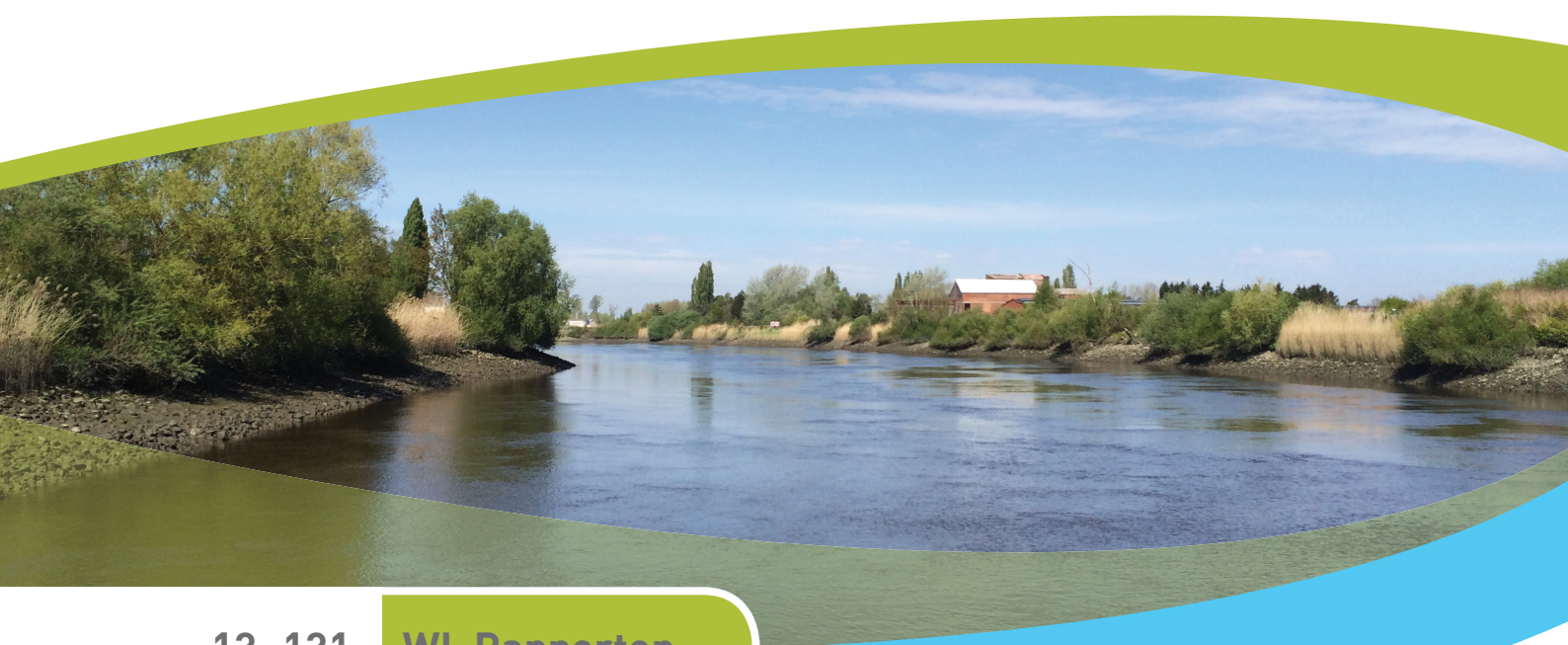




departement
*Mobiliteit en
Openbare Werken*

Integraal plan Boven-Zeeschelde

DEELRAPPORT 3: FACTUAL DATA-RAPPORT SEDIMENT TRANSPORT
METINGEN IN DE ZEESCHELDE IN 2014



13_131

WL Rapporten

Integraal plan Boven-Zeeschelde

Deelrapport 3 – Factual data-rapport sediment transport metingen in de Zeeschelde in 2014

Plancke, Y.; Vereecken, H.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.

Augustus 2014

WL2014R13_131_3

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Vereecken, H.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Integraal plan Boven-Zeeschelde: Deelrapport 3 – Factual data-rapport sediment transport metingen in de Zeeschelde in 2014. Versie 4.0. WL Rapporten, 13_131. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be


www.waterbouwkundiglaboratorium.be

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welk andere wijze ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Integraal plan Boven-Zeeschelde: Deelrapport 3 – Factual data-rapport sediment transport metingen in de Zeeschelde in 2014		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2014R13_131_3
Keywords (3-5):	Sedimenttransport, monitoring, Schelde-estuarium		
Tekst (p.):	39	Bijlagen (p.):	22
Vertrouwelijk:	<input type="checkbox"/> Ja	Uitzondering:	<input type="checkbox"/> Opdrachtgever
			<input type="checkbox"/> Intern
			<input type="checkbox"/> Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf: -	
	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur Plancke, Y.	Revisor Vereecken, H.	Projectleider Vanlede, J.	Coördinator Studie & Advies Verwaest, T.	Afdelingshoofd Mostaert, F.
				

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur(s)
1.0	12/08/2014	Conceptversie	Plancke, Y.
2.0	14/08/2014	Inhoudelijke revisie	Vanlede, J.
3.0	22/08/2014	Inhoudelijke revisie	Vereecken, H.
4.0	25/08/2014	Definitieve versie	Plancke, Y.

Abstract

In het kader van het project "Integraal plan Boven-Zeeschelde" zal door het Waterbouwkundig Laboratorium een numeriek model worden opgemaakt voor zowel de waterbeweging als het sediment transport. Dit model zal uitvoerig gekalibreerd en gevalideerd worden. Voor de waterbeweging wordt gebruik gemaakt van de jaarlijks bemeten MONEOS-raaien, echter voor het sediment transport ontbreken de nodig datasets.

Voorliggend rapport beschrijft de resultaten van de uitgevoerde stromings- en sediment transport metingen in de Zeeschelde die in het voorjaar van 2014 werden uitgevoerd. Hierbij werd op 8 locaties (6 MONEOS-locaties + Schellebelle en Dendermonde) zowel de stroomsnelheid als het zandtransport gemeten tijdens verschillende 13u-metingen (volledige getijcyclus).

De stroomsnelheden, debieten en sedimentfluxen op de MONEOS-raaien, alsook ter hoogte van Schellebelle en Dendermonde worden in afzonderlijke deelrapporten gerapporteerd.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	III
Lijst van de figuren	IV
1. Inleiding	1
1.1. Situering	1
1.2. Doelstellingen	1
1.3. Leeswijzer	2
2. Methodologie	3
2.1. Uitgevoerde metingen	3
2.1.1. Waterstanden	3
2.1.2. Stromingen	3
2.1.3. Sedimenttransport	4
2.1.4. Bodemonsters	5
2.1.5. Granulometrische analyse	6
2.2. Data-verwerking	6
2.2.1. Berekening totaal transport	6
3. Meetcampagne 1 – Schellebelle (15/04/2014)	8
3.1. Waterbeweging	8
3.1.1. Waterstanden	8
3.1.2. Stromingen	8
3.2. Sedimentbeweging	9
3.2.1. Sedimenttransport	9
3.2.2. Korrelgrootte	10
4. Meetcampagne 2 – Dendermonde (17/04/2014)	11
4.1. Waterbeweging	11
4.1.1. Waterstanden	11
4.1.2. Stromingen	11
4.2. Sedimentbeweging	12
4.2.1. Sedimenttransport	12
4.2.2. Korrelgrootte	13
5. Meetcampagne 3 – Liefkenshoek (14/05/2014)	14
5.1. Waterbeweging	14
5.1.1. Waterstanden	14
5.1.2. Stromingen	14
5.2. Sedimentbeweging	15
5.2.1. Sedimenttransport	15
5.2.2. Korrelgrootte	16
6. Meetcampagne 4 – Oosterweel (16/05/2014)	17
6.1. Waterbeweging	17
6.1.1. Waterstanden	17
6.1.2. Stromingen	17
6.2. Sedimentbeweging	18
6.2.1. Sedimenttransport	18
6.2.2. Korrelgrootte	19
7. Meetcampagne 5 – Driegoten (17/06/2014)	20

7.1.	Waterbeweging	20
7.1.1.	Waterstanden.....	20
7.1.2.	Stromingen.....	20
7.2.	Sedimentbeweging.....	21
7.2.1.	Sedimenttransport.....	21
7.2.2.	Korrelgrootte	22
7.3.	Opmerking.....	22
8.	Meetcampagne 6 – Terhagen (30/06/2014).....	23
8.1.	Waterbeweging	23
8.1.1.	Waterstanden.....	23
8.1.2.	Stromingen.....	23
8.2.	Sedimentbeweging.....	24
8.2.1.	Sedimenttransport.....	24
8.2.2.	Korrelgrootte	25
8.3.	Opmerking.....	25
9.	Meetcampagne 7 – Kruike (02/07/2014).....	26
9.1.	Waterbeweging	26
9.1.1.	Waterstanden.....	26
9.1.2.	Stromingen.....	26
9.2.	Sedimentbeweging.....	27
9.2.1.	Sedimenttransport.....	27
9.2.2.	Korrelgrootte	28
10.	Meetcampagne 8 – Schoonaarde (03/07/2014).....	29
10.1.	Waterbeweging.....	29
10.1.1.	Waterstanden	29
10.1.2.	Stromingen	29
10.2.	Sedimentbeweging	30
10.2.1.	Sedimenttransport	30
10.2.2.	Korrelgrootte.....	31
10.3.	Opmerking	31
11.	Conclusies	32
11.1.	Waterbeweging.....	32
11.1.1.	Waterstanden	32
11.1.2.	Stromingen	33
11.2.	Sedimentbeweging	34
11.2.1.	Sedimenttransport	34
11.2.2.	Korrelgrootte.....	35
12.	Referenties	39
	Bijlagen.....	B1
	Bijlage A - Schellebelle (15/04/2014)	B2
	Bijlage B – Dendermonde (17/04/2014)	B5
	Bijlage C – Liefkenshoek (14/05/2014).....	B8
	Bijlage D – Oosterweel (16/05/2014).....	B10
	Bijlage E – Driegoten (17/06/2014).....	B13
	Bijlage F – Terhagen (30/06/2014).....	B16
	Bijlage G – Kruike (02/07/2014).....	B18
	Bijlage H – Schoonaarde (03/07/2014)	B20

Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Overzicht getijcondities Schoonaarde	8
Tabel 2 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in µm].....	10
Tabel 3 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	10
Tabel 4 - Overzicht getijcondities Dendermonde.....	11
Tabel 5 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	13
Tabel 6 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	13
Tabel 7 - Overzicht getijcondities Liefkenshoek	14
Tabel 8 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	16
Tabel 9 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	16
Tabel 10 - Overzicht getijcondities Antwerpen-Loodsgebouw.....	17
Tabel 11 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	19
Tabel 12 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	19
Tabel 13 - Overzicht getijcondities Tielrode	20
Tabel 14 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	22
Tabel 15 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	22
Tabel 16 - Overzicht getijcondities Boom	23
Tabel 17 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	25
Tabel 18 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	25
Tabel 19 - Overzicht getijcondities Hemiksem	26
Tabel 20 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	28
Tabel 21 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	28
Tabel 22 - Overzicht getijcondities Schoonaarde	29
Tabel 23 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in µm].....	31
Tabel 24 – Karakteristieke korreldiameters suspensiastalen [in µm]	31
Tabel 25 – Karakteristieke korreldiameters bij vloed en eb op verschillende verticale posities [in µm]	38
Tabel 26 – Karakteristieke korreldiameters voor en na verwijderen organisch materiaal [in µm]	B4
Tabel 27 – Karakteristieke korreldiameters voor en na verwijderen organisch materiaal [in µm]	B7

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Foto RDI Workhorse Rio Grande (links) en werkingsprincipe ADCP (rechts).....	4
Figuur 2 – Delftse fles op frame (links) en opgehangen (rechts).....	5
Figuur 3 – Van Veen-grijper (links) en Mastersizer 2000 (rechts).....	5
Figuur 4 - Interpolatie van gemeten transporten (links) en berekening totaal transport (rechts).....	7
Figuur 5 - Overzicht exponentiële regressie verticaal profiel sediment transport.....	7
Figuur 6 - Overzicht waterstanden (Schoonaarde) en stroomsnelheden Aanderaa (meetlocatie).....	8
Figuur 7 - Stroomsnelheden ADCP	9
Figuur 8 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	9
Figuur 9 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	10
Figuur 10 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	11
Figuur 11 - Stroomsnelheden ADCP	12
Figuur 12 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	12
Figuur 13 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	13
Figuur 14 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	14
Figuur 15 - Stroomsnelheden ADCP	15
Figuur 16 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	15
Figuur 17 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	16
Figuur 18 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	17
Figuur 19 - Stroomsnelheden ADCP	18
Figuur 20 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s] op 2^e verticale as</i>	18
Figuur 21 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	19
Figuur 22 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	20
Figuur 23 - Stroomsnelheden ADCP	21
Figuur 24 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	21
Figuur 25 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	22
Figuur 26 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	23
Figuur 27 - Stroomsnelheden ADCP	24
Figuur 28 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	24
Figuur 29 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	25
Figuur 30 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	26
Figuur 31 - Stroomsnelheden ADCP	27
Figuur 32 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	27
Figuur 33 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	28

Figuur 34 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa	29
Figuur 35 - Stroomsnelheden ADCP	30
Figuur 36 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	30
Figuur 37 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	31
Figuur 38 - Overzicht waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties	32
Figuur 39 - Overzicht stijgsnelheid van de waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties.....	33
Figuur 40 - Overzicht stroomsnelheid ter hoogte van de verschillende meetlocaties	33
Figuur 41 - Overzicht totaal sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties	34
Figuur 42 - Overzicht sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties (<i>top links: bodem+20cm top rechts: bodem+40cm onder links: bodem+150cm onder rechts: bodem+250cm</i>)	35
Figuur 43 - Overzicht karakteristieke korrelgrootte van het bodemsediment	36
Figuur 44 - Overzicht karakteristieke korrelgrootte bij vloed (boven) en eb (onder).....	37

1. Inleiding

1.1. Situering

De opdracht “Integraal plan Boven-Zeeschelde” (bestek 16EI/13/57) heeft betrekking op het opstellen van een duurzaam beheerplan en een integraal plan voor de Boven-Zeeschelde en het Zuidelijk deel van de Ringvaart waarin de functies bevaarbaarheid, natuur en veiligheid naast nevenfuncties dienen te worden bestudeerd en opgenomen. Hiervoor dienen onder andere volgende aspecten te worden uitgevoerd :

- opmaak van een duurzaam beheerplan volgens de huidige klassering van de vaarweg (klasse IV voor de Boven-Zeeschelde en klasse Va voor het Zuidelijk deel van de Ringvaart);
- vergund krijgen van dit beheerplan;
- uitvoeren van literatuurstudie en wetenschappelijk onderzoek om morfologische ingrepen in de rivier te kunnen simuleren en toetsen in samenwerking met het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout;
- uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek om het effect van veranderingen in getij en morfologie door te vertalen naar veranderingen in waterkwaliteit, leefomgeving (areaal en kwaliteit) en ecosysteemrespons (productie en verschuivingen in voedselweb) in samenwerking met Universiteit Antwerpen en het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek;
- verder uitwerken van alternatieven rekening houdend met de bovenvermelde functies en nevenfuncties;
- het verder uitbreiden van het onderliggende model van de MKBA om de verschillende functies mee te beoordelen en deze te analyseren;
- opstellen van een strategisch MER voor een integraal plan rekening houdend met toegang voor CEMT klasse Va schepen;
- opstellen van een gedetailleerd implementatieplan voor dit integraal plan;
- ondersteuning tijdens de uitvoering van de studieopdracht;

Het Waterbouwkundig Laboratorium is o.a. verantwoordelijk voor het opmaken van een hydrodynamisch model voor de Zeeschelde en Westerschelde, alsook een sedimenttransportmodel (zand + slib). Dit instrumentarium zal ingezet worden binnen de studie voor de beoordeling van effecten en scenario's. Om dit model te kunnen inzetten zal het uitvoerig moeten gekalibreerd en gevalideerd worden. Voor de waterbeweging wordt gebruik gemaakt van de beschikbare jaarlijks bemeten MONEOS-raaien, echter voor het sediment transport ontbreken de nodige datasets. Voorliggend rapport gaat in op de lacune.

1.2. Doelstellingen

Zoals reeds aangehaald ontbreken de nodige datasets die toelaten het op te zetten modelinstrumentarium gedegen te kalibreren en valideren. Gelet op de noodzaak, werden in het voorjaar van 2014 een reeks meetcampagnes uitgevoerd op 8 locaties (6 *MONEOS-locaties* + 2 extra locaties) in de Zeeschelde:

1. *Liefkenshoek*
2. *Oosterweel*
3. *Kruibeke*
4. *Driegoten*
5. Dendermonde
6. *Schoonaarde*
7. Schellebelle
8. *Terhagen*

Deze meetcampagnes hebben als doel de waterbeweging en het sedimenttransport in beeld te brengen. De hieruitvolgende datasets zullen gebruikt worden voor de kalibratie en validatie van het bovenvermeld modelinstrumentarium.

De stroomsnelheden, debieten en sedimentfluxen op de MONEOS-raaien, alsook ter hoogte van Schellebelle en Dendermonde worden in afzonderlijke deelrapporten gerapporteerd [Levy *et al.*, in voorbereiding].

1.3. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de verschillende meetmethodes die gebruikt worden tijdens de verschillende meetcampagnes. Daarnaast wordt ook de methodologie beschreven die gebruik wordt om een aantal afgeleide parameters te bepalen.

In hoofdstuk 3-10 worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd van de 8 uitgevoerde meetcampagnes, waarbij zowel de waterbeweging als het sedimenttransport worden beschreven.

Hoofdstuk 11 bevat uiteindelijk een aantal overzichtsfiguren waarbij de belangrijkste parameters vergeleken worden voor de verschillende meetlocaties.

Tenslotte zijn er de bijlagen waar alle bijkomende resultaten zijn opgenomen.

2. Methodologie

2.1. Uitgevoerde metingen

In het kader van het project “Integraal plan Boven-Zeeschelde” werden op 8 locaties sedimenttransport- en stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd. Hierbij werd gemeten vanop een voor anker liggend meetschip: MS Veremans, met uitzondering van Driegoten waar vanop de MS Hondius werd gemeten. Aangezien het schip op 1 anker vastlag, zwaaide het schip rond dit ankerpunt tijdens de kentering. De meetlocatie tijdens eb en vloed was dus niet exact gelijk, maar kon ongeveer 100 m verschillen (zie ook verschil in bodemdiepte bij de diepteprofielen in bijlage).

2.1.1. Waterstanden

De waterstanden in het Zeescheldebekken worden op 38 verschillende locaties langsheen het estuarium continu gemeten. Voor deze studie werd gebruik gemaakt van de gegevens van de stations Liefkenshoek, Antwerpen-Loodsgebouw, Hemiksem, Tielrode, Dendermonde, Schoonaarde en Boom.

Ter hoogte van deze stations worden de waterstanden gemeten door middel van een radar-systeem waarbij de waterstanden als minuutwaarden digitaal beschikbaar komen. Uitzondering is Antwerpen-Loodsgebouw waar de waterstanden worden gemeten met behulp van een digitale vlotter-limnigraaf. De gerapporteerde tijdreeksen werden onderworpen aan een snelle (visuele) validatie en kunnen verschillen van de definitief gevalideerde gegevens (grootte-orde enkele cm). Ter vergelijking worden ook de 10-jaarlijks gemiddelde karakteristieke waterstanden [gemiddelde hoog- (HW) en laagwater (LW) bij gemiddeld getij (GT), spring- (ST) en doottij (DT)] opgenomen, alsook de getijfactor K (verhouding opgetreden getijverschil / gemiddelde getijverschil).

2.1.2. Stromingen¹

Aanderaa RCM-9

Het meetprincipe van de snelheid door de Aanderaa RCM-9 is gebaseerd op het Dopplereffect. De Aanderaa RCM-9 meet de snelheid in een punt (eigenlijk in een sfeer rondom het meettoestel). Tijdens de meetcampagnes werd het toestel voor het merendeel van de tijd op een vaste diepte gehangen. Aangezien de darm en de pomp ter hoogte van de turbiditeitssensor was gemonteerd, werd op bepaalde tijdstippen aanvullend een verticaal profiel gemeten ten behoeve van de kalibratie van de ADCP-backscatter. Deze profielen kunnen aanleiding geven tot schijnbare uitschieters in de metingen.

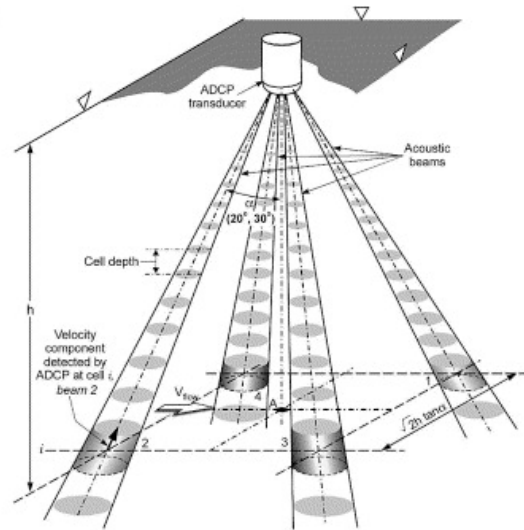
ADCP

Binnen deze studie werd gebruik gemaakt van Acoustic Doppler Current Profilers voor het meten van de stroming. Hierbij werd telkens een RDI Rio Grande 1200 kHz (Figuur 1) ingezet, opererend van een kleine catamaran die naast het meetschip werd bevestigd.

Bij deze techniek worden er door de vier transducers op het meettoestel geluidsgolven uitgezonden op een bepaalde frequentie (in casu 1200 kHz), welke door de in het water aanwezige fijne sedimenten worden teruggekaatst. Aangezien de sedimenten met de stroming mee bewegen (de aanname hierbij is dat de snelheid van de sedimenten gelijk is aan deze van de stroming), zal er een zogeheten Doppler-shift ontstaan in het teruggekaatste signaal. Deze Doppler-shift of frequentieverschuiving kan dus gerelateerd worden aan de snelheid van de stroming. Afhankelijk van het tijdsinterval tussen het uitzenden en het ontvangen van het signaal wordt een beeld verkregen van de stroming op een bepaalde afstand van het toestel (Figuur 1). Dit signaal wordt gebundeld in zogeheten “cellen” (blokken over de diepte) die een bepaalde grootte (hier 50 cm of 25 cm) hebben.

¹ Bij het meten van de stromingen wordt in principe zowel de grootte als de richting gemeten. De aanwezigheid van het meetschip (stalen constructie) zorgt er echter voor dat het intern kompas van zowel de Aanderaa als de ADCP verstoord wordt, waardoor de richting een systematische afwijking kan vertonen. Deze is afhankelijk van waar en hoe de toestellen t.o.v. het meetschip werden bevestigd. Aangezien deze afwijking niet eenduidig kan bepaald worden, is er dan ook voor geopteerd enkel de grootte te rapporteren.

Aangezien het uitzenden van een geluidssignaal gebeurt door trillingen, zal er een zone nabij de transducer “blanking distance” onbemeten blijven (transducer heeft bepaalde tijd nodig om te dempen vooraleer er een teruggekaatst signaal kan ontvangen worden). Daarnaast zal ook nabij de bodem een zone bestaan waar door het zogeheten “side-lobe”-effect (i.e. reflectie van secundaire “lobes” op de bodem) geen meetgegevens kunnen verzameld worden.



Figuur 1 – Foto RDI Workhorse Rio Grande (links) en werkingsprincipe ADCP (rechts)

2.1.3. Sedimenttransport

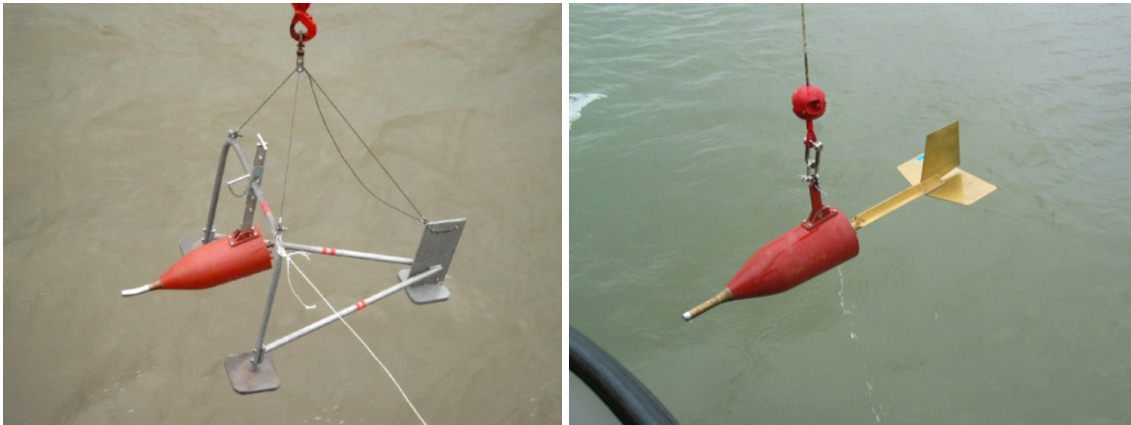
Delftse fles

Voor het meten van het sedimenttransport, en dan voornamelijk het zandtransport, werd in dit onderzoek gebruik gemaakt 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. Twee verschillende inlaatdiameters zijn beschikbaar: 1.9 en 3.8 mm en stemmen overeen met respectievelijk 2 of 4 openingen aan de achterwand (2 ervan worden afgestopt bij gebruik van de kleine inlaat). 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 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 het sedimenttransport opdat het monster voldoende vaste stof zou bevatten. Het “gefilterd” volume water kan dus verschillende liters of zelfs tientallen liters bedragen.

Het aldus opgehaalde volume wordt vervolgens aan boord via een trechter in een maatbuis overgegoten. Vervolgens zal het sediment gedurende een 3-tal minuten kunnen bezinken, waarna het volume wordt afgelezen. 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. De fout die gemaakt wordt door de extra sedimentinvoer tijdens het neer- en ophalen van de Delftse fles is in het algemeen verwaarloosbaar. Het sediment wordt tenslotte overgegoten in een potje dat voor verdere analyse (korrelgrootte) naar het sedimentlabo wordt gebracht.

De Delftse fles werd ontworpen om gebruikt te worden tot heel dicht bij de bodem (nabij-bodem-transport; gewoonlijk 10 cm boven de bodem). Voor de metingen beneden 50 cm boven de bodem (om de 10 cm) wordt het lichaam geplaatst op een structuur dat kan neergelaten worden op de bodem zelf (“op frame” – Figuur 2). Daarnaast kan de Delftse fles ook gebruikt worden voor het meten van suspensietransport. Hiervoor wordt ze opgehangen aan een kabel, terwijl een bijkomend gemonteerde staart zorgt voor de oriëntatie volgens de stroomrichting.

Binnen deze studie werd zowel de opstelling op frame (hoogte 20 cm en 40 cm boven de bodem) als de opgehangen opstelling (hoogte 130² cm en 230 cm boven de bodem) gebruikt.



Figuur 2 – Delftse fles op frame (links) en opgehangen (rechts)

Aanderaa RCM-9

De tijdens de meetcampagnes gebruikte Aanderaa RCM-9 was eveneens 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.

Tijdens de meetcampagnes werden op regelmatige tijdstippen watermonsters genomen, waarvan de sedimentconcentratie achteraf in het laboratorium werd bepaald. Aan de hand hiervan kon de ijkingskromme worden opgesteld en de directe metingen omgezet in equivalente sedimentconcentraties. Combinatie van deze concentratie met de snelheid – eveneens gemeten met de Aanderaa RCM-9 – geeft het sedimenttransport.

2.1.4. Bodemonsters

Tijdens de meetcampagnes werd eveneens een bodemonster genomen. Deze monsters werden later aan een granulometrische analyse onderworpen. Om de bodemonsters te nemen, werd een Van Veen grijper gebruikt (Figuur 3). Dit toestel bestaat uit een grijper die zichzelf krachtig sluit eens hij in contact komt met de bodem. Bij deze bemonsteringsmethode kan een deel van de fijne fractie uitgespoeld worden tijdens de monsternamen [Waterbouwkundig Laboratorium, 2006].



Figuur 3 – Van Veen-grijper (links) en Mastersizer 2000 (rechts)

² Bij de meetcampagne te Driegoten werd op een hoogte van 160 cm en 260 cm boven de bodem gemeten omwille van een ander meetschip dat gebruikt werd.

2.1.5. Granulometrische analyse

De sedimentmonsters (zowel sedimenttransport via de Delftse fles als de bodemmonsters) worden in het laboratorium geanalyseerd op korrelgrootte. Binnen deze studie is er voor gekozen de analyse uit te voeren op de sedimentstalen zoals ze in situ werden opgevangen. Dit betekent dat naast het zuivere sediment er ook organisch materiaal in de monsters kan aanwezig zijn. Dit werd niet voorafgaandelijk verwijderd.

De korrelgrootte van de sedimentmonsters wordt geanalyseerd met de Mastersizer 2000 (Figuur 3). Dit toestel maakt gebruik van de laserdiffractie methode en is begrensd tot korrelgroottes van 2000 μm . Hiertoe werden de stalen eerst gefilterd op een zeef met maaswijdte 2000 μm . Om een analyse te kunnen uitvoeren moet er voldoende diffractie van de op het monster uitgestuurde laserstraal optreden. De hoeveelheid licht die onder invloed van scattering wordt afgebogen, wordt uitgedrukt als de obscuratie. Opdat resultaten van de korrelanalyse betrouwbaar zouden zijn, werd vastgesteld dat een obscuratie tussen 10% en 20% wenselijk is. De ervaring leert dat het toestel toelaat om met zeer kleine sedimentmonsters (tot volumes van 1 cm^3) te werken.

