



Vlaanderen
is wetenschap

14_083_1
WL rapporten

Hydro- en sedimentdynamica in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium

Deelrapport 1
Factual data rapport frame- en puntmetingen
periode augustus 2014

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Hydro- en sedimentdynamica in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium

Deelrapport 1 – Factual data rapport frame- en puntmetingen periode augustus 2014

Plancke, Y.; Vereecken, H.; Claeys, S.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

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

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2018
D/2018/3241/029

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Vereecken, H.; Claey, S.; Mostaert, F. (2018). Hydro- en sedimentdynamica in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium: Deelrapport 1 – Factual data rapport frame- en puntmetingen periode augustus 2014. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_083_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

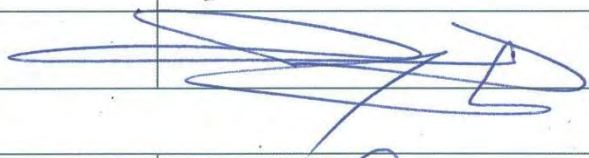
Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	MOW – afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2018R14_083_1
Keywords (3-5):	Monitoring, stroming, golven, sedimenttransport, Schelde		
Tekst (p.):	70	Bijlagen (p.):	41
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Plancke, Y.; Vereecken, H.
-----------	----------------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Claey, S.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

Verantwoordelijke HIC	Deschamps, M.	
Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	



Abstract

In het kader van het 4-jarige gezamenlijke Vlaams-Nederlandse onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” wordt in het eerste jaar een inspanning geleverd om het modelinstrumentarium te verbeteren. Een cruciale input om het model te kunnen valideren/kalibreren zijn bruikbare meetgegevens. Voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde zijn deze voldoende ter beschikking. Voor het mondingsgebied werd de noodzaak om metingen uit te voeren expliciet aangehaald door de Commissie Monitoring Westerschelde (CMW) tijdens hun bijeenkomst van april 2014.

Gelet op deze noodzaak, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium op zeer korte tijd een uitgebreide meetcampagne opgezet, die uitgevoerd werd in de zomer van 2014. De meetcampagne bestond enerzijds uit langdurige metingen op 3 locaties met behulp van meetframes met diverse meetsensoren, anderzijds uit een reeks 13u-metingen ter hoogte van dezelfde locaties. Telkens werd zowel de water- als sedimentbeweging gemeten.

De resultaten hiervan worden beschreven in voorliggend rapport. Deze gegevens moeten toelaten enerzijds het inzicht in het systeemfunctioneren in dit deel van het Schelde-estuarium te vergroten en anderzijds het modelinstrumentarium in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium te kalibreren en valideren.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VIII
Lijst van de figuren	IX
Voorwoord.....	1
1 Inleiding	2
1.1 Situering.....	2
1.2 Opzet van de meetcampagne	2
1.3 Leeswijzer	3
2 Aanvraag toelating meetcampagne	4
2.1 Algemeen.....	4
2.2 Toelating in kader van bestaande wetgeving.....	4
2.2.1 Toelating in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 – Globale Voortoets	5
2.2.2 Toelating in het kader van de Flora- en faunawet.....	6
2.3 Toelating in kader van lopende activiteiten	6
2.3.1 Toelating Hoofdverkeersleiding Vlissingen en Adviseur Vaarwegmarkering.....	6
2.3.2 Toelating rekening houdend met activiteiten Beroepsvisserij	6
3 Methodologie	8
3.1 Algemeen.....	8
3.2 Omgevingscondities.....	8
3.3 Campagne met meetframes	8
3.3.1 Meetframes	8
3.3.2 Aquadopp current profiler.....	9
3.3.3 Akoestische golvenmeter – AWAC	12
3.3.4 OBS.....	14
3.3.5 Configuratie en programmatie van de instrumenten.....	15
3.3.6 Mobilisatie en demobilisatie van de meetframes	17
3.4 Stationaire 13-uursmetingen.....	19
3.4.1 Stromingen.....	19
3.4.2 Sedimenttransport.....	19
3.4.3 Bodemonsters.....	21
3.4.4 Granulometrische analyse	22

4	Dataverwerking	23
4.1	Berekening totaal (zand)transport	23
4.2	Berekening sedimentconcentratie (indirecte meettechnieken)	25
4.2.1	Ijking van de OBS-3+	25
4.2.2	Omrekening van de ABS	26
5	Resultaten.....	31
5.1	Omgevingscondities.....	31
5.1.1	Wind.....	31
5.1.2	Waterstanden	32
5.2	Resultaten campagne meetframes.....	33
5.2.1	Geul van de Walvischstaart 1 (HYLAS I)	33
5.2.2	Geul van de Walvischstaart 2 (HYLAS II)	37
5.2.3	Vlakte van de Raan (HYLAS III)	40
5.3	Stationaire 13u-metingen.....	44
5.3.1	Omgevingscondities.....	44
5.3.2	Geul van de Walvischstaart 2 (09/09/2014)	45
5.3.3	Geul van de Walvischstaart 1 (10/09/2014)	51
5.3.4	Vlakte van de Raan (11/09/2014)	57
6	Conclusies	63
6.1	Waterbeweging	63
6.1.1	Waterstanden	63
6.1.2	Stromingen.....	65
6.2	Sedimentbeweging	66
6.2.1	Sedimenttransport.....	66
6.2.2	Korrelgrootte	69
7	Referenties	70
	Bijlage A – Contactpersonen	B1
	Contactpersonen Rijkswaterstaat opzet meetcampagne	B1
	Contactpersonen in kader van toelating op basis van bestaande wetgeving.....	B1
	Contactpersonen bebakeningsadvies en -uitvoering.....	B2
	Contactpersoon Beroepsvisserij.....	B2
	Bijlage B – Aquadopp Profiler – technische kenmerken	B3
	Bijlage C – AWAC – technische kenmerken.....	B4
	Bijlage D – OBS – technische kenmerken	B5
	Bijlage E – setup en configuratie instrumenten per frame	B6
	HYLAS I.....	B6

HYLAS II.....	B9
HYLAS III.....	B12
Bijlage F – IJking indirecte meettoestellen.....	B16
Bijlage G – Langdurige metingen.....	B21
Bijlage I – Geul van de Walvischstaart 2 (09/09/2014)	B33
Bijlage J – Geul van de Walvischstaart 1 (10/09/2014).....	B36
Bijlage K – Vlake van de Raan (11/09/2014)	B39

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Coördinaten (WGS84) van de meetframes.....	2
Tabel 2 – Overzicht posities markeringsboeien	7
Tabel 3 – Technische eigenschappen van de Aquadopp Profiler	11
Tabel 4 – Technische eigenschappen van de AWAC (specificaties leverancier).	13
Tabel 5 – Uurlijks meetschema per frame.....	17
Tabel 6 – Overzicht getijcondities tijdens 13u-metingen en vergelijkbaar getij	27
Tabel 7 – Overzicht getijcondities	45
Tabel 8 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm].....	50
Tabel 9 – Karakteristieke korreldiameters suspensiesteren [in μm]	50
Tabel 10 – Overzicht getijcondities	51
Tabel 11 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm].....	56
Tabel 12 – Karakteristieke korreldiameters suspensiesteren [in μm]	56
Tabel 13 – Overzicht getijcondities	57
Tabel 14 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm].....	62
Tabel 15 – Karakteristieke korreldiameters suspensiesteren [in μm]	62
Tabel 16 – Karakteristieke korreldiameters bij vloed en eb op verschillende verticale posities [in μm]	69

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Voorgestelde meetlocaties voor de 4 meetframes.....	3
Figuur 2 – Aanduiding van de N2000-gebieden	5
Figuur 3 – Afmetingen (mm) en afbeelding HYLAS frame.....	9
Figuur 4 – Afmetingen Aquadopp Profiler [mm] (boven), basisconcept (onder-links), coördinaten (onder-rechts).....	10
Figuur 5 – AWAC: afmetingen (boven), basisconcept (onder-links), coördinaten (onder-rechts).....	12
Figuur 6 – OBS-3+: afmetingen (links) en basisconcept (rechts).....	14
Figuur 7 – setup HYLAS I frame	15
Figuur 8 – setup HYLAS II frame	16
Figuur 9 – setup HYLAS III frame	16
Figuur 10 – Onderwater controle van de frames met behulp van Bull's Eye waarbij een tilt van ongeveer 2-3° bedraagt	18
Figuur 11 – Foto RDI Workhorse Sentinel (links) en werkingsprincipe ADCP (rechts).....	20
Figuur 12 – Delftse fles op frame (links) en opgehangen (rechts)	21
Figuur 13 – Van Veen-grijper (links) en Mastersizer 2000 (rechts).....	21
Figuur 14 – Interpolatie van gemeten transporten (links) en berekening totaal transport (rechts)	24
Figuur 15 – Overzicht exponentiële regressie verticaal profiel sediment transport.....	24
Figuur 16 – Opstelling frame met OBS-3+ en aanzuigdarm tijdens kalibratie	25
Figuur 17 – Kalibratie ABS op basis van SSC afgeleid uit OBS-meting.....	27
Figuur 18 – Verloop van de snelheid tijdens de 13u-meting en bij vergelijkbaar getij langdurige metingen [HYLAS I (boven) HYLAS II (midden) HYLAS III (onder)].....	28
Figuur 19 – Kalibratie ABS op basis van SSC afgeleid uit Delftse fles-meting	30
Figuur 20 – Overzicht windcondities te Vlakte van de Raan gedurende meetperiode.....	31
Figuur 21 – Overzicht waterstanden te Vlakte van de Raan gedurende meetperiode.....	32
Figuur 22 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC.....	34
Figuur 23 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie m.b.v. OBS	35
Figuur 24 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)	35
Figuur 25 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS.....	36
Figuur 26 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC.....	37
Figuur 27 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie.....	38
Figuur 28 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)	39
Figuur 29 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS.....	39
Figuur 30 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC.....	40
Figuur 31 – Overzicht golfparameters AWAC.....	41

Figuur 32 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie uit OBS-3+	42
Figuur 33 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)	43
Figuur 34 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS	43
Figuur 35 – Overzicht omgevingscondities tijdens 13u-metingen Windmetingen te Vlake van Raan Golfmetingen te Wielingen	44
Figuur 36 – Overzicht waterstanden gedurende 13u-meting	46
Figuur 37 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)	46
Figuur 38 – Stroomsnelheden ADCP (enkel vloed werd bemeten)	47
Figuur 39 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit	48
Figuur 40 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren	48
Figuur 41 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport <i>Opmerking: totaal transport in [g/s]</i>	49
Figuur 42 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	50
Figuur 43 – Overzicht waterstanden te Vlake van de Raan gedurende 13u-meting [<i>Bron: www.hmcz.nl</i>] ..	52
Figuur 44 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)	52
Figuur 45 – Stroomsnelheden ADCP	53
Figuur 46 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit	54
Figuur 47 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren	54
Figuur 48 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport	55
Figuur 49 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	56
Figuur 50 – Overzicht waterstanden te Vlake van de Raan gedurende 13u-meting	58
Figuur 51 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)	58
Figuur 52 – Stroomsnelheden ADCP	59
Figuur 53 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit	60
Figuur 54 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren	60
Figuur 55 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport	61
Figuur 56 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment	62
Figuur 57 – Overzicht waterstanden (boven) en verhangen (onder) in het mondingsgebied Links: springtij rechts: doottij	63
Figuur 58 – Overzicht waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties	64
Figuur 59 – Overzicht stijgsnelheid van de waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties	64
Figuur 60 – Overzicht stroomsnelheid op de verschillende frame-metlocaties (links: springtij rechts: doottij)	65
Figuur 61 – Overzicht stroomsnelheid op de verschillende 13u-metlocaties (links: grootte rechts: richting)	65
Figuur 62 – Overzicht sedimentconcentratie ter hoogte van de verschillende meetlocaties bij springtij	66
Figuur 63 – Overzicht totaal sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties	67
Figuur 64 – Overzicht sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties	68

Figuur 65 – Overzicht karakteristieke korrelgrootte bij vloed (boven-links), eb (boven-rechts) en bodem (onder).....	69
Figuur 66 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS I (10/09/2014)	B16
Figuur 67 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS II (09/09/2014)	B17
Figuur 68 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS III (11/09/2014)	B17
Figuur 69 – IJking ABS voor meetframe HYLAS I [OBS1 (boven) OBS2 (midden) OBS3 (onder)].....	B18
Figuur 70 – IJking ABS voor meetframe HYLAS II [OBS1 (boven) OBS2 (midden) OBS3 (onder)].....	B19
Figuur 71 – IJking ABS voor meetframe HYLAS III [OBS1 (boven) OBS2 (midden) OBS3 (onder)].....	B20
Figuur 72 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS I - week 1)	B21
Figuur 73 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS I - week 2)	B21
Figuur 74 – Stroming AWAC (HYLAS I - week 3)	B22
Figuur 75 – Stroming AWAC (HYLAS I - week 4)	B22
Figuur 76 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS I)	B23
Figuur 77 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 1)	B24
Figuur 78 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 2)	B24
Figuur 79 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 3)	B25
Figuur 80 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 4)	B25
Figuur 81 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS II)	B26
Figuur 82 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 1)	B27
Figuur 83 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 2)	B27
Figuur 84 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 3)	B28
Figuur 85 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 4)	B28
Figuur 86 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS III)	B29
Figuur 87 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS I (OBS @ Bodem+60cm)	B30
Figuur 88 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS II (OBS @ Bodem+60cm)	B31
Figuur 89 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS III (OBS @ Bodem+60cm)	B32
Figuur 90 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)	B33
Figuur 91 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)	B34
Figuur 92 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)	B35
Figuur 93 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)	B36
Figuur 94 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)	B37
Figuur 95 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)	B38
Figuur 96 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)	B39
Figuur 97 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)	B40
Figuur 98 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)	B41

Voorwoord

De meetcampagne in zijn geheel had niet kunnen plaatsvinden zonder de inzet van vele mensen, die wij hierbij willen bedanken.

De voorbereiding en uitvoering van de meetcampagne met 3 meetframes (HYLAS1, HYLAS2 en HYLAS3) werd verzorgd door een team van het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) HIC-meetnet geassisteerd door enkele medewerkers van het WL, waarbij Erwin de Backer zorgde voor een succesvolle mobilisatie en demobilisatie on site. We vermelden ook het duikteam van K&C Diving die tijdens de mobilisatie en demobilisatie van de meetframes zorgden voor de nodige assistentie.

De aanvraag voor de toelating van de meetcampagne werd mogelijk gemaakt dankzij de veelvuldige en positieve afstemming met de collega's van Afdeling Maritieme Toegang (aMT), Afdeling Kust (aK), Rijkswaterstaat (RWS) en het Nederlandse Ministerie van Economische Zaken (EZ). In overleg met de Nederlands beroepsvisserij, met name de Producenten Organisatie Delta-Zuid en Rijkswaterstaat werd ook het bebakeningsplan opgesteld. De boeien werden deels voorzien en uitgelegd door Rijkswaterstaat, deels door WL-HIC in samenwerking met DAB Vloot.

Het 4^e meetframe (BMM 1) werd uitgerust door een team van Operationele Directie Natuurlijk Milieu (vroegere BMM), onder leiding van Michaël Fettweis.

Voor de organisatie en uitvoering van de 13-uursmetingen nabij de meetframes werd geput uit een pool van mensen van het WL, aMT en het Havenbedrijf Antwerpen.

Een belangrijke ondersteuning werd geleverd door de mensen van DAB Vloot. Voor het uitzetten van de meetframes werd samengewerkt met Kevin Depuydt en Ivan Hennebert voor de planning en de bemanning van MS Zeetijger, onder leiding van Kapitein Karl 't Jaeckx. Voor de organisatie van de 13-uursmetingen werd samengewerkt met Herman Van Driessche, die zorgde voor de planning, en de bemanning van MS Pierre Petit, onder leiding van schippers Sven Beyers en Steven van Holt, die zorgden voor de uitvoering.

Tenslotte was er ook de inzet van verschillende mensen bij de verwerking van de metingen: Anne-Lise Montreuil die de verwerking van AWAC uitvoerde en de dames van het sedimentlabo - Ellen Bastiaensen en Lia De Bruyn – die ervoor zorgden dat alle sediment-analyses zeer spoedig beschikbaar kwamen.

1 Inleiding

1.1 Situering

In het kader van het 4-jarige gezamenlijke Vlaams-Nederlandse onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” wordt in het eerste jaar een inspanning geleverd om het modelinstrumentarium te verbeteren. Een cruciale input om het model te kunnen valideren/kalibreren zijn bruikbare meetgegevens. Voor de Westerschelde en de Beneden-Zeeschelde zijn deze op het vlak van waterbeweging voldoende ter beschikking. Voor de Boven-Zeeschelde en het mondingsgebied is dit minder het geval. Voor de Boven-Zeeschelde werd in het voorjaar en de zomer van 2014 een belangrijke inspanning gedaan aanvullende gegevens in te winnen (Plancke *et al.*, 2014). Voor het mondingsgebied werd de noodzaak om metingen uit te voeren expliciet aangehaald door de Commissie Monitoring Westerschelde (CMW) tijdens hun bijeenkomst van april 2014.

Gelet op deze vraag, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium op zeer korte tijd een uitgebreide meetcampagne opgezet, die uitgevoerd werd in de zomer van 2014. De resultaten hiervan worden beschreven in voorliggend rapport. Deze gegevens moeten toelaten enerzijds het inzicht in het systeemfunctioneren in dit deel van het Schelde-estuarium te vergroten en anderzijds het modelinstrumentarium in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium te kalibreren en valideren.

1.2 Opzet van de meetcampagne

Ter verbetering van het morfologisch-hydrodynamisch numeriek model van het mondingsgebied werd in het begin van de zomer 2014 aan het Waterbouwkundig Laboratorium (HIC-meetnet) de vraag gesteld naar de mogelijkheid om een 4-tal meetframes te plaatsen in het mondingsgebied van de Schelde-estuarium, aanvullend aan de geplande meetcampagnes van Rijkswaterstaat.

De 4 voorgestelde locaties zijn hieronder op kaart weergegeven (Figuur 1). Het betreft locaties die aan het begin en het verlengde van de Geul van de Walvischstaart en op de Vlake van de Raan zijn gelegen. De coördinaten (WGS84) en de diepte van de voorgestelde locaties zijn in onderstaande Tabel 1 weergegeven.

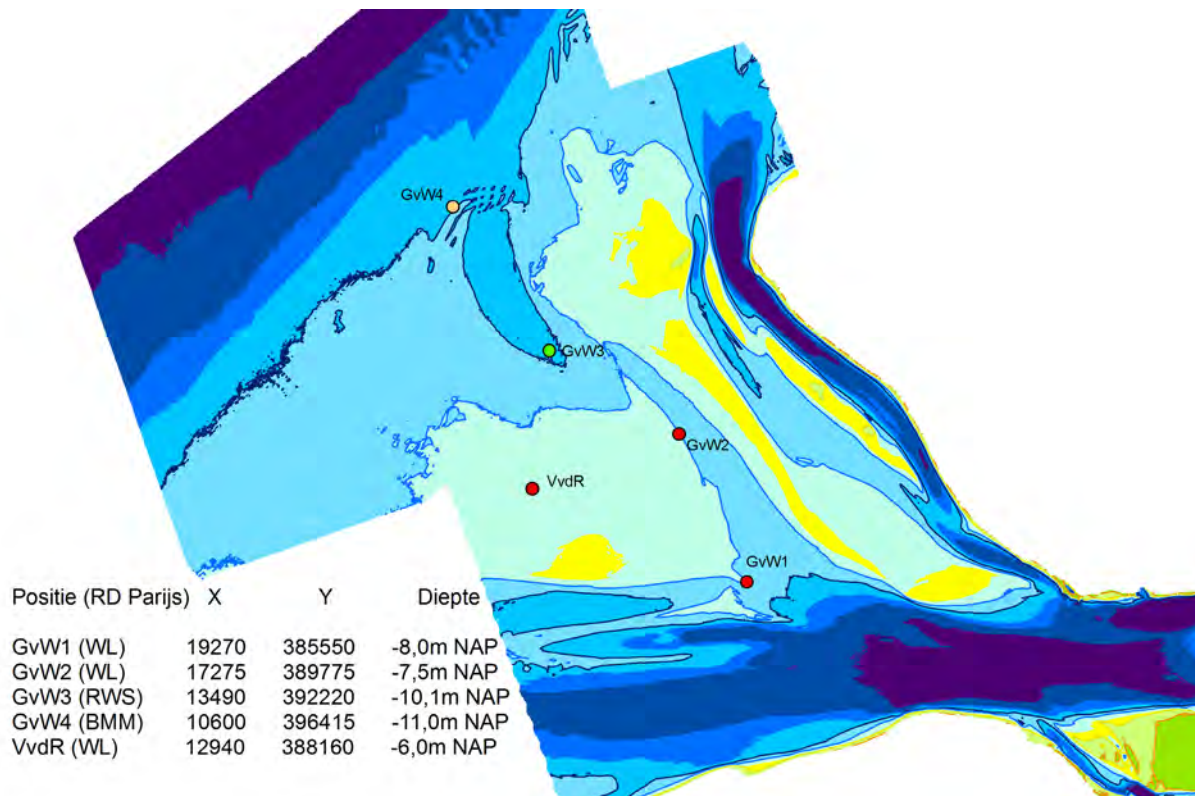
Tabel 1 – Coördinaten (WGS84) van de meetframes

WGS84	X	Y	Z [m NAP]
Frame BMM (GvW4)	51°32.289 N	3°18.340 E	-11.0
Frame WL1 (GvW1) – HYLAS I	51°26.561 N	3°26.086 E	-8.0
Frame WL2 (GvW2) – HYLAS II	51°28.810 N	3°24.266 E	-7.5
Frame WL3 (VvdR) – HYLAS III	51°27.875 N	3°20.563 E	-6.0

Naast de vaste meetframes werd ook voorgesteld ter hoogte van elke frame een 13-uursmeting uit te voeren vanop een meetschip, met het oog op gedetailleerde stroom- en sedimenttransportmetingen gedurende een karakteristiek springtij en gedetailleerde sedimentstaalname en kalibratie van de op de frames gebruikte turbiditeitsensoren.

Dit rapport beschrijft de volledige setup van de meetcampagne, met bespreking van ingezette meetapparatuur en hun configuraties, alsook een overzicht van de verschillende locaties. Er dient opgemerkt te worden dat enkel de resultaten van de WL HYLAS-frames worden gerapporteerd. De resultaten van het vierde frame (GvW4) zijn beschikbaar bij BMM en worden hier niet mee in opgenomen.

Figuur 1 – Voorgestelde meetlocaties voor de 4 meetframes
GvW = Geul van de Walvischstaart | VvdR = Vlake van de Raan



1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op het proces van de toelatingsaanvraag bij de verschillende autoriteiten.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de verschillende meetmethodes die gebruikt worden tijdens de meetcampagnes, enerzijds tijdens campagnes met de meetframes, anderzijds tijdens de 13u-metingen.

In hoofdstuk 4 en 5 worden de belangrijkste resultaten gepresenteerd van de uitgevoerde meetcampagnes, waarbij zowel de waterbeweging als het sedimenttransport worden beschreven.

Hoofdstuk 6 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 Aanvraag toelating meetcampagne

2.1 Algemeen

Aangezien de campagne op Nederlands grondgebied plaatsvond, werd contact opgenomen met enkele collega's bij Rijkswaterstaat om ons te begeleiden bij de opzet en om ons in contact te brengen met de juiste organisaties voor het verkrijgen van de nodige toelatingen. De mensen van Rijkswaterstaat (RWS) die hierbij werden betrokken zijn:

- *Maarten Platteeuw*, Senior adviseur ecologie en natuur, RWS Water, Verkeer en Leefomgeving
- *Peter Heslenfeld*, projectmanager Beheerplan Vlake van de Raan, RWS Zee en Delta
- *Sanne van den Heuvel*, projectmanager Beheerplan Voordelta, RWS Zee en Delta
- *Marco Schrijver*, Ingenieur Netwerk Ontwikkeling, RWS Zee en Delta

Aangezien alle contacten nuttig kunnen zijn voor gelijkaardige monitoringsvragen in de toekomst zijn de emailadressen en/of telefoonnummers van alle personen, ook deze die verder in dit hoofdstuk worden vermeld, in bijlage A gevoegd.

2.2 Toelating in kader van bestaande wetgeving

De voorgestelde monitoringsactiviteiten vinden plaats in de volgende Natura 2000-gebieden: De Voordelta, de Vlake van de Raan en Westerschelde & Saeftinghe (Figuur 2). Hierdoor moet voor de start van de campagne toelating verkregen worden vanuit het Directoraat-generaal Natuur en Regio van het Ministerie van Economische Zaken van Nederland. De contactpersoon bij deze organisatie was Sander Figee. Om gunstig advies te verkrijgen dient voor de ganse monitoringsvraag, inclusief de in dit rapport niet behandelde multibeamopnames en waterbodemstaalnames, op basis van een Globale Voortoets ingeschat te worden of er mogelijke significante negatieve gevolgen van de monitoring op de instandhoudingsdoelstellingen van de doelsoorten zouden optreden.

Parallel moet in het kader van de Flora- en faunawet in Nederland ook door onszelf ingeschat worden of er door de monitoring geen verbodsbepalingen van deze wet voor zeevissen en/of vogels worden overtreden. Indien dit wel het geval is, dan moet een ontheffingsverzoek worden ingediend. De inschatting in het kader van de Flora- en faunawet werd teruggekoppeld met het Ministerie van Economische Zaken, meer bepaald de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Team Natuur. De contactpersoon bij deze organisatie was Jaap van der Sneppen. Om deze inschatting objectief en wetenschappelijk te kunnen maken werd bij de opmaak van de Voortoets eveneens gevraagd om de geplande monitoring te toetsen aan deze wet.

Figuur 2 – Aanduiding van de N2000-gebieden



2.2.1 Toelating in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 – Globale Voortoets

De Globale Voortoets is in de feiten een verkennend onderzoek in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998 en de Flora- en faunawet. Er wordt beoordeeld of significante negatieve gevolgen op voorhand kunnen worden uitgesloten, of wanneer dit niet het geval is, een passende beoordeling moet worden uitgevoerd. De mogelijke negatieve effecten van de activiteiten op de instandhoudingsdoelen van het Natura 2000-gebied worden onderzocht. Ten aanzien van de Flora- en faunawet wordt onderzocht of en zo ja wanneer vervolgstappen, zoals specifieke soortinventarisaties en/of een ontheffing van ex art. 75 van de Flora- en faunawet, noodzakelijk zijn. Tevens wordt indien relevant aangegeven welke maatregelen genomen kunnen worden om overtreding van de Flora- en faunawet te voorkomen.

Op basis van deze Globale Voortoets werd het volgende besloten:

Het plangebied ligt in de Natura 2000-gebieden de Voordelta, de Vlakte van de Raam en de Westerschelde.

De beoogde activiteiten vinden plaats binnen 1110B permanent overstroomde zandbanken. Het areaal noch de kwaliteit van dit habitatype wordt beïnvloed door de geplande vaarbewegingen en monitoringsactiviteiten. Dit geldt ook voor de aanwezige typisch soorten, habitatsoorten en vogelrichtlijnsoorten.

Wij verwijzen graag naar het volledige Voortoets document (van Sluis & de Boer, 2014) opgesteld door Arcadis Nederland BV.

2.2.2 Toelating in het kader van de Flora- en faunawet

Zoals hierboven reeds gesteld wordt in het kader van de Flora- en faunawet niet echt een toelating gegeven, maar moet door onszelf ingeschat worden of er mogelijke negatieve gevolgen zijn van de monitoring. Het advies richting ons op basis van de Globale Voortoets was:

In lijn met de Natuurbeschermingswet 1998 zien wij ten aanzien van de ingreep geen risico's in het kadervan het overtreden van de Flora- en Faunawet voor zeezoogdieren en vissen.

Op basis van dit document werd door onszelf dan ook ingeschat dat wij met de uitvoering van de geplande monitoringsactiviteiten geen verbodsbepalingen van de Flora- en faunawet voor zeevissen en/of vogels zouden overtreden en werd besloten aan de betreffende dienst geen ontheffing te vragen.

Wij verwijzen graag naar het volledige Voortoets document (van Sluis & de Boer, 2014) opgesteld door Arcadis Nederland BV.

2.3 Toelating in kader van lopende activiteiten

2.3.1 Toelating Hoofdverkeersleiding Vlissingen en Adviseur Vaarwegmarkering

Om de geplande monitoringsactiviteiten vlot te laten verlopen en ongevallen door aanvaring te vermijden, werd contact opgenomen met de Adviseur Vaarwegmarkering van Rijkswaterstaat Zee en Delta, District Zuid, in de persoon van Diana de Nooijer. In onderling overleg werd een bebakeningsplan opgesteld, zodat de meetframes ten alle tijden goed gesignaliseerd en afgedekt zijn door een aantal boeien.

Concreet werd onderstaand bebakeningsvoorstel overeengekomen. De coördinaten zijn weergegeven als geografische coördinaten (WGS84) in Tabel 2

Dit plan werd teruggekoppeld met de Hoofdverkeersleiding van Vlissingen die op basis hiervan een BASS (Berichten aan de Schelde Scheepvaart) opmaakten dat bij de mobilisatie en demobilisatie van de meetframes werd uitgestuurd.

2.3.2 Toelating rekening houdend met activiteiten Beroepsvisserij

Aangezien de meetframes worden uitgezet in een gebied waar de Nederlands Beroepsvisserij zeer actief is, werd de meetcampagne op voorhand met enkele vertegenwoordigers doorgesproken, teneinde ieders activiteiten zo maximaal als mogelijk onverstoord te kunnen laten doorgaan. De contactpersoon hierbij was Jaap Hennekeij, voorzitter van Producenten Organisatie Delta Zuid. Mede op hun advies werd de hierboven vermelde bebakening aangepast.

Tabel 2 – Overzicht posities markeringsboeien

WGS84	X	Y	Z [m NAP]
Frame WL1 (GvW1)	51°26.561 N	3°26.086 E	-8,0
WL1A (spar - geel - liggend kruis)	51°26.573 N	3°26.116 E	
WL1B (spar - geel - liggend kruis)	51°26.572 N	3°26.055 E	
WL1C (spar - geel - liggend kruis)	51°26.540 N	3°26.087 E	
Frame WL2 (GvW2)	51°28.810 N	3°24.266 E	-7,5
WL2A (spar - geel/zwart/geel - west)	51°28.799 N	3°24.236 E	
WL2B (spar - zwart/geel/zwart - oost)	51°28.821 N	3°24.296 E	
Frame WL3 (VvdR)	51°27.875 N	3°20.563 E	-6,0
WL3A (spar - geel - liggend kruis)	51°27.886 N	3°20.593 E	
WL3B (spar - geel - liggend kruis)	51°27.885 N	3°20.532 E	
WL3C (spar - geel - liggend kruis)	51°27.853 N	3°20.564 E	
Frame BMM1 (GvW4)	51°32.289 N	3°18.340 E	-11,0
BMM1A (spar - geel/zwart/geel - west)	51°32.279 N	3°18.309 E	
BMM1B (spar - zwart/geel/zwart - oost)	51°32.299 N	3°18.371 E	

3 Methodologie

3.1 Algemeen

Dit hoofdstuk schetst hoe de omgevingscondities werden bepaald en beschrijft de verschillende methodes en meetinstrumenten die door WL werden ingezet, waarbij een onderscheid gemaakt wordt in de campagne met de meetframes, anderzijds de 13-uursmetingen.

3.2 Omgevingscondities

De waterstanden in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium worden op 5 locaties gemeten door Rijkswaterstaat. Het betreft 4 locaties (Cadzand, Breskens, Vlissingen, Westkapelle) gelegen op de oevers en één locatie (Vlakte van de Raan) gelegen aan de rand van het mondingsgebied.

Ter hoogte van deze stations worden de waterstanden gemeten door middel van een Digitale Niveau Meter en analoge Metrawatt-meting. Deze gegevens worden via de website www.hmcz.nl digitaal ter beschikking gesteld als tijdreeks met interval 10 minuten.

Ter vergelijking worden ook de 10-jarlijks gemiddelde karakteristieke waterstanden [gemiddelde hoog- (HW) en laagwater (LW) bij gemiddeld getij (GT), spring- (ST) en doottij (DT)] opgenomen, alsook de getijfactor κ (verhouding opgetreden getijverschil / gemiddelde getijverschil).

De windcondities op de Vlakte van de Raan worden gemeten door Rijkswaterstaat.

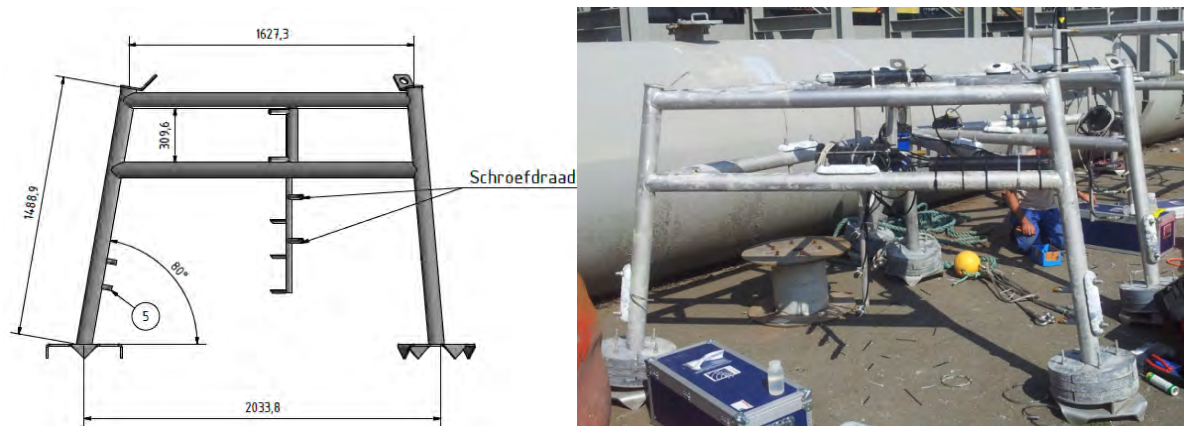
3.3 Campagne met meetframes

3.3.1 Meetframes

De 3 ingezette meetframes (Figuur 3) werden door WL ontworpen en zijn tevens eigendom van het WL. De belangrijkste eigenschappen zijn:

1. Stabiliteit: de frames wegen per stuk 1 ton, onderaan zijn ze breder dan bovenaan en ze zijn vooral verzwaard aan de voeten waardoor de kans op omvallen beperkt is.
2. Flexibele instrument-inbouw: de frames bieden meerdere opties om instrumenten in te bouwen waarbij ze tegelijk goed beschermd blijven.
3. Duurzaamheid: de frames zijn gemaakt van zeewater bestendige inox en voorzien van voldoende vernieuwbare zinkanodes om corrosie van de frames en instrumenten te voorkomen.

Figuur 3 – Afmetingen (mm) en afbeelding HYLAS frame.



In deze campagne zijn 3 tripodes gebruikt (figuur 3), met name HYLAS I, II en III. De instrumenten die op deze frames werden gemonteerd in een identieke configuratie zijn:

- Aquadopp current profiler
- AWAC golfmeettoestel
- OBS-sensoren met Campbell datalogger
- Akoestische pinger voor het terugvinden van het frame bij verlies

3.3.2 Aquadopp current profiler

Aquadopp Profilers meten stromingsprofielen op basis van de akoestische Doppler technologie. Het instrument bevat alles om stand-alone voor lange tijd uitgezet te worden, gebruik makend van een interne batterij en interne datalogger met voldoende opslagcapaciteit. De technische eigenschappen van de Aquadopp Profiler zijn weergegeven in Tabel 3. Voor meer details verwijzen we naar de bijlage B. Figuur 4 geeft de afmetingen weer.

The Aquadopp Profiler gebruikt het Doppler effect om stroomsnelheid te meten door een korte geluidsgolf uit te sturen, te luisteren naar de echo (door terugkaatsing op partikels die met de stroming mee in het water bewegen) en het verschil in frequentie tussen beide signalen op te meten. Dit principe wordt uitgedrukt door de volgende vergelijking:

$$V = \frac{F_{Doppler}}{F_{source}} \cdot \frac{C}{2}$$

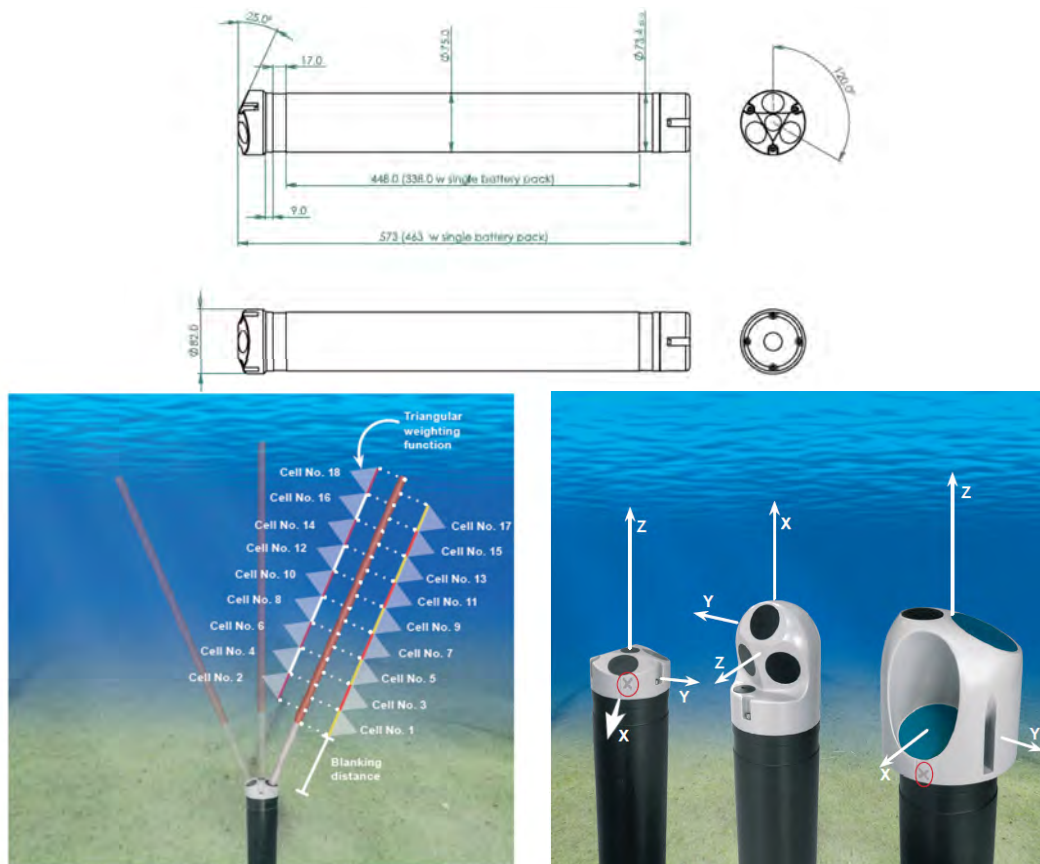
waar $F_{Doppler}$ het frequentieverschil is, gekend als de zogenaamde Doppler shift, F_{source} is de frequentie van het uitgestuurde geluidssignaal, V is de stroomsnelheid en C is de geluidssnelheid.

De Aquadopp Profiler meet de verschillende snelheidscomponenten parallel met de 3 beams, maar rapporteert de data in East, North en Up (ENU coördinaten). Om hiertoe te komen worden de gemeten data geconverteerd naar XYZ coördinaten, d.i. een met de Aquadopp gerelateerd orthogonaal coördinatenstelsel. Het instrument gebruikt dan zijn magnetometer en de tilt meting om deze snelheden te converteren naar de ENU coördinaten (Figuur 4).

De Aquadopp Profiler kan 'naar boven kijkend' of 'naar beneden kijkend' opgesteld worden. Tijdens deze meetcampagne werd uit "naar beneden kijkend" opgesteld.

Een hoge resolutie versie van de Aquadopp Profiler werd gebruikt (software update).

Figuur 4 – Afmetingen Aquadopp Profiler [mm] (boven), basisconcept (onder-links), coördinaten (onder-rechts)



Naast de stroomsnelheid, wordt ook de sterkte van het teruggekaatste signaal geregistreerd. Deze “backscatter” is afhankelijk van o.a. de hoeveelheid sedimentdeeltjes die in de waterkolom aanwezig zijn. Met behulp van staalnames kan het signaal omgerekend worden naar een benaderende sedimentconcentratie. In Hoofdstuk 4 wordt hier verder op ingegaan.

Tabel 3 – Technische eigenschappen van de Aquadopp Profiler (specificaties leverancier).

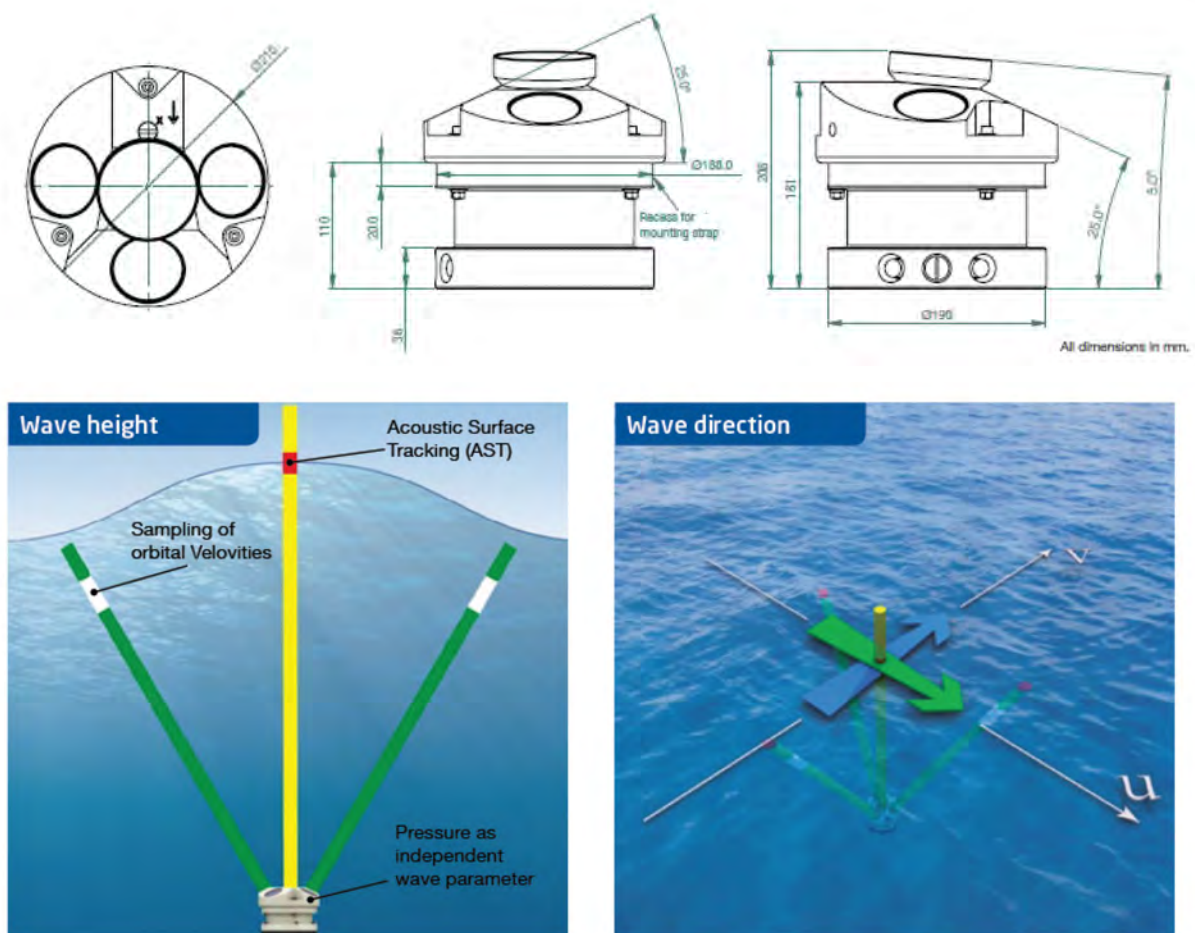
Water velocity measurement	
Acoustic frequency	2,0 MHz
Maximum profiling range	4–10 m
Cell size	0,1–2 m
Beam width	1,7°
Minimum blanking	0,05 m
Number of beams	3
Maximum number of cells	128
Velocity Range	±10m/s
Accuracy	1% of measured value ±0.5cm/s
Maximum sampling rate:	1Hz
Standard sensors	
<i>Temperature</i>	Thermistor embedded
Range	–4°C to 30°C
Accuracy/resolution	0,1°C/0,01°C
Time response	10 min
<i>Compass</i>	Magnetometer
Accuracy/resolution	2°/0,1° for tilt <20°
<i>Tilt</i>	<i>Liquid level</i>
Accuracy/resolution	0,2°/0,1°
Maximum tilt	30°
Up or down	Automatic detect
<i>Pressure</i>	Piezoresistive
Range	0–100m (standard)
Accuracy/resolution	0,5%/0,005% of full scale

3.3.3 Akoestische golvenmeter – AWAC

De Acoustic Wave And Current meter (AWAC) (Figuur 5) meet stroomsnelheid en richting in verschillende cellen vanaf de transducer kop bodem tot aan het wateroppervlakte. Verschillende types golven kunnen gemeten worden: lange golven, storm golven, korte wind golven of zelfs scheepsgolven. Het toestel wordt meestal in een frame op de bodem geplaatst en het succes van de golfmeting wordt vooral bepaald door de verticaal georiënteerde Acoustic Surface Tracking (AST) en drukmeting. Voor de snelheidsmeting gebruikt de AWAC het zelfde Doppler principe als hierboven voor de Aquadopp geschetst.

De belangrijkste technische eigenschappen zijn weergegeven in Tabel 4 (meer details zie bijlage C).

Figuur 5 – AWAC: afmetingen (boven), basisconcept (onder-links), coördinaten (onder-rechts)



Tabel 4 – Technische eigenschappen van de AWAC (specificaties leverancier).

Weight and Dimensions	
Weight in air	5,6 kg
Weight in water	2,5 kg
Height	0,17 m
Diameter	0,21 m
Sensors	
Compass maximum tilt	30°
Compass Accuracy/Resolution	2°/0,1°
Tilt Accuracy/Resolution	-0,2°/0,1°
Tilt Up or down	Automatic detect
Pressure Range	0–50 m (standard)
System	
Acoustic frequency	1MHz
Acoustic beams	4 beams, one vertical, three slanted at 25°
Vertical beam opening angle	1,7°
Wave measurements	
Maximum depth	35m
Data types	Pressure, one velocity along each beam, AST*
Wave estimates	
Accuracy	1% of measured value ±0,5 cm/s
Range	-15 to +15m
Accuracy/resolution (Hs)	<1% of measured value/1cm
Accuracy/resolution (Dir):	2° / 0,1°
Period range:	0,5-100s
Current Profile	
Maximum range	20–30 m (depends on local conditions)
Depth cell size	0,4–2,0 m
Internal sampling rate	6 Hz

3.3.4 OBS

De OBS-3+ (Figuur 6) is een turbiditeitsensor die de optische terugverstrooiing (backscatter) technologie gebruikt om gesuspendeerde partikels in het water te monitoren. De sensor kijkt loodrecht op de lengteas van de sensor.

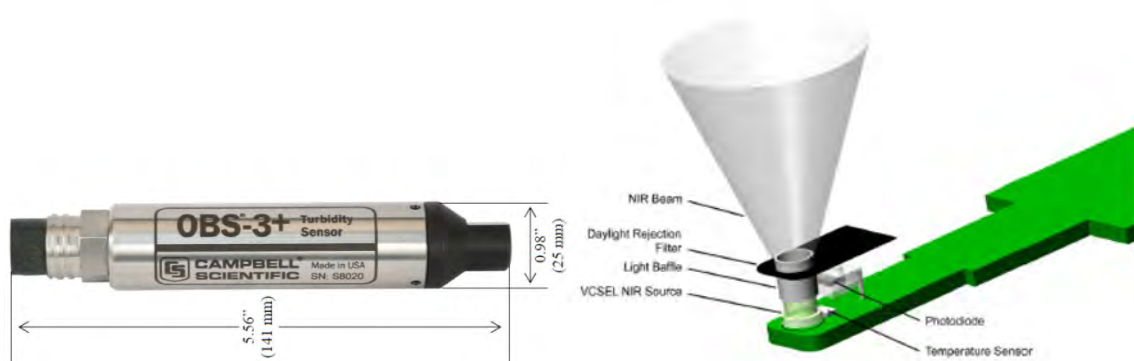
Het hart van de sensor is een Nabij Infra-Rood laser en fotodiode om de intensiteit van door in het water gesuspendeerde deeltjes terugverstrooid licht te detecteren. De meting van turbiditeit wordt hierbij uitgedrukt in NTU. Algemeen wordt gesteld dat de turbiditeit toeneemt naarmate de concentratie aan gesuspendeerde deeltjes (en dus ook sediment) in het water toeneemt.

Zoals alle optische sensoren is een OBS gevoelig aan afmeting, vorm en samenstelling van de gesuspendeerde partikels. Kalibratie met representatief in-situ materiaal wordt ten zeerste aanbevolen.

De belangrijkste technische eigenschappen zijn hieronder weergegeven (meer details in bijlage D) (specificaties leverancier):

- Turbiditeit tot 4000 NTU;
- Compact;
- Compatibel met Campbell Scientific dataloggers;
- Titanium behuizing waardoor meting op grote diepte mogelijk is;
- Operating Temperature: 0° to 40°C;
- Meetbereik:
 - o Turbidity (low/high): 250/1000 NTU; 500/2000 NTU; 1000/4000 NTU;
 - o Slib: 5000 to 10000 mg/l;
 - o Zand: 50000 to 100000 mg/l;
- Nauwkeurigheid:
 - o Turbidity: 2% van waarde of 0,5 NTU;
 - o Slib: 2% van waarde of 1 mg/l;
 - o Zand: 4% van waarde of 10 mg/l ;
- Gewicht: 181.4 gram.

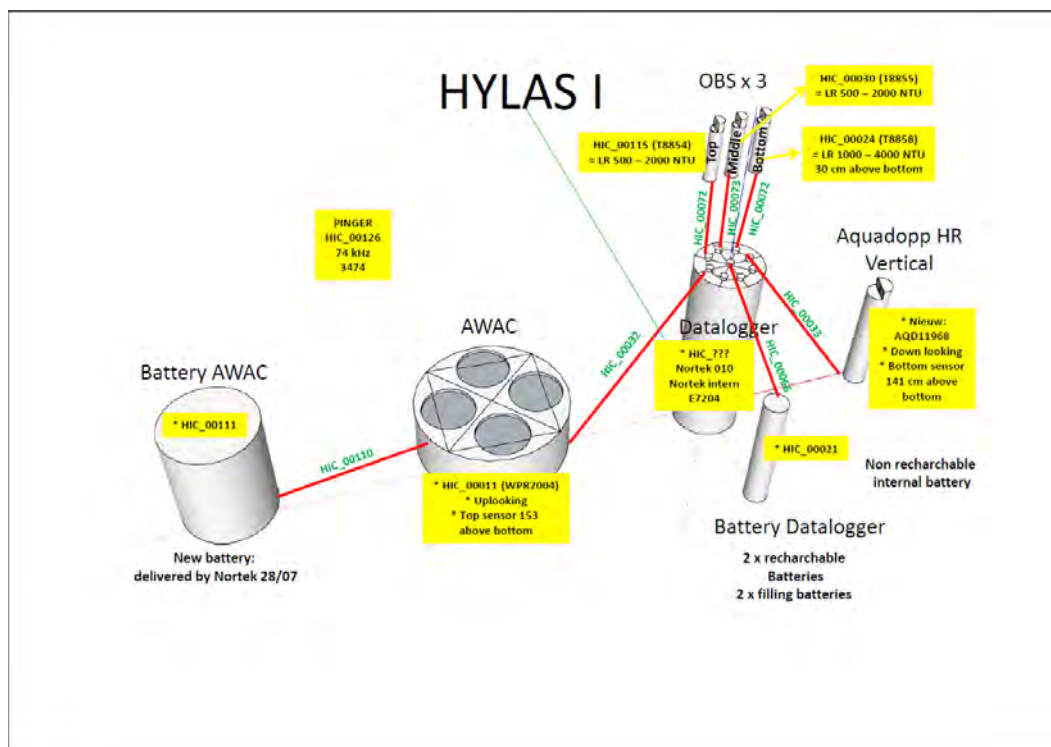
Figuur 6 – OBS-3+: afmetingen (links) en basisconcept (rechts)



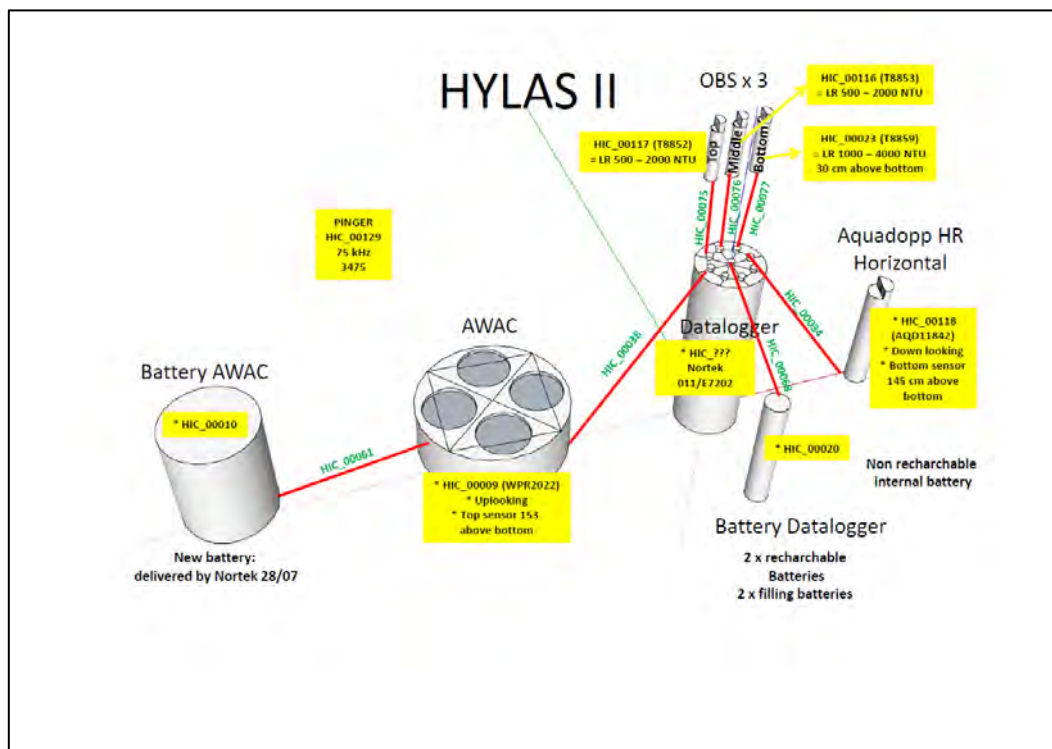
3.3.5 Configuratie en programmatie van de instrumenten

De 3 meetframes werden identiek opgezet, waarbij steeds een combinatie van AWAC, Aquadopp en 3 OBS-3+ (40-60-80 cm boven bodem) per frame werd voorzien. Alle apparatuur was verbonden met een Campbell datalogger die zorgde voor synchronisatie van de metingen. Enkel bij HYLAS III was de AWAC (gehuurd toestel) niet mee gesynchroniseerd met de andere metingen omwille van een andere connector configuratie. Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 tonen de combinatie van instrumenten per frame.

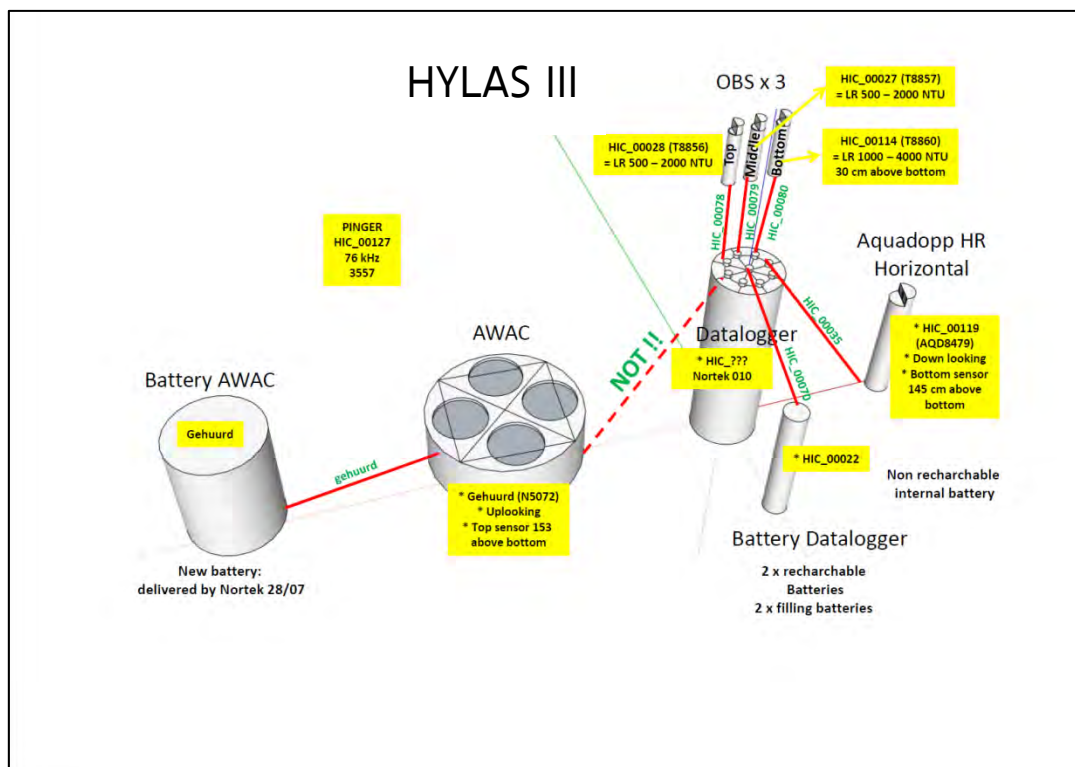
Figuur 7 – setup HYLAS I frame



Figuur 8 – setup HYLAS II frame



Figuur 9 – setup HYLAS III frame



De instrumenten werden per frame geprogrammeerd op identieke wijze. De AWAC werd geprogrammeerd om elk uur 20 minuten golven te meten en aansluitend elke 5 minuten een (uitgemiddeld over 60 seconden) stroomprofiel te meten van de bovenkant van het frame (1,53 m) naar boven (tot aan wateroppervlak). De AQUADOPP Profilers werden geprogrammeerd om elke 10 minuten¹ een stromingsprofiel op te meten van een hoogte van 1,45 m naar de bodem toe gedurende 30 seconden (niet uitgemiddeld). De OBS-sensoren werden geprogrammeerd om elk uur gedurende 10 minuten turbiditeitswaarden te meten op 3 hoogtes nabij de bodem aan 4 Hz². Het algemene meetschema is hieronder in tabel weergegeven. De details van de setup is per frame en per instrument weergegeven in bijlage E.

Tabel 5 – Uurlijks meetschema per frame

Instrument												
TIJD IN MIN	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
AWAC Currents (2 Hz)	60 s					60 s	60 s	60 s	60 s	60 s	60 s	60 s
AWAC Waves (2 Hz)		1200 s										
Aquadopp (1 Hz)	30 s		30 s		30 s		30 s		30 s		30 s	
OBS (4 Hz)				600 s								

3.3.6 Mobilisatie en demobilisatie van de meetframes

De campagne met de meetframes van het WL vond plaats van 8/8/2014 – 4/9/2014. Figuur 1 toont de locaties waar de frames, met bijhorende bebakening, werden uitgelegd.

De frames werden daarbij eerst voorzien van 3 hijsbanden aan de 3 hoekpunten, bovenaan samen gebonden en verbonden met een oranje rubberen blaas. Daarna worden ze vanop MS Zeetijger met behulp van de kraan rustig te water gelaten tot ze de zeebodem raken. Op dat moment wordt de fysieke verbinding van de kraan met het frame verbroken. De frames met hijsbanden en rubberen blaas (die de hijsbanden drijvend houden) staan dan zelfstandig op de zeebodem. Een duikteam verwijdert nadien de hijsbanden en de blaas en maakt een fysieke verbinding tussen een poot van het frame en een dichtstbij gelegen boeisteen van één van de uitgelegde boeien. Het duikteam controleert aan de hand van een waterpas ("Bull's Eye") tevens de plaatsing van het frame, opdat de tilt niet te groot is voor de meetinstrumenten om kwaliteitsvol te kunnen meten (Figuur 10). Deze tilt mag maximaal 5° bedragen opdat de AWAC nog kwaliteitsvol golven kan meten. Om bij de demobilisatie de frames makkelijker terug te kunnen vinden is op elk frame een akoestische pinger met gekende frequentie gemonteerd.

¹ Het was de bedoeling om de Aquadopp Profilers eveneens eens om de 5 minuten te laten meten, maar hiervoor bleek de batterij onvoldoende capaciteit te hebben.

² De bedoeling was om de OBS-3+ identiek aan de Aquadopp Profiler te laten meten (i.e. om de 10 minuten). Door een nog niet te verklaren oorzaak (waarschijnlijk afwijkende instelling via data-logger) werd de data slechts opgenomen elke 60 minuten.

Figuur 10 – Onderwater controle van de frames met behulp van Bull's Eye waarbij een tilt van ongeveer 2-3° bedraagt



3.4 Stationaire 13-uursmetingen

In het kader van dit project werden op 3 locaties sedimenttransport- en stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd. Hierbij werd gemeten vanop een voor anker liggend meetschip, MS Pierre Petit. 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).

3.4.1 Stromingen

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 op een vaste diepte gehangen (ca. 3m onder het wateroppervlak).

ADCP

Binnen deze studie werd gebruik gemaakt van Acoustic Doppler Current Profilers voor het meten van de stroming. Hierbij werd telkens een RDI Workhorse Sentinel 600 kHz (Figuur 11) ingezet, ingebouwd in de romp van het meetschip.

Bij deze techniek worden er door de vier transducers op het meettoestel geluidsgolven uitgezonden op een bepaalde frequentie (in casu 600 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 11). Dit signaal wordt gebundeld in zogeheten “cellen” (blokken over de diepte) die een bepaalde grootte (hier 50 cm of 25 cm) hebben.

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

3.4.2 Sedimenttransport

Delftse fles

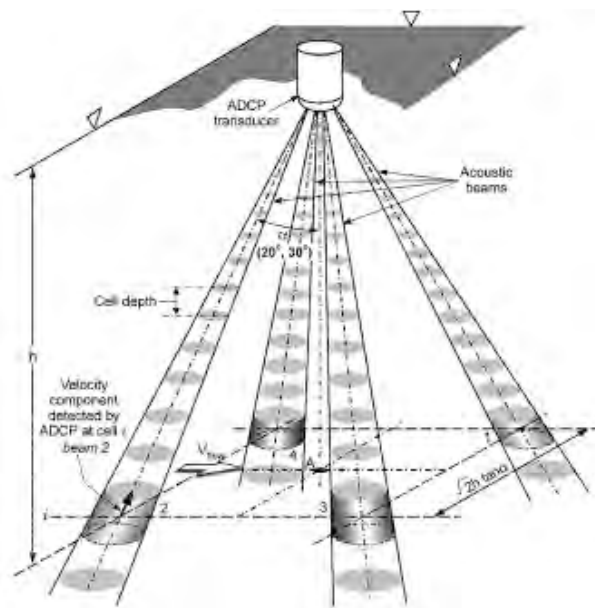
Voor het meten van het sedimenttransport, en dan voornamelijk het zandtransport, werd in dit onderzoek gebruik gemaakt van de Delftse fles. De Delftse fles bestaat uit een bronzen lichaam met vooraan een kleine inlaatopening en achteraan vier openingen waardoor het water uitstroomt. Twee verschillende inlaatdiameters zijn beschikbaar: 1,9 en 3,8 mm (hier gebruikt) 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 ($n = 0,4$) en de densiteit van het sediment ($\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$), 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 recipient dat voor verdere analyse (korrelgrootte) naar het sedimentlabo wordt gebracht.

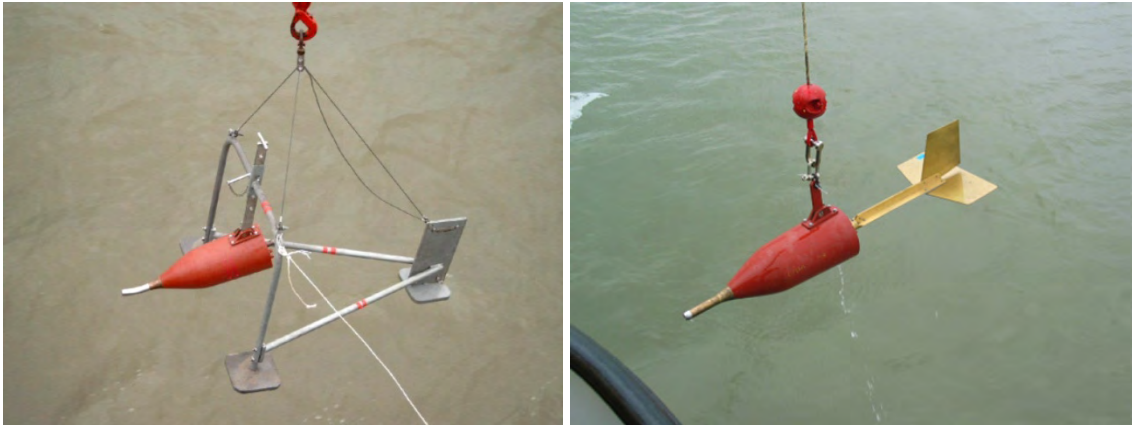
De Delftse fles werd ontworpen om gebruikt te worden tot heel dicht bij de bodem (nabij-bodemtransport; gewoonlijk 10 cm boven de bodem). Voor de metingen beneden 50 cm boven de bodem (om de 10 cm) wordt het lichaam geplaatst op een structuur dat kan neergelaten worden op de bodem zelf ("op frame" – Figuur 12). 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 100 cm en 200 cm boven de bodem) gebruikt.

Figuur 11 – Foto RDI Workhorse Sentinel (links) en werkingsprincipe ADCP (rechts)



Figuur 12 – 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.

Aangezien tijdens de meetcampagnes geen watermonsters ter hoogte van de meetsensor werden genomen (enkel op het frame van de OBS-3+), is deze kalibratie niet mogelijk. In de volgende hoofdstukken zullen enkel de gemeten turbiditeitswaarden gepresenteerd worden (in NTU).

3.4.3 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 13). 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 monsterneming (Vos *et al.*, 2006).

Figuur 13 – Van Veen-grijper (links) en Mastersizer 2000 (rechts)



3.4.4 Granulometrische analyse

De sedimentmonsters (zowel sedimenttransport via de Delftse fles als de bodemonsters) 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 13). 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 (voorwaartse verstrooiing) van de op het monster uitgestuurde laserstraal optreden. De hoeveelheid licht die onder invloed van scattering wordt afgebogen, wordt uitgedrukt als de obscuratie (verdonkering). 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 d10, d35, d50, d65 en d90.

4 Dataverwerking

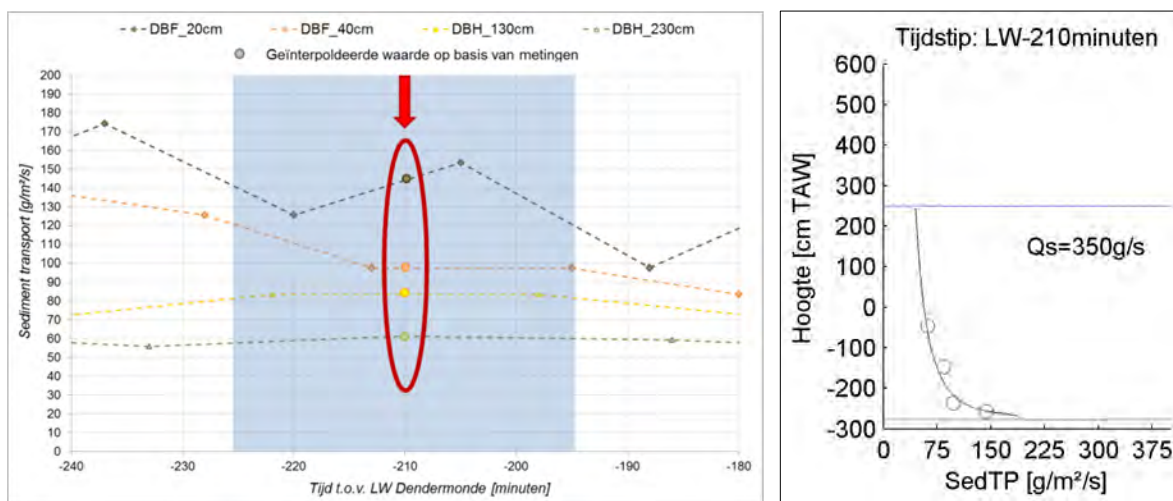
4.1 Berekening totaal (zand)transport

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, analoog aan (Plancke *et al.*, 2014):

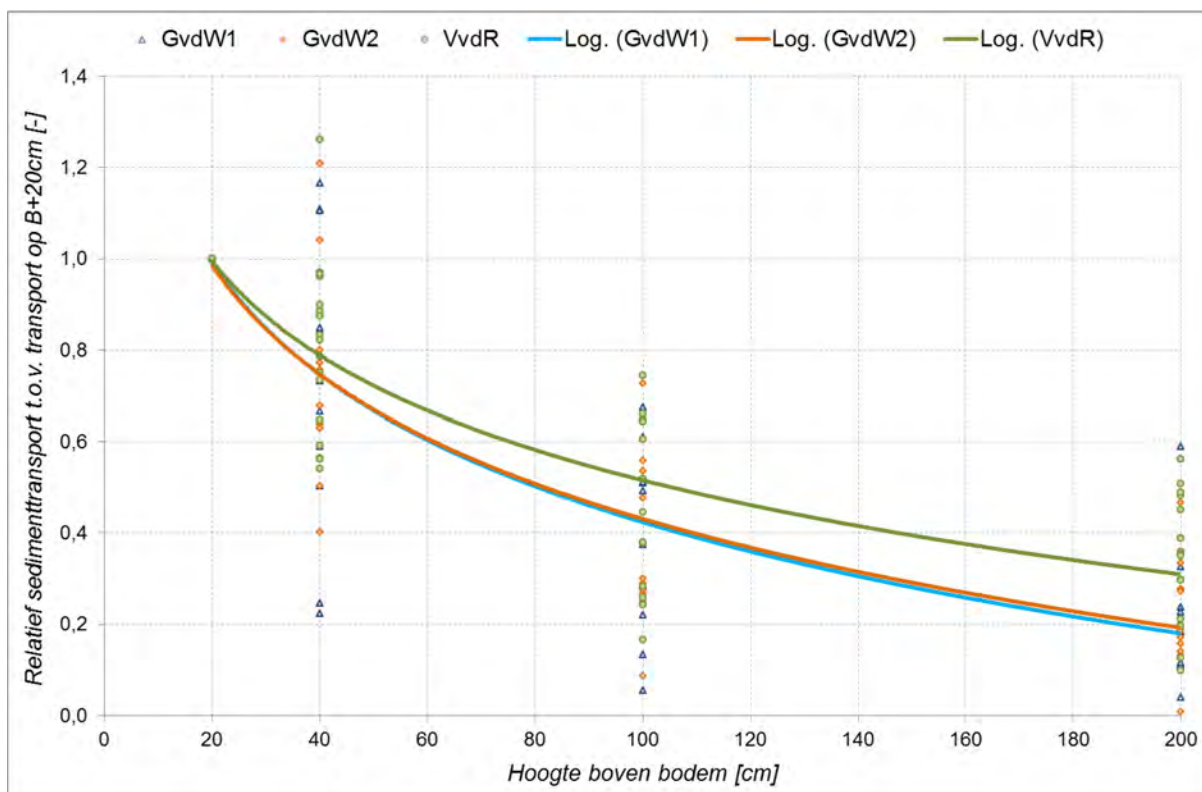
- $Q_s(t = n \times 30')$: interpolatie van de gemeten transporten op de verschillende verticale posities naar een transport op moment X (veelvoud van 30 minuten). Voor de interpolatie werd een eenvoudige lineaire interpolatie gebruikt. Indien er geen meting beschikbaar was in het tijdsvenster $[X-15', X+15']$ werd geen waarde gehanteerd. (Figuur 14 - links)
- $Q_s^{rel}(z)$ [rel. = $Q_s(z) / Q_s(z = B+20\text{cm})$]: Bepalen van het verticale profiel via een exponentiële³ 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 15)
- $Q_s(z,t)$: 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 14 - rechts)

³ Op basis van de beschikbare metingen werd geopteerd voor een exponentiële regressie. Theoretisch gezien zou eerder moeten gekozen worden voor een complexere regressie aangezien de snelheid theoretisch voldoet aan een logaritmisch profiel en de sedimentconcentratie varieert volgens het Rouse-profiel, en het transport bepaald worden als het product van deze beide.

Figuur 14 – Interpolatie van gemeten transporten (links) en berekening totaal transport (rechts)



Figuur 15 – Overzicht exponentiële regressie verticaal profiel sediment transport



4.2 Berekening sedimentconcentratie (indirecte meettechnieken)

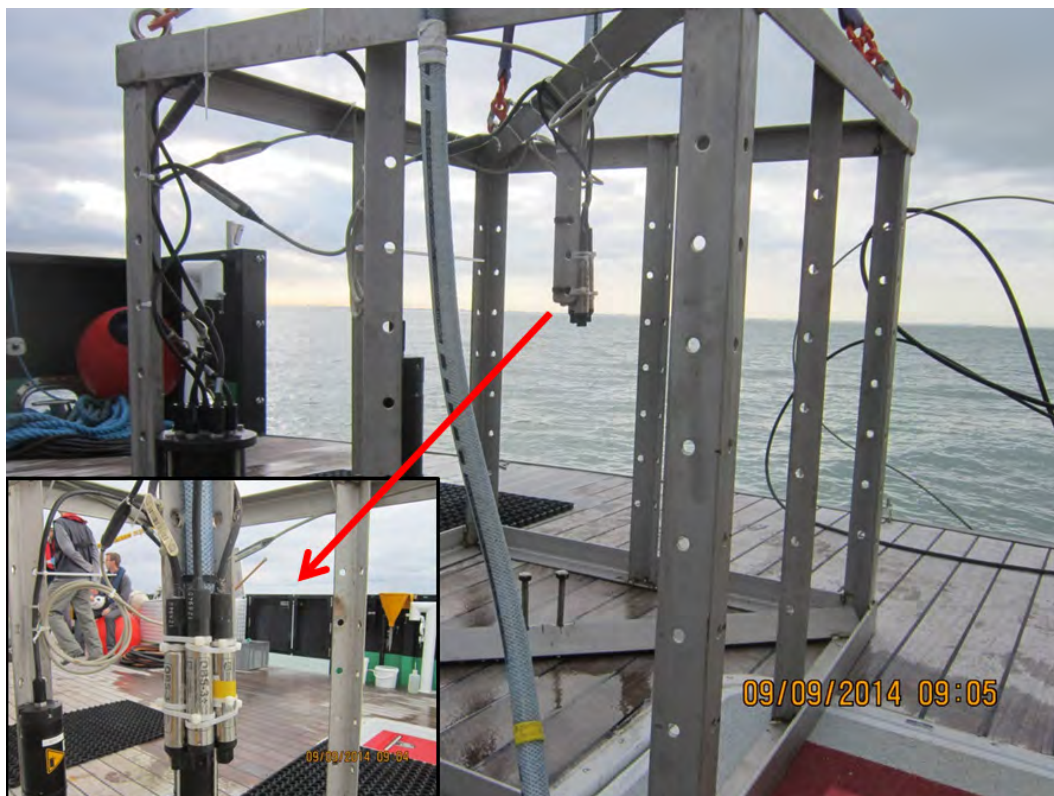
4.2.1 Ijking van de OBS-3+

De OBS-3+ turbiditeitssensoren registreren de hoeveelheid teruggekaatst licht als een bepaald voltage. Dit voltage kan worden omgerekend naar een turbiditeit in NTU op basis van bepaalde standaard kalibraties. Aangezien deze turbiditeit niet eenduidig overeenkomt met een bepaalde sedimentconcentratie, omwille van voornamelijk de sedimentsamenstelling (slib ⇔ zand voor deze meetcampagne), is een bijkomende ijking nodig waarbij het turbiditeitssignaal wordt geijkt op een gemeten sedimentconcentratie (laboratorium analyse op waterstalen).

Aangezien het onmogelijk was om sedimentstalen te nemen ter hoogte van de frames, is ervoor geopteerd om de OBS-3+ te monteren in een frame (Figuur 16) tijdens de 13u-meting om de overeenkomstige locatie. Hierbij werden er op geregelde tijdstippen pompstalen genomen die in het laboratorium geanalyseerd werden op sedimentconcentratie⁴. Op basis van de online visualisatie van de ADCP-backscatter, werd er gestreefd om de volledige range van potentiële sedimentconcentraties te bemonsteren.

De verschillende ijkingscurves zijn opgenomen in Bijlage F. Het betreft één ijkingscurve per OBS-3+ (9 in totaal). De gevonden turbiditeit-sedimentconcentratie-relatie werd vervolgens toegepast op de volledige meetreeks om het verloop van de sedimentconcentratie te kennen.

Figuur 16 – Opstelling frame met OBS-3+ en aanzuigdarm tijdens kalibratie



⁴ De stalen werden geanalyseerd op zowel de zandfractie ($> 63 \mu\text{m}$) als de silt/kleifractie ($< 63 \mu\text{m}$), doch de kalibratie werd uitgevoerd voor de totale sedimentconcentratie.

4.2.2 Omrekening van de ABS

Bij het ophalen van de meetframes bleek er een aanzienlijke aangroei van algen opgetreden te zijn op de verschillende toestellen (verschillend voor de toestellen afhankelijk van de locatie). Voor de optische turbiditeitsensoren vormt dit een probleem aangezien de metingen door deze aangroei verstoord worden. Dit kon ook worden vastgesteld op basis van de resultaten (zie verder). De akoestische toestellen ondervinden weinig hinder van de aangroei. Aangezien de akoestische backscatter (ABS) evenals de optische backscatter kan gerelateerd worden aan de sedimentconcentratie, is ervoor geopteerd deze gegevens ook te gebruiken. Hierbij dient echter opgemerkt te worden dat de frequentie van het akoestisch signaal de gevoeligheid bepaalt voor een bepaald sedimenttype. De ingezette Aquadopp Profilers werken met een frequentie van 2 MHz, wat een optimale gevoeligheid geeft voor sedimentkorrels met een diameter van ca. 230 μm . Fijnere sedimenten zullen alzo minder makkelijk een effect geven op de backscatter (gevoeligheid evenredig met de straal van de sedimentkorrel tot de 4^e macht (Lohrmann, 2001)).

Ten behoeve van de ijking van het ABS-signaal is gekozen om verschillende methodes toe te passen:

1. Kalibratie op basis van de sedimentconcentratie afgeleid uit OBS-3+ tijdens langdurige metingen voor initiële periode van langdurige metingen;
2. Kalibratie op basis van de sedimentconcentratie afgeleid uit OBS-3+ tijdens 13u-metingen voor vergelijkbaar getij;
3. Kalibratie op basis van de sedimentconcentratie afgeleid uit Delftse fles tijdens 13u-metingen voor vergelijkbaar getij;

OBS-metingen langdurige campagne

De eerste methode maakt gebruik van de omgerekende OBS sedimentconcentraties gemeten tijdens de langdurige metingen. Hierbij wordt de ABS van de Aquadopp gekalibreerd op basis van de sedimentconcentratie bepaald met de OBS-sensor, dit op het zelfde moment voor beide signalen. Deze methode heeft af te rekenen met de onzekerheid over de periode waarover de OBS als betrouwbaar (i.e. zonder aangroei op de sensor) mag beschouwd worden. Daarnaast is het belangrijk te realiseren dat het ABS signaal minder gevoelig is voor de fijne (silt) sedimentfractie die wel gemeten wordt door de OBS.

De kalibratie gebeurt door de sedimentconcentratie uit de OBS-3+ metingen te vergelijken met de gemeten ABS van de overeenkomstige cel van de Aquadopp Profiler. Voor elke beschikbare OBS-meting (één per uur) is de overeenkomstige ABS-meting geselecteerd, waarbij gewerkt is met de tijdsgemiddelde waarden (voor OBS is gemiddeld over meetinterval van 10 minuten, voor de ABS over het meetinterval van 30 seconden). Aangezien op basis van de resultaten van de OBS blijkt dat na ongeveer één week er aangroei lijkt te ontstaan, is ervoor gekozen om enkel de metingen uit de eerste week te gebruiken voor de kalibratie.

De verschillende ijkingscurves zijn opgenomen in Bijlage G.

OBS-metingen 13u-campagne

De tweede methode maakt gebruik van de omgerekende OBS sedimentconcentraties gemeten tijdens de 13u-metingen. Aangezien de Aquadopp's niet gebruikt werden tijdens deze metingen, is gekozen om het ABS-signaal te selecteren voor een vergelijkbaar getij. In Tabel 6 worden de getijkarakteristieken weergegeven van de dagen waarop 13u-metingen plaatsvonden. Op 15/08/2014 (tijdens langdurige metingen) bleken de getijcondities gelijkaardig.

Figuur 18 geeft een overzicht per locatie van het snelheidsverloop tijdens de 13u-metingen en dit tijdens het vergelijkbaar getij op 15/08/2014. Voor HYLAS II is dit verloop quasi identiek, voor HYLAS I en HYLAS III is er een afwijking van de maximale vloedsnelheden, die te wijten is aan een hoger

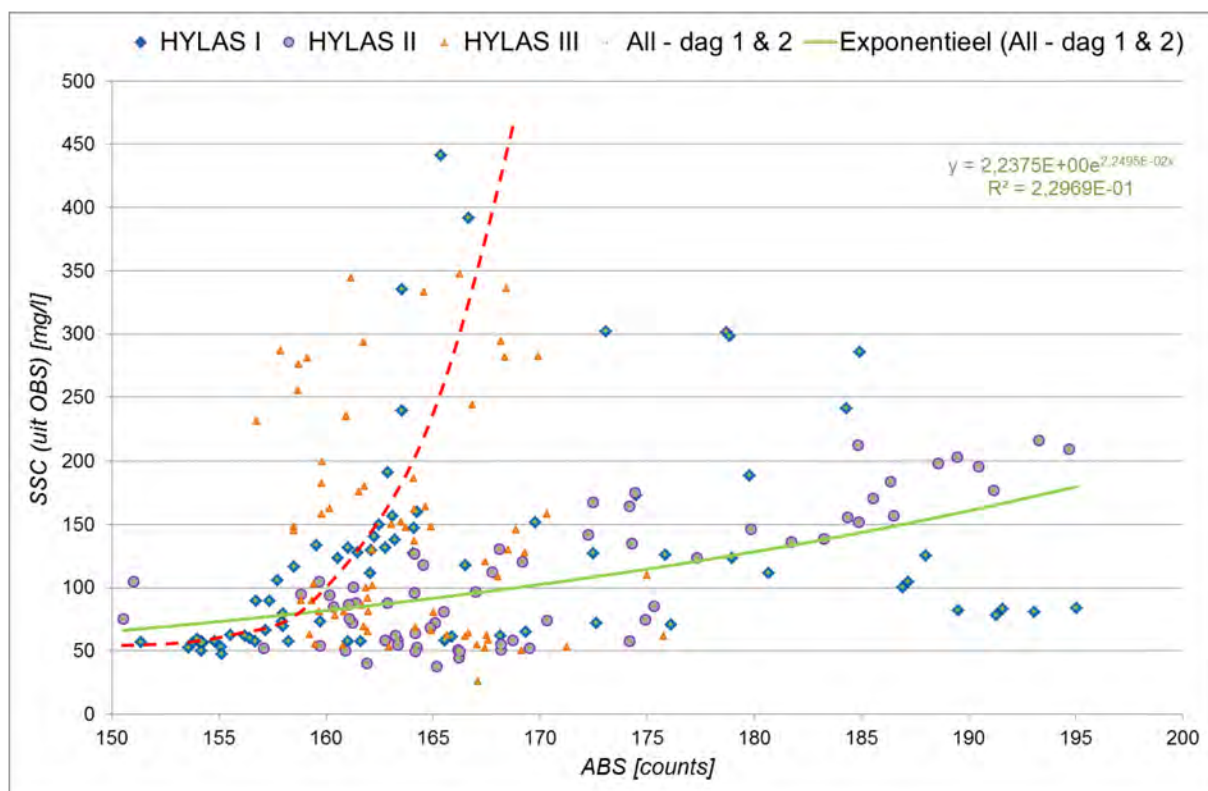
laagwater op 15/08/2014 in vergelijking met de 13u-metingen (+85 cm TAW t.o.v. +64 en +61 cm TAW).

Bij deze methode wordt de ABS van de Aquadopp gekalibreerd op basis van de sedimentconcentratie bepaald met de OBS-sensor, dit op het zelfde moment ten opzicht van hoogwater. Deze methode heeft ook af te rekenen met de onzekerheid dat het ABS signaal minder gevoelig is voor de fijne (silt) sedimentfractie die wel gemeten wordt door de OBS.

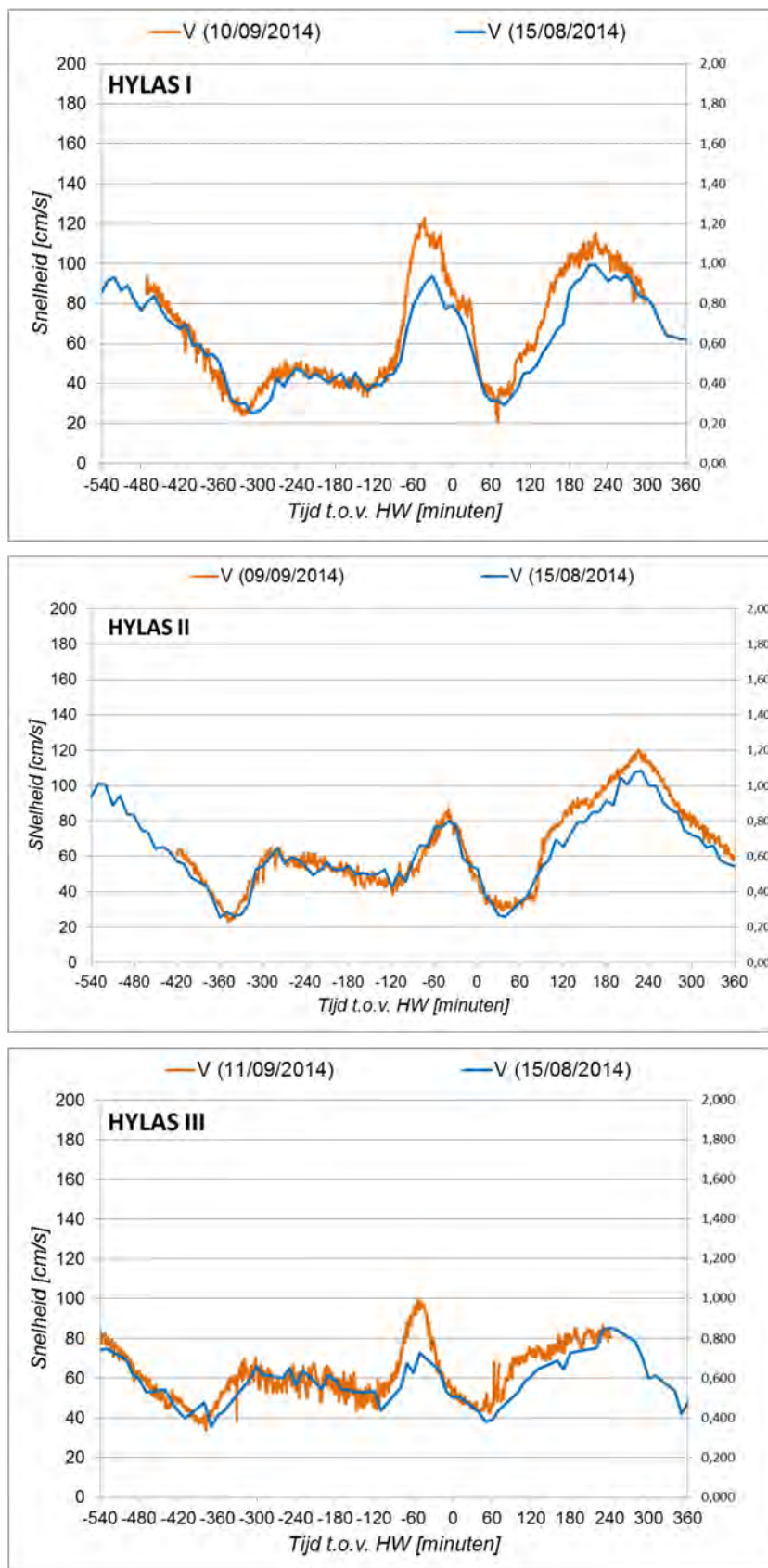
Tabel 6 – Overzicht getijcondities tijdens 13u-metingen en vergelijkbaar getij

Datum	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	Δ LHW [cm]	Δ HLW [cm]
09/09/2014	85	463	32	378	431
10/09/2014	64	473	18	409	455
11/09/2014	61	476	18	415	458
15/08/2014	85	472	56	387	416

Figuur 17 – Kalibratie ABS op basis van SSC afgeleid uit OBS-meting



Figuur 18 – Verloop van de snelheid tijdens de 13u-meting en bij vergelijkbaar getij langdurige metingen
[HYLAS I (boven) | HYLAS II (midden) | HYLAS III (onder)]



Figuur 17 geeft de relatie weer tussen de ABS en de sedimentconcentratie afgeleid uit de OBS. Hierbij valt onmiddellijk op dat er 2 clusters van punten te onderscheiden zijn: enerzijds de data van HYLAS II en een deel van HYLAS I, anderzijds de data van HYLAS III en het andere deel van HYLAS I. Dit onderscheid kan waarschijnlijk toegeschreven aan de sedimentsamenstelling van het getransporteerde sediment, waarbij gedurende de laatste dag (HYLAS III) omwille van de sterke golfcondities en de relatief ondiepe ligging van deze locatie, meer fijnere sedimenten (silt) in suspensie gebracht werden in vergelijking met de eerste dag (HYLAS II). Omwille van de eerder uitzonderlijke condities op de derde dag, is ervoor gekozen om de relatie (exponentieel) op te stellen louter op basis van de datapunten van de eerste twee meetdagen.

Er dient hierbij opgemerkt te worden dat door deze keuze, de sedimentconcentratie (en met name het aandeel van de fijne fractie) onderschat zal worden in bepaalde periodes.

Delftse fles metingen 13u-campagne

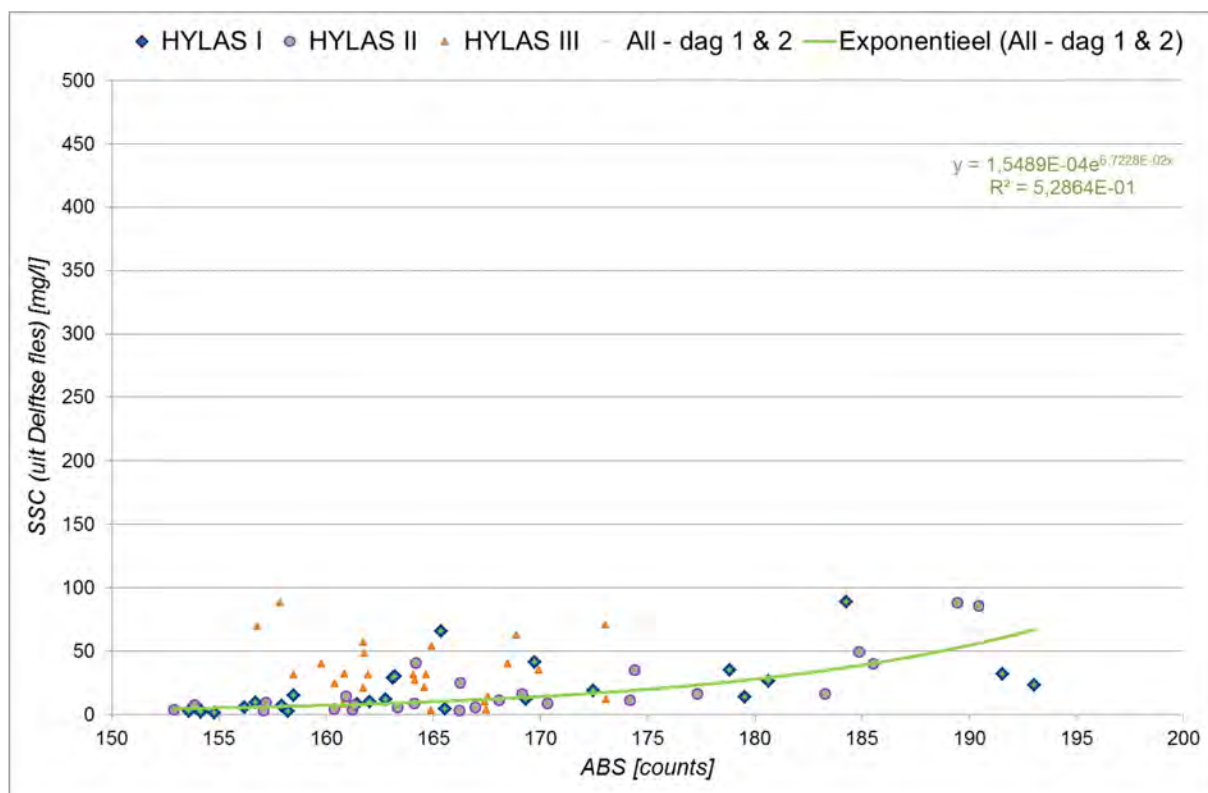
De derde methode maakt gebruik van de sedimentconcentraties afgeleid uit de sedimenttransport metingen gemeten met de Delftse fles tijdens de 13u-metingen. Aangezien de Aquadopp's niet gebruikt werden tijdens deze metingen, is gekozen om het ABS-signaal te selecteren voor een vergelijkbaar getij (zie hiervoor).

Bij deze methode wordt de ABS van de Aquadopp gekalibreerd op basis van de sedimentconcentratie afgeleid uit het totale sedimenttransport gemeten met de Delftse fles, dit op het zelfde moment ten opzicht van hoogwater. De sedimentconcentratie is afgeleid door het totaal transport (zie § 4.1) te delen door de waterdiepte en de diepte-gemiddelde stroomsnelheid. Alzo wordt een inschatting bekomen van de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie.

Aangezien de Delftse fles in principe louter het zandtransport meet, zal de afgeleide sedimentconcentratie eerder overeenstemmen met een "zand"-concentratie en dus een onderschatting zijn voor totale sedimentconcentratie. Daarnaast betreft het hier een inschatting van de diepte-gemiddelde concentratie, daar waar de overige 2 methodes een inschatting zijn voor de sedimentconcentratie op 60 cm boven de bodem. Echter, er dient in het achterhoofd gehouden te worden dat de ABS in theorie het gevoeligst is voor de zandfractie.

Figuur 19 geeft de relatie weer tussen de ABS en de sedimentconcentratie (ofwel "zand"-concentratie) afgeleid uit de Delftse fles metingen. Deze gemeten sedimentconcentratie is aanzienlijk lager dan deze afgeleid uit de OBS-meting (zelfde range voor de SSC in beide figuren), wat bovenstaande selectiviteit (zand i.p.v. totaal sediment) bevestigt. Ook hier wijken de punten van de derde meetdag af, en wordt dan ook gekozen om de relatie (exponentieel) op te stellen louter op basis van de datapunten van de eerste twee meetdagen.

Figuur 19 – Kalibratie ABS op basis van SSC afgeleid uit Delftse fles-meting



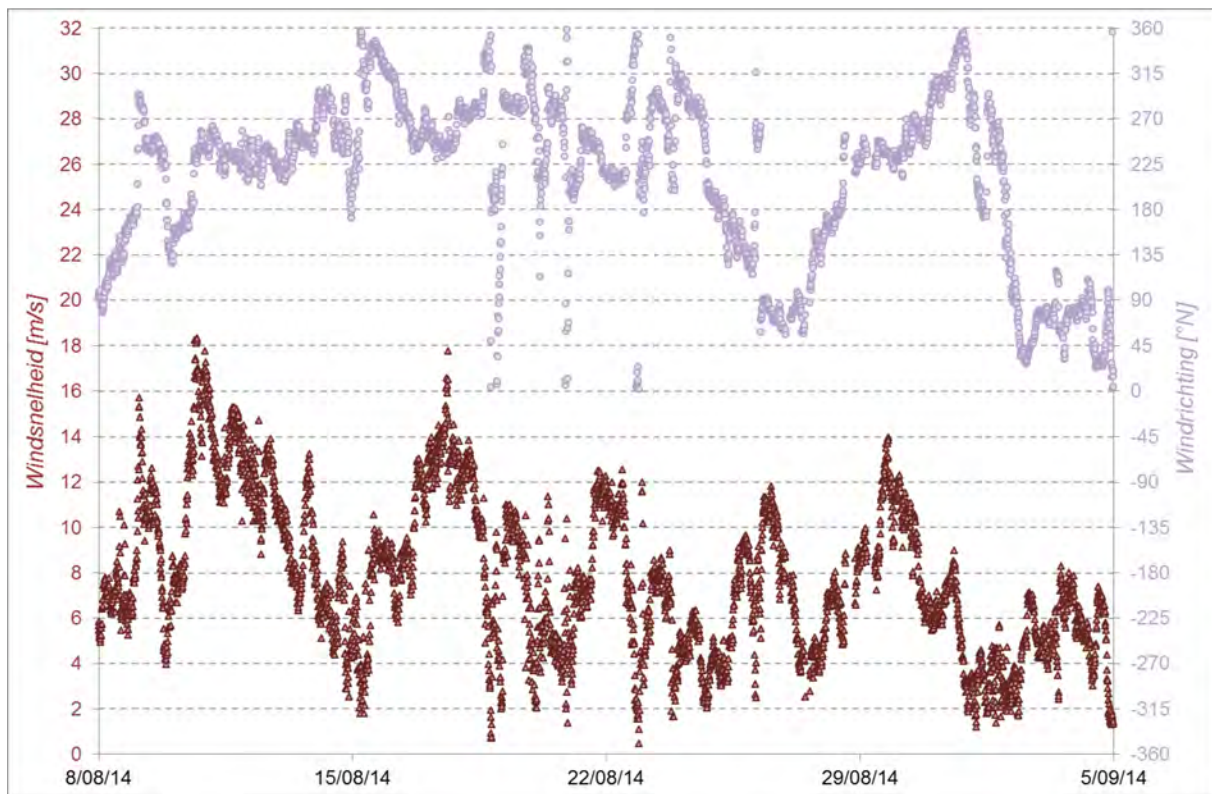
5 Resultaten

5.1 Omgevingscondities

5.1.1 Wind

Figuur 20 geeft een overzicht van de windcondities op het station Vlake van de Raan. Hieruit blijkt dat er gedurende het merendeel van de meetperiode een westenwind (variërend tussen noordwest tot zuidwest) heerste. Op het einde van de derde en de vierde week waren er periodes met oosten- en noordoostenwind. De kracht varieerde tussen 3 en 5 beaufort, met uitschieters tot 7 à 8 beaufort.

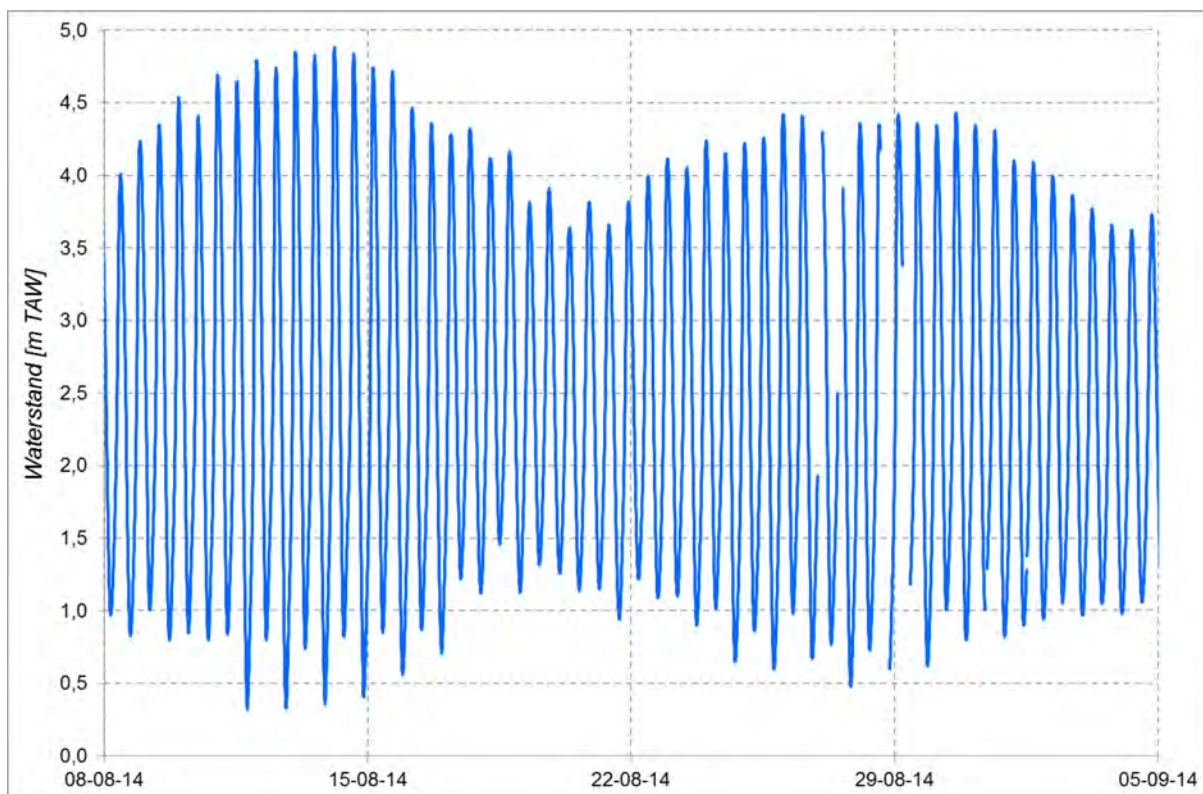
Figuur 20 – Overzicht windcondities te Vlake van de Raan gedurende meetperiode
[Bron: www.hmcz.nl]



5.1.2 Waterstanden

Figuur 21 geeft een overzicht van de waterstanden op het station Vlake van de Raan. Hieruit blijkt dat de sterkste springtijden optraden tijdens de eerste springtij-doodtij-cyclus, met een maximaal getijverschil van ca. 4,5 m. Bij doodtij bedroeg het getijverschil ca. 2,5 m.

Figuur 21 – Overzicht waterstanden te Vlake van de Raan gedurende meetperiode
[Bron: www.hmcz.nl]



5.2 Resultaten campagne meetframes

Hoewel de instrumenten op de verschillende meetframes identiek werden geprogrammeerd, bleek na afloop dat de AWAC enkel op het meetframe HYLAS III golfmetingen had uitgevoerd. Daardoor zijn er voor de meetframes HYLAS I en HYLAS II geen golfmetingen beschikbaar.

5.2.1 Geul van de Walvischstaart 1 (HYLAS I)

Stromingen

Figuur 22 geeft een overzicht van de diepte-gemiddelde snelheden van zowel de Aquadopp Profiler (onderste deel van de waterkolom) als de AWAC (bovenste deel van de waterkolom) over de volledige meetperiode voor meetframe HYLAS I. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week).

De meetreeks van de Aquadopp Profiler stopt na ongeveer 10 meetdagen. Uit een analyse blijkt dat de (nieuwe en gecontroleerde (onbelast)) batterij niet haar volledige spanning bevat bij de installatie op het terrein. Hierdoor bleek er na ca. 10 dagen onvoldoende spanning aanwezig te zijn om de instellingen inzake meetfrequentie uit te voeren en zijn er nadien nog maar sporadisch metingen uitgevoerd.

Sedimentbeweging

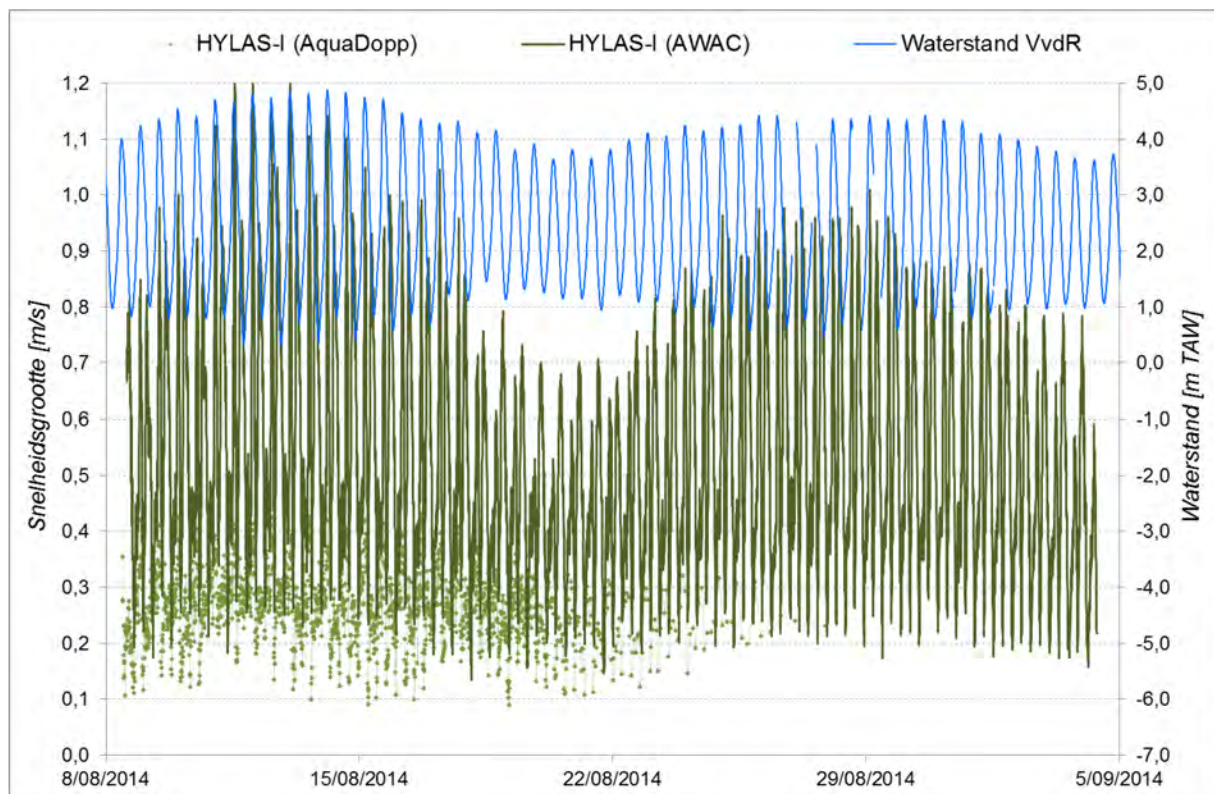
Aangezien enerzijds de optische sensoren (OBS) gedurende de meetperiode door algengroei op de sensor werden verstoord en anderzijds er voor de akoestische toestellen (ABS) geen specifieke kalibratie werd uitgevoerd, dienen de hierna gepresenteerde resultaten van de sedimentconcentraties met grote omzichtigheid te worden gebruikt.

Sedimentconcentratie OBS-3+

Figuur 23 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over de volledige meetperiode voor de 3 OBS-sensoren op meetframe HYLAS I. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week) voor de OBS-sensor op 60 cm boven de bodem.

Uit deze figuur blijkt na 10 dagen een afwijkend patroon voor de sensor op 80 cm boven de bodem. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door aangroei op de sensor, waardoor de metingen verstoord worden. Dit vermoeden wordt bevestigd door de schijnbaar geleidelijke toename van de sedimentconcentratie gedurende ongeveer één week, waarna de fluctuaties tijdens het getij opnieuw rond een gemiddelde waarde gebeuren (deze is aanzienlijk hoger dan initieel, wat door de aangroei kan verklaard worden). Ook de foto's (Figuur 24) bij het ophalen van de meetframes bevestigen dit vermoeden.

Figuur 22 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC



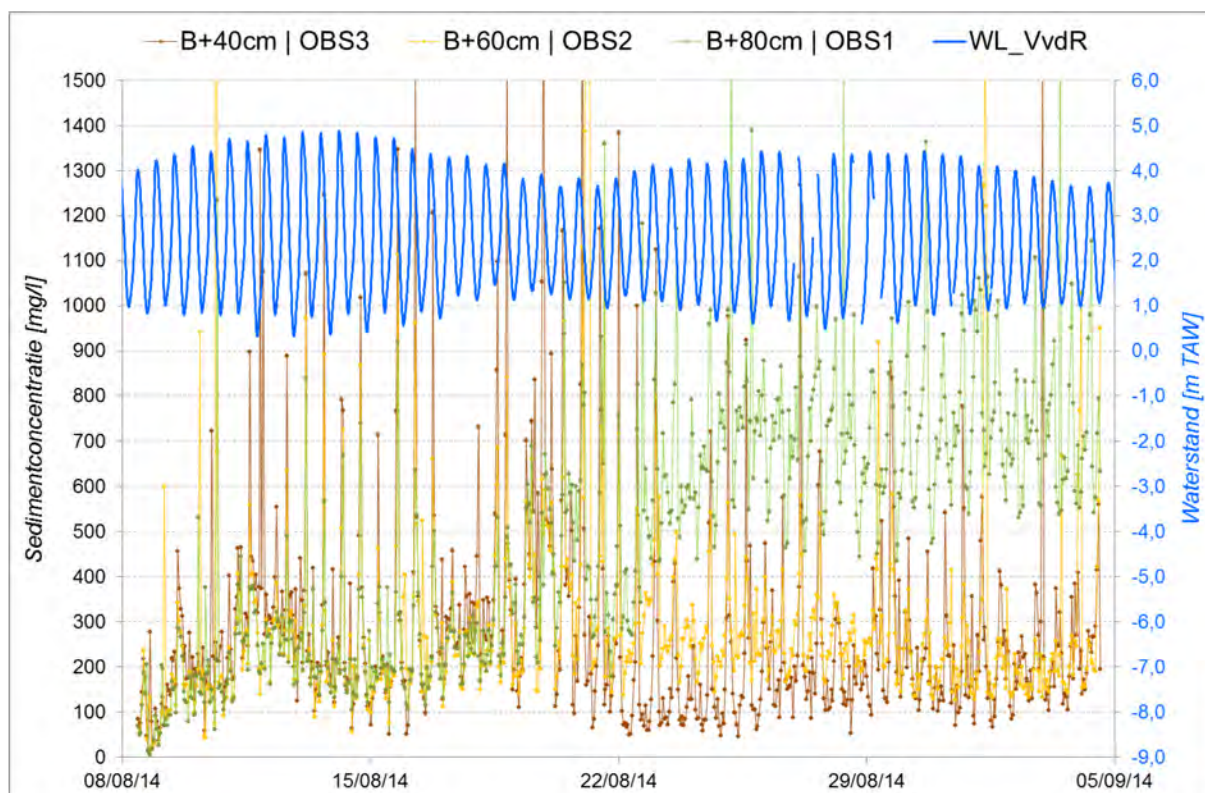
Sedimentconcentratie ABS

Figuur 25 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over een deel van de meetperiode op basis van de ABS op meetframe HYLAS I. Hierbij wordt de berekende sedimentconcentratie op basis van zowel de OBS-data als de Delftse fles data gedurende de 13u-metingen gepresenteerd. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week). De meetreeks eindigt na ongeveer 10 dagen omwille van onvoldoende batterijspanning (zie ook 5.2.1 – stromingen).

De sedimentconcentratie op basis van de Delftse fles is aanzienlijk lager dan dan de overige 2 signalen. Dit is te verklaren door enerzijds het feit dat het hier om een diepte-gemiddelde concentratie gaat en anderzijds het feit dat de Delftse fles in principe enkel de zandfractie capteert. De overige 2 sensoren (OBS en ABS op basis van OBS tijdens 13u-metingen) geven hogere waarden van de sedimentconcentratie. Aan de enke kant ligt de achtergrondconcentratie (ca. 80 mg/l) hoger, wat toegeschreven kan worden aan het fijn sediment dat in suspensie blijft (~ wash-load). Aan de andere kant vertont de OBS een veel grotere variatie dan de ABS, wat op zijn beurt kan verklaard worden door de hogere gevoeligheid van de OBS-sensor voor de fijne fractie.

Opmerkelijk is de zeer kleine variatie in de omgerekende sedimentconcentratie (zowel bij Delftse fles als OBS kalibrete) op basis van de ABS over de getijcyclus bij doottij (periode rond 20/08/2014 – $\Delta \sim 25$ mg/l) in vergelijking van deze bij springtij (periode rond 14/08/2014 – $\Delta \sim 100$ mg/l).

Figuur 23 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie m.b.v. OBS

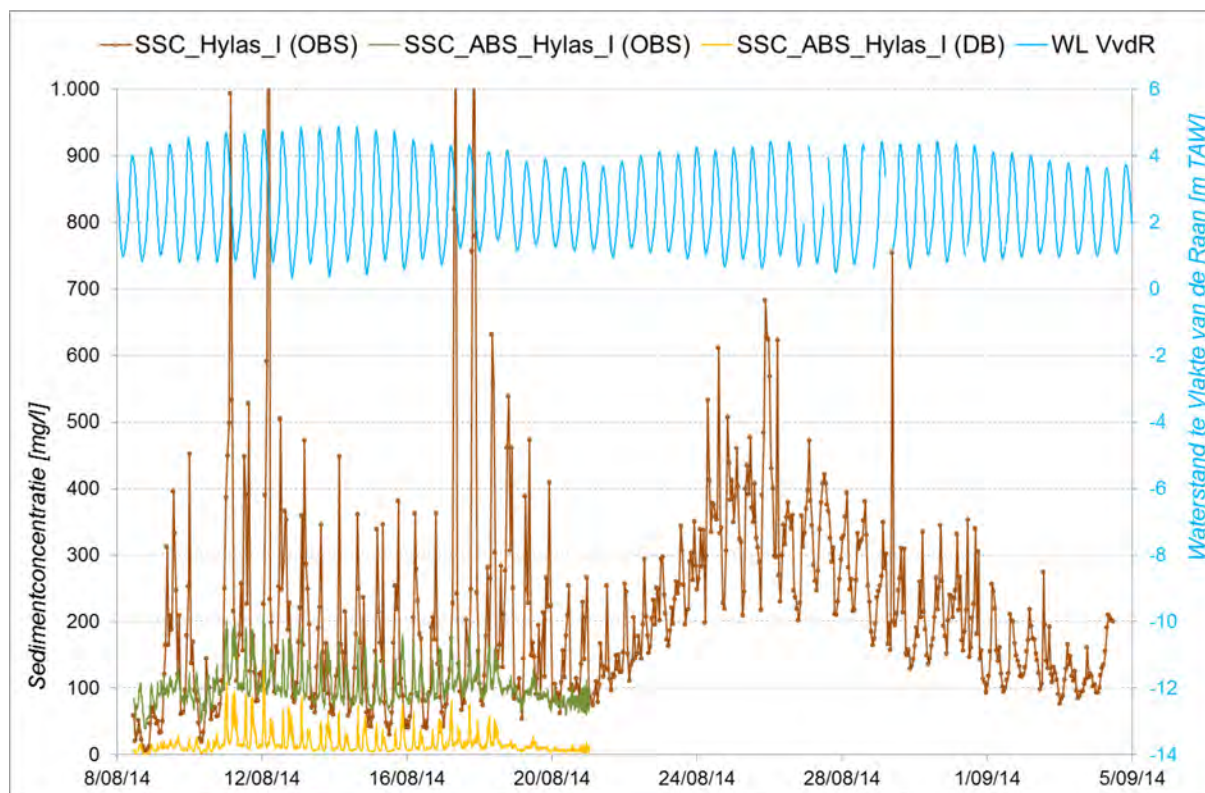


Figuur 24 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)



Figuur 25 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS
 (kalibratie op basis van OBS en Delftse fles data tijdens 13u-metingen)

Opmerking: voor de ABS(DB) betreft het een inschatting van de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie, voor de OBS en ABS(OBS) betreft het een inschatting van de sedimentconcentratie op 60 cm boven de bodem

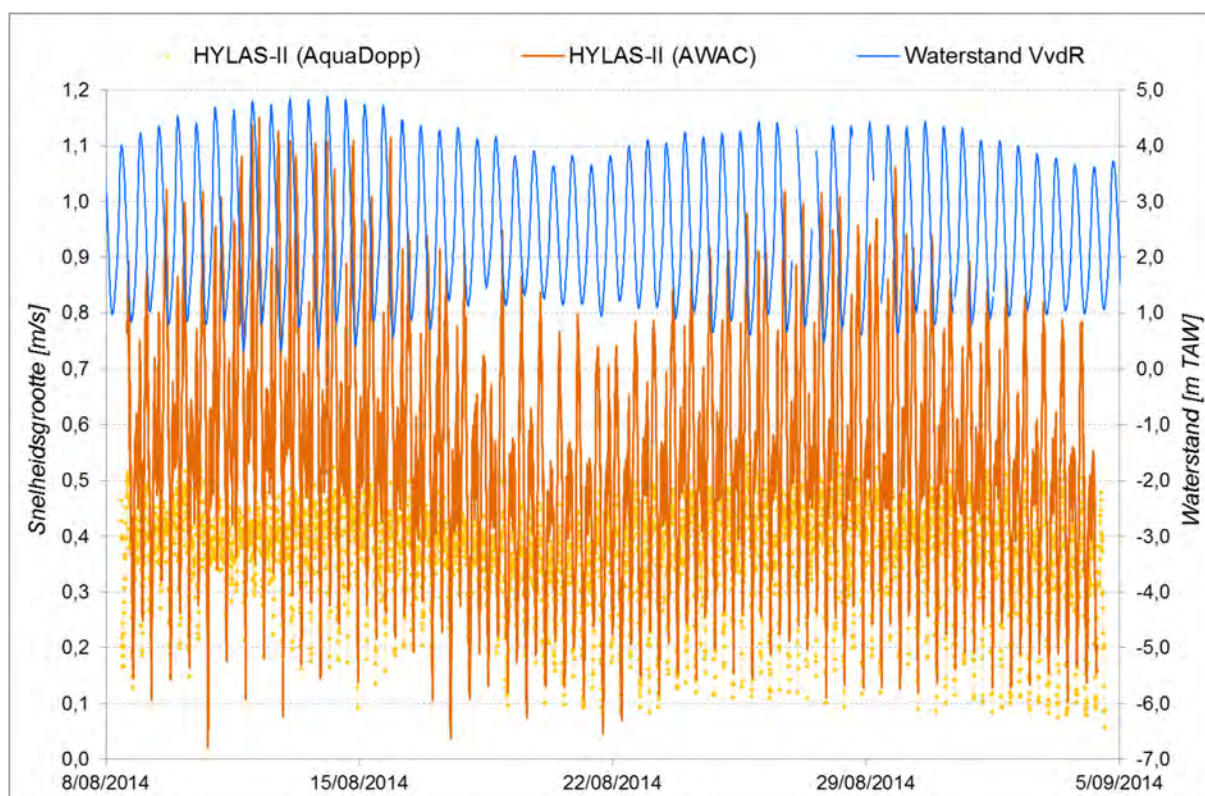


5.2.2 Geul van de Walvischstaart 2 (HYLAS II)

Stromingen

Figuur 26 geeft een overzicht van de diepte-gemiddelde snelheden van zowel de Aquadopp Profiler (onderste deel van de waterkolom) als de AWAC (bovenste deel van de waterkolom) over de volledige meetperiode voor meetframe HYLAS II. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week).

Figuur 26 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC



Sedimentbeweging

Aangezien enerzijds de optische sensoren (OBS) gedurende de meetperiode door algengroei op de sensor werden verstoord en anderzijds er voor de akoestische toestellen (ABS) geen specifieke kalibratie werd uitgevoerd, dienen de hierna gepresenteerde resultaten van de sedimentconcentraties met grote omzichtigheid te worden gebruikt.

Sedimentconcentratie OBS-3+

Figuur 27 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over de volledige meetperiode voor de 3 OBS-sensoren op meetframe HYLAS II. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week) voor de OBS-sensor op 60 cm boven de bodem.

Uit deze figuur blijkt na 10 dagen een afwijkend patroon voor de sensor op 80 cm boven de bodem. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door aangroei op de sensor, waardoor de metingen verstoord worden. Dit vermoeden wordt bevestigd door de schijnbaar geleidelijke toename van de sedimentconcentratie gedurende ongeveer één week, waarna de fluctuaties tijdens het getij opnieuw rond een gemiddelde waarde gebeuren (deze is aanzienlijk hoger dan initieel, wat door de

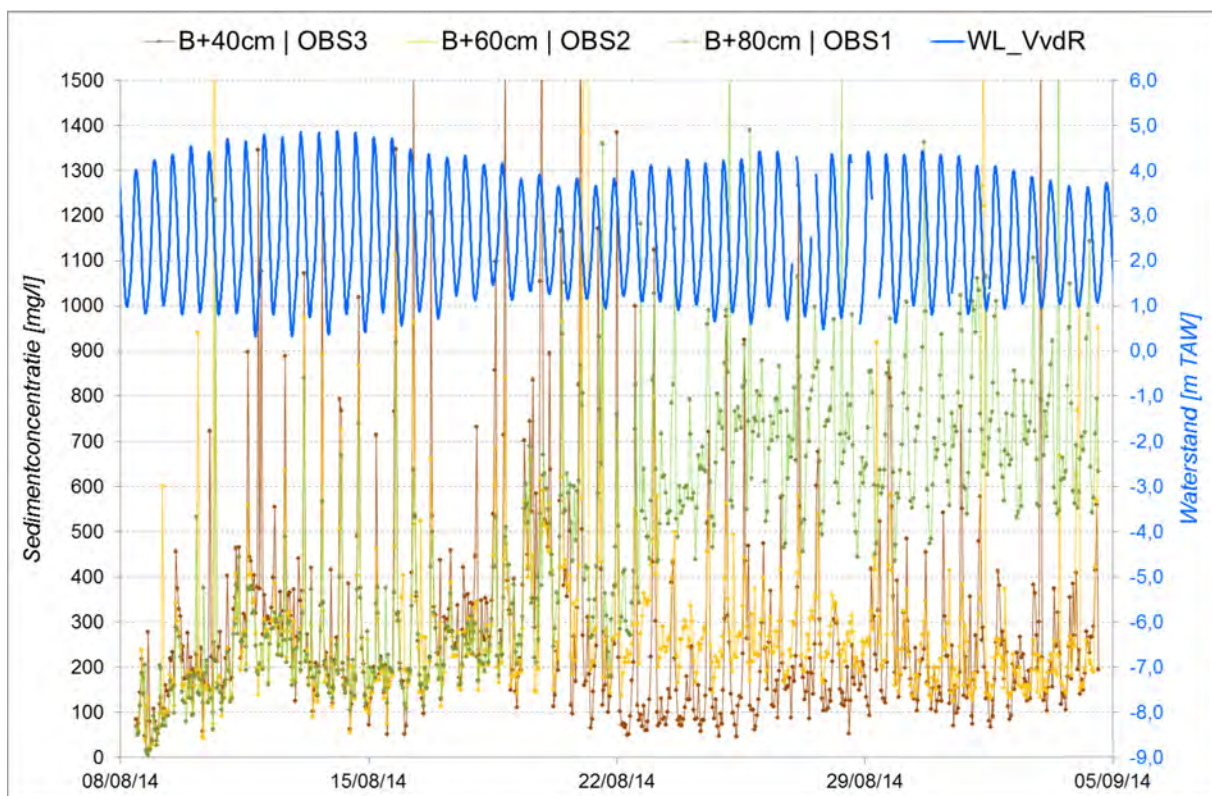
aangroei kan verklaard worden). Ook de foto's (Figuur 28) bij het ophalen van de meetframes bevestigen dit vermoeden.

Sedimentconcentratie ABS

Figuur 29 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over de volledige meetperiode op basis van de ABS op meetframe HYLAS II. Hierbij wordt de berekende sedimentconcentratie op basis van zowel de OBS-data als de Delftse fles data gedurende de 13u-metingen gepresenteerd. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week).

De sedimentconcentratie op basis van de Delftse fles is aanzienlijk lager dan dan de overige 2 signalen. Hier geldt dezelfde verklaring als in § 0. Opmerkelijk is ook hier de zeer kleine variatie in de omgerekende sedimentconcentratie op basis van de ABS over de getijcyclus bij doodtij (periode rond 20/08/2014 – $\Delta \sim 25$ mg/l) in vergelijking van deze bij springtij (periode rond 14/08/2014 – $\Delta \sim 100$ mg/l).

Figuur 27 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie

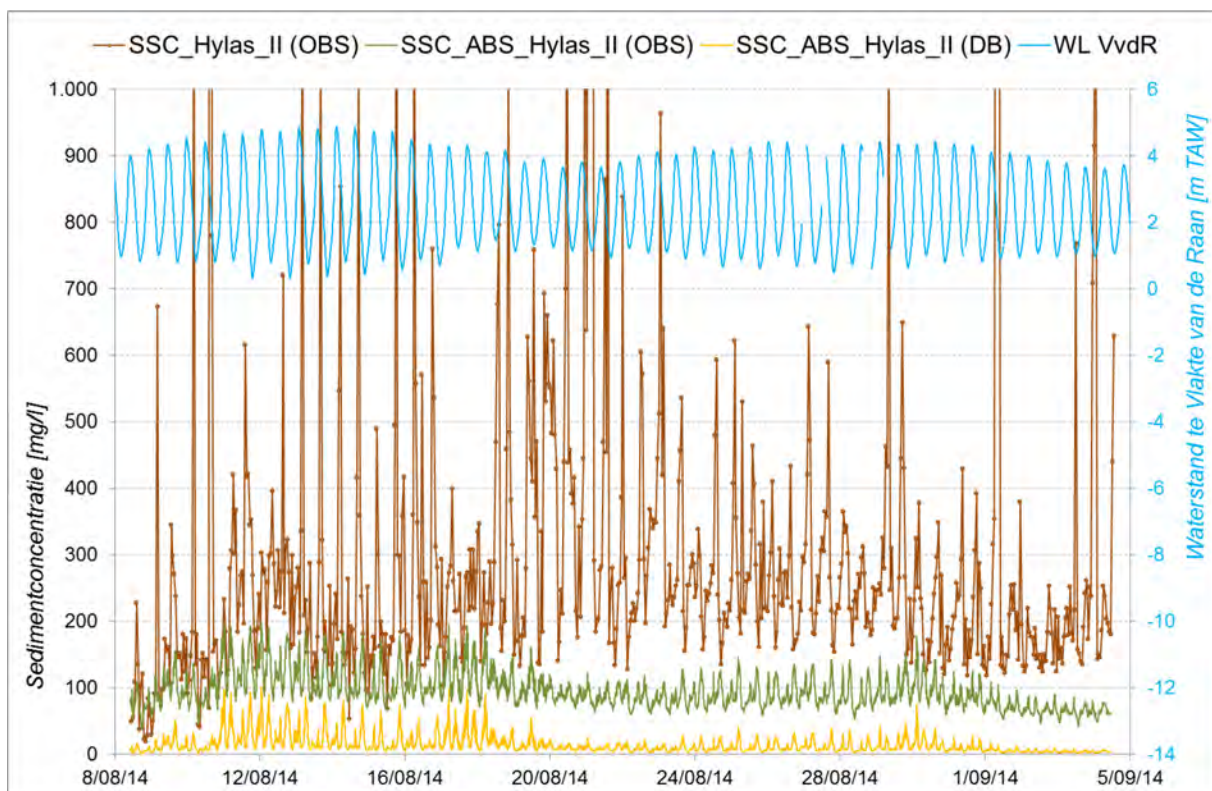


Figuur 28 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)



Figuur 29 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS
(kalibratie op basis van OBS en Delftse fles data tijdens 13u-metingen)

Opmerking: voor de ABS(DB) betreft het een inschatting van de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie, voor de OBS en ABS(OBS) betreft het een inschatting van de sedimentconcentratie op 60 cm boven de bodem



5.2.3 Vlake van de Raan (HYLAS III)

Stromingen

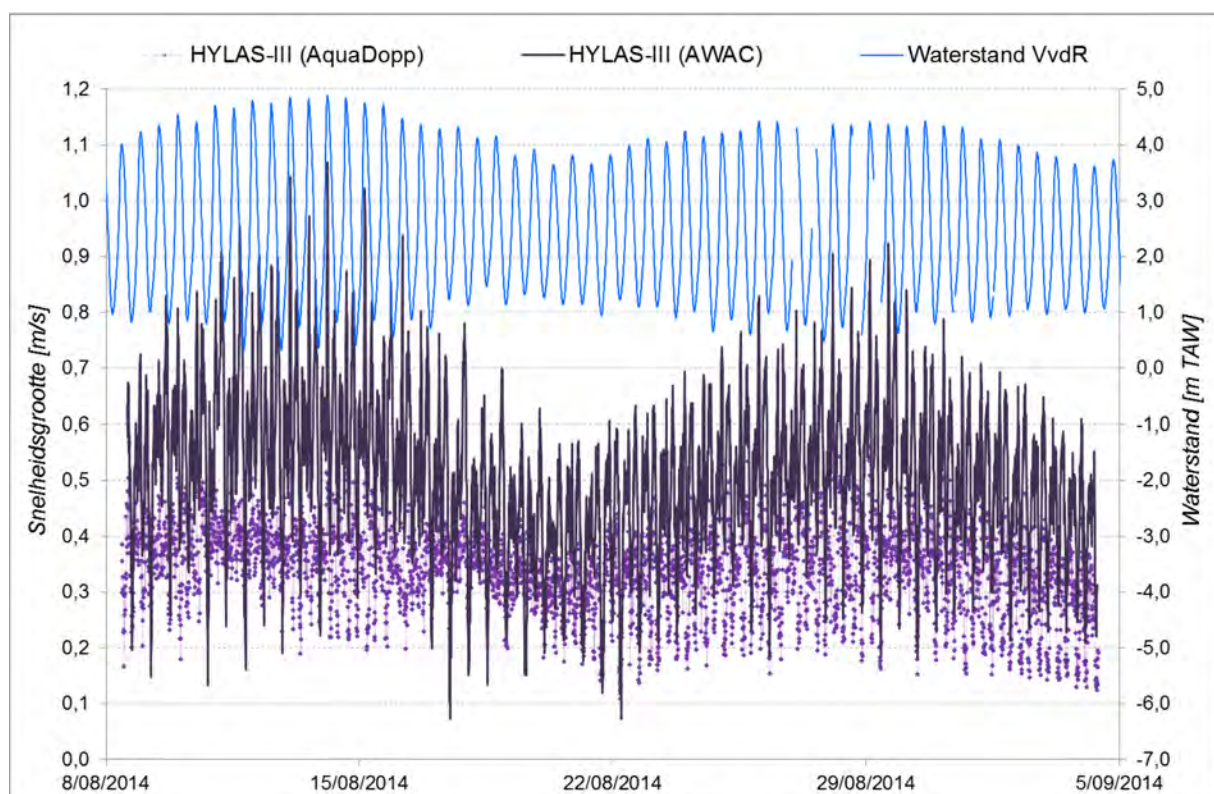
Figuur 30 geeft een overzicht van de diepte-gemiddelde snelheden van zowel de Aquadopp Profiler (onderste deel van de waterkolom) als de AWAC (bovenste deel van de waterkolom) over de volledige meetperiode voor meetframe HYLