000 mg/l). Ook nabij het oppervlak worden schijnbaar hogere concentraties waargenomen, doch deze zijn waarschijnlijk te wijten aan turbulenties in de zone van de waterkolom.

Figuur 15 – Sedimentconcentratie (in mg/l) nabij boei 40b voor periode rond maximum vloed tijdens meetdag 2 (01/08/2019))



5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Ten behoeve van de invulling van de toekomstige stortstrategie in de Westerschelde is het van groot belang in te kunnen schatten hoe snel en hoeveel de gestorte specie zal getransporteerd worden. Om antwoord te geven op deze kennisvraag, werden door het Waterbouwkundig Laboratorium stromings- en sedimenttransportmetingen uitgevoerd tijdens de periode van maximum vloedstroming nabij de diepe put van Hansweert, waar in de loop van 2019 en 2020 een stortproef met 1 Mm³ zal uitgevoerd worden. De stroming werd gemeten met een ADCP, terwijl het sedimenttransport werd gemeten met zowel directe (pomp, Delftse fles) als indirecte (ABS, OBS) technieken voor het bepalen van het sedimenttransport. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gebruikte techniek (ADCP en bijbehorende ABS) niet toelaat in de zone vlakbij de bodem te meten.

Tijdens de eerste dag werden de metingen uitgevoerd langs de opwaartse kant van de put, waarbij zowel op een dwarsraai (B42 – B49) als stationair gemeten werden. De hoogste stroomsnelheden werden gemeten in het midden van de geul (tot 170 cm/s), terwijl de gemeten sedimentconcentraties beperkt bleven tot maximaal 100 mg/l (nabij de bodem).

Tijdens de tweede dag werden de metingen uitgevoerd langs de afwaartse kant van de put, waarbij louter stationair (nabij B40b) gemeten werd. De hoogste stroomsnelheden (140 cm/s) werd gemeten ongeveer 60' voor hoogwater. Hierbij viel het op dat het verticaal profiel van de snelheid een maximum bereikte nabij het midden van de waterkolom en daarmee afwijkt van het klassieke logaritmische profiel. De gemeten sedimentconcentraties waren gelijkaardig aan dag 1 en bleven beperkt tot maximaal 100 mg/l (nabij de bodem).

5.2 Aanbevelingen

Tijdens deze meetcampagne werd enkel gemeten tijdens de periode van maximum vloed ter hoogte van 2 punten nabij de diepe put van Hansweert. Hierbij valt het op dat de gemeten sedimentconcentraties aanzienlijk lager liggen dan bij een eerdere meetcampagne in deze omgeving, weliswaar dichterbij de rand van de Platen van Ossensisse. Het verdient dan ook de aanbeveling de metingen uit te voeren over een langere periode met daarenboven specifieke aandacht voor de zone nabij de bodem (bv. door frame te plaatsen op de bodem), die binnen deze meetcampagne niet bemeaten werd (side-lobe-effect ADCP maakt het onmogelijk om in de onderste 7% van de waterkolom te meten²).

² Voor de diepe put van Hansweert met diepten tot 30 m diep betekent dit dat de onderste 2 m niet bemeaten wordt.

6 Referenties

Arcadis. (2015). PASSENDE BEOORDELING EN NATUURTOETS GEBRUIK PROEFSTORTLOCATIES VAARGEULONDERHOUD WESTERSCHDELDE. 148 pp.

Fremau, M. (2019). Kalibratie van een optisch indirect meettoestel voor het meten van sedimenttransport in een fysisch model. Universiteit Antwerpen. 56 pp.

Hertoghs, R.; Vereecken, H.; Boeckx, L.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2018). Vijfjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken: tijdvak 2011-2015. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 16_035_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=295302>

Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F. (2007). Alternatieve stortstrategie Westerschelde: verslag 13u meetcampagnes Walsoorden. *WL Rapporten*, 754/02B. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

IMDC. (2019). Monitoringprogramma Flexibel Storten, Voortgangsrapportage 2016-2017: Data- en analyserapport: Antwerpen. 347 pp.

Landers, M.N.; Straub, T.D.; Wood, M.S.; Domanski, M.M. (2016). Sediment Acoustic Index Method for Computing Continuous Suspended-Sediment Concentrations. *U.S. Geol. Surv. Tech. Methods, B. 3, Chap. C5*. ISBN 9781411340619. 63 pp. Available at: <http://pubs.usgs.gov/tm/03/c05/tm3c5.pdf>

Lohrmann, A. (2001). Monitoring Sediment Concentration with acoustic backscattering instruments

Plancke, Y.; Claeys, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Overleg Flexibel Storten: deelrapport 23. Stroming- en sedimentmeting ter hoogte van de diepe put van Hansweert. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 00_031_23. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=289694>

Plancke, Y.; Ides, S.; Peters, J.J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 1. Historische morfologische analyse en interpretatie terreinmetingen. *WL Rapporten*, 791/06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (2018). Agenda voor de toekomst - Morfologie Mesoschaal: deelrapport 14. Bodemtransport nabij de Platen van Ossensisse op basis van een analyse van bodemvormen. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 14_024_14. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=301861>

Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (2019). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 31 – Stromings- en sedimenttransport metingen ter hoogte van de diepe put van Hansweert. 47 pp.

Sheng, J.; Hay, A.E. (1988). An examination of the spherical scatterer approximation in aqueous suspensions of sand. *J. Acoust. Soc. Am.* 83(2): 598–610. doi:10.1121/1.396153

Sutherland, T.F.; Lane, P.M.; Amos, C.L.; Downing, J. (2000). The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. *Mar. Geol.* 162(2–4): 587–597. Available at: <https://eprints.soton.ac.uk/12573/>

Svasek Hydraulics. (2013). Actualisatie van het FINEL2d model van de Westerschelde ten behoeve van Lange

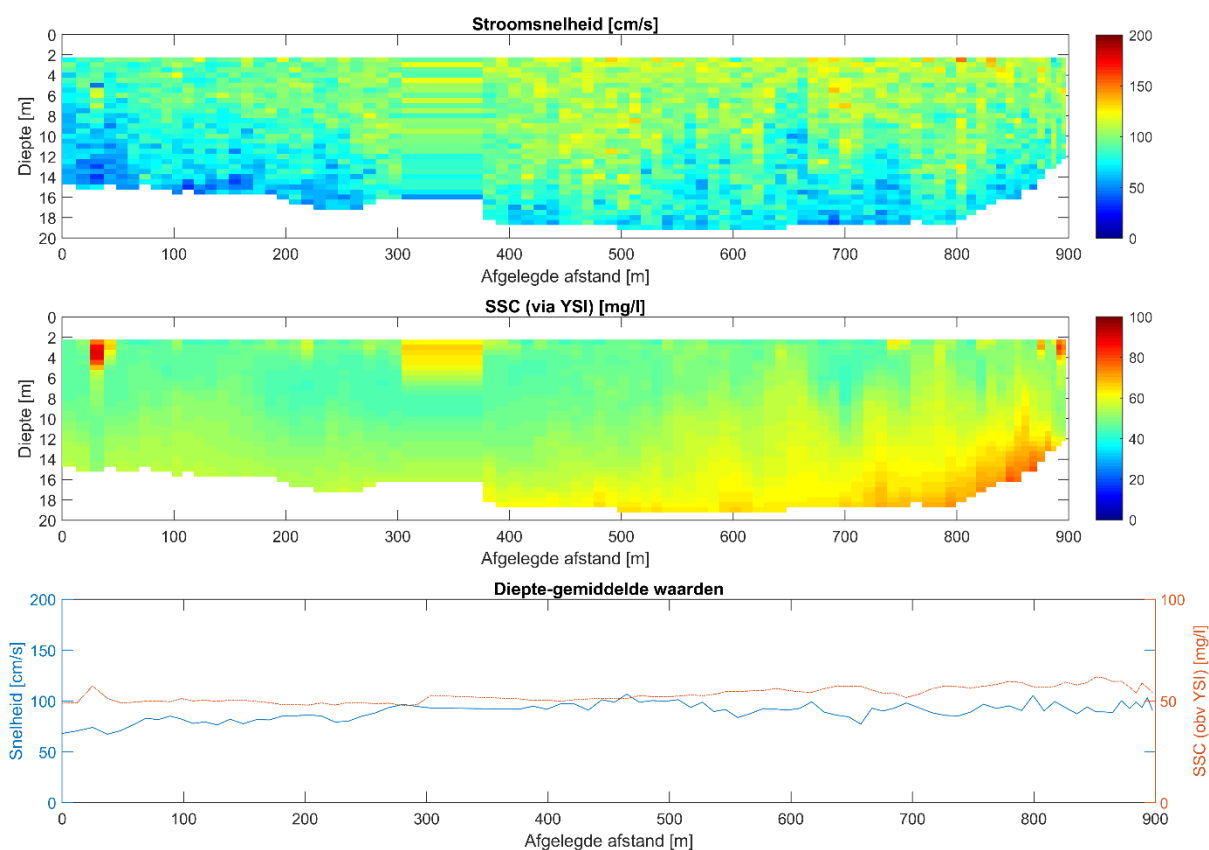
Termijn Visie Schelde-estuarium, Veiligheid en Toegankelijkheid (Achtergrondrapport A-26)

Urlick, R.J. (1983). Principles of Underwater Sound. 3rd ed. Peninsula Pub. ISBN 9780932146625. 444 pp.

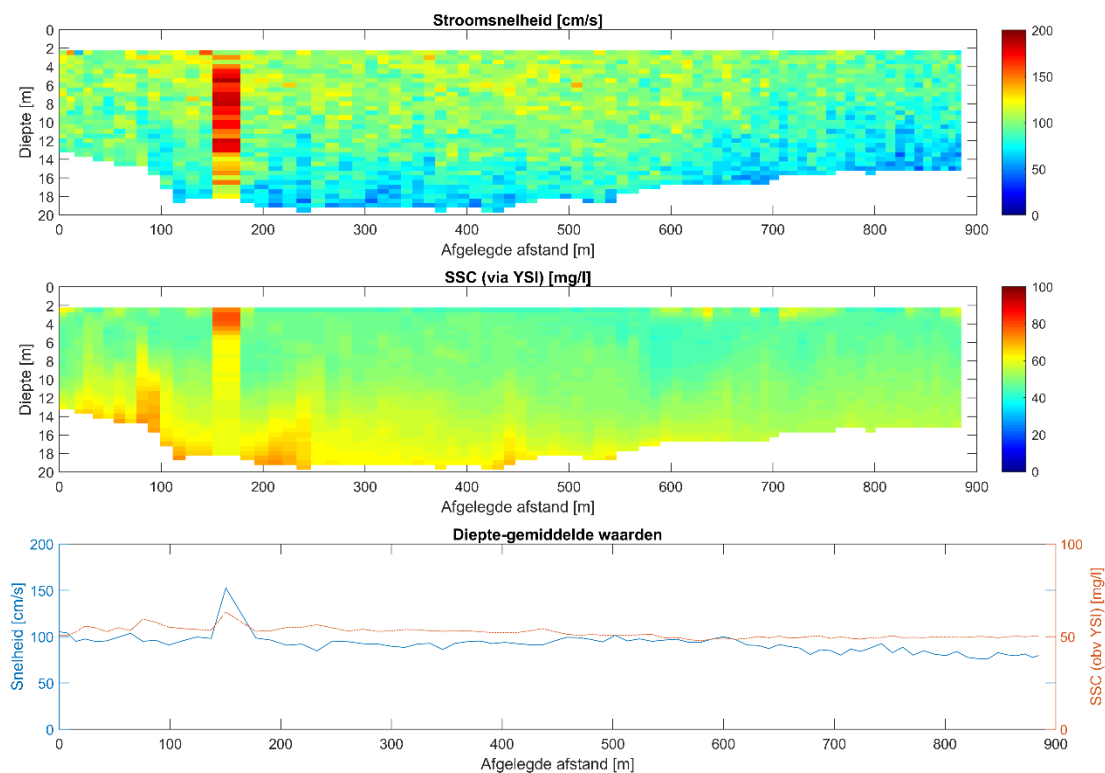
Vandebroek, E.; Claeys, S.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017). Agenda for the future – Mesoscale hydro- and sediment dynamics in the Schelde estuary: Sub report 10. Factual data report for measurements at Drempel van Hansweert in April/May 2016. Version 3.. *FHR reports*, 14_024_10. Antea Group: Antwerp

Bijlage A – Verloop stroomsnelheid en SSC - dag 1

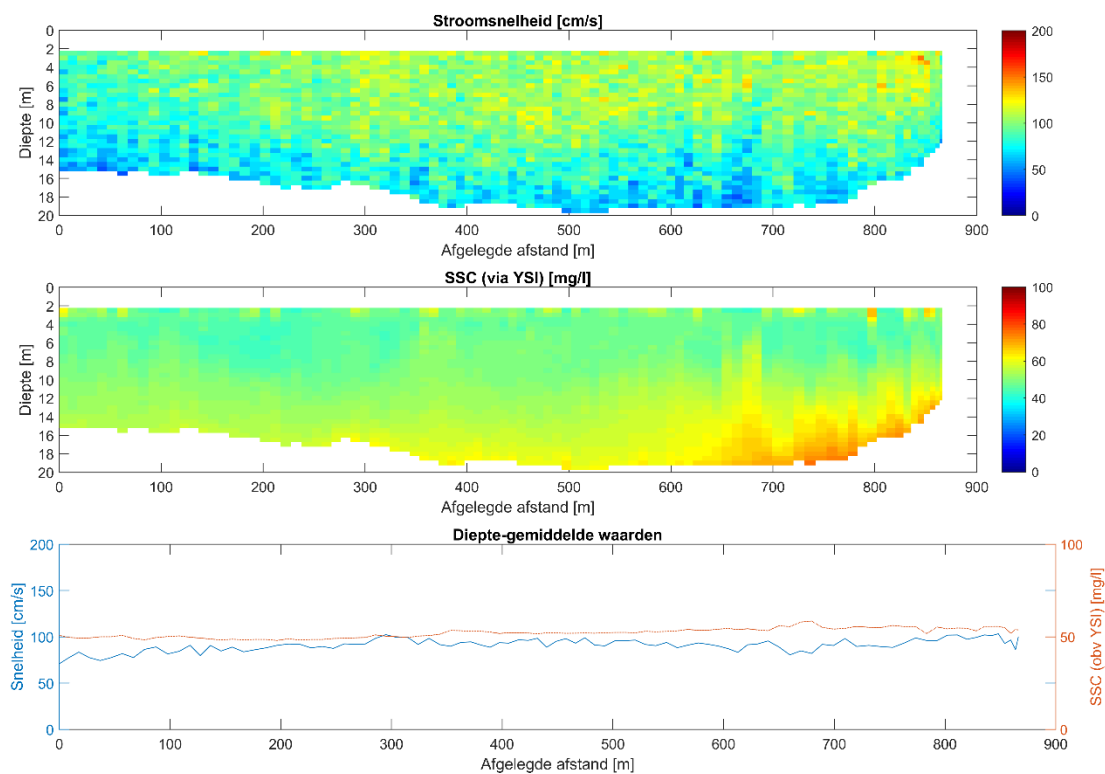
Figuur 16 – Dwarsprofiel 1 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)



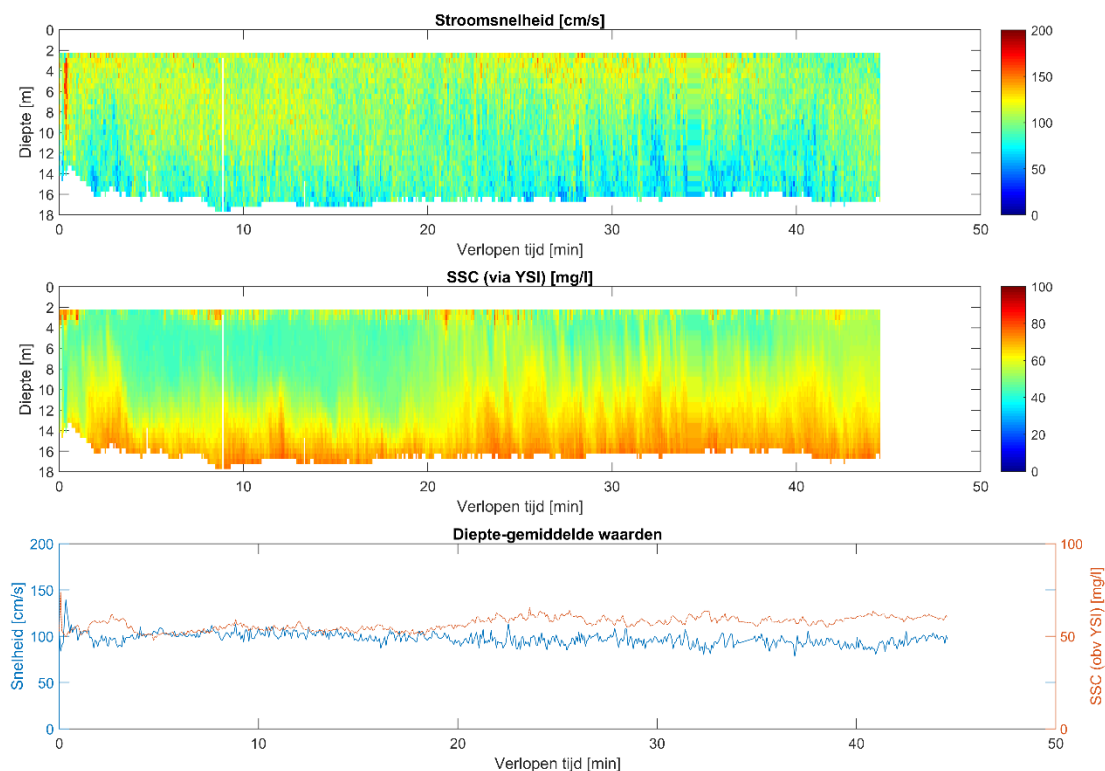
Figuur 17 – Dwarsprofiel 2 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)



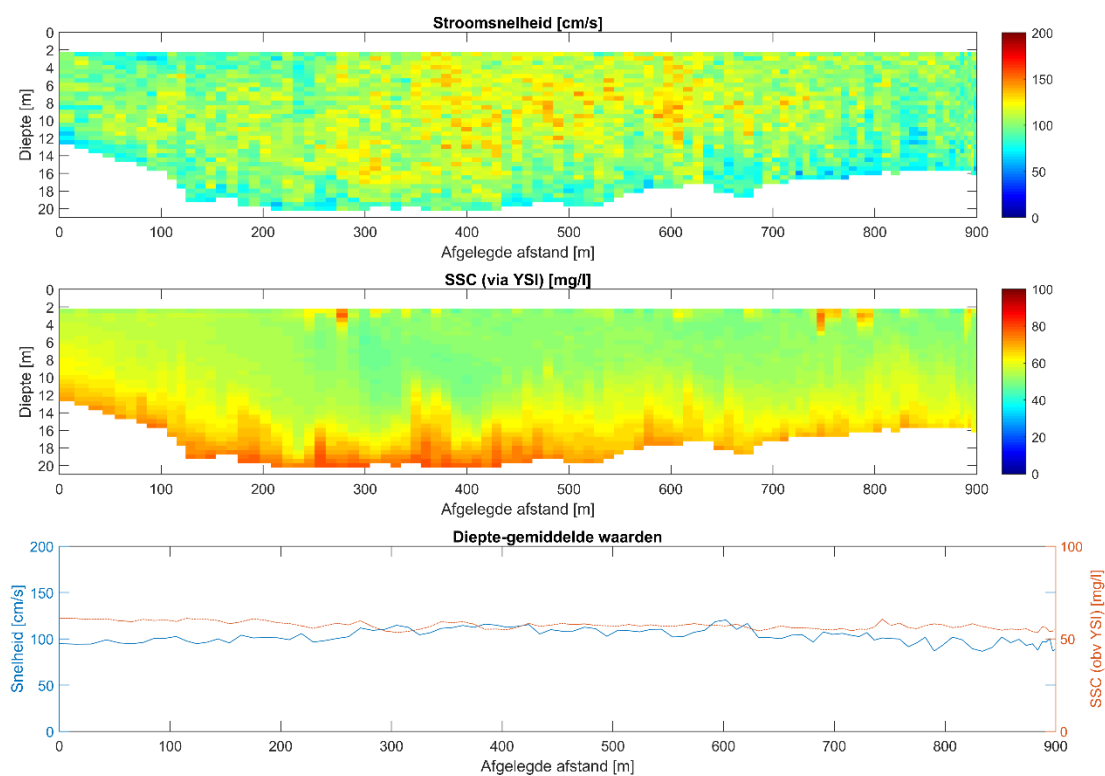
Figuur 18 – Dwarsprofiel 3 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)



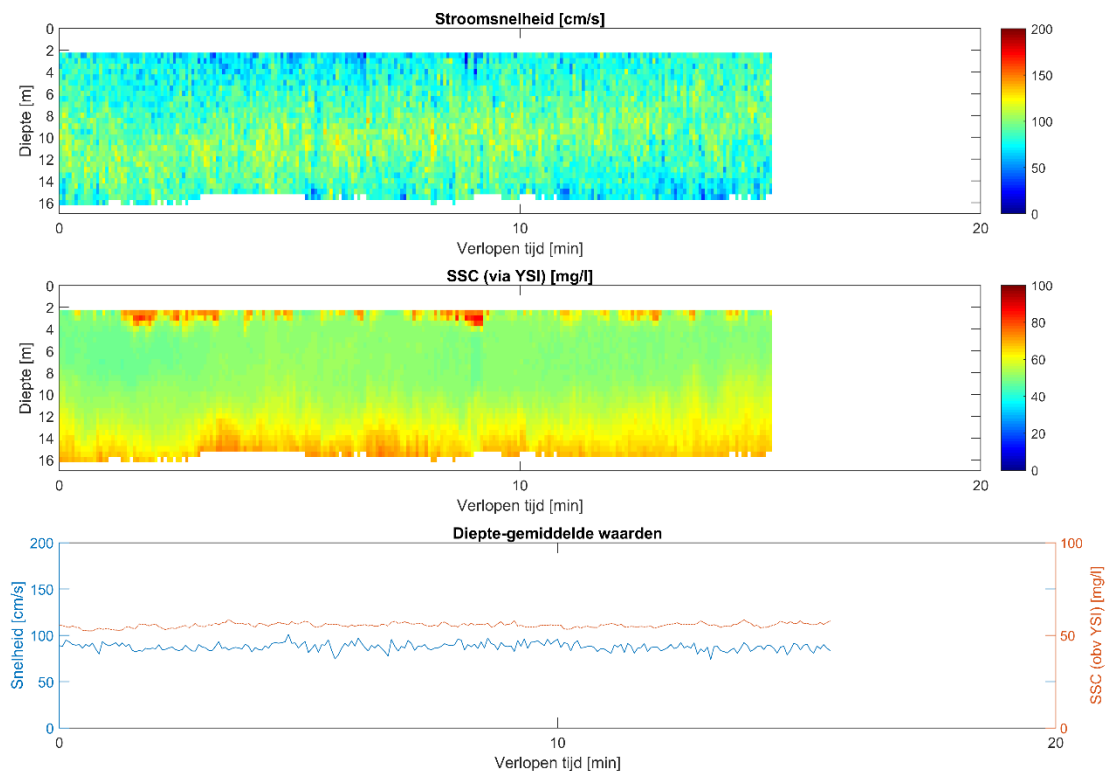
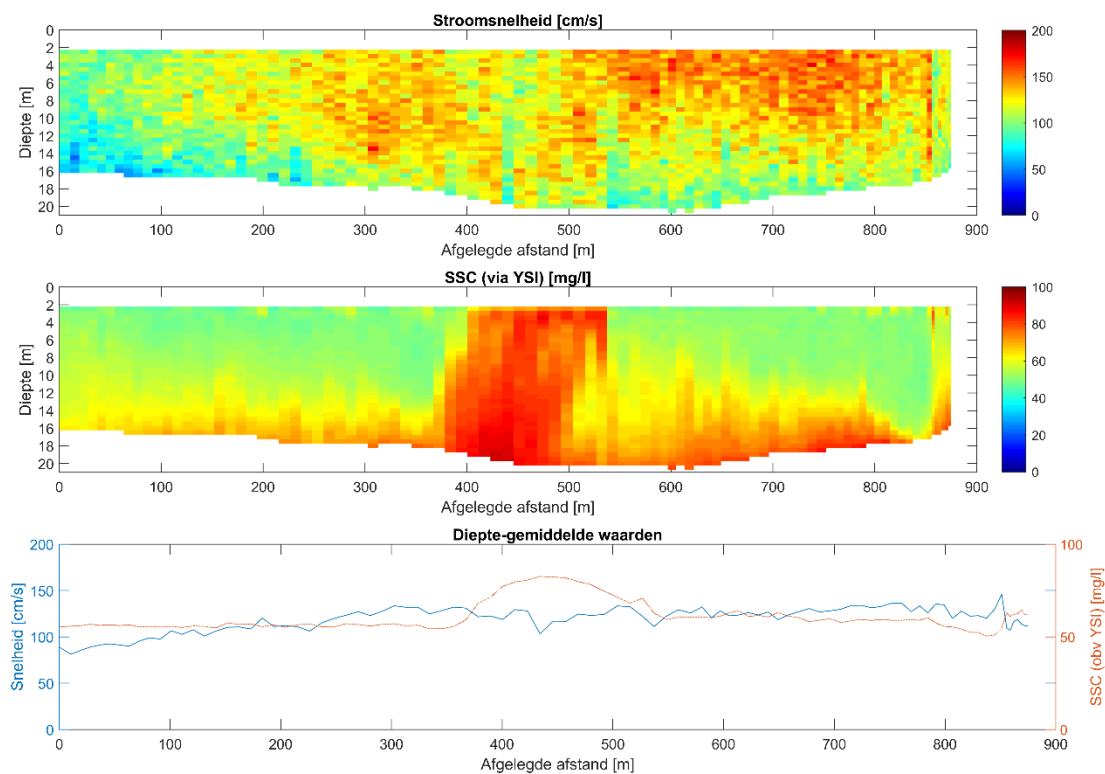
Figuur 19 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49



Figuur 20 –Dwarsprofiel 4 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)

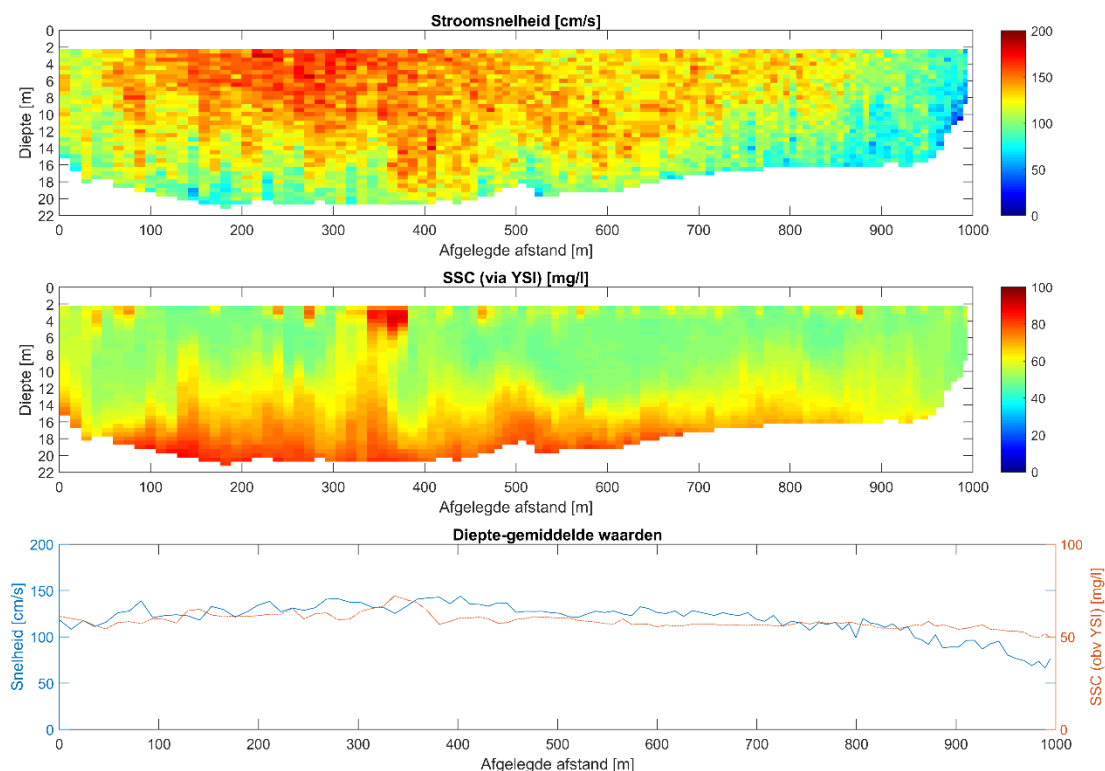


Figuur 21 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B42

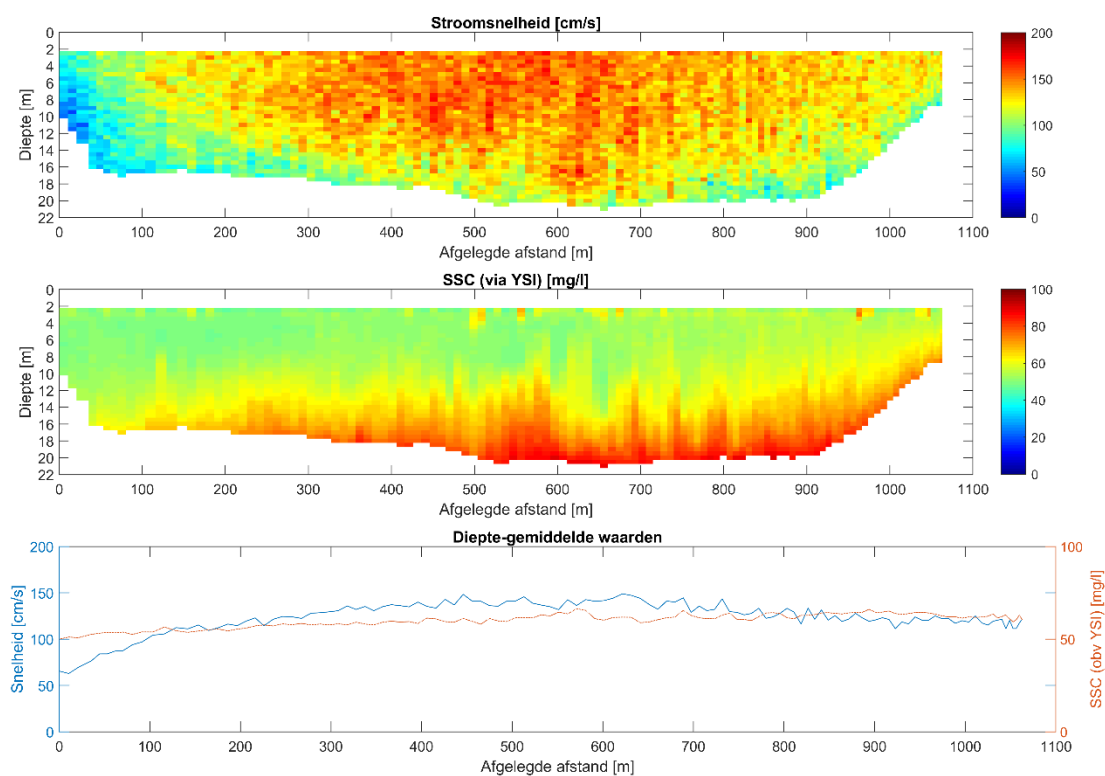
Figuur 22 –Dwarsprofiel 5 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 900 m)

Opmerking: schijnbaar verhoogde SSC te wijten aan schroefwater passerend schip (400-500 m)

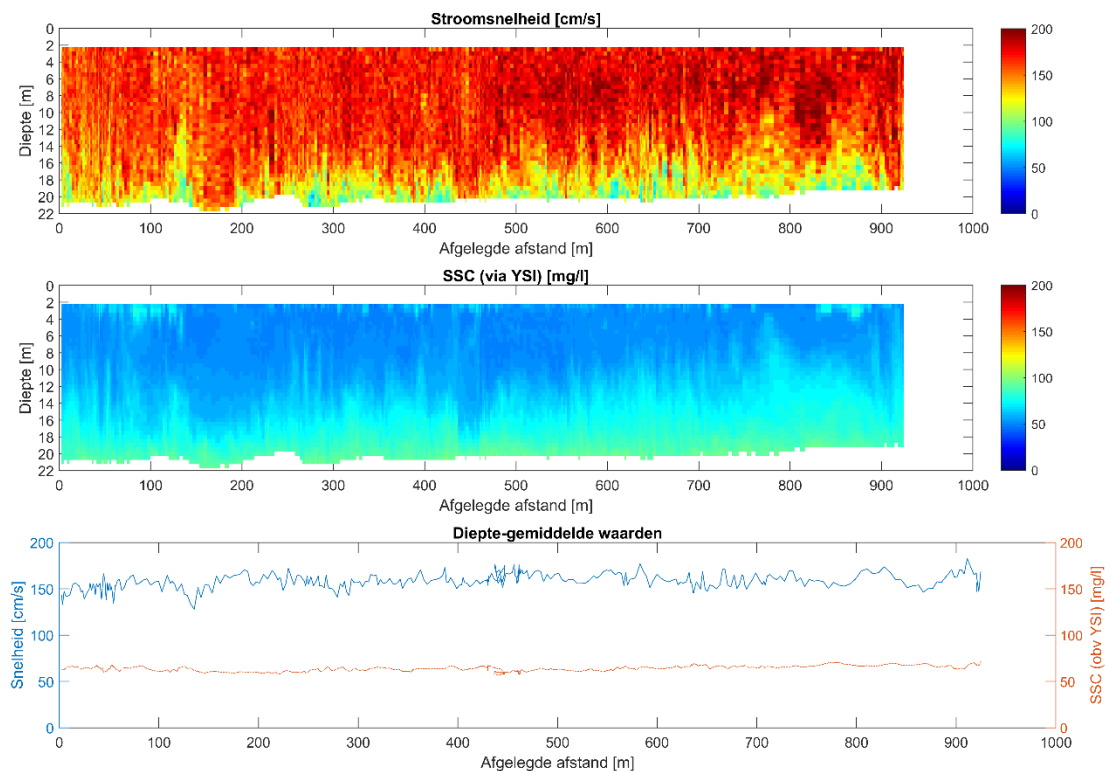
Figuur 23 – Dwarsprofiel 6 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)



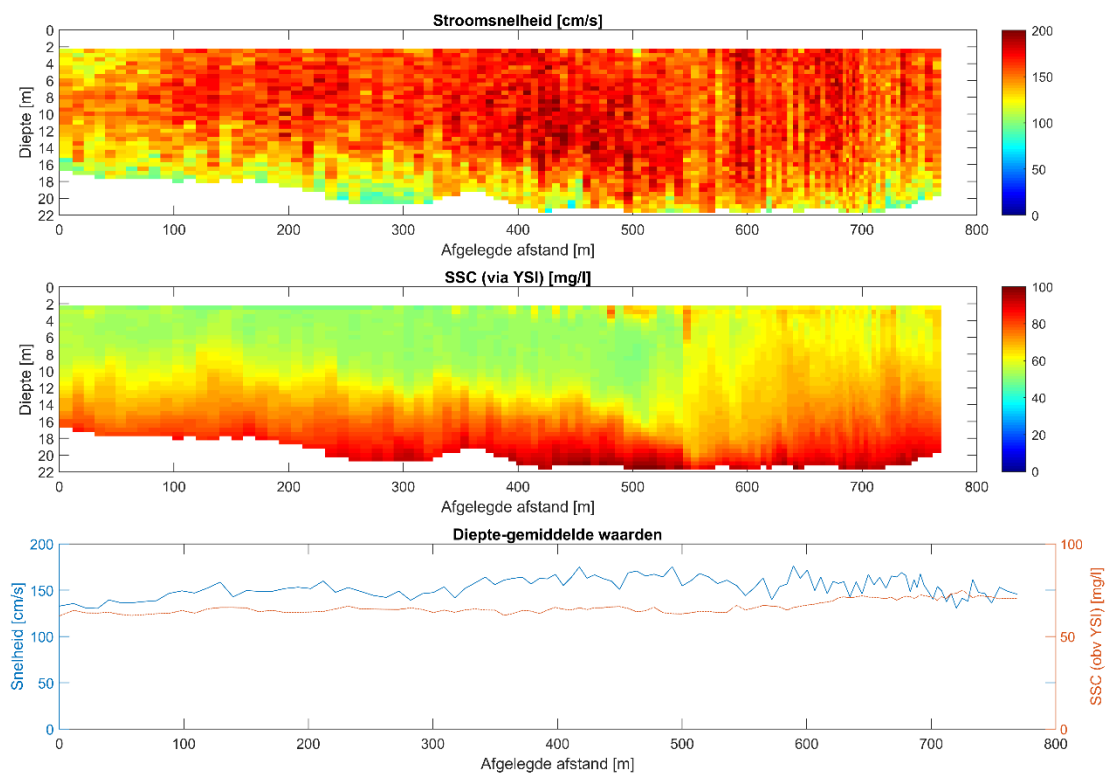
Figuur 24 – Dwarsprofiel 7 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 1100 m)



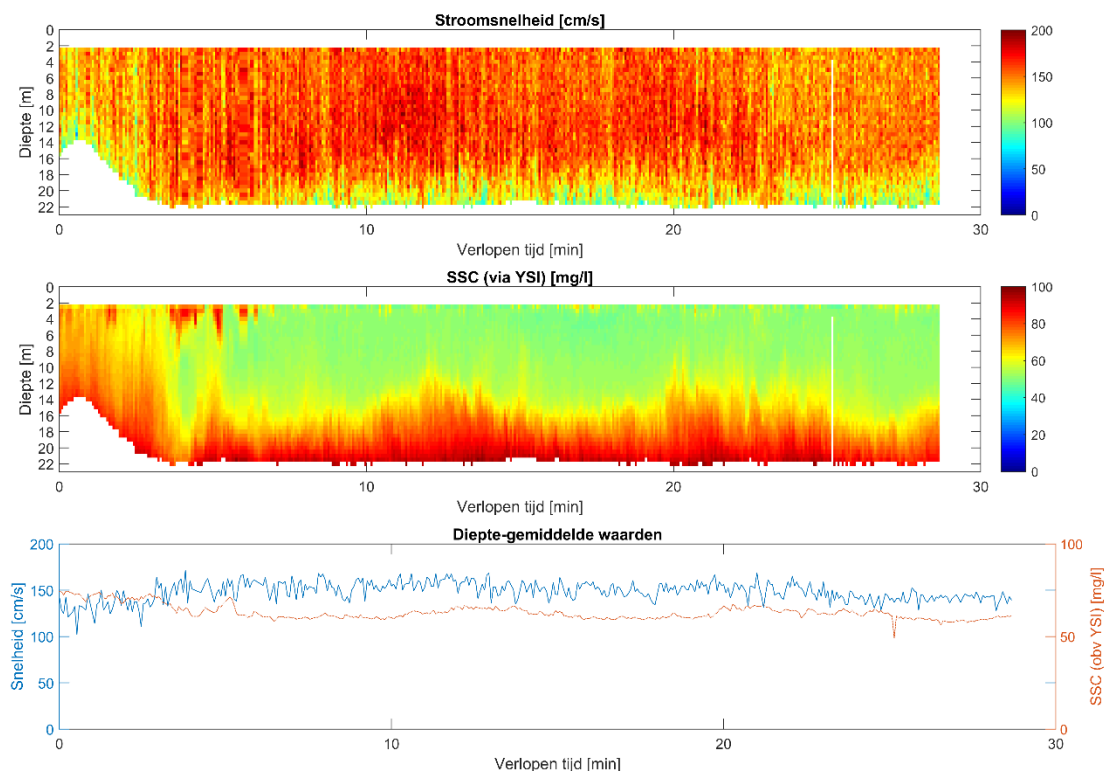
Figuur 25 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van mid vaargeul



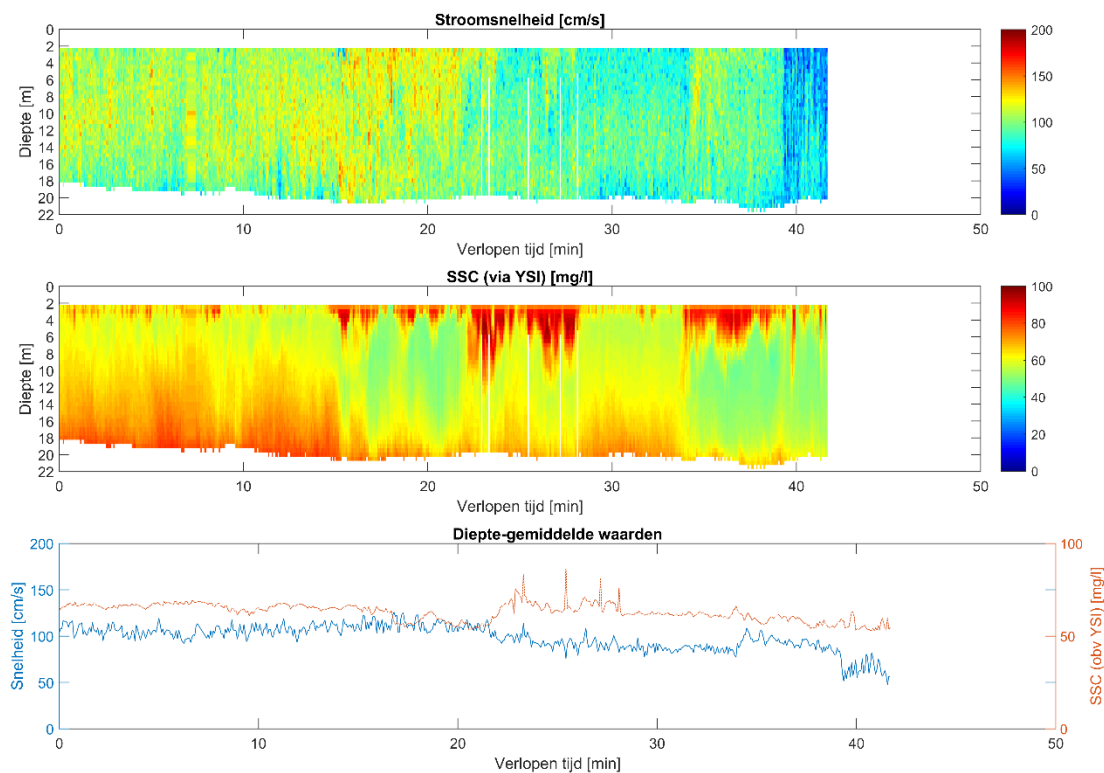
Figuur 26 –Dwarsprofiel 8 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B42 (links – 0 m) naar B49 (rechts – 760 m)



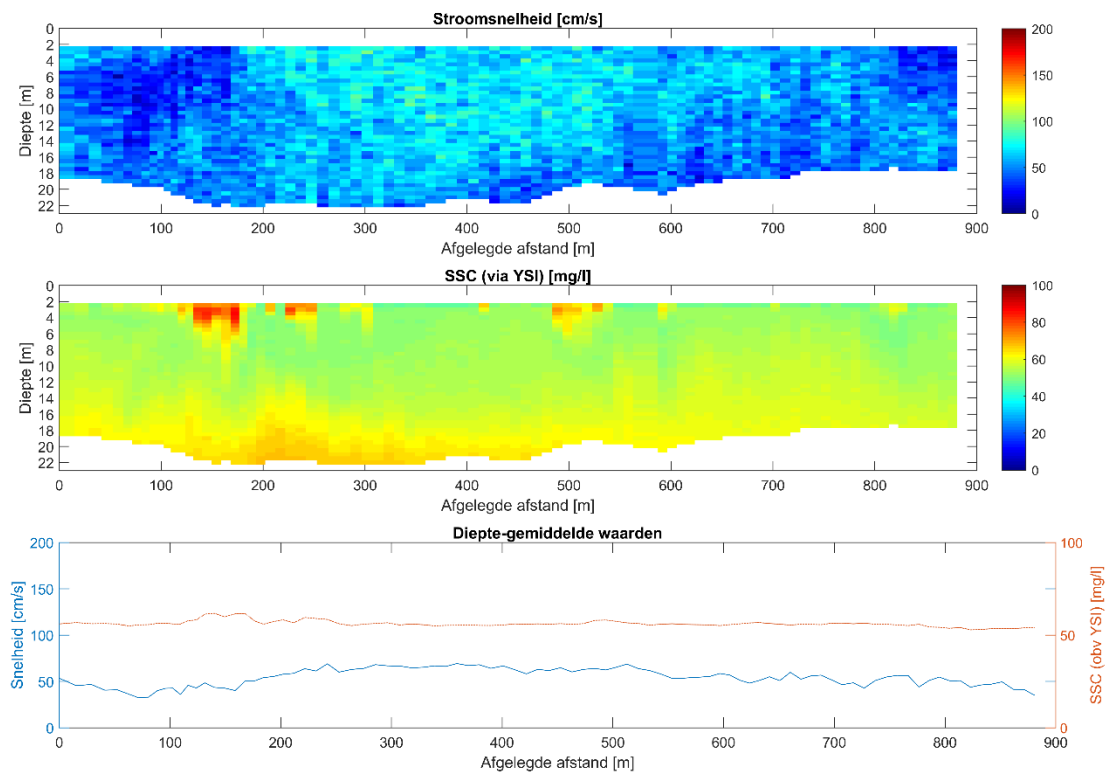
Figuur 27 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49



Figuur 28 –Stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder) ter hoogte van B49



Figuur 29 – Dwarsprofiel 9 stroomsnelheid (boven), SSC (midden) en diepte-gemiddelde waarden (onder)
Dwarsraai gevaren van B49 (links – 0 m) naar B42 (rechts – 900 m)



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