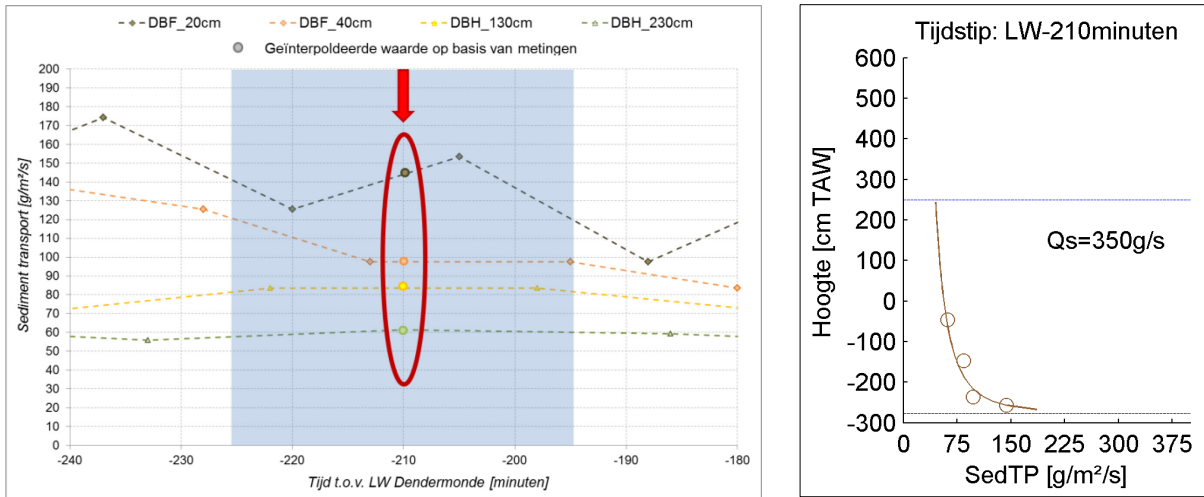
De analyse resulteert in een volledige korrelsamenstelling van het sedimentmonster. Hieruit kunnen de verschillende karakteristieke diameters afgeleid worden. Voor deze studie is gebruik gemaakt van de d_{10} , d_{35} , d_{50} , d_{65} en d_{90} .

2.2. Data-verwerking

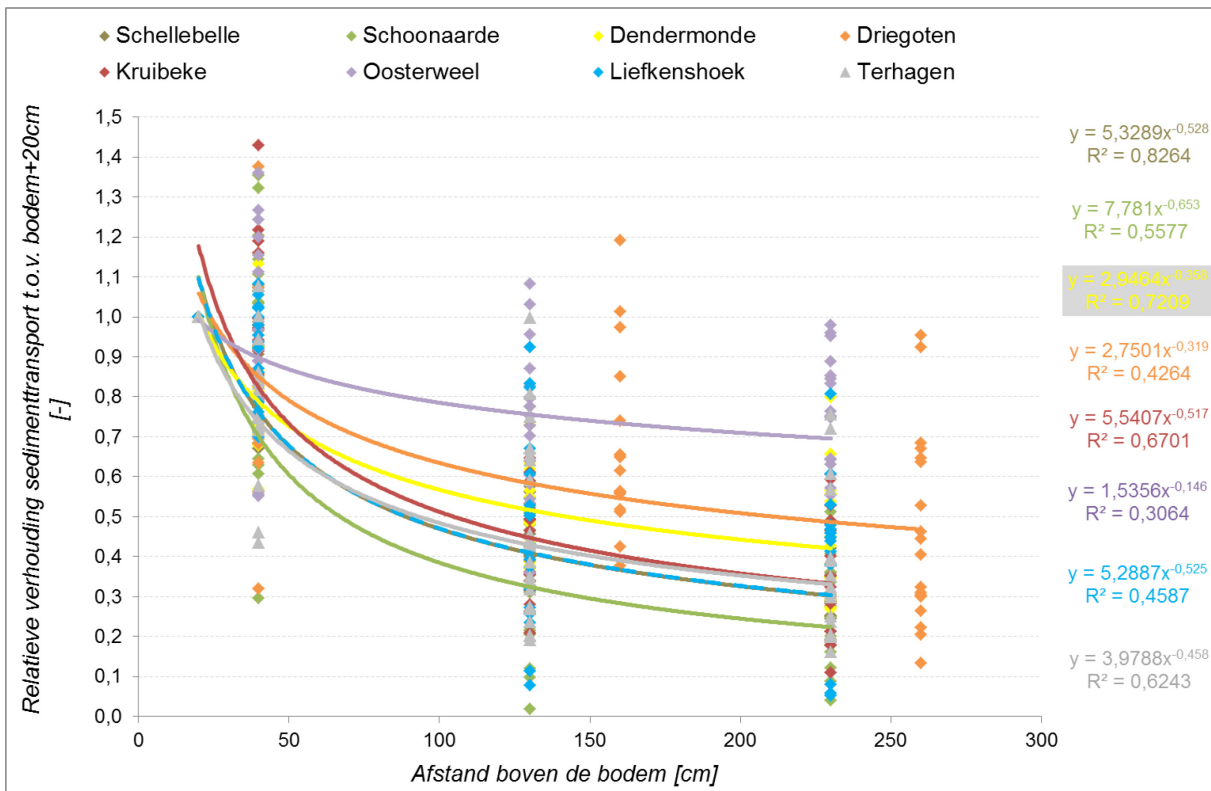
2.2.1. Berekening totaal transport

Het zandtransport werd gemeten op 4 plaatsen over de verticaal. Deze metingen werden echter op verschillende momenten in de tijd en met verschillende tussenperiodes uitgevoerd. Ten behoeve van de modelkalibratie is een totaal transport gewenst. Hiertoe werden de metingen verrekend naar een totaal transport met een tussenperiode van 30 minuten. Hiervoor werden volgende stappen ondernomen:

- $Q_s(t = n \times 30')$: interpolatie van de gemeten transporten op de verschillende verticale posities naar een transport op moment X (veelvoud van 30 minuten). Voor de interpolatie werd een eenvoudige lineaire interpolatie gebruikt. Indien er geen meting beschikbaar was in het tijdsvenster $[X-15', X+15']$ werd geen waarde gehanteerd. (Figuur 4 - links)
- $Q_s^{rel}(z)$ [rel. = $Q_s(z) / Q_s(z = B+20\text{cm})$]: Bepalen van het verticale profiel via een exponentiële regressie op basis van de geïnterpoleerde relatieve transporten op de verschillende hoogten. Hierbij wordt de verhouding bepaald voor de transporten op 40 cm, 130 cm en 230 cm ten opzichte van het transport op 20 cm boven de bodem. Deze regressie werd opgesteld voor elke locatie afzonderlijk, op basis van alle tijdstappen (telkens veelvoud van 30 minuten) en alle beschikbare hoogten. Per locatie levert dit één relatieve verticale sedimenttransport-verdeling (Figuur 5)
- $Q_s(z,t)$: berekenen van het totale transport door integratie van het verticale profiel verkregen door combinatie van de relatieve (verhouding t.o.v. transport op 20 cm boven de bodem) verticale sedimenttransport-verdeling (exponentiële curve uit stap 2) en de uit stap 1 geïnterpoleerde waarde op hoogte bodem + 20 cm. Bij de integratie wordt per tijdstap voor de onderste 10 cm een constant transport aangenomen (waarde op bodem + 10 cm). Daarnaast wordt rekening gehouden met de lokale bodemligging (afzonderlijk bepaald voor eb en vloed, omwille van het zwaaien rond het anker van het meetschip) en de actuele waterstand. (Figuur 4 - rechts)



Figuur 4 - Interpolatie van gemeten transporten (links) en berekening totaal transport (rechts)



Figuur 5 - Overzicht exponentiële regressie verticaal profiel sediment transport

3. Meetcampagne 1 – Schellebelle (15/04/2014)

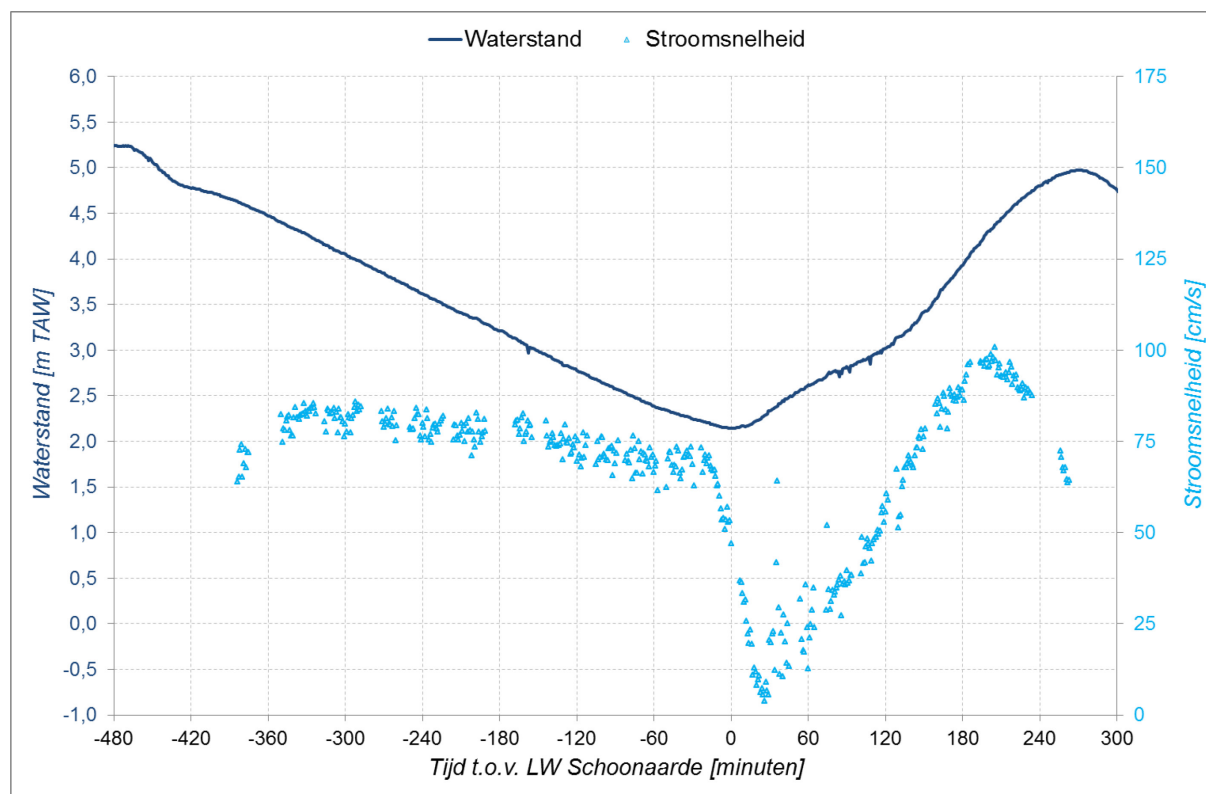
3.1. Waterbeweging

3.1.1. Waterstanden

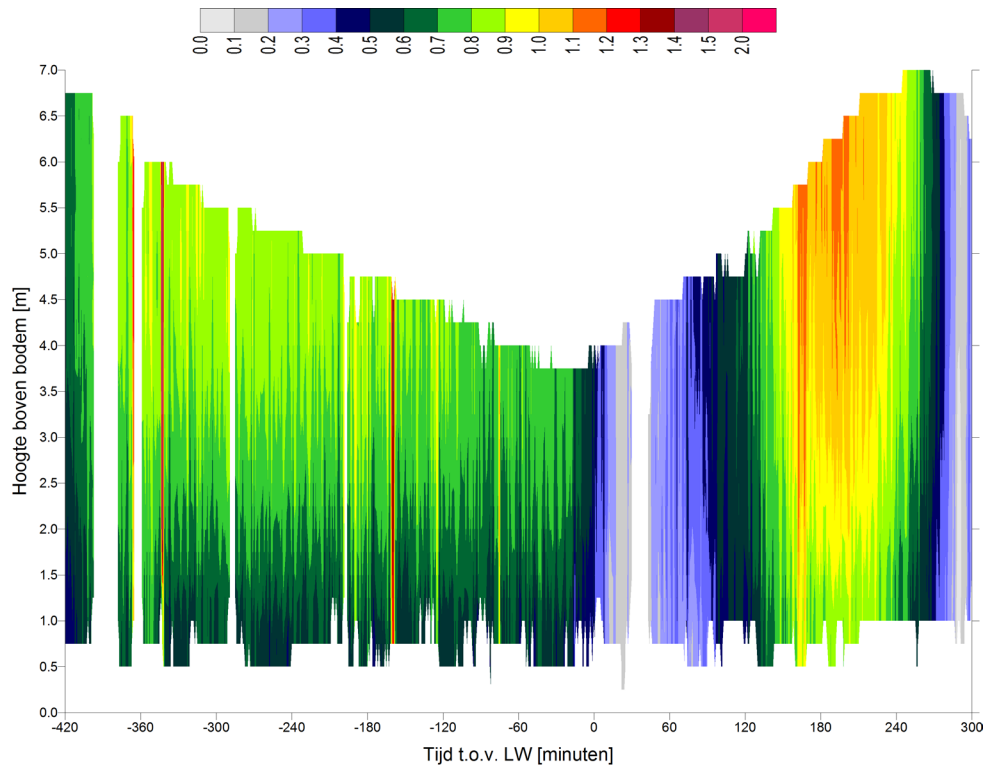
Tabel 1 - Overzicht getijcondities Schoonaarde

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	524	214	497	310	283	0,90
2001-2010 – DT	473	170		303		0,92
2001-2010 – GT	512	181		331		1,00
2001-2010 – ST	541	189		352		1,06

3.1.2. Stroomingen



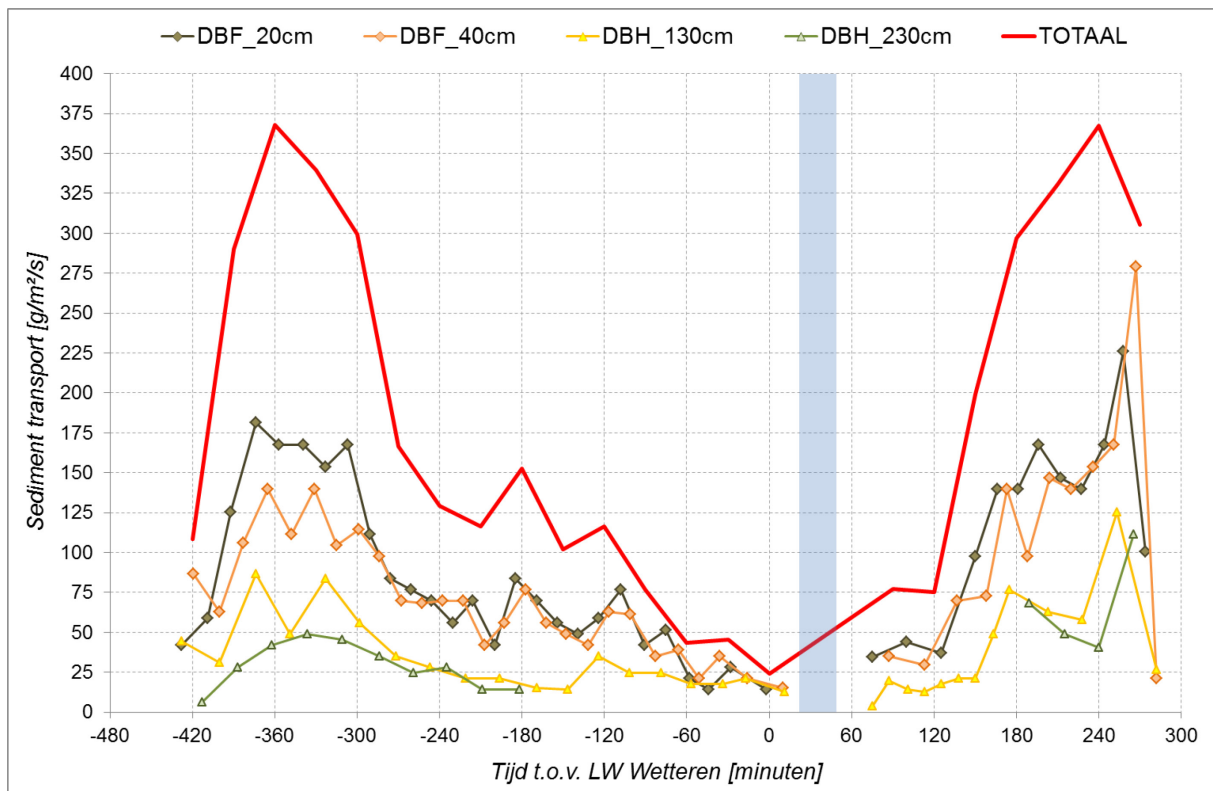
Figuur 6 - Overzicht waterstanden (Schoonaarde) en stroomsnelheden Aanderaa (meetlocatie)



Figuur 7 - Stroomsnelheden ADCP

3.2. Sedimentbeweging

3.2.1. Sedimenttransport



Figuur 8 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

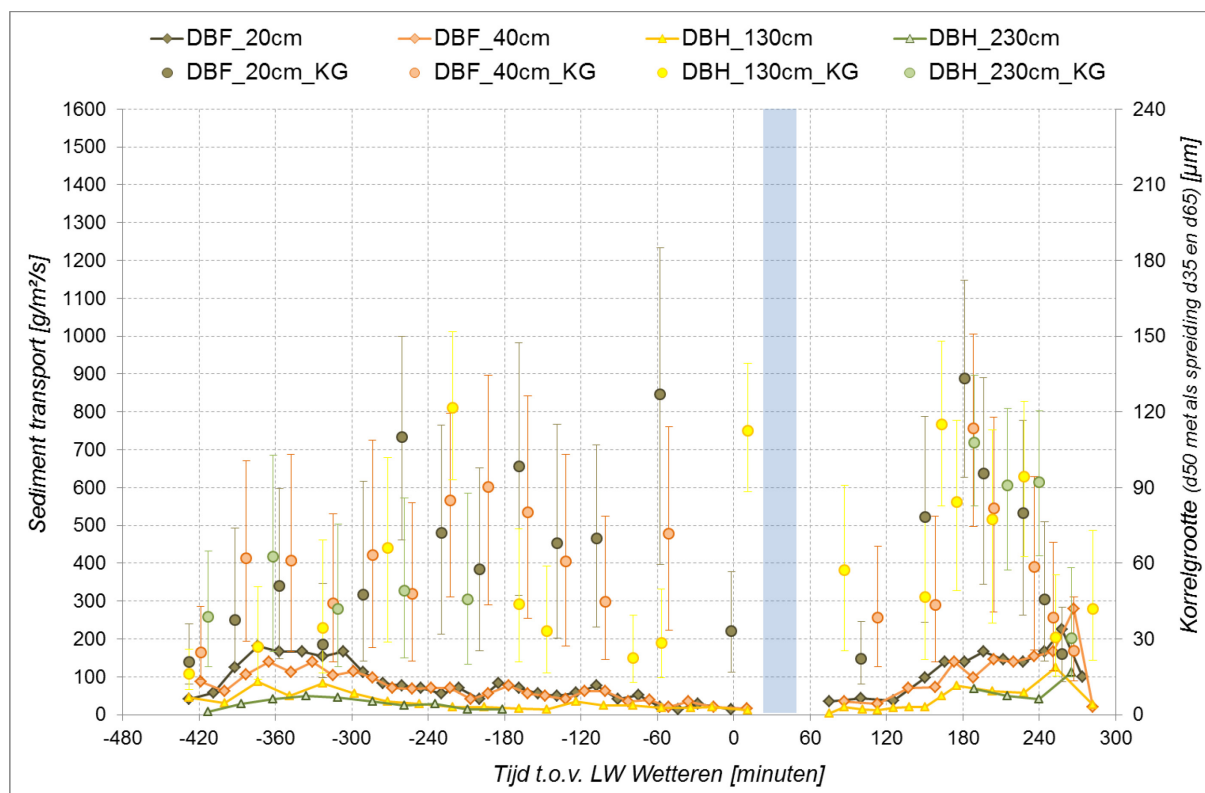
3.2.2. Korrelgrootte

Tabel 2 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
11	192	255	321	507

Tabel 3 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-299	7	15	19	25	67
-185	7	13	16	19	33
-117	7	13	17	22	49
+150	7	14	19	27	78
+181	7	14	19	26	74



Figuur 9 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

4. Meetcampagne 2 – Dendermonde (17/04/2014)

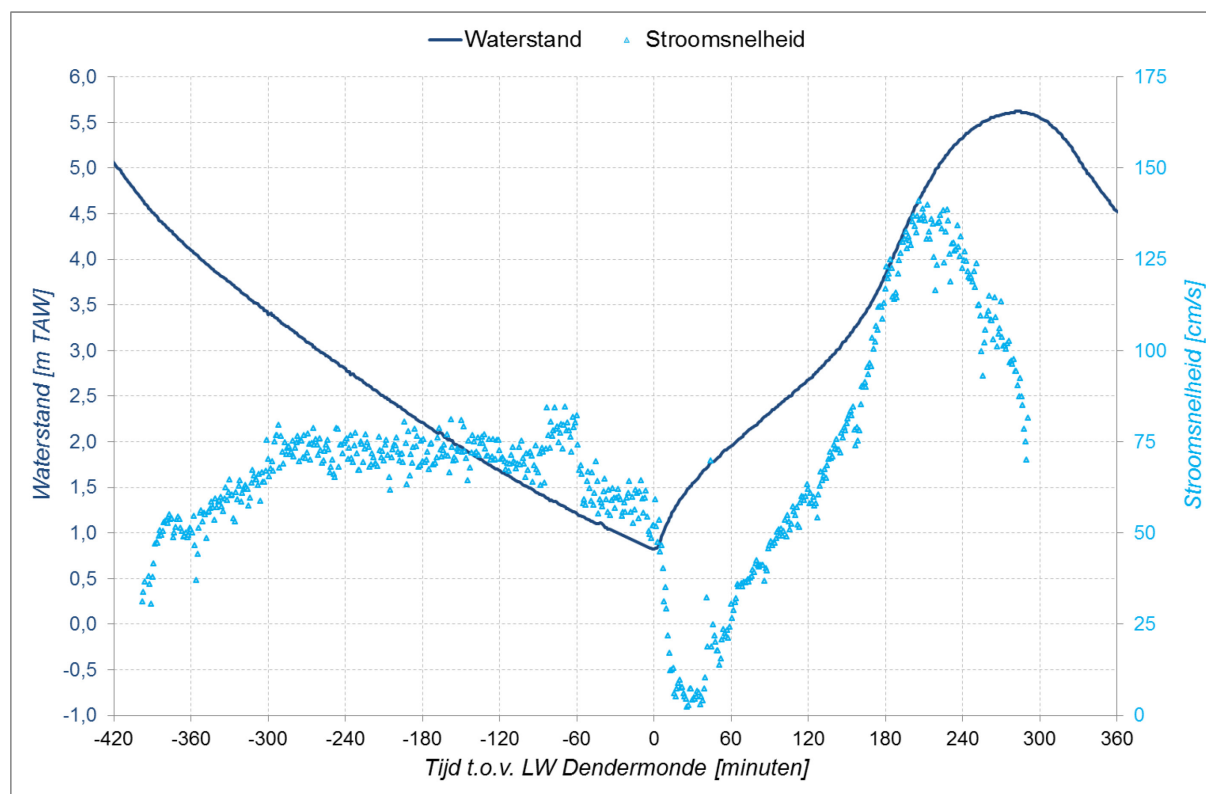
4.1. Waterbeweging

4.1.1. Waterstanden

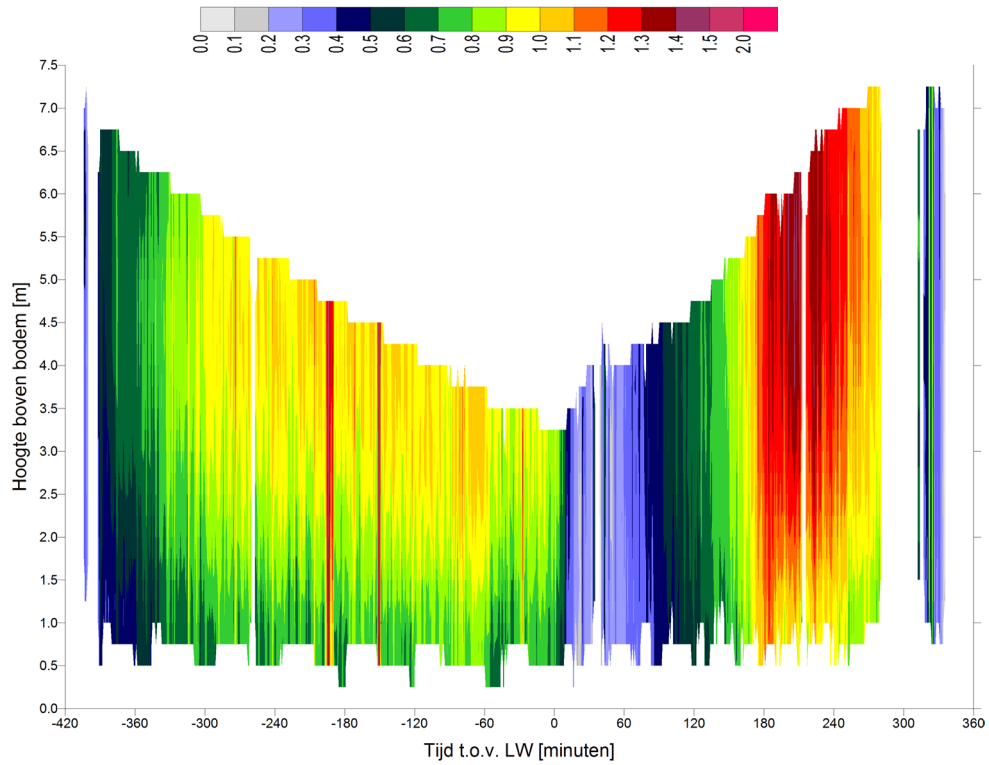
Tabel 4 - Overzicht getijcondities Dendermonde

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	547	82	562	465	480	1,13
2001-2010 – GT	530	113		417		1,00
2001-2010 – ST	563	114		449		1,08

4.1.2. Stromingen



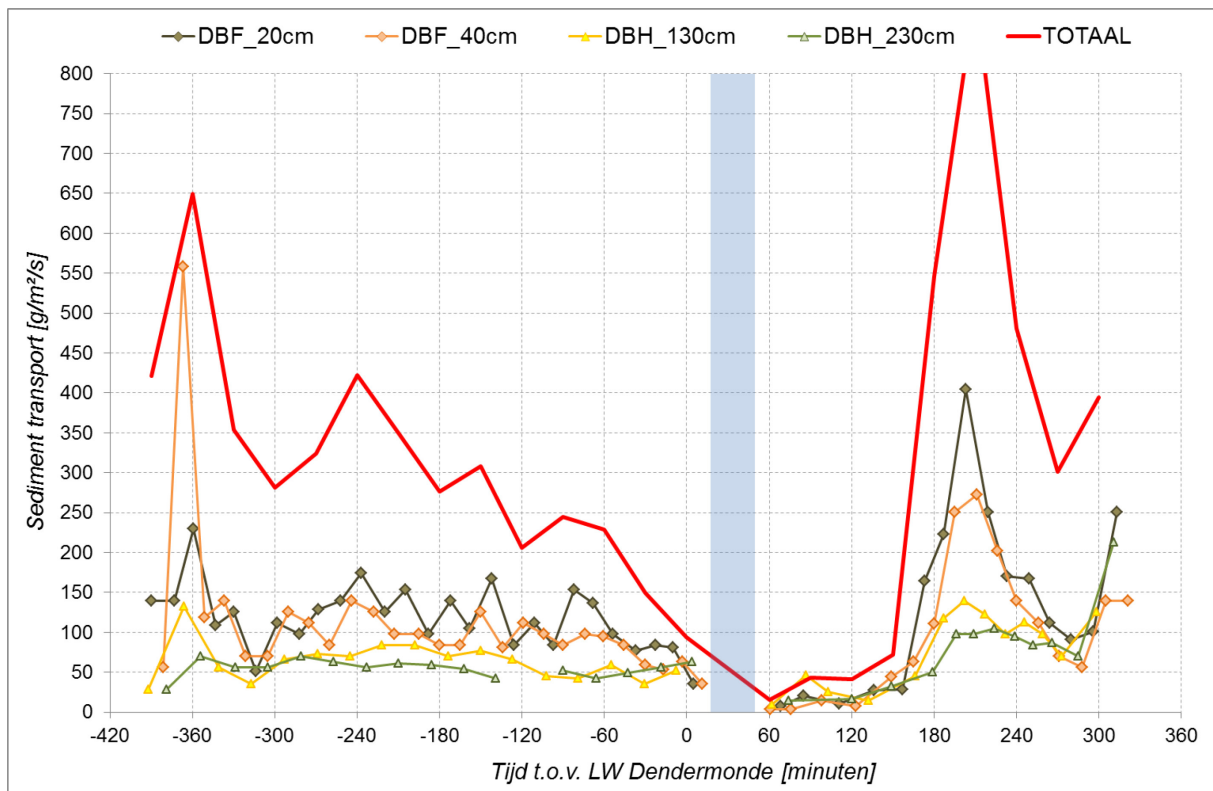
Figuur 10 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 11 - Stroomsnelheden ADCP

4.2. Sedimentbeweging

4.2.1. Sedimenttransport



Figuur 12 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

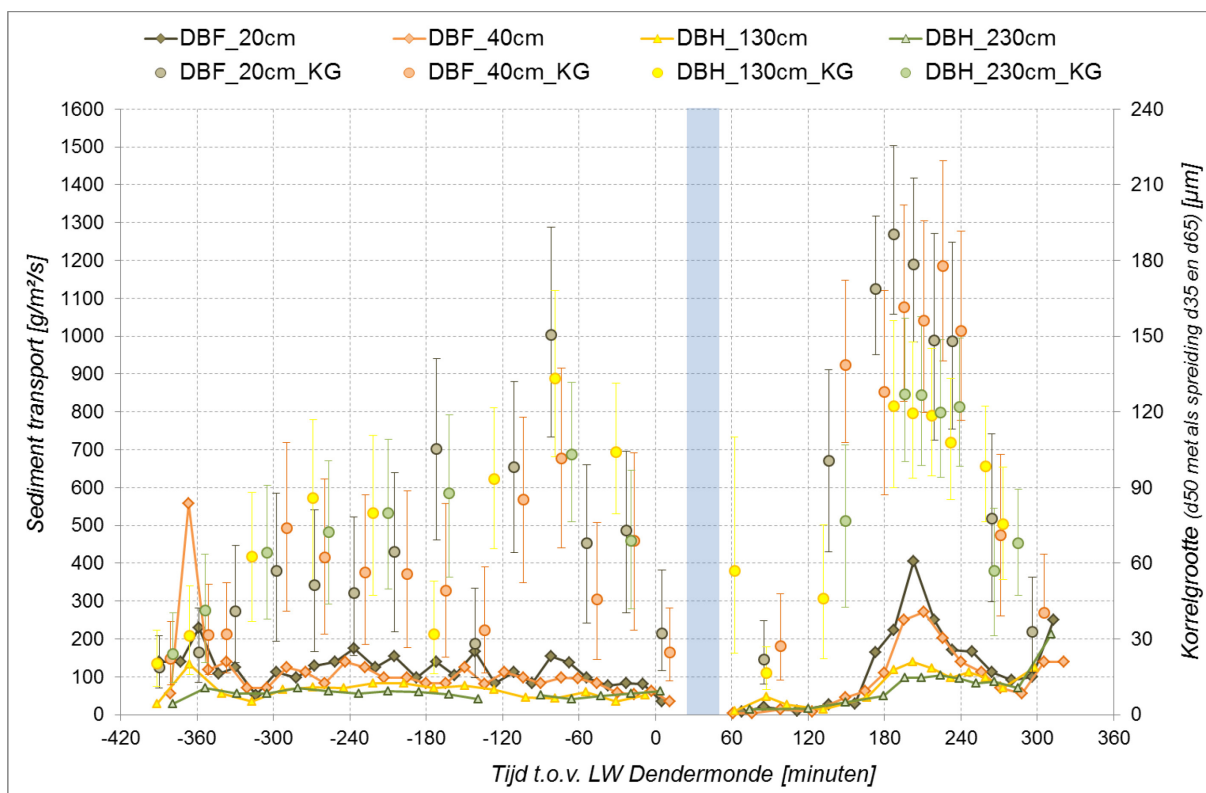
4.2.2. Korrelgrootte

Tabel 5 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
38	182	218	258	364
30	179	212	248	342

Tabel 6 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-293	6	14	20	27	62
-127	6	16	22	33	98
132	6	13	18	23	56
187	6	15	21	31	96



Figuur 13 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

5. Meetcampagne 3 – Liefkenshoek (14/05/2014)

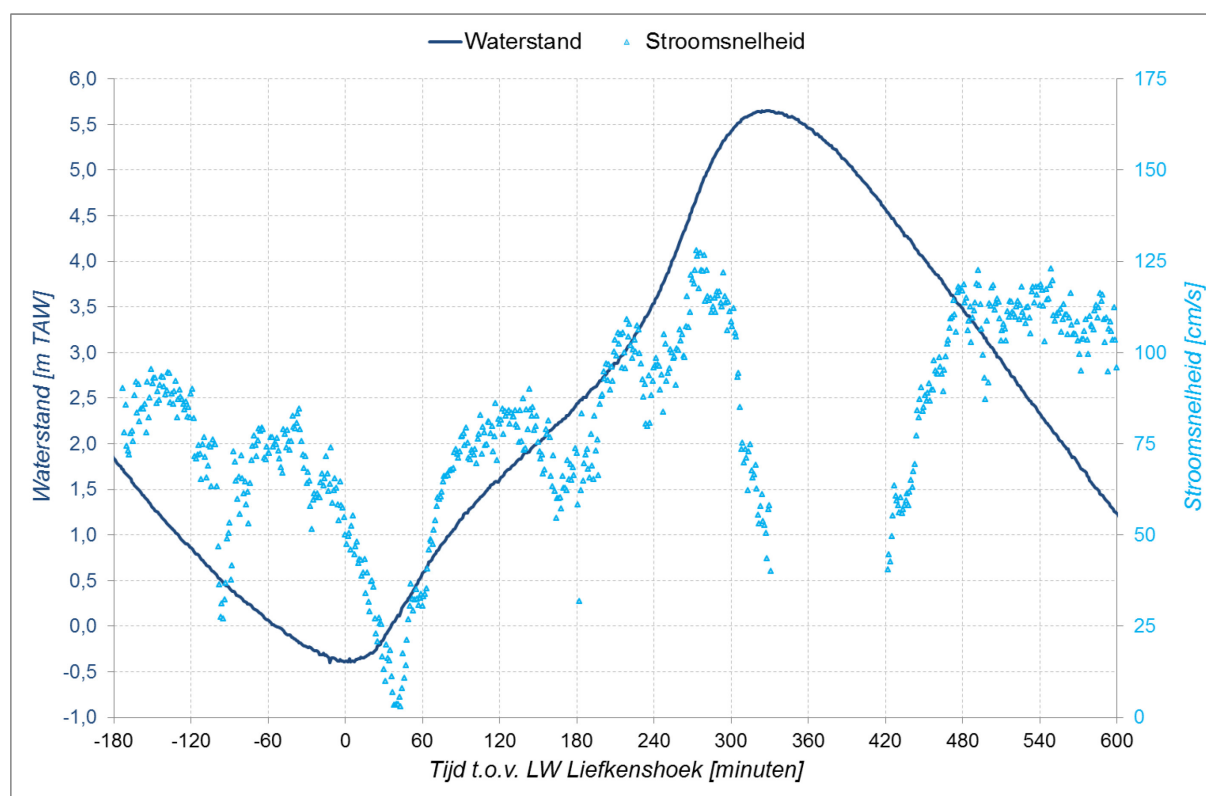
5.1. Waterbeweging

5.1.1. Waterstanden

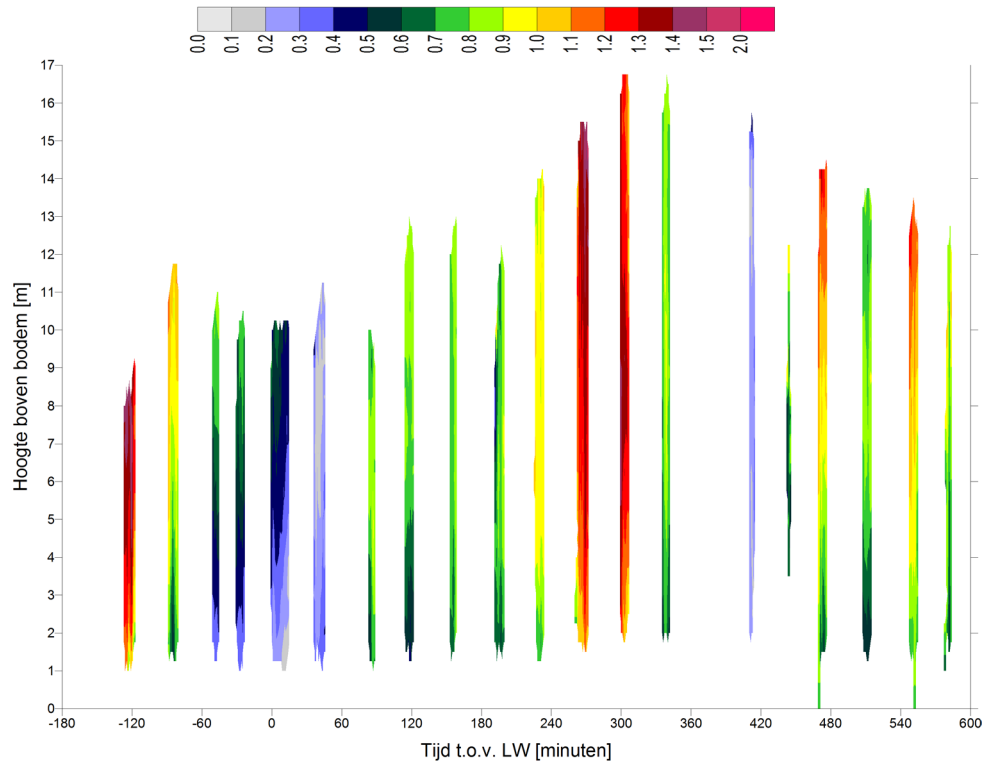
Tabel 7 - Overzicht getijcondities Liefkenshoek

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	550	-38	565	588	603	1,16
2001-2010 – GT	523	10		513		1,00
2001-2010 – ST	569	-17		586		1,14

5.1.2. Stromingen



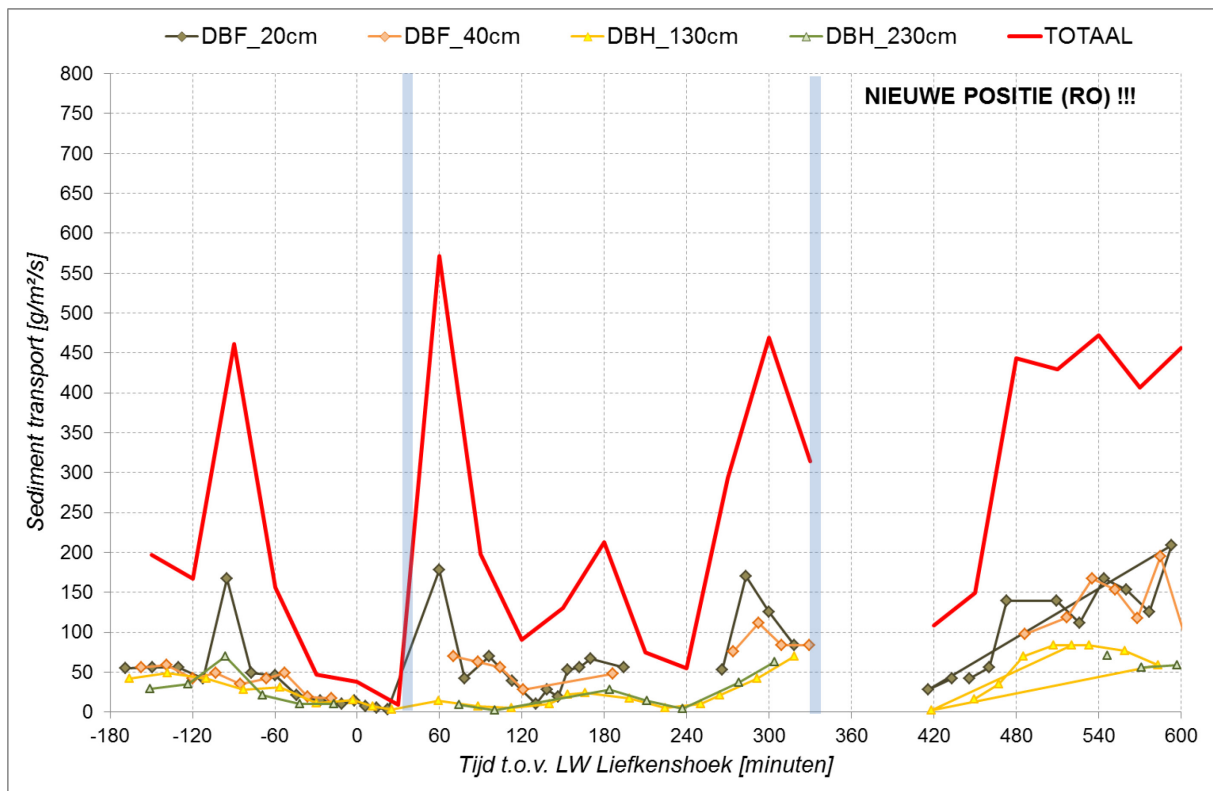
Figuur 14 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 15 - Stroomsnelheden ADCP

5.2. Sedimentbeweging

5.2.1. Sedimenttransport



Figuur 16 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

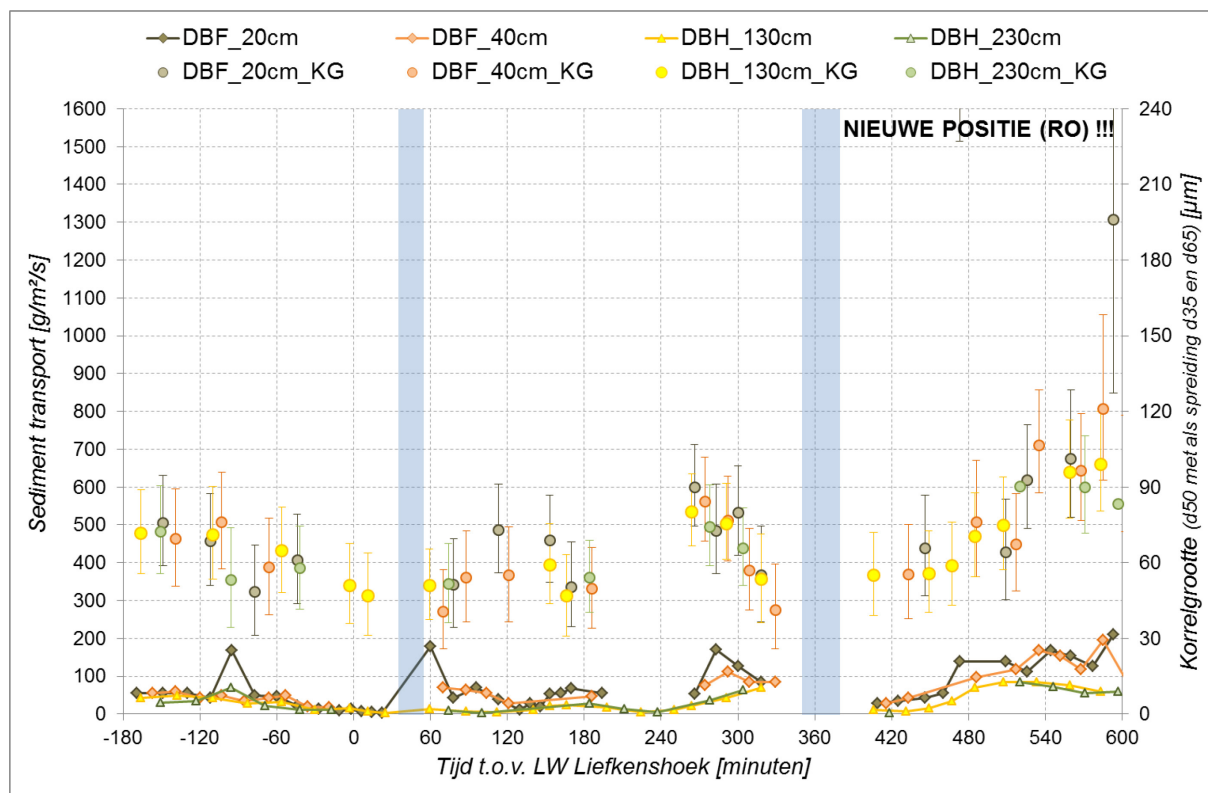
5.2.2. Korrelgrootte

Tabel 8 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
3	27	52	77	168

Tabel 9 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-81	4	14	24	41	101
161	4	15	24	37	83
281	4	13	21	33	82
325	4	13	22	36	87
458	4	12	19	29	73
577	5	18	33	54	123



Figuur 17 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

6. Meetcampagne 4 – Oosterweel (16/05/2014)

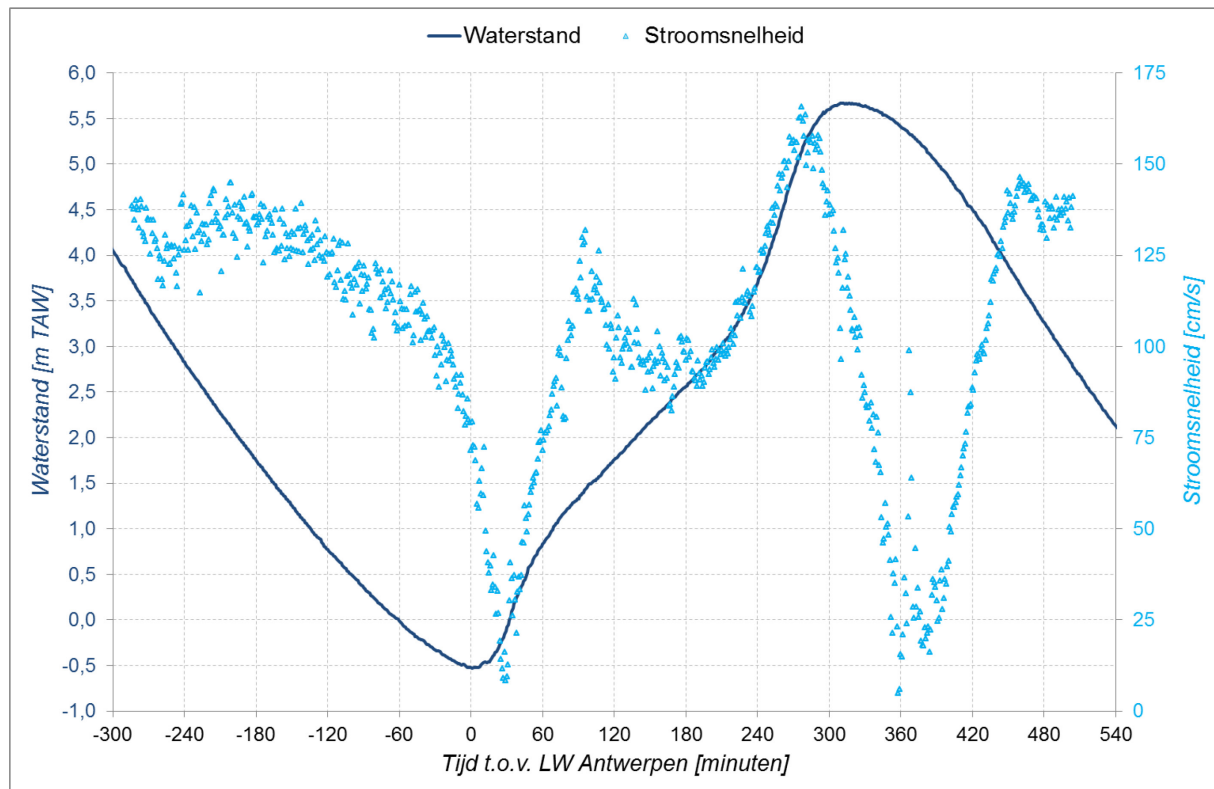
6.1. Waterbeweging

6.1.1. Waterstanden

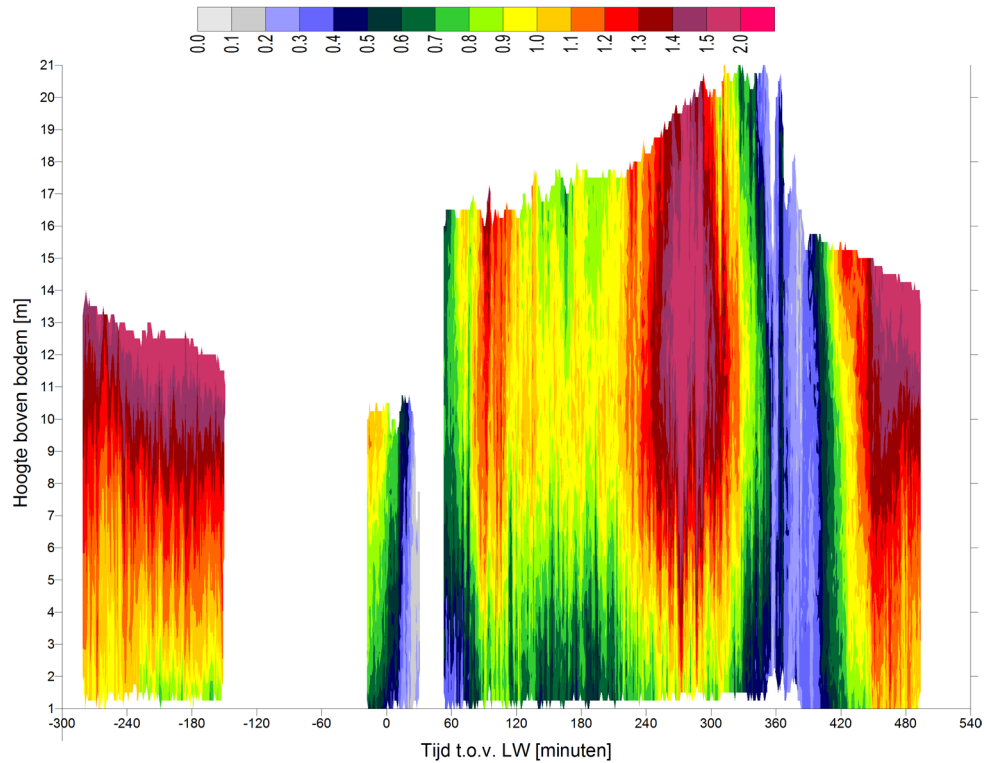
Tabel 10 - Overzicht getijcondities Antwerpen-Loodsgebouw

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	567	-52	567	619	619	1,18
2001-2010 – GT	531	6		525		1,00
2001-2010 – ST	574	-20		594		1,13

6.1.2. Stromingen



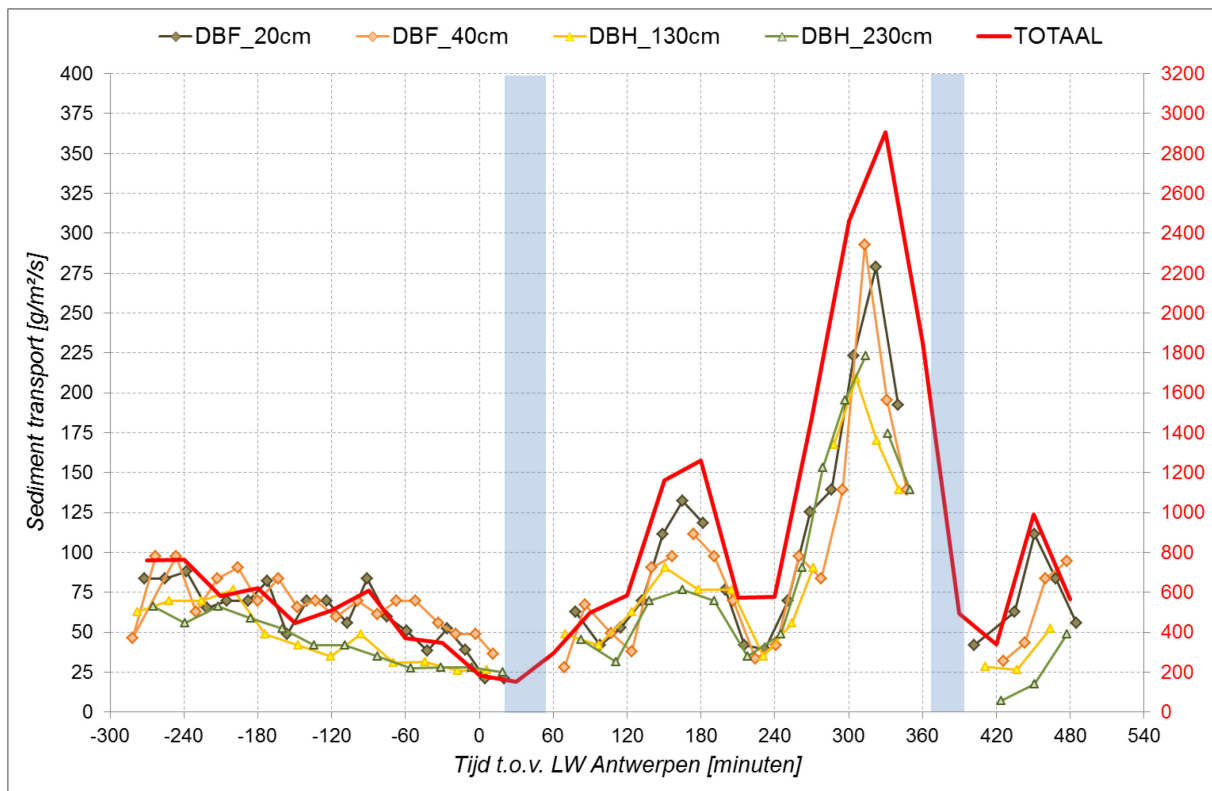
Figuur 18 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 19 - Stroomsnelheden ADCP

6.2. Sedimentbeweging

6.2.1. Sedimenttransport



Figuur 20 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s] op 2^e verticale as

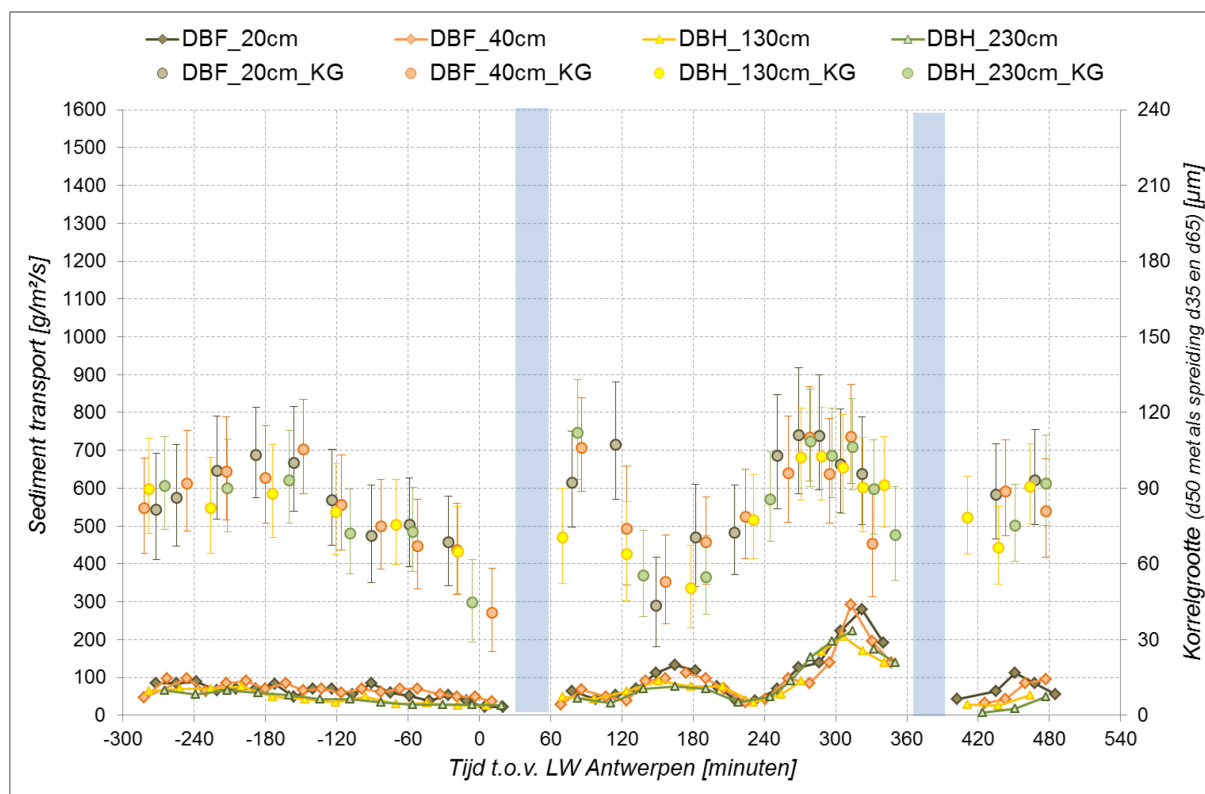
6.2.2. Korrelgrootte

Tabel 11 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
16	106	139	178	327

Tabel 12 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-219	4	11	16	26	71
-174	4	12	20	32	80
-21	5	12	18	27	67
125	4	13	20	31	77
195	4	12	19	32	86
245	5	14	23	36	81
288	4	12	20	33	87
458	4	12	20	31	72



Figuur 21 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

7. Meetcampagne 5 – Driegoten (17/06/2014)

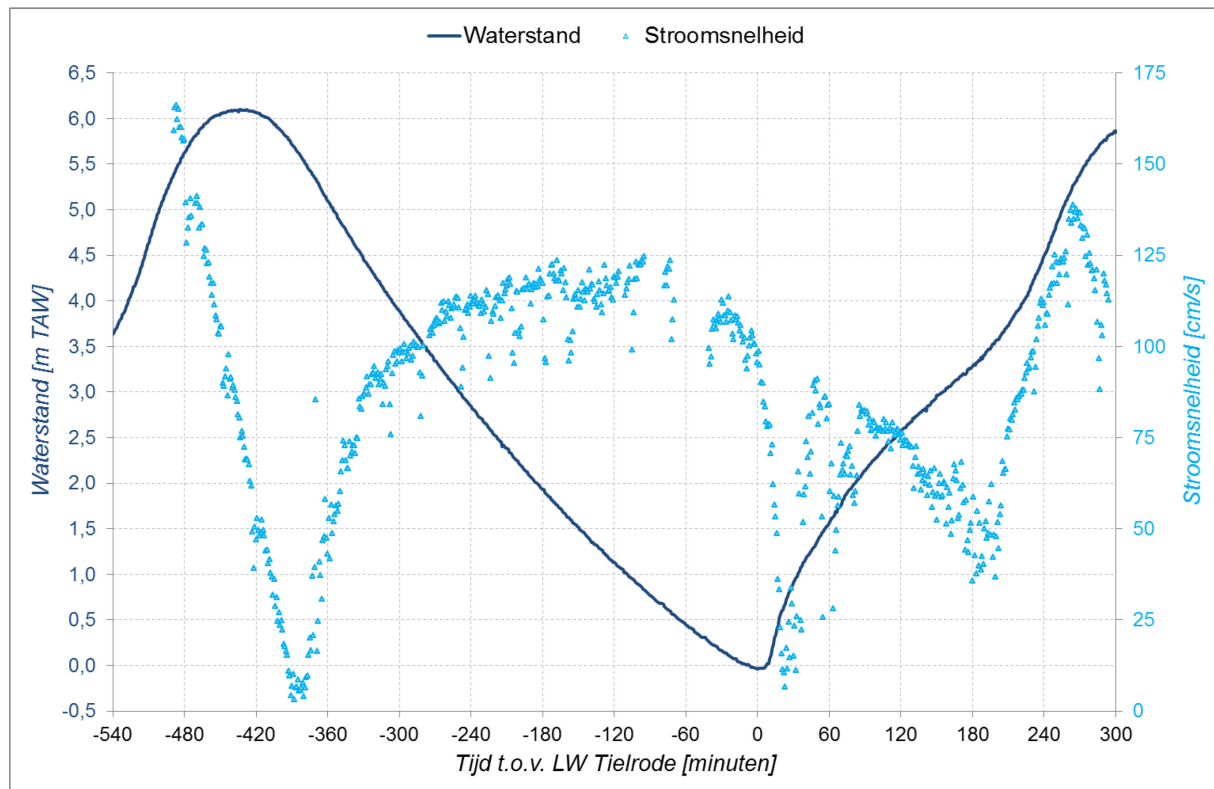
7.1. Waterbeweging

7.1.1. Waterstanden

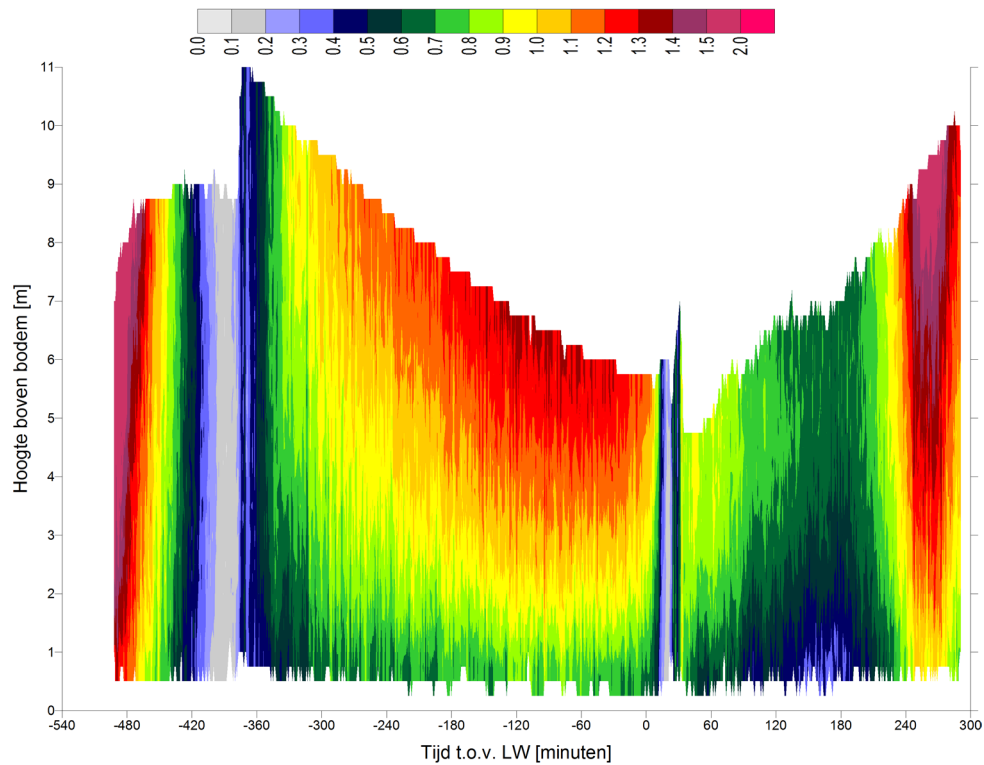
Tabel 13 - Overzicht getijdcondities Tielrode

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	610	-4	588	614	592	1,11
2001-2010 – GT	562	20		542		1,00
2001-2010 – ST	-	-		-		

7.1.2. Stroomingen



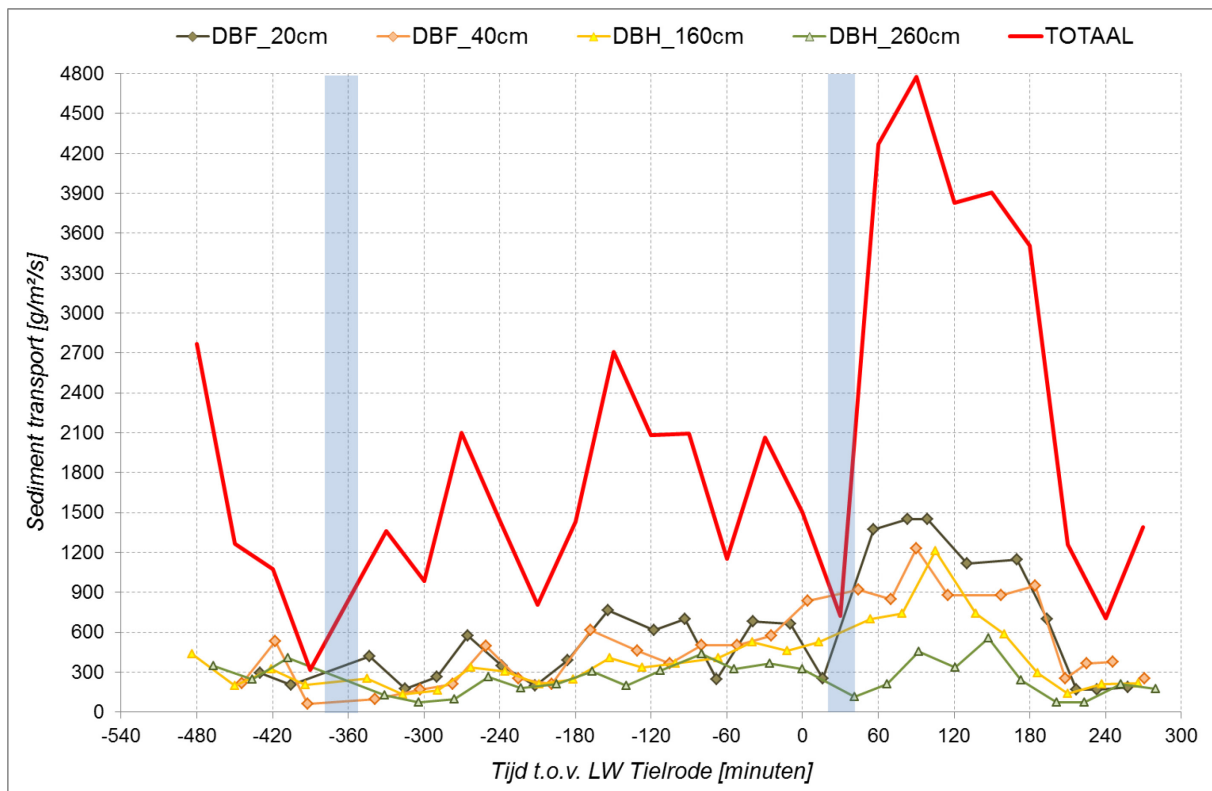
Figuur 22 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 23 - Stroomsnelheden ADCP

7.2. Sedimentbeweging

7.2.1. Sedimenttransport



Figuur 24 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

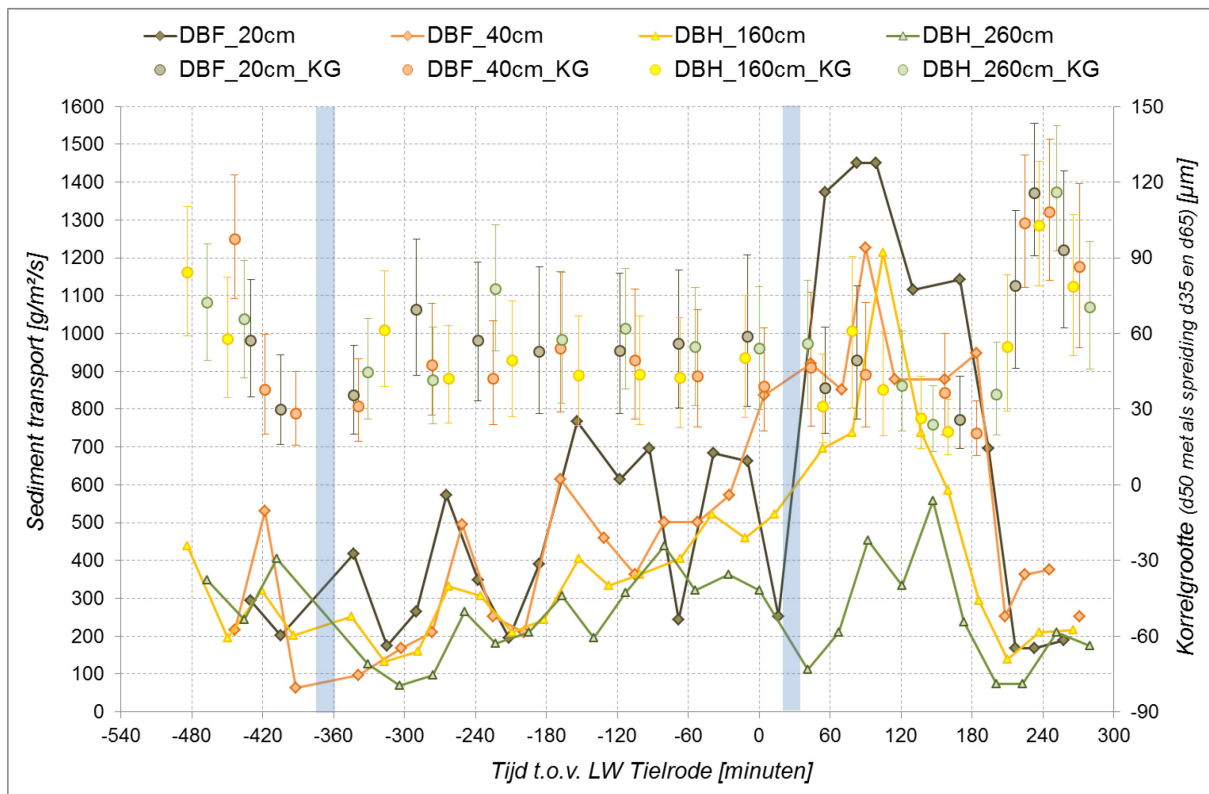
7.2.2. Korrelgrootte

Tabel 14 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
Geen bodemstaal beschikbaar				

Tabel 15 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip</i> [minuten t.o.v. LW]	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
Gemiddelde waarde	$3,7 \pm 0,3$	$11,4 \pm 1,0$	$17,0 \pm 1,5$	$25,1 \pm 2,4$	$63,0 \pm 10,8$



Figuur 25 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

7.3. Opmerking

Bij de uitvoering van de metingen bleek er een grote hoeveelheid fijn sediment door de Delftse fles gecaptureerd te worden. Dit uitte zich in “bruin” water bij het bezinken in de proefbuis en moeilijk te onderscheiden scheidingsvlak van het bezonken sediment. Hoewel de Delftse fles in principe enkel zanderig sediment zou capteren, blijkt in de praktijk ook fijner (silt) sediment in de fles achter te blijven (dit wordt bevestigd door de korrelgroottes van het geanalyseerd sediment). De resultaten van deze meetcampagne dienen met de nodige extra voorzichtigheid gebruikt te worden.

8. Meetcampagne 6 – Terhagen (30/06/2014)

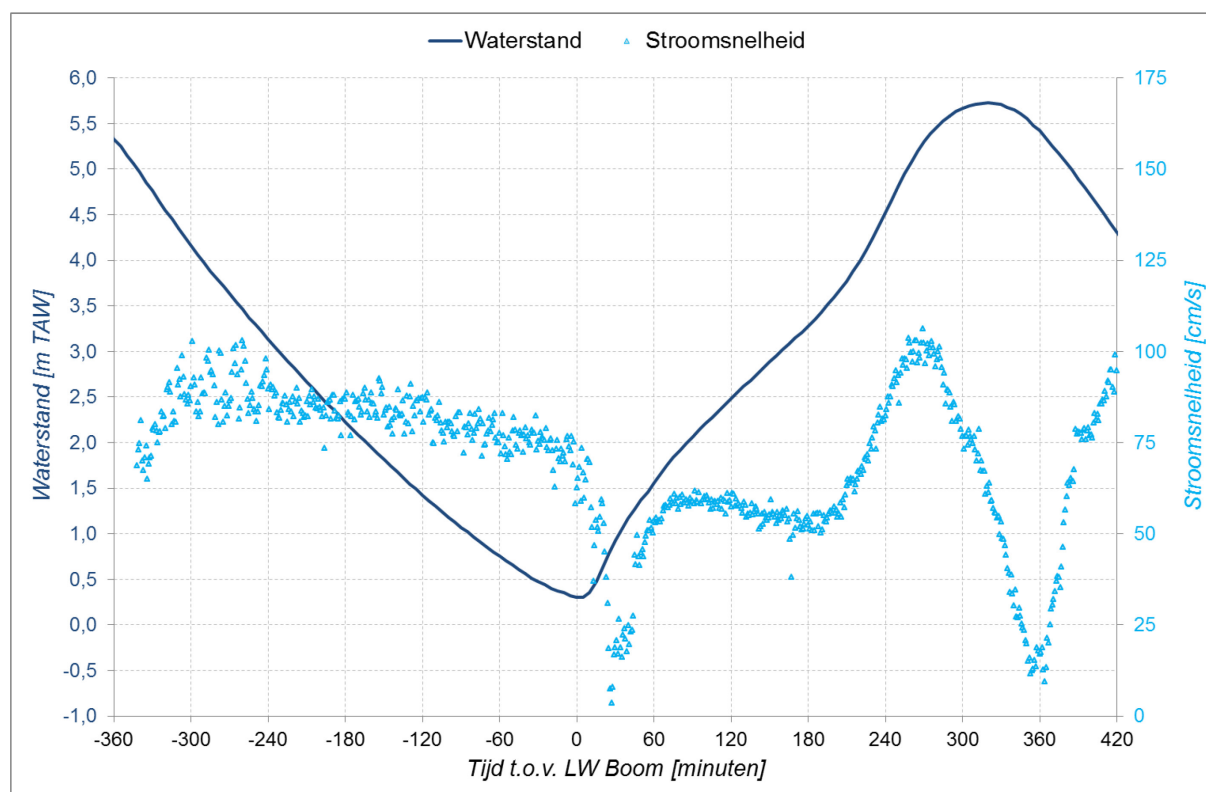
8.1. Waterbeweging

8.1.1. Waterstanden

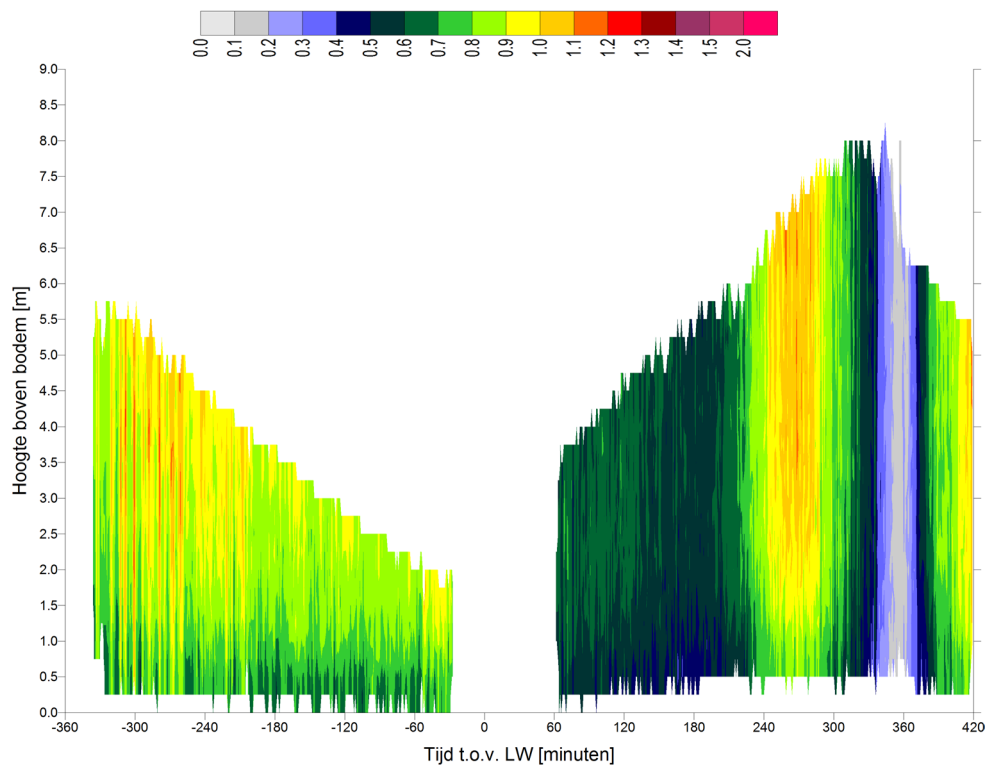
Tabel 16 - Overzicht getijcondities Boom

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	583	30	573	553	543	1,02
2001-2010 – GT	552	17		535		1,00
2001-2010 – ST	-	-		-		

8.1.2. Stromingen



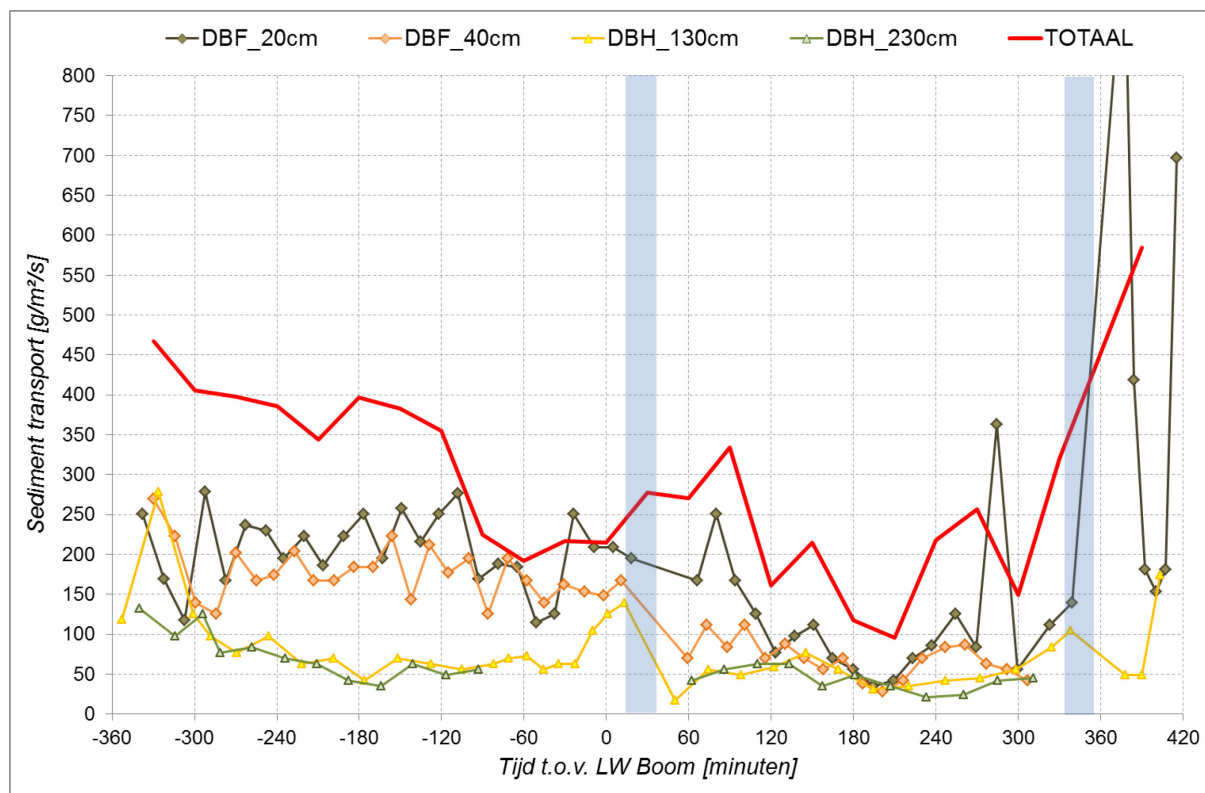
Figuur 26 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 27 - Stroomsnelheden ADCP

8.2. Sedimentbeweging

8.2.1. Sedimenttransport



Figuur 28 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

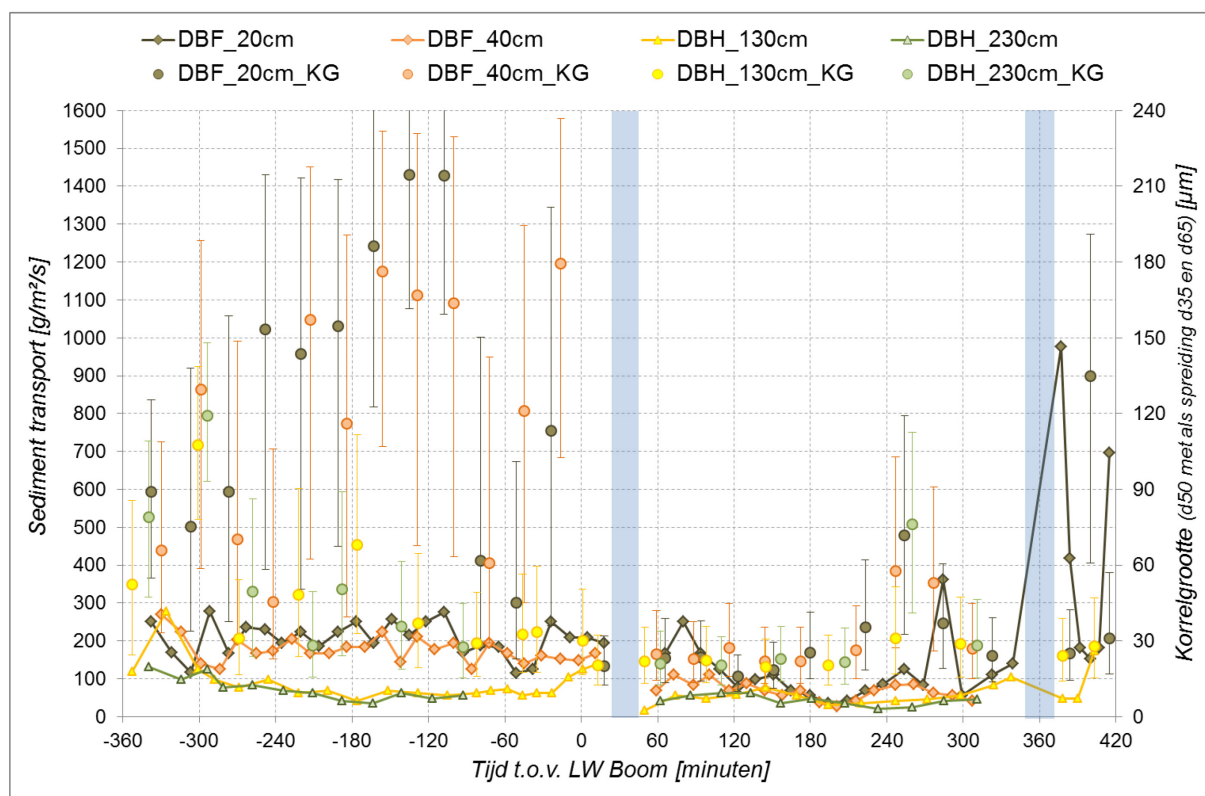
8.2.2. Korrelgrootte

Tabel 17 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
10	192	263	332	509

Tabel 18 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
Gemiddelde waarde	5,7 ± 0,9	15,7 ± 1,8	22,0 ± 2,5	30,8 ± 3,7	70,1 ± 7,2



Figuur 29 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

8.3. Opmerking

De korrelgrootte vertoont een opmerkelijk verschil tussen de eb- en de vloedfase: bij de ebfase betreft het zanderig sediment, terwijl het bij de vloed eerder siltig sediment is. Hoewel de Delftse fles in principe enkel zanderig sediment zou capteren, blijkt in de praktijk ook fijner (silt) sediment in de fles achter te blijven (dit wordt bevestigd door de korrelgroottes van het geanalyseerd sediment). De resultaten van deze meetcampagne dienen met de nodige extra voorzichtigheid gebruikt te worden.

9. Meetcampagne 7 – Kruibeke (02/07/2014)

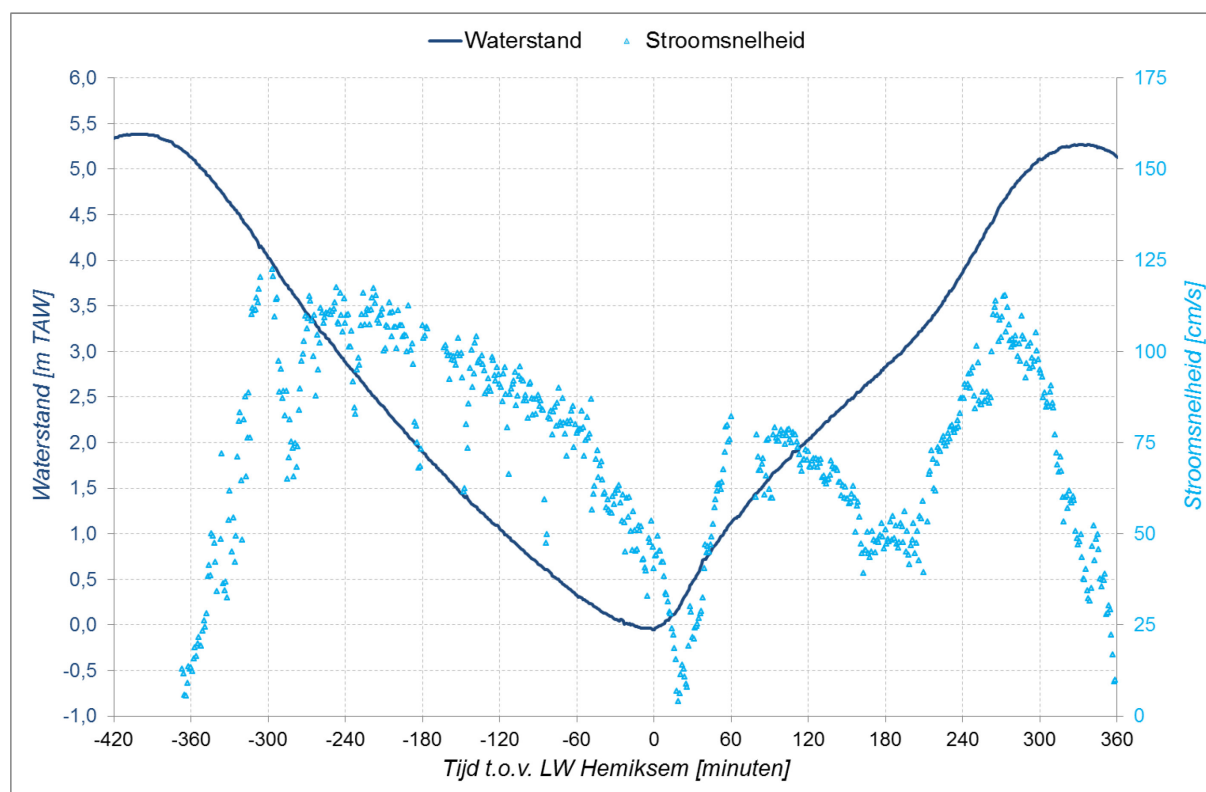
9.1. Waterbeweging

9.1.1. Waterstanden

Tabel 19 - Overzicht getijcondities Hemiksem

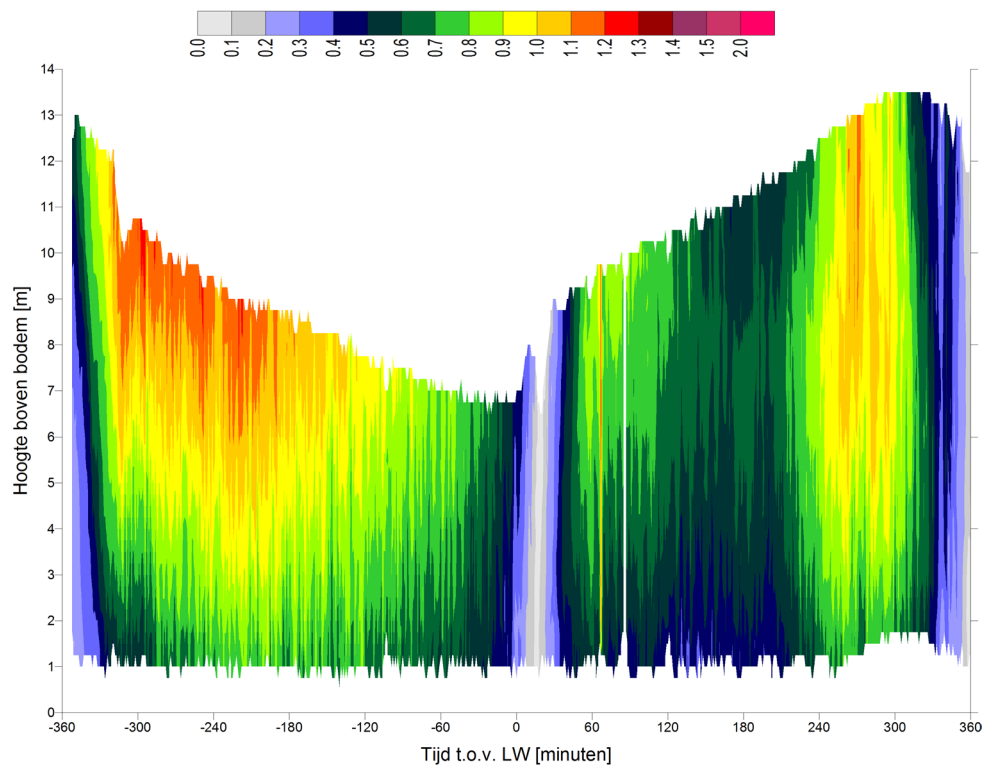
	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	538	-5	527	543	532	1,00
2001-2010 – GT ³	547	7		540		1,00
2001-2010 – ST ²	586	-15		601		1,11

9.1.2. Stromingen



Figuur 30 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa

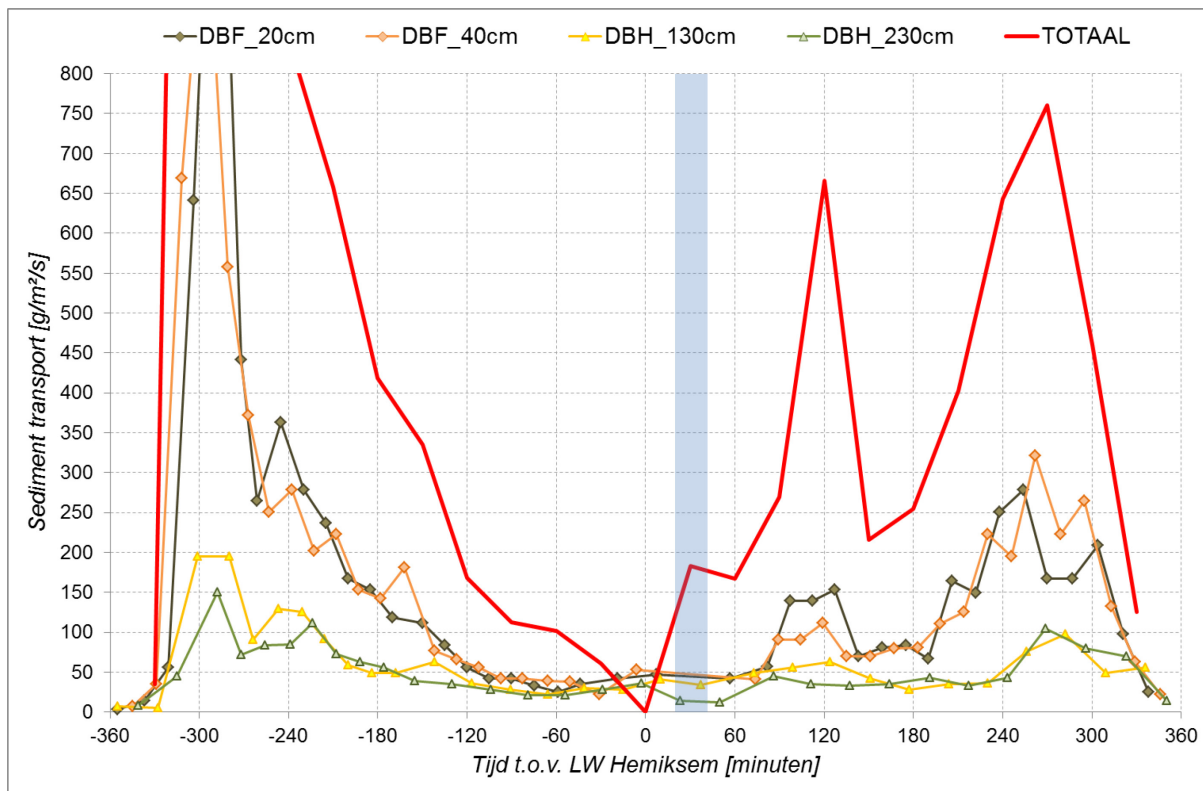
³ 10-jarige gemiddelde karakteristieke voor station Schelle, enkele km opwaarts van Hemiksem gelegen



Figuur 31 - Stroomsnelheden ADCP

9.2. Sedimentbeweging

9.2.1. Sedimenttransport



Figuur 32 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

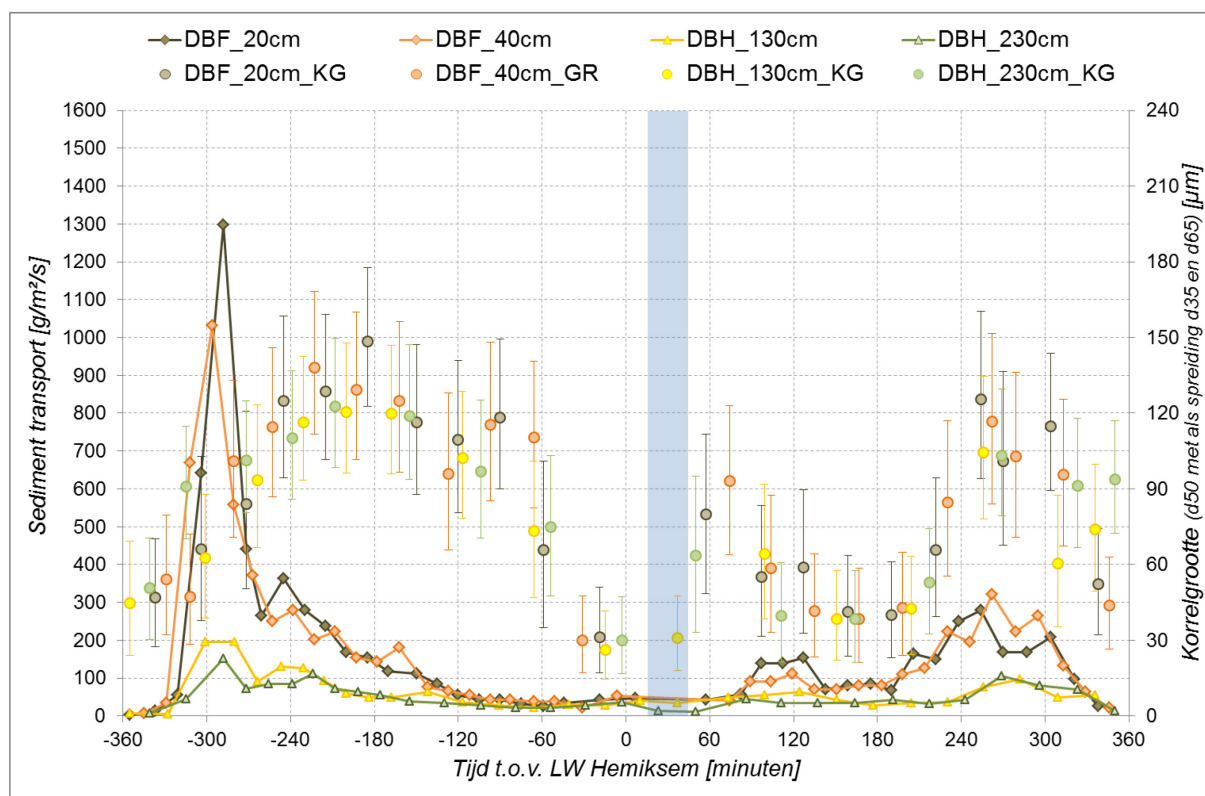
9.2.2. Korrelgrootte

Tabel 20 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
18	115	145	178	268

Tabel 21 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
Gemiddelde waarde	$3,3 \pm 0,7$	$9,2 \pm 1,9$	$13,4 \pm 2,3$	$19,8 \pm 2,8$	$53,5 \pm 7,2$



Figuur 33 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

10. Meetcampagne 8 – Schoonaarde (03/07/2014)

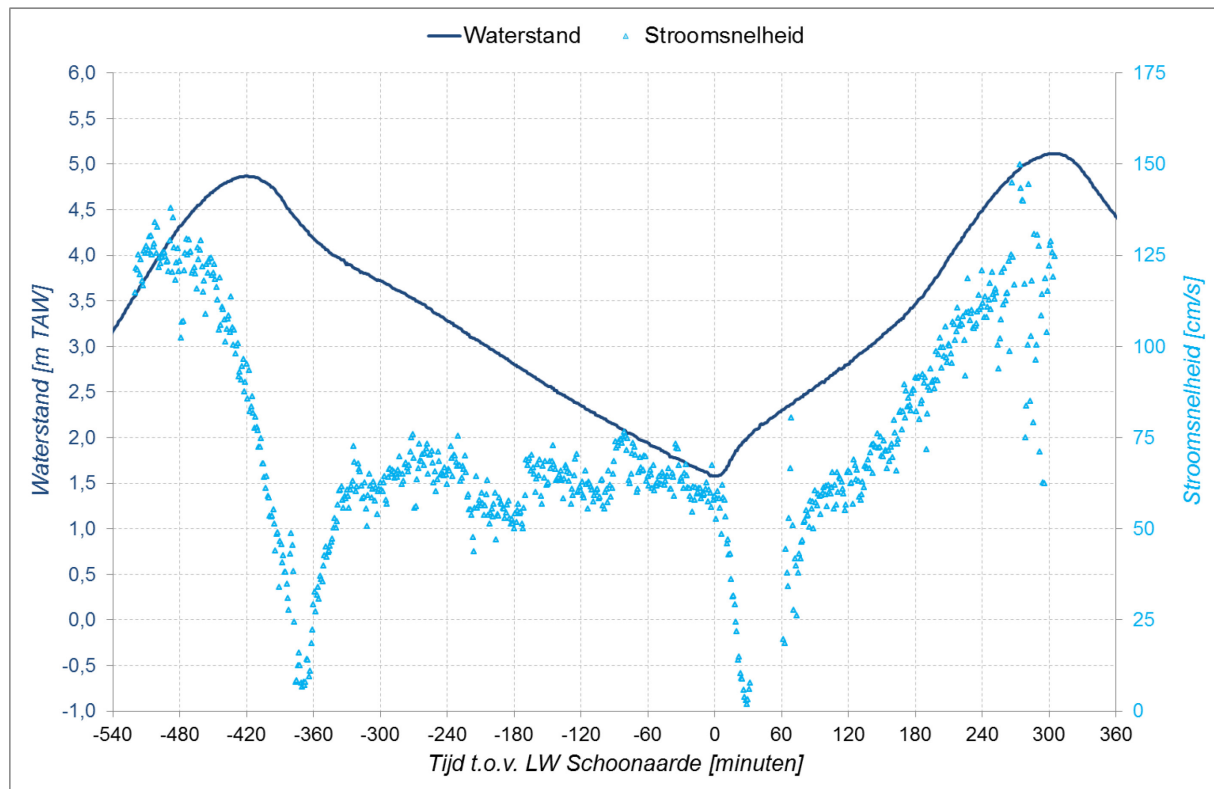
10.1. Waterbeweging

10.1.1. Waterstanden

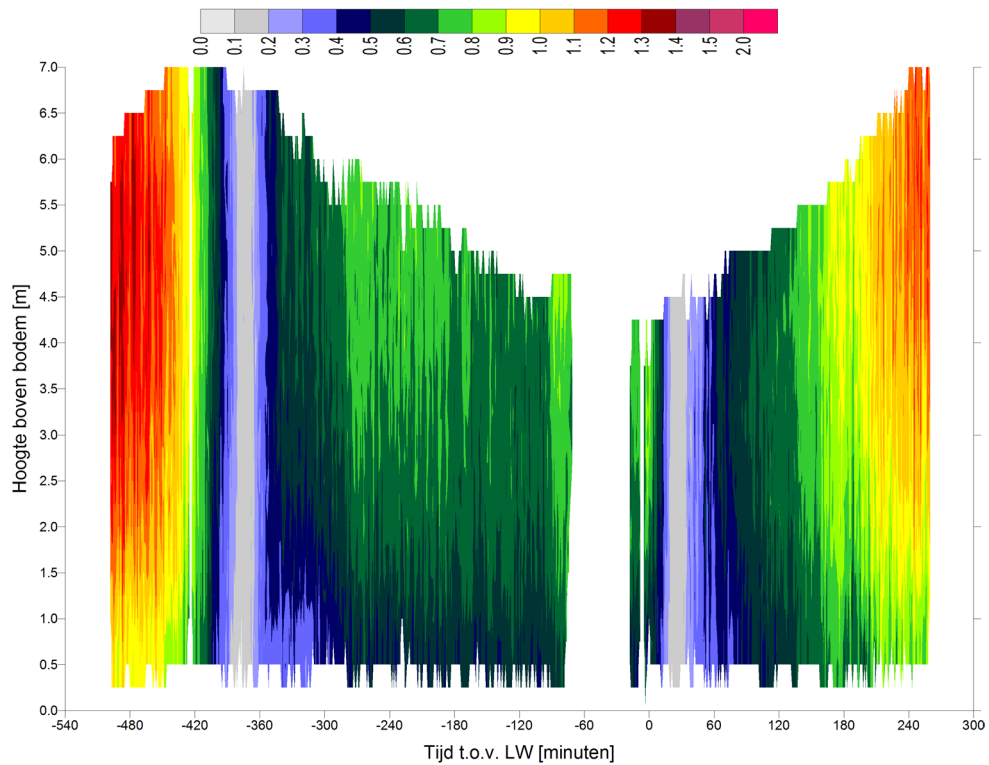
Tabel 22 - Overzicht getijcondities Schoonaarde

	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	Δ HLW [cm]	Δ LHW [cm]	κ [-]
	487	158	511	329	353	1,03
2001-2010 – GT	512	181		331		1,00
2001-2010 – ST	541	189		352		1,06

10.1.2. Stroomingen



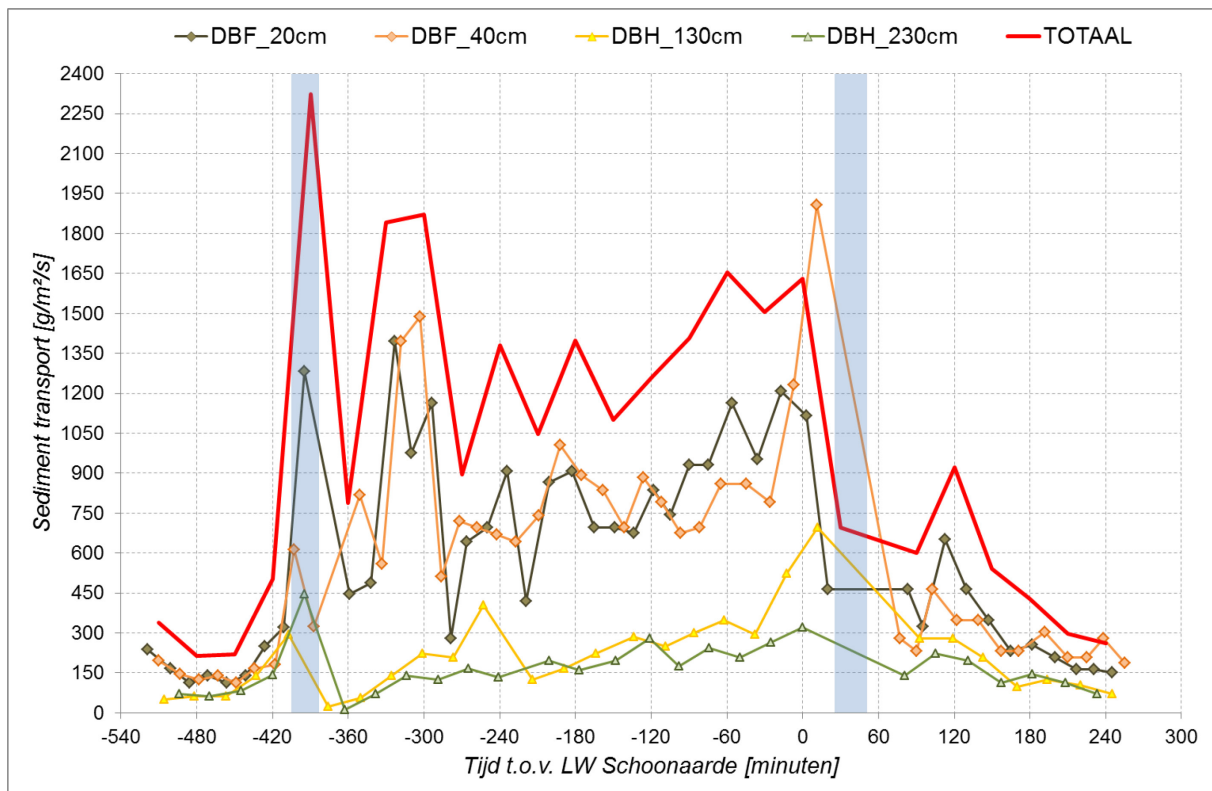
Figuur 34 - Overzicht waterstanden en stroomsnelheden Aanderaa



Figuur 35 - Stroomsnelheden ADCP

10.2. Sedimentbeweging

10.2.1. Sedimenttransport



Figuur 36 - Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]

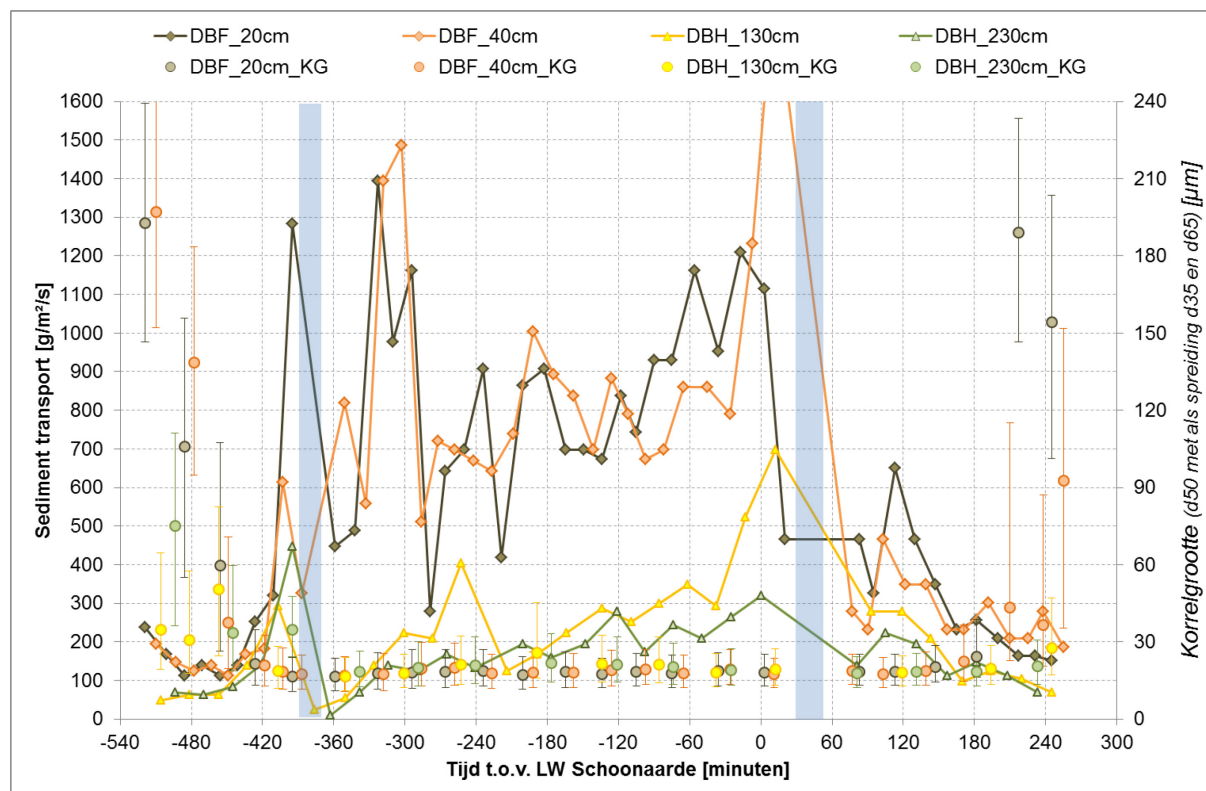
10.2.2. Korrelgrootte

Tabel 23 – Karakteristieke korreldiameters bodemstalen [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
27	284	334	389	535
8	143	257	357	637

Tabel 24 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. LW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
Gemiddelde waarde	$7,7 \pm 1,3$	$19,5 \pm 2,0$	$26,5 \pm 2,7$	$35,8 \pm 3,8$	$70,1 \pm 7,0$



Figuur 37 - Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment

10.3. Opmerking

Bij de uitvoering van de metingen bleek er een grote hoeveelheid fijn sediment door de Delftse fles gecapteerd te worden. Dit uitte zich in “bruin” water bij het bezinken in de proefbuis en moeilijk te onderscheiden scheidingsvlak van het bezonken sediment. Hoewel de Delftse fles in principe enkel zanderig sediment zou capteren, blijkt in de praktijk ook fijner (silt) sediment in de fles achter te blijven (dit wordt bevestigd door de korrelgroottes van het geanalyseerd sediment). De resultaten van deze meetcampagne dienen met de nodige extra voorzichtigheid gebruikt te worden.

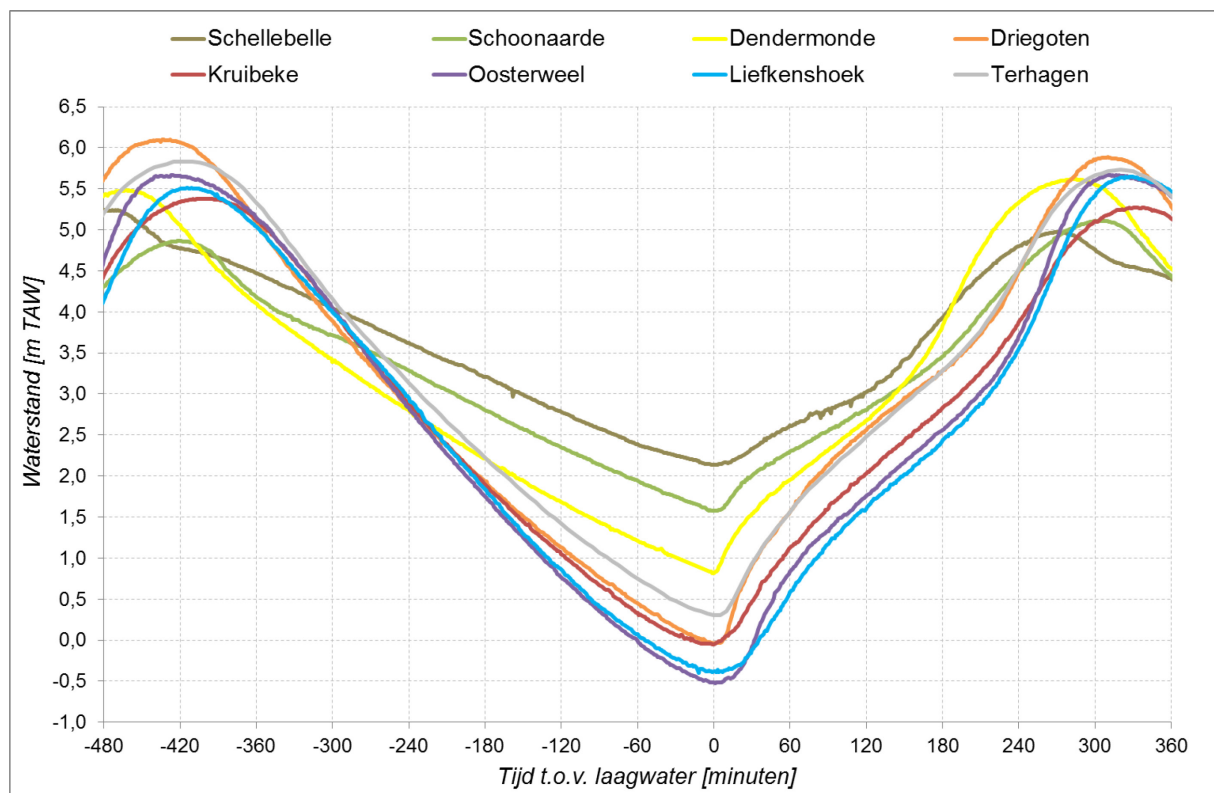
11. Conclusies

11.1. Waterbeweging

11.1.1. Waterstanden

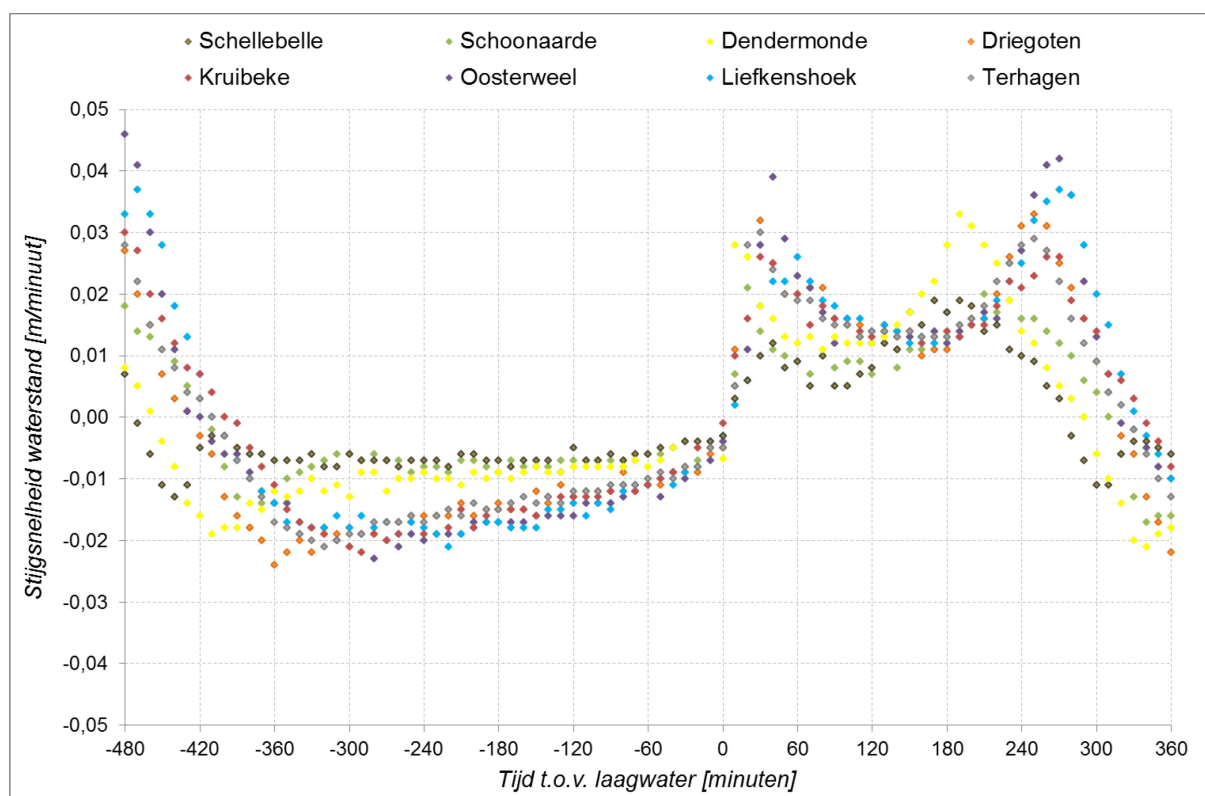
Figuur 38 geeft een overzicht van de variatie van de waterstanden onder invloed van het getij op de verschillende locaties op het moment dat de metingen uitgevoerd werden. Het merendeel van de meetcampagnes werd uitgevoerd bij condities die overeenstemmen met een sterker dan gemiddeld tot sterk springtij. Enkel te Schellebelle werd gemeten bij condities die eerder met doodtij overeenkomen.

De waterstandsvariaties geven het gekend beeld weer dat voorkomt in het Schelde-estuarium: van de grens tot Tielrode neemt het hoogwater en de amplitude toe, terwijl opwaarts Tielrode het getij gedempt worden met lagere hoogwaterstanden tot gevolg. Het laagwater was minimaal in Antwerpen, en nam geleidelijk toe naar opwaarts. De duur van de daling neemt geleidelijk toe van afwaarts naar opwaarts, zodat vice versa de duur van de stijging afneemt. Dit wordt verklaard door de snellere voortplanting van de hoogwatergolf ten opzichte van de laagwatergolf.



Figuur 38 - Overzicht waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties

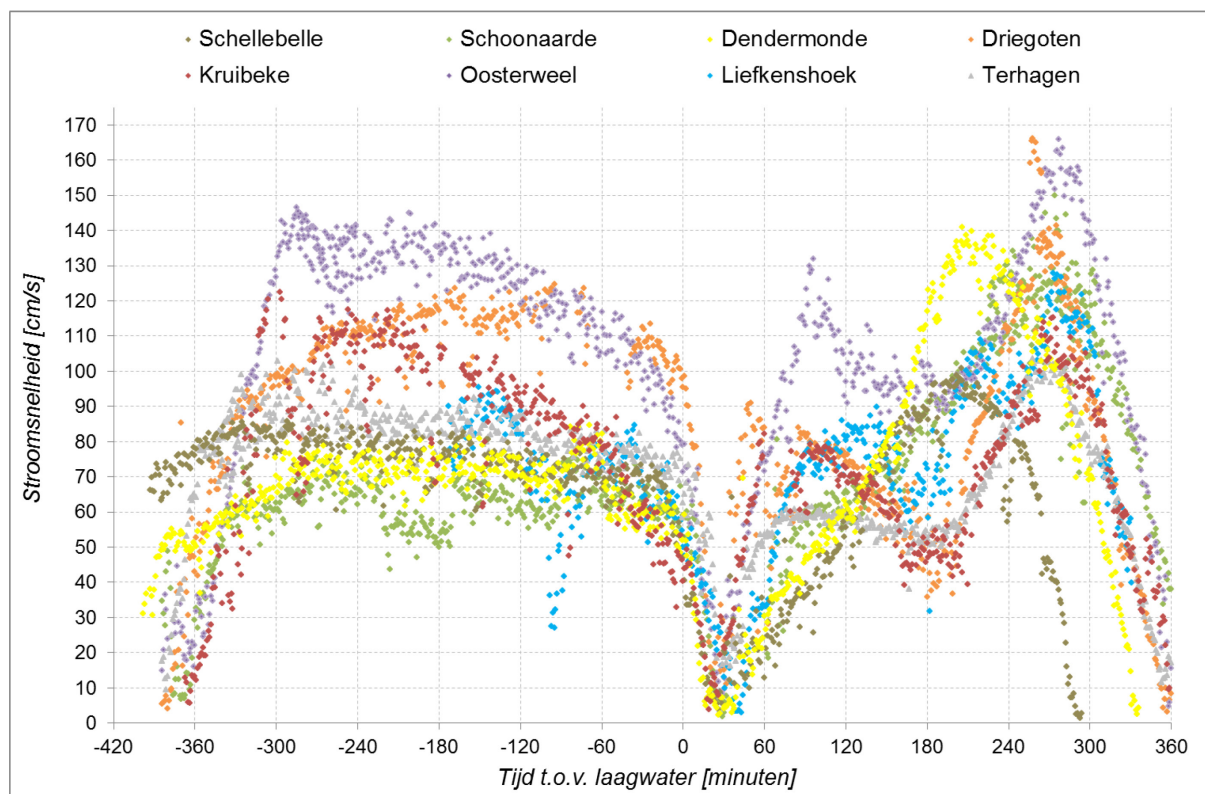
Figuur 39 geeft het verloop van de stijgsnelheid van de waterstanden weer voor de verschillende meetlocaties. Deze hebben een vergelijkbaar verloop voor alle 8 locaties. Bij de daling neemt de stijgsnelheid (of beter de “daalsnelheid”) geleidelijk af voor de afwaartse locaties, terwijl deze eerder constant is (en kleiner) voor de opwaartse stations. Het verschil in grootte wordt verklaard door het verschil in duur van de daling langsheen het estuarium. De stijgsnelheid vertoont twee pieken voor alle locaties: een eerste piek vlak na laagwater en een tweede piek ongeveer een uur voor hoogwater. Deze laatste piek manifesteert zich ook het meest in de stroomsnelheden, aanleiding gevend tot de maximale vloednelheid op dit moment binnen de getijcyclus.



Figuur 39 - Overzicht stijgsnelheid⁴ van de waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties

11.1.2. Stromingen

Figuur 40 geeft een overzicht van de gemeten stroomsnelheid ter hoogte van de meetlocaties.



Figuur 40 - Overzicht stroomsnelheid ter hoogte van de verschillende meetlocaties

⁴ De stijgsnelheid werd bepaald als het verschil in waterstand over een periode van 10 minuten.

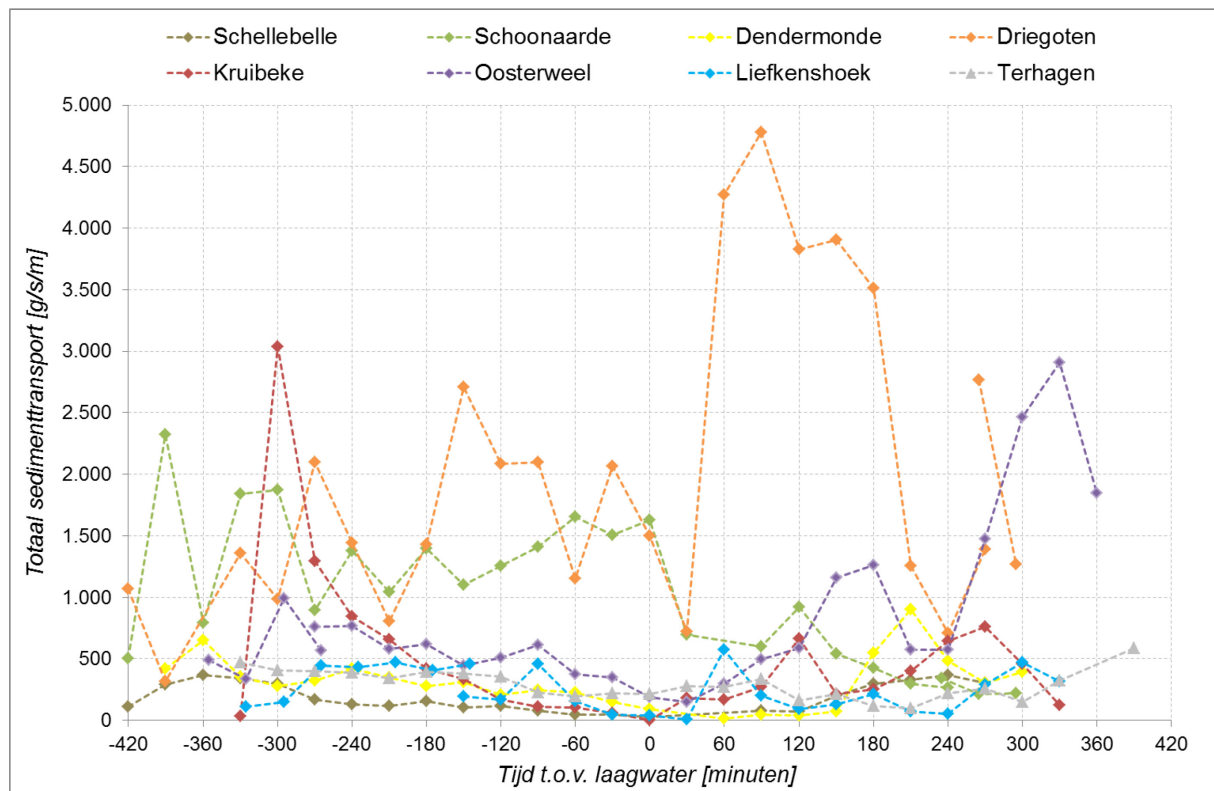
De patronen zijn gelijkaardig voor de verschillende locaties: een geleidelijk dalend verloop gedurende de eb en een vrij constant verloop gevolgt door een piek op het eind tijdens de vloed. De hoogste snelheden (zowel eb als vloed) werden gemeten in de zone Oosterweel – Driegoten. Schellebelle werd gekenmerkt door de laagste vloedsnelheden, terwijl de ebsnelheden hier groter waren dan de meer afwaarts gelegen locaties Schoonaarde en Dendermonde. Mogelijks speelt hier het effect van de bovenafvoer.

11.2. Sedimentbeweging

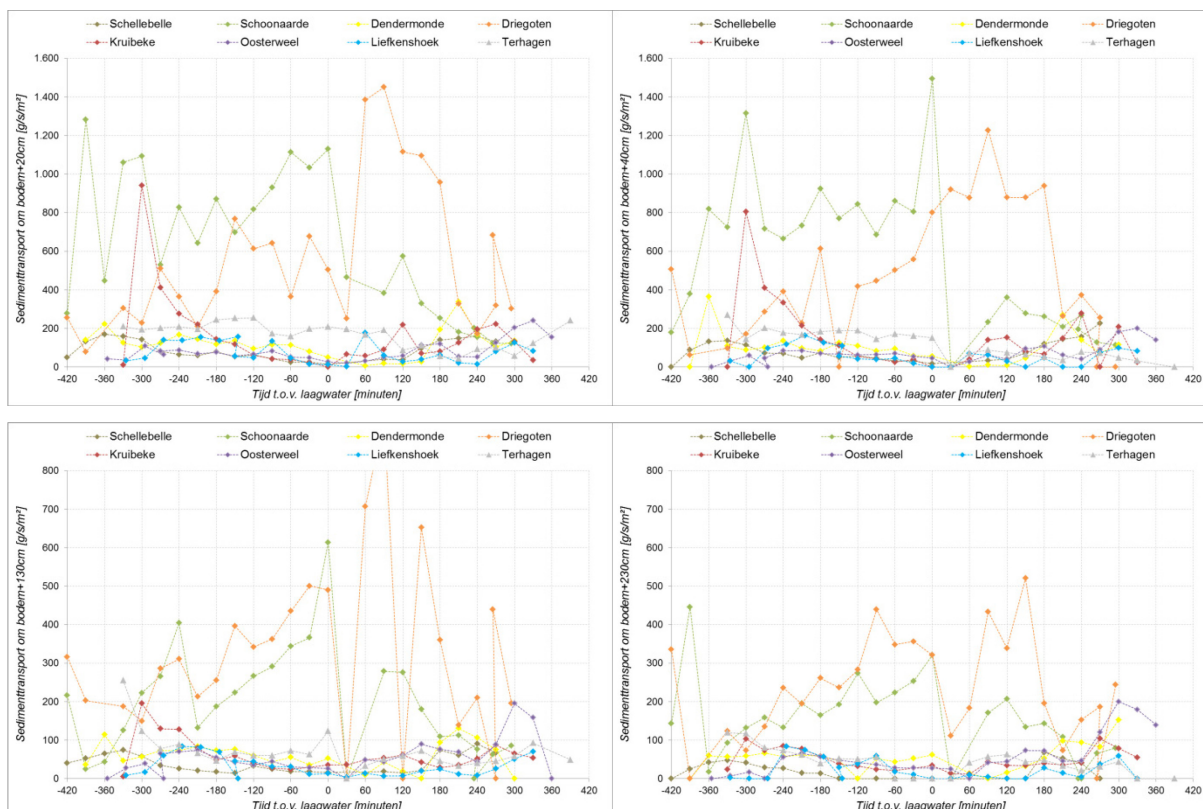
11.2.1. Sedimenttransport

Figuur 41 geeft een overzicht van het totaal sedimenttransport op de verschillende meetlocaties. Figuur 42 geeft een overzicht van het gemeten sedimenttransport op de verschillende verticale posities voor de verschillende meetlocaties. De patronen vertonen grote verschillen voor de verschillende meetlocaties. De hoogste totale transporten traden schijnbaar op in Driegoten en Schoonaarde. Echter, deze transporten komen voort uit metingen waarbij de monsters als “troebel water” werden beschreven. Dit betekent dat, ondanks het feit dat de Delftse fles in principe enkel de zandfractie zou mogen capteren, er ook fijnere sedimenten in de Delftse fles achter blijven. Deze metingen dienen dan ook met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden.

Voor de overige locaties kan wel een gelijkaardig patroon gevonden worden: bij het begin van de eb treedt een relatief hoog transport op dat geleidelijk afneemt tot op het moment van kentering laagwater; vervolgens neemt het transport terug toe om ongeveer 1 uur voor hoogwater een piek te bereiken; een aantal locaties (Kruikeke, Terhagen) vertoont tevens een bijkomende piek aan het begin van de vloed.



Figuur 41 - Overzicht totaal sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties



Figuur 42 - Overzicht sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties
(top links: bodem+20cm | top rechts: bodem+40cm | onder links: bodem+150cm | onder rechts: bodem+250cm)

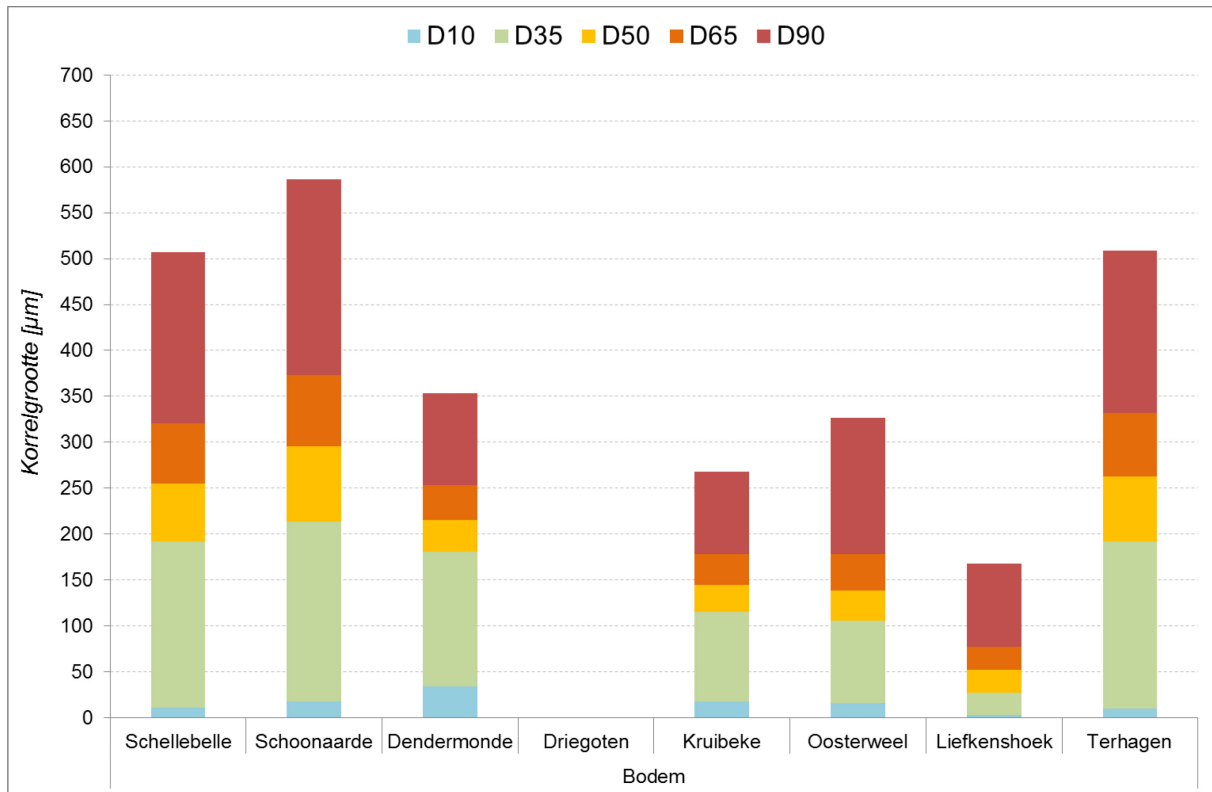
11.2.2. Korrelgrootte

Figuur 43 geeft een overzicht van de verschillende karakteristieke diameters van de korrelgrootte (d10, d35, d50, d65, d90) van het bodemsediment. De d50 varieert tussen 150 μm en 350 μm , op uitzondering van Liefkenshoek. Hierbij dient echter de bemerking geplaatst te worden dat dit monster waarschijnlijk niet representatief mag worden beschouwd, aangezien de korrelgrootte van het nabij-bodem transport groter blijkt te zijn.

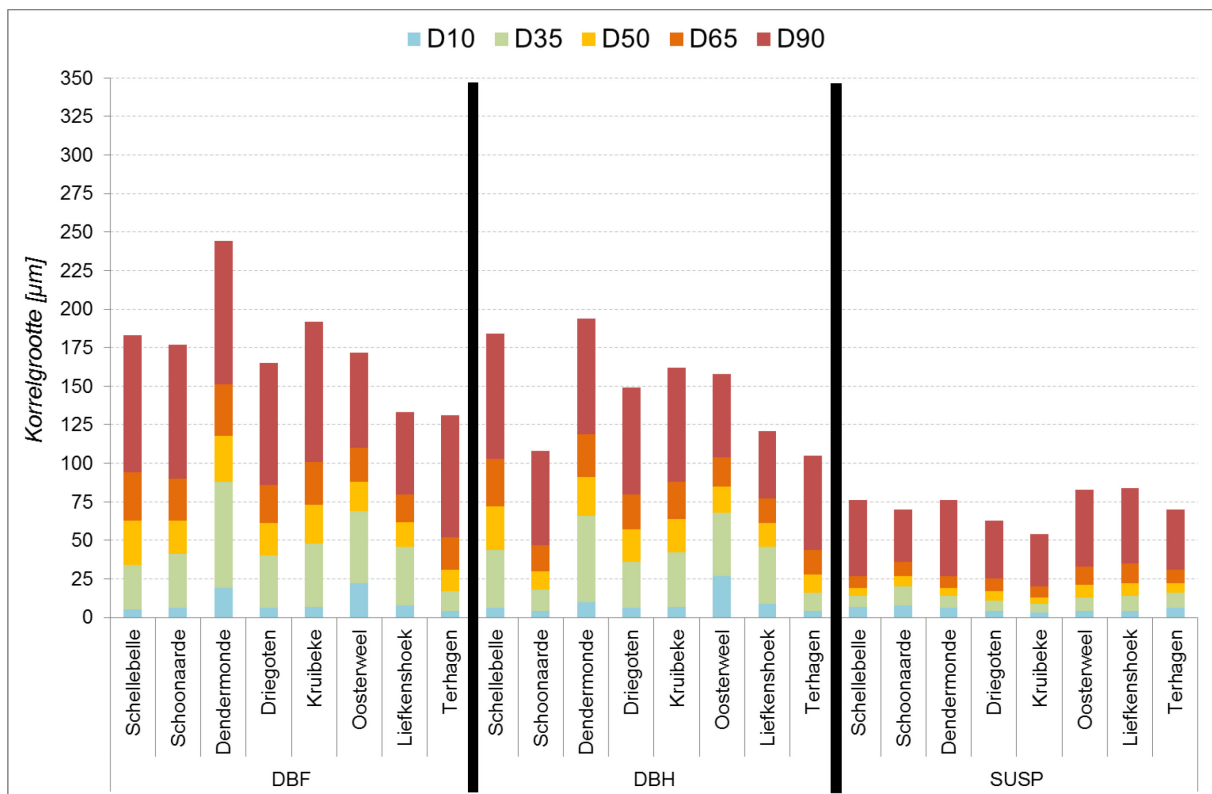
Figuur 44 geeft een overzicht van de verschillende karakteristieke diameters van de korrelgrootte (d10, d35, d50, d65, d90) voor de verschillende meettoestellen (nabij-bodem via DBF, suspensie via DBH, suspensie via pomp) en dit voor zowel vloed als eb.

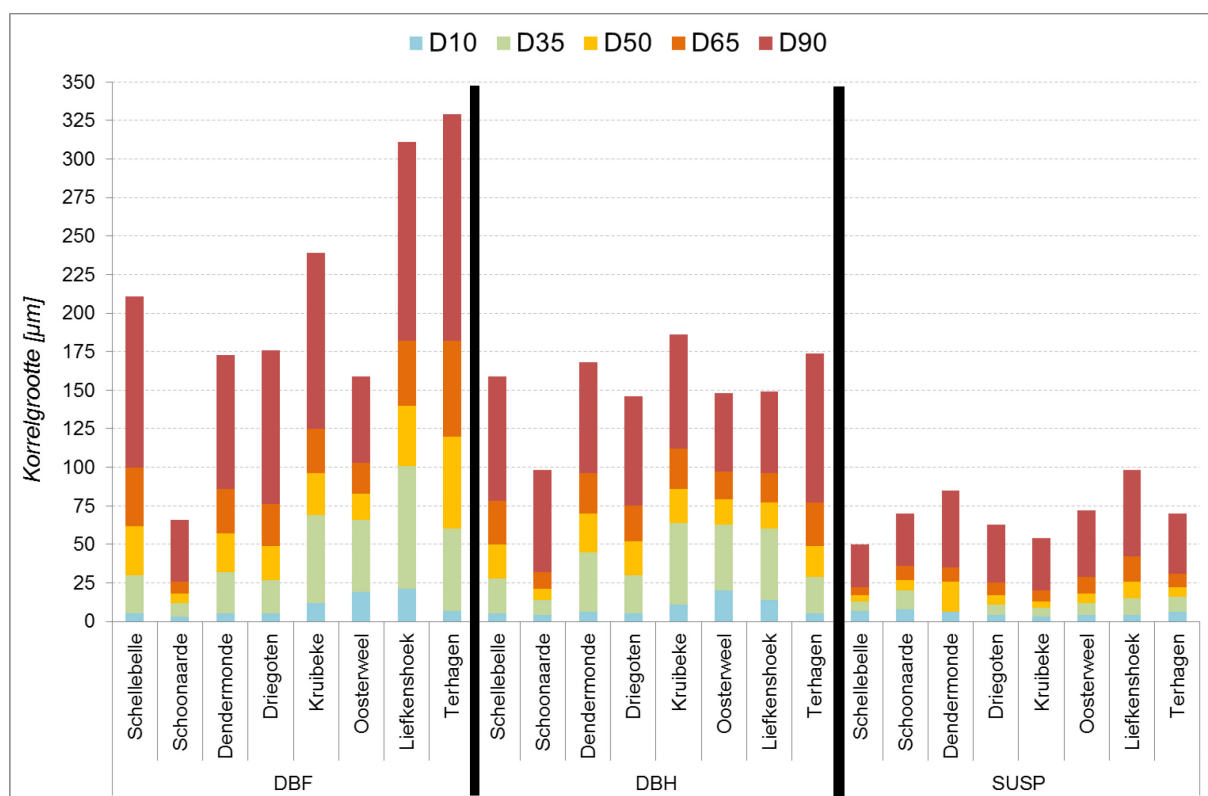
Voor de Delftse fles op frame varieert de d50 bij vloed rond 100 μm , op uitzondering van Dendermonde (150 μm) en Terhagen (50 μm). Bij eb is de variatie van de d50 groter, tussen 25 μm (Schoonaarde) en 175 μm (Liefkenshoek en Terhagen).

Voor de opgehangen Delftse fles varieert de d50 zowel bij vloed als bij eb tussen 30 en 120 μm . Voor de pompstalen varieert de d50 zowel bij vloed als eb tussen 15 en 25 μm .



Figuur 43 - Overzicht karakteristieke korrelgrootte van het bodemsediment





Figuur 44 - Overzicht karakteristieke korrelgrootte bij vloed (boven) en eb (onder)

Tabel 25 – Karakteristieke korrel diameters bij vloed en eb op verschillende verticale posities [in µm]

Locatie		D10		D35		D50		D65		D90	
Schellebelle	DBF	5	5	34	30	63	62	94	100	183	211
	DBH	6	5	44	28	72	50	103	78	184	159
	SUSP	7	7	14	13	19	17	27	22	76	50
Schoonaarde	DBF	6	3	41	12	63	18	90	26	177	66
	DBH	4	4	18	14	30	21	47	32	108	98
	SUSP	8		20		27		36		70	
Dendermonde	DBF	19	5	88	32	118	57	151	86	244	173
	DBH	10	6	66	45	91	70	119	96	194	168
	SUSP	6	6	14	1	19	21	27	30	76	80
Driegoten	DBF	6	5	40	27	61	49	86	76	165	176
	DBH	6	5	36	30	57	52	80	75	149	146
	SUSP	4		11		17		25		63	
Kruibeke	DBF	7	12	48	69	73	96	101	125	192	239
	DBH	7	11	42	64	64	86	88	112	162	186
	SUSP	3		9		13		20		54	
Oosterweel	DBF	22	19	69	66	88	83	110	103	172	159
	DBH	27	20	68	63	85	79	104	97	158	148
	SUSP	4	4	13	12	21	18	33	29	83	72
Liefkenshoek ^{*1}	DBF	8	21	46	101	62	140	80	182	133	311
	DBH	9	14	46	60	61	77	77	96	121	149
	SUSP	4	4	14	15	22	26	35	42	84	98
Terhagen	DBF	4	7	17	60	31	120	52	182	131	329
	DBH	4	5	16	29	28	49	44	77	105	174
	SUSP	6		16		22		31		70	

*1 Meting te Liefkenshoek: vloed werd gemeten t.h.v. LO, eb t.h.v. RO omwille van sterke wind

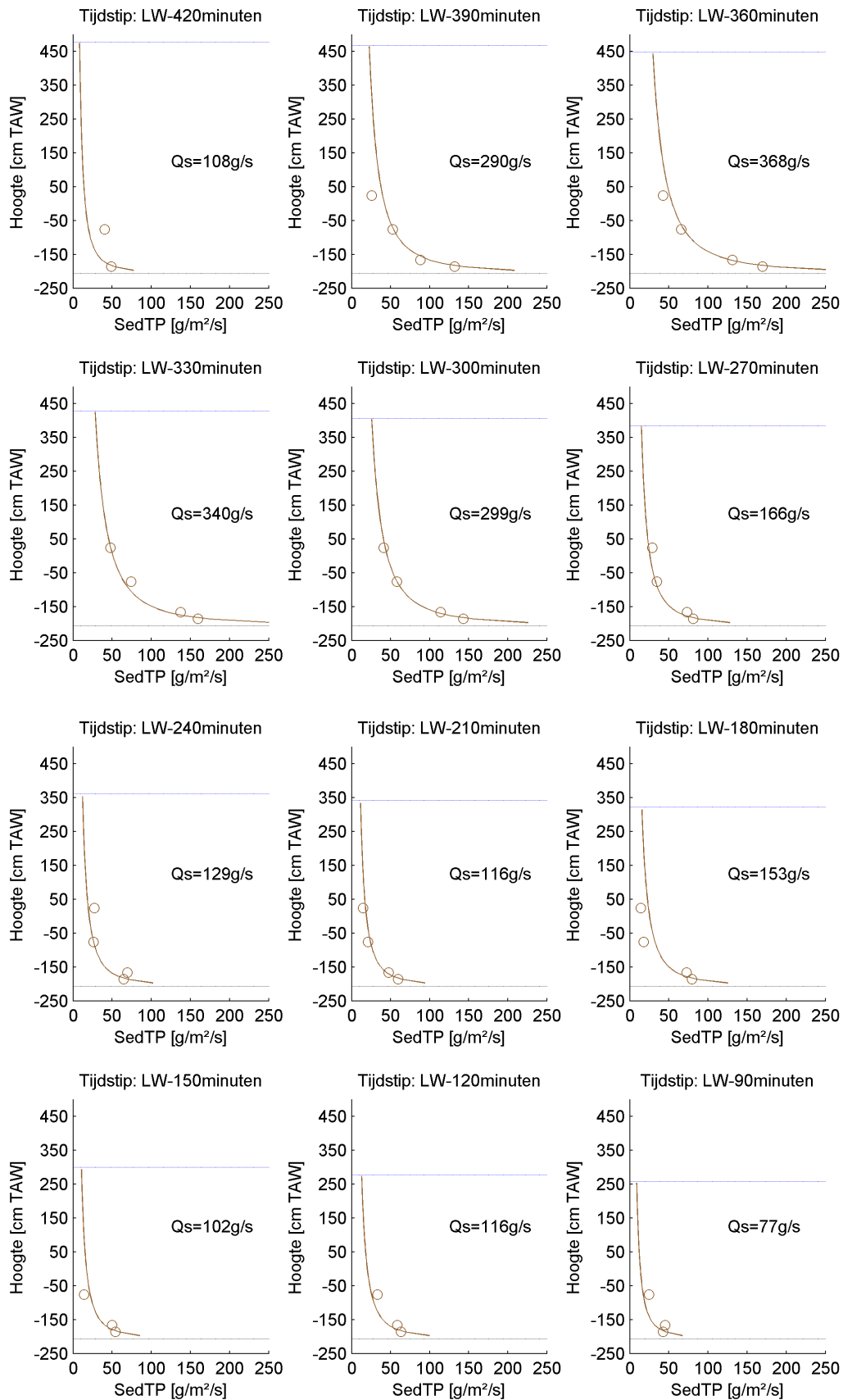
12. Referenties

Levy, Y.; Vereecken, H.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (*in voorbereiding*). MONEOS 2013 volle tij metingen: Stromingen, debiet en sediment concentratie. WL Rapporten, 13_086. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België. (*in voorbereiding*)

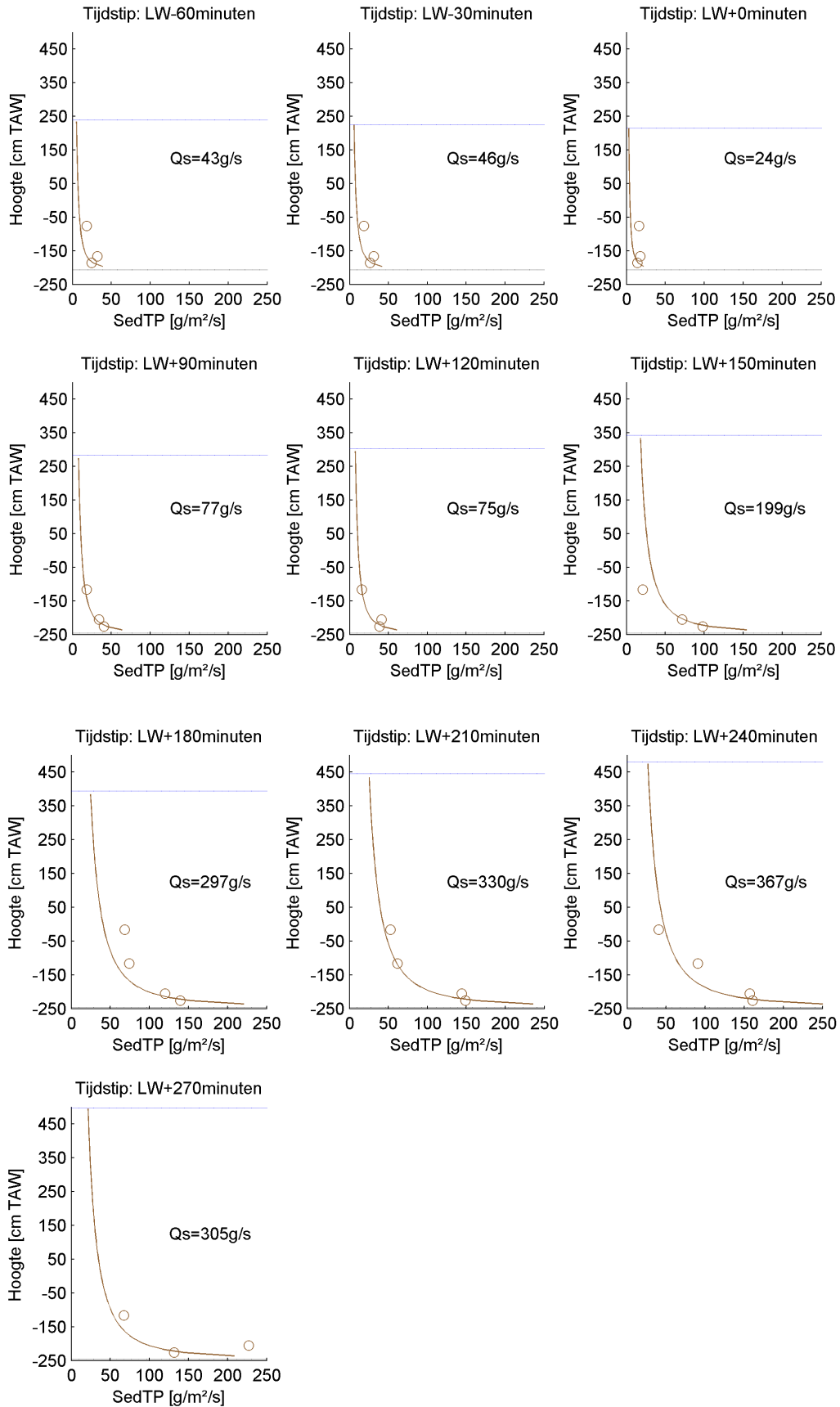
Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout (2006). M754/2C Alternatieve stortstrategie Westerschelde – Eindevaluatie proefstorting Walsoorden. WL Rapporten, M754/2C. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België. April 2006.

Bijlagen

Bijlage A - Schellebelle (15/04/2014)



Figuur A 1 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

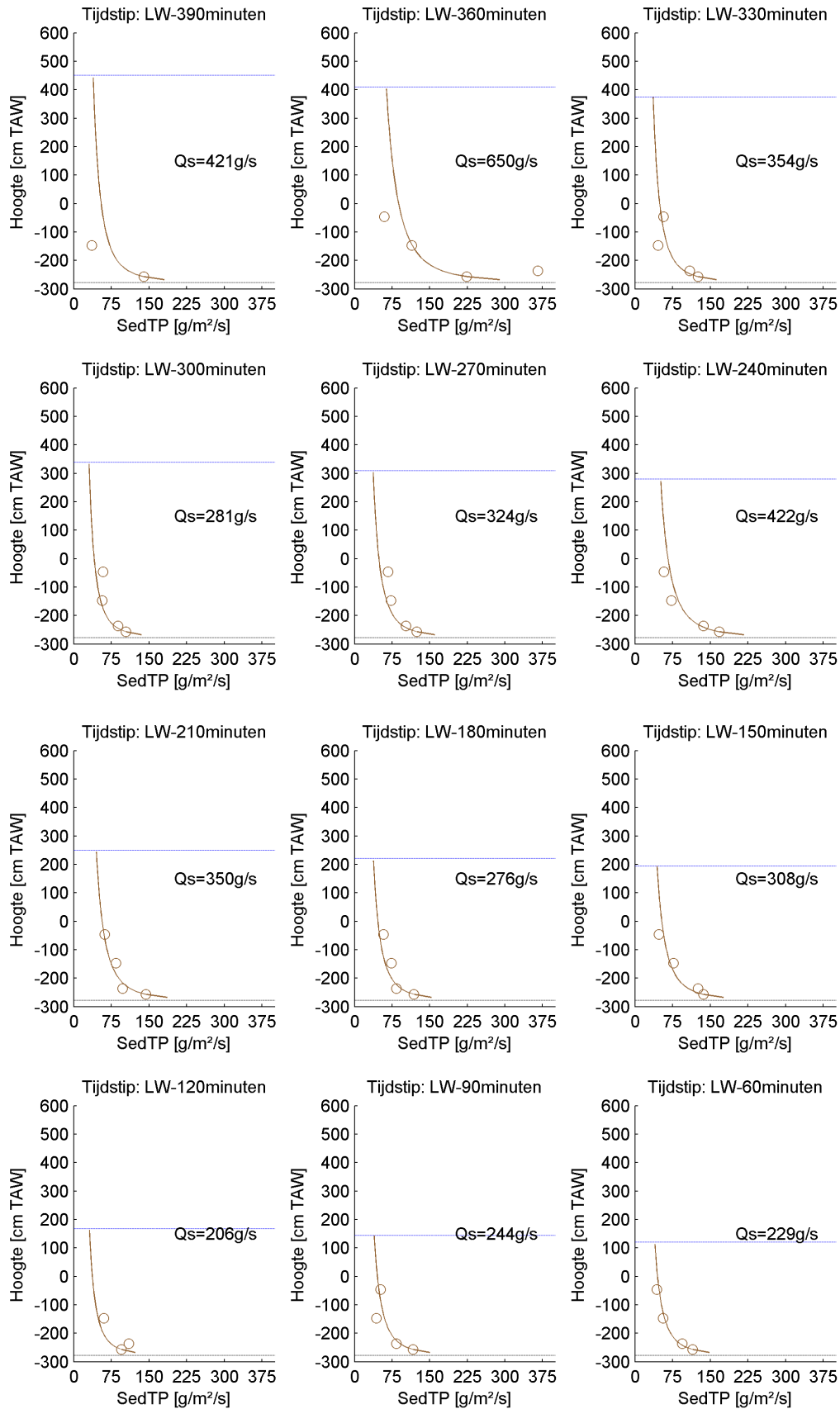


Figuur A 2 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

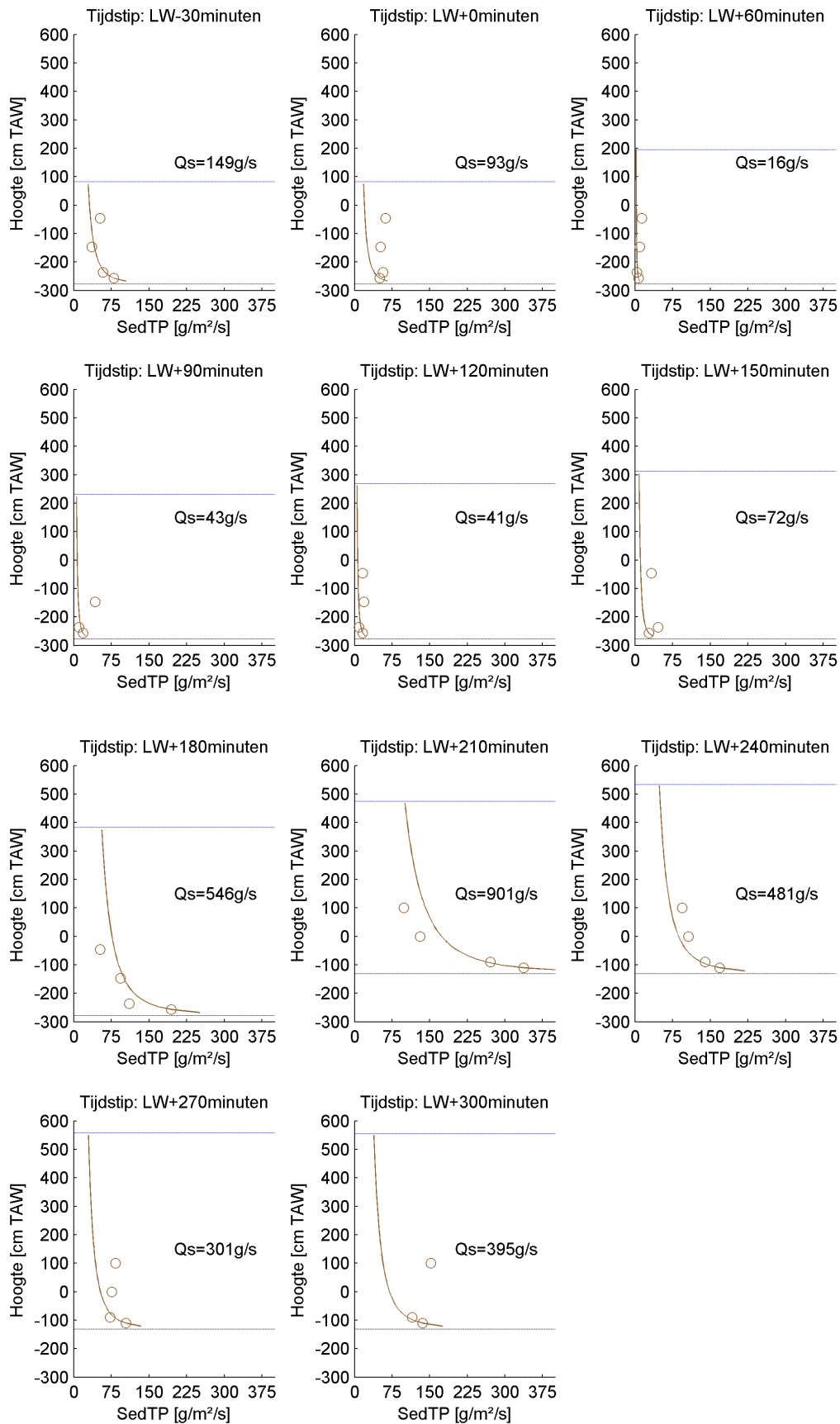
Tabel 26 – Karakteristieke korreldiameters **voor** en **na** verwijderen organisch materiaal [in µm]

Tijdstip [minuten t.o.v. LW]	Positie [cm boven bodem]	D10 [µm]	D35 [µm]	D50 [µm]	D65 [µm]	D90 [µm]
-323	20	4	15	28	52	146
		11	49	83	125	244
-323	130	4	16	35	69	160
		11	47	76	111	203
-101	40	4	22	45	78	189
		13	60	87	118	204
-79	130	3	13	22	39	111
		13	54	80	109	189
175	130	6	49	84	117	205
		34	100	127	157	241
181	20	8	94	133	172	276
		25	112	143	177	268
265	230	3	15	30	58	139
		6	29	44	65	135
267	40	3	13	25	47	111
		7	30	44	62	116

Bijlage B – Dendermonde (17/04/2014)



Figuur B 1 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

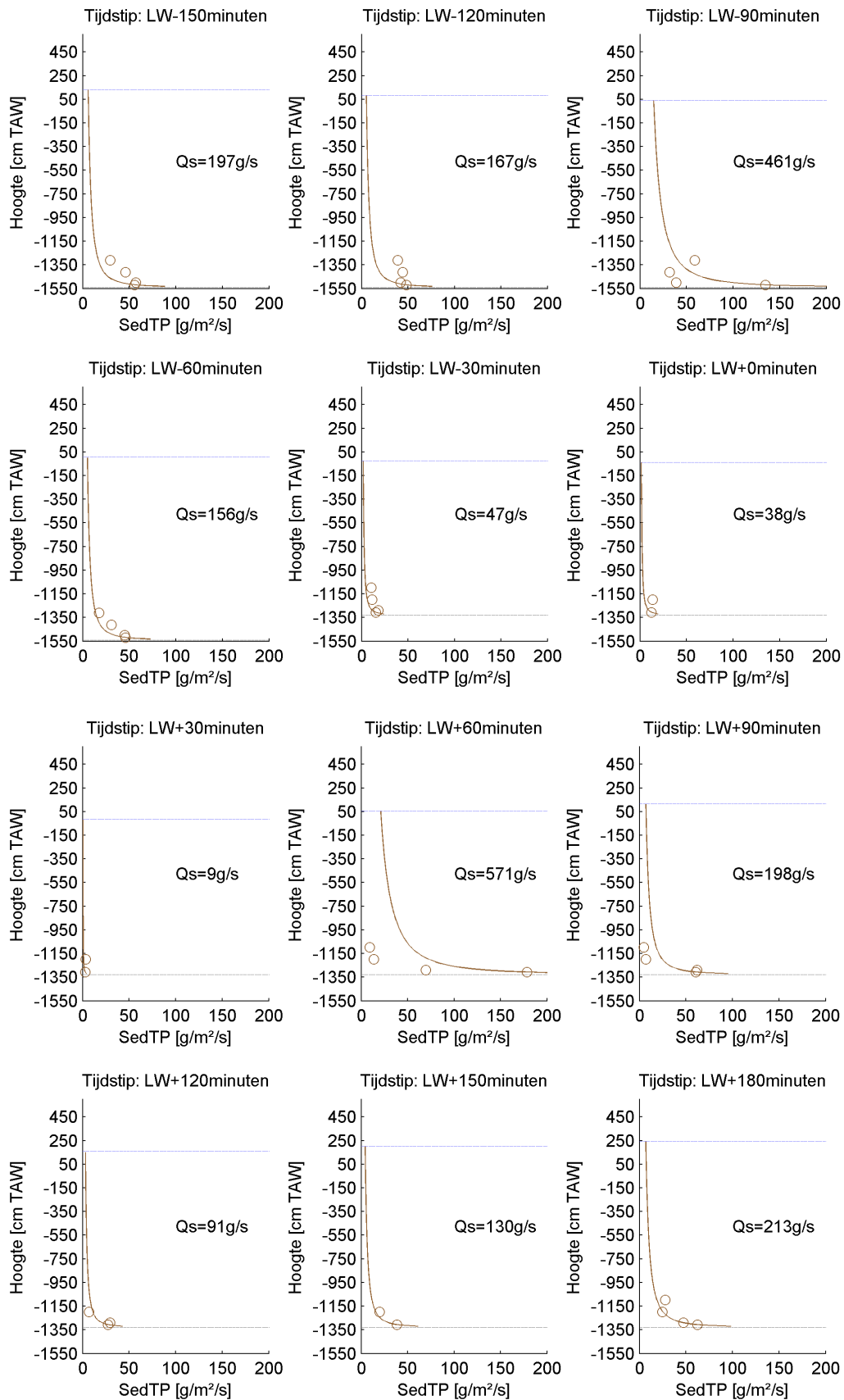


Figuur B 2 - Diepteprofilen sediment transport (deel 2)

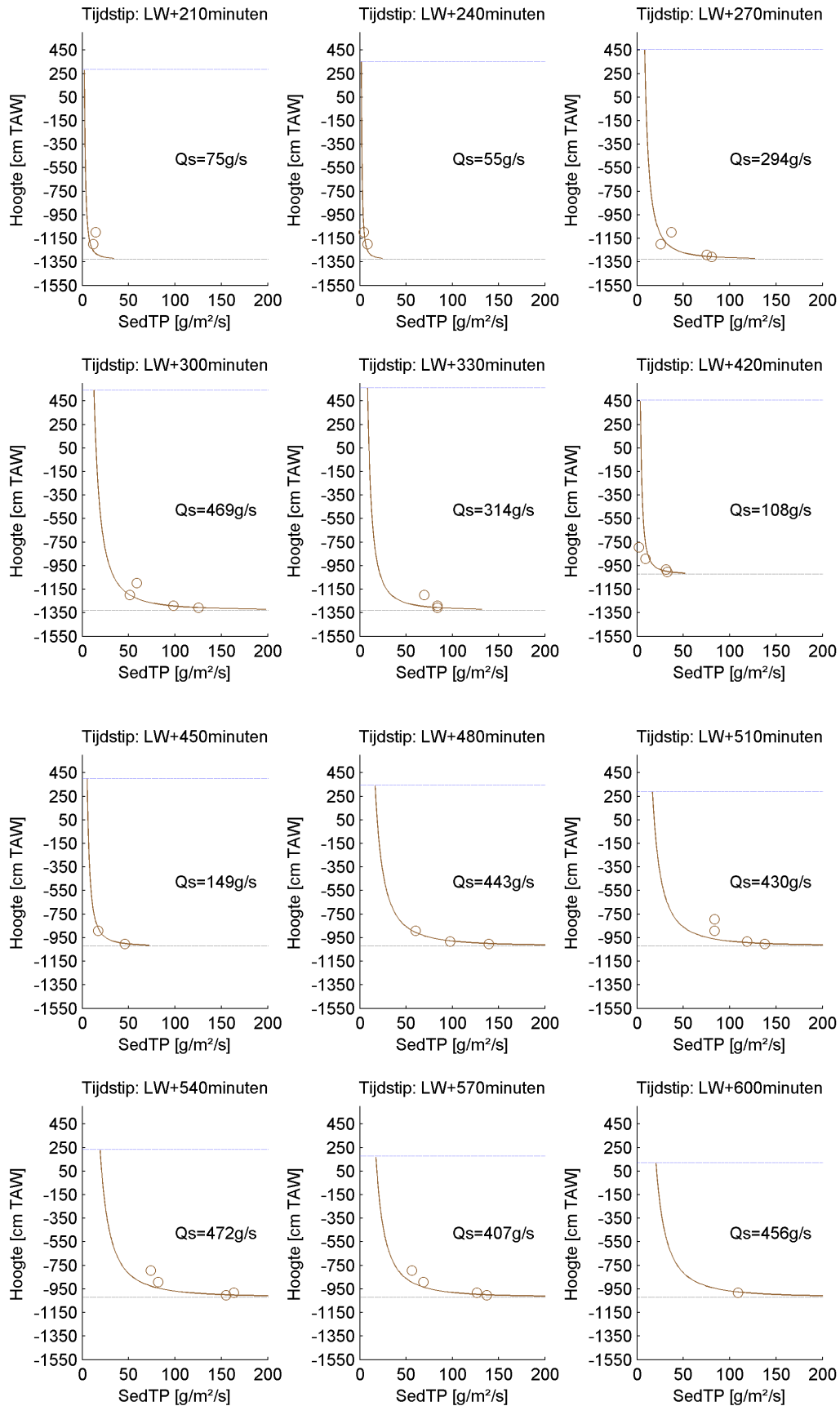
Tabel 27 – Karakteristieke korreldiameters voor en na verwijderen organisch materiaal [in µm]

Tijdstip [minuten t.o.v. LW]	Positie [cm boven bodem]	D10 [µm]	D35 [µm]	D50 [µm]	D65 [µm]	D90 [µm]
-317	130	5	37	63	88	158
		22	78	102	128	202
-298	20	5	29	57	88	181
		13	59	87	118	204
-66	230	9	77	103	132	211
		49	98	122	150	229
-54	20	5	36	68	99	185
		16	61	84	111	188
196	230	14	100	127	157	240
		36	110	137	167	252
203	20	34	148	178	213	305
		90	161	197	238	350
285	230	6	47	68	89	146
		21	67	85	106	163
296	20	4	17	33	54	125
		11	47	66	88	153

Bijlage C – Liefkenshoek (14/05/2014)

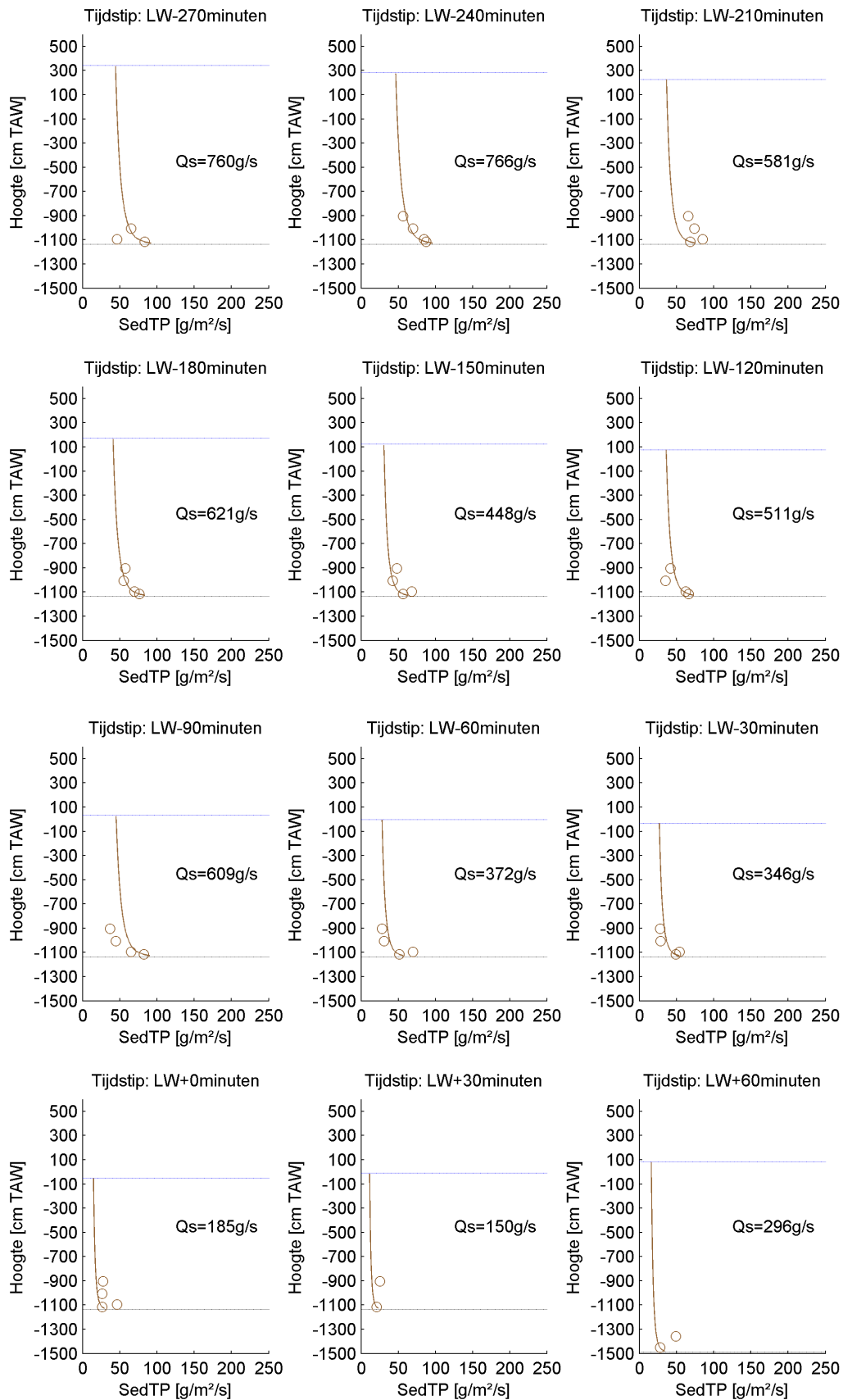


Figuur B 3 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

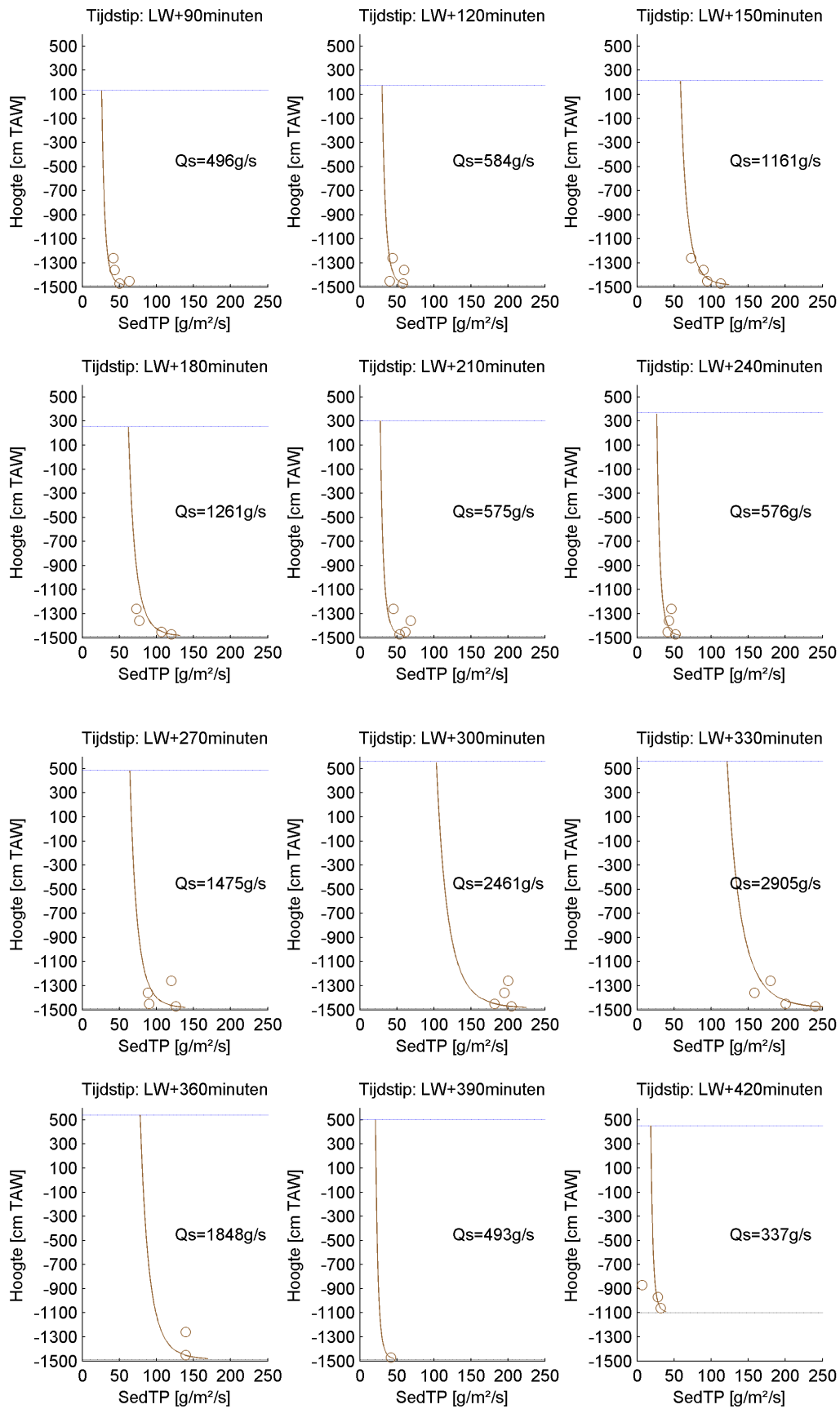


Figuur B 4 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

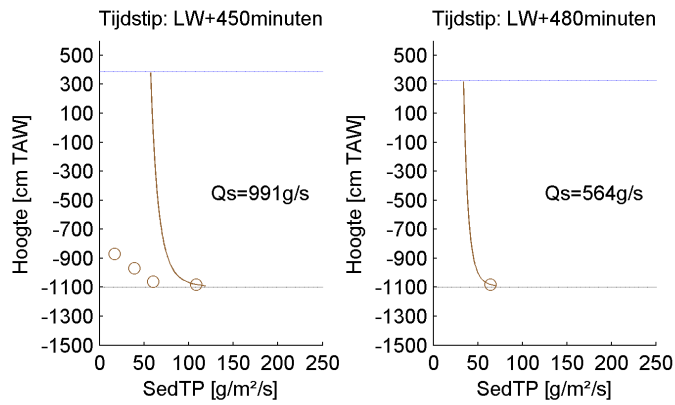
Bijlage D – Oosterweel (16/05/2014)



Figuur B 5 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

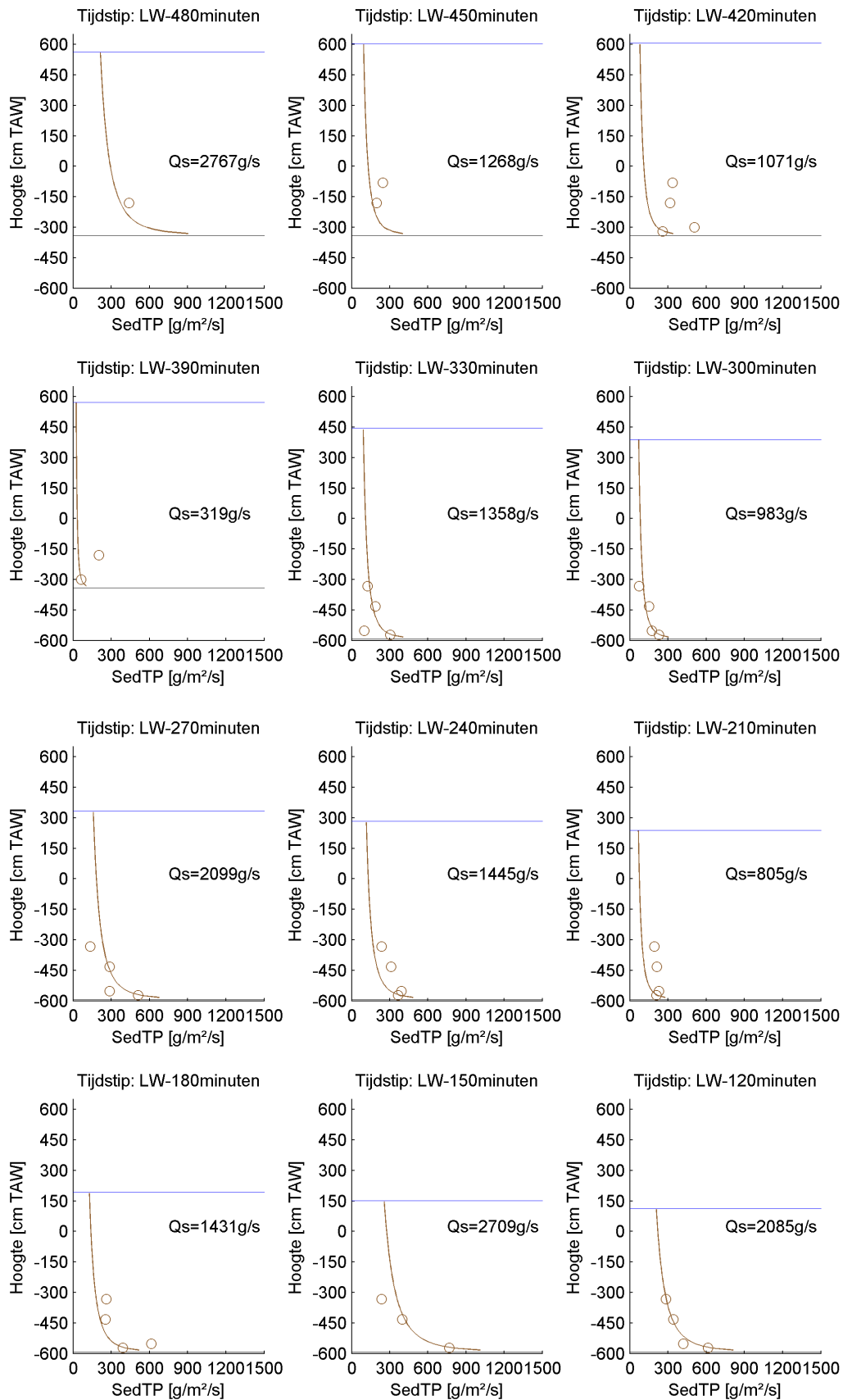


Figuur B 6 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

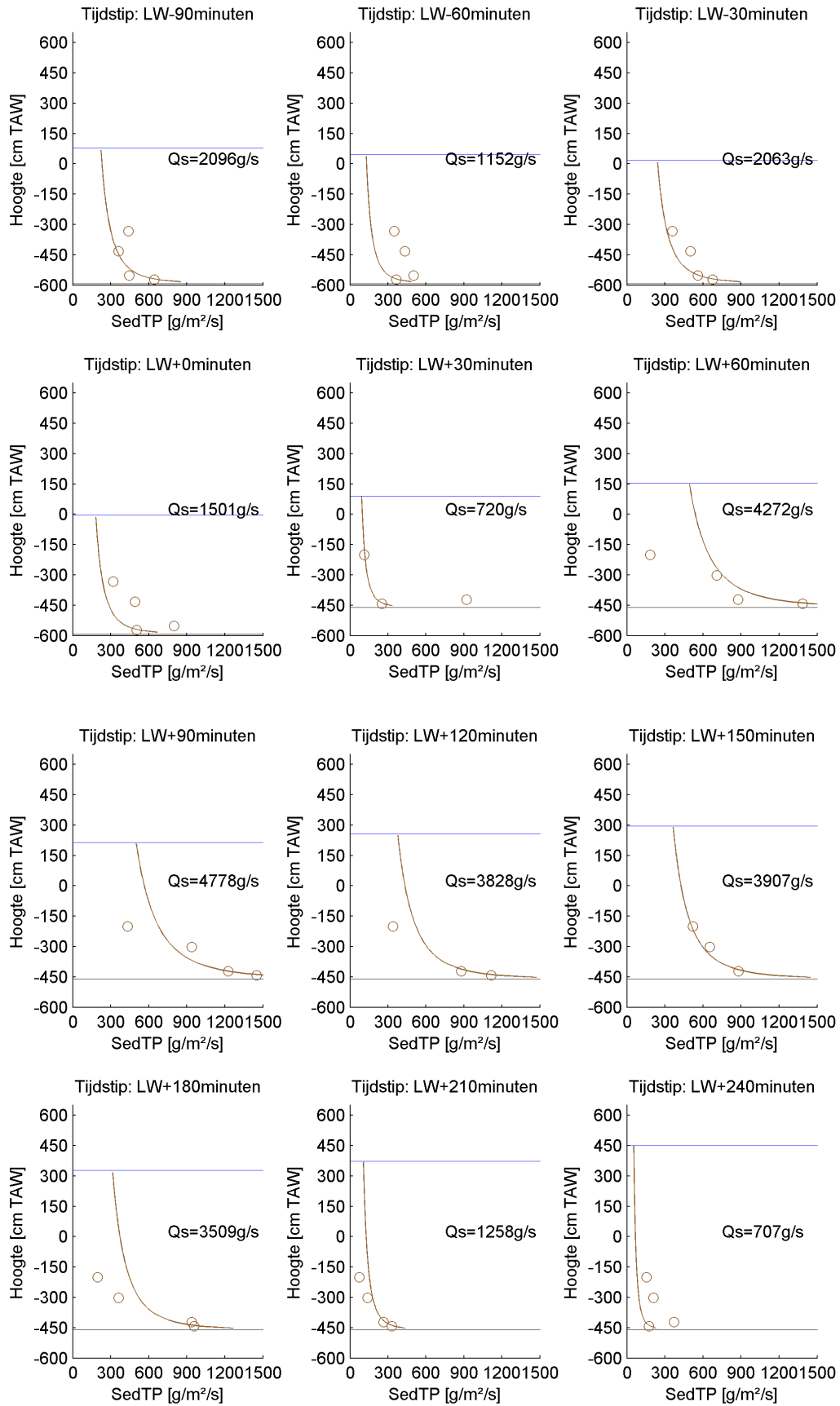


Figuur B 7 - Diepteprofielen sediment transport (deel 3)

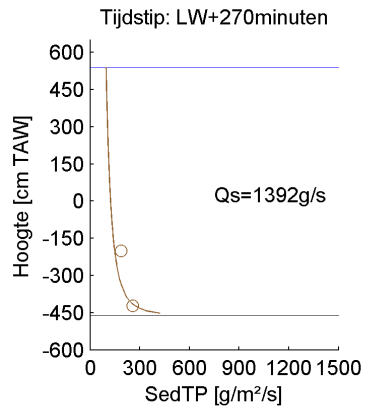
Bijlage E – Driegoten (17/06/2014)



Figuur B 8 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

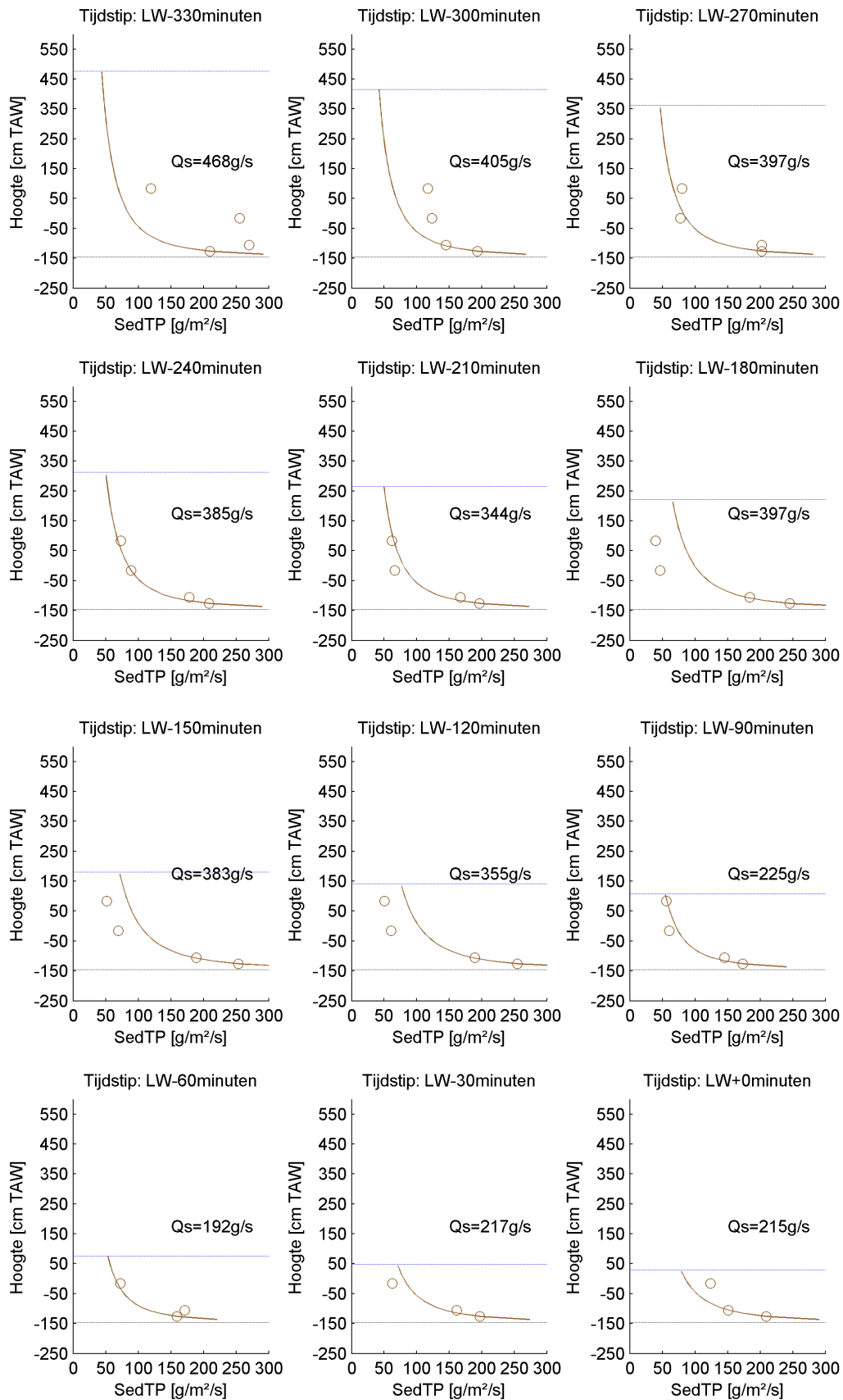


Figuur B 9 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

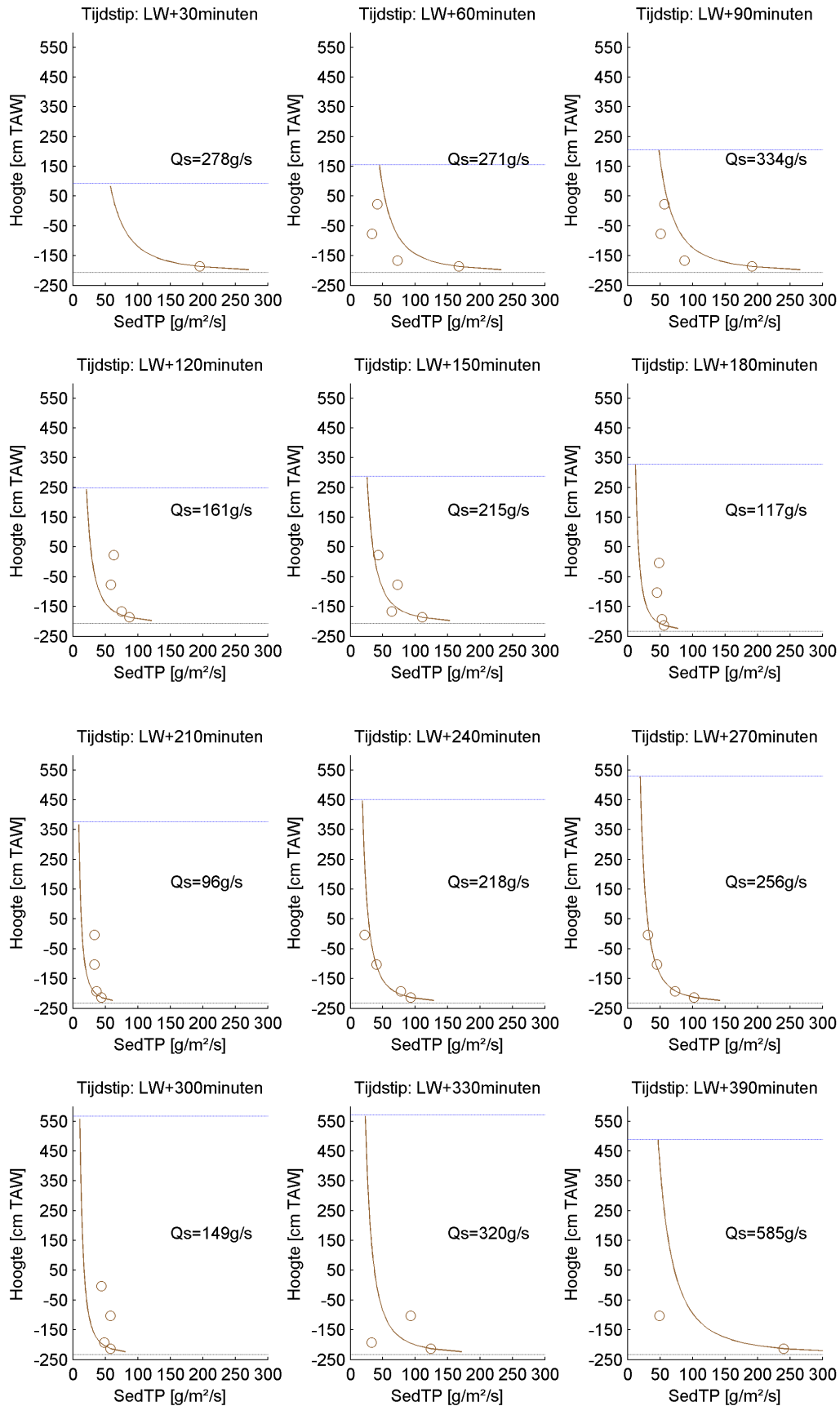


Figuur B 10 - Diepteprofielen sediment transport (deel 3)

Bijlage F – Terhagen (30/06/2014)

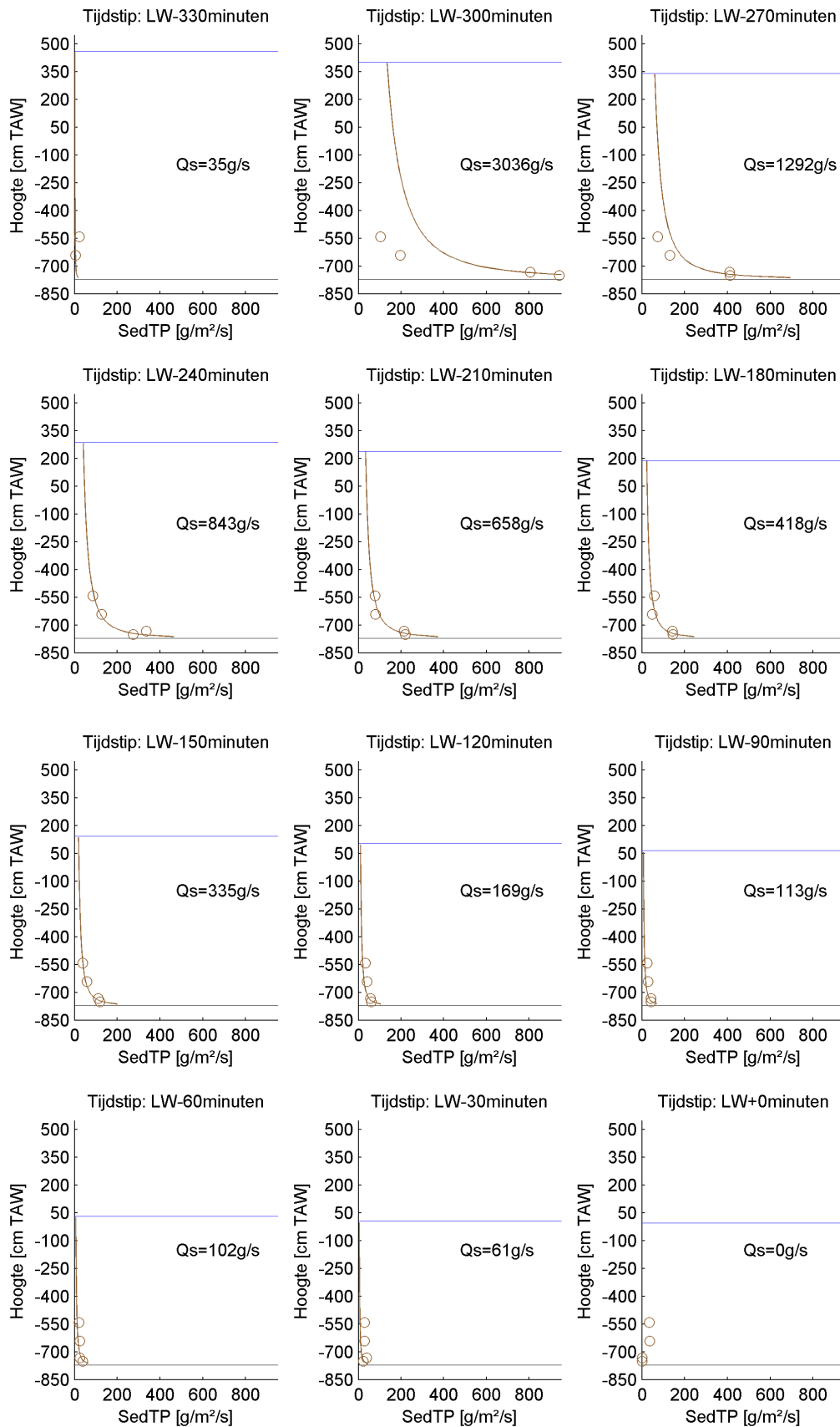


Figuur B 11 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

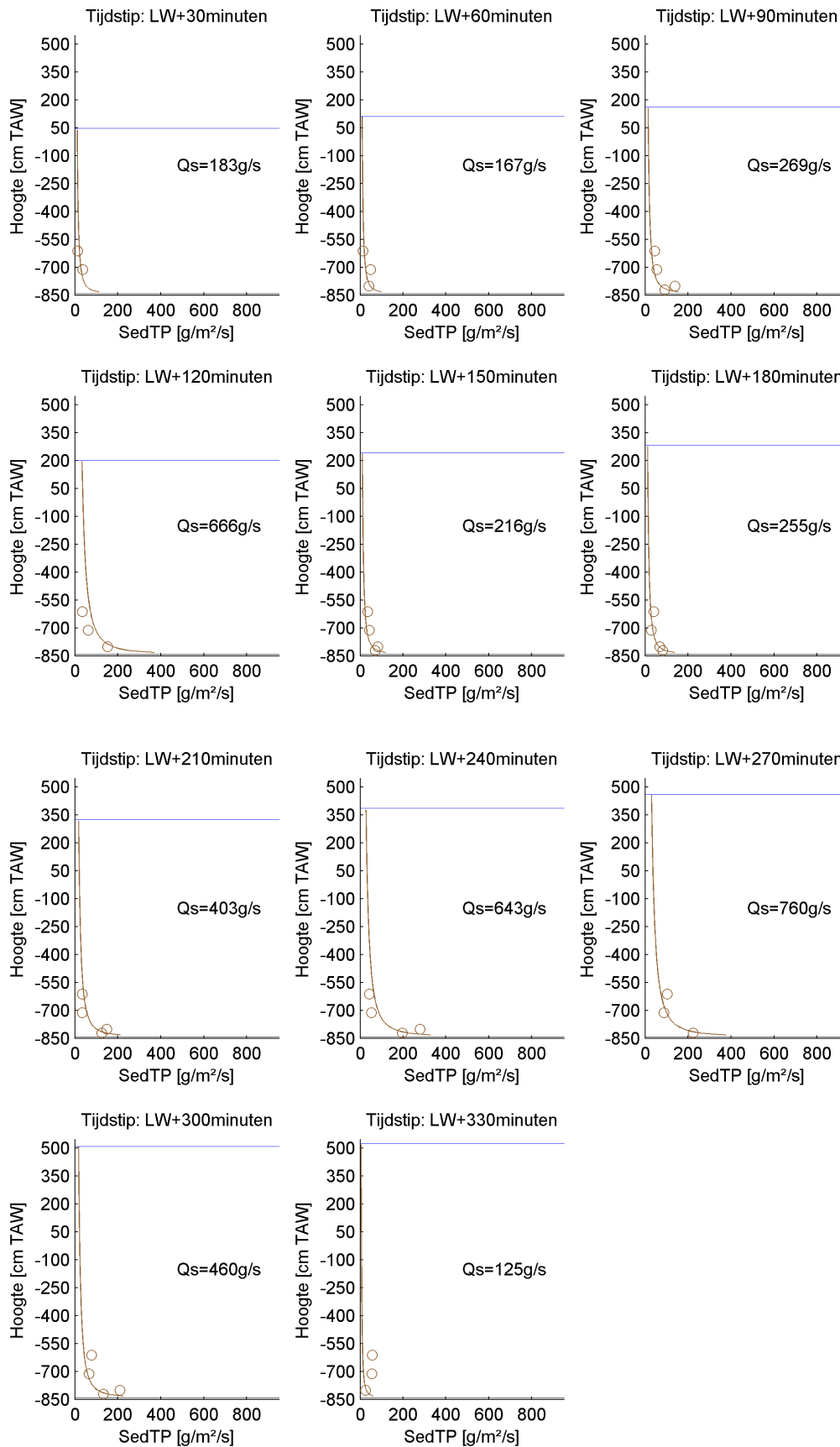


Figuur B 12 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

Bijlage G – Kruibeke (02/07/2014)

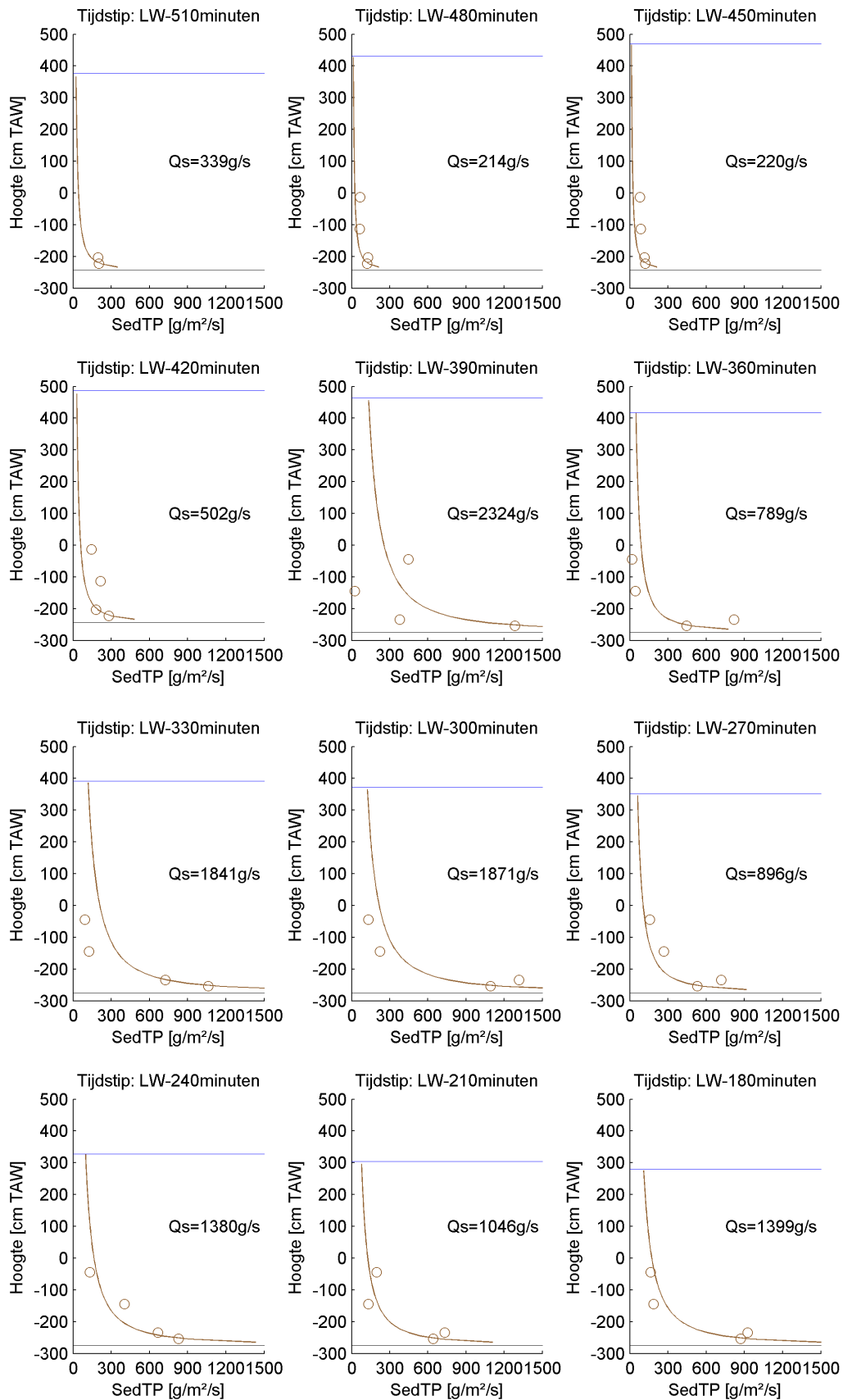


Figuur B 13 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)

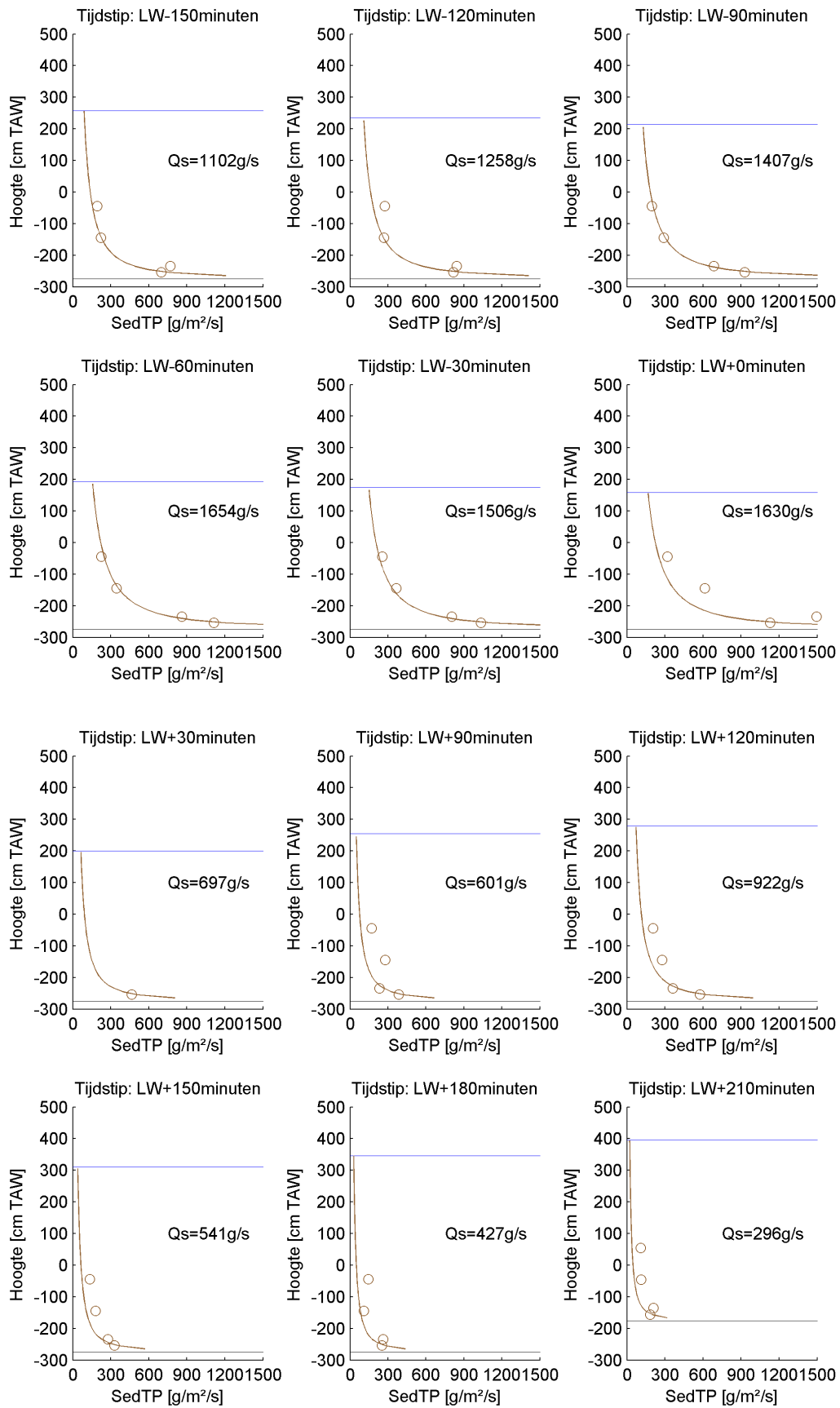


Figuur B 14 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

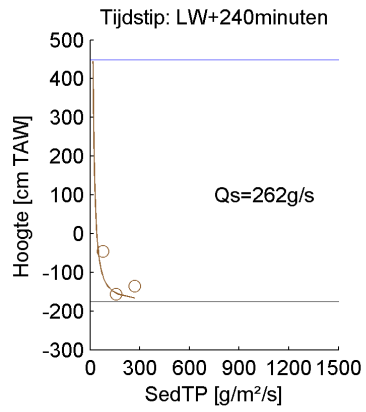
Bijlage H – Schoonaarde (03/07/2014)



Figuur B 15 - Diepteprofielen sediment transport (deel 1)



Figuur B 16 - Diepteprofielen sediment transport (deel 2)



Figuur B 17 - Diepteprofielen sediment transport (deel 3)



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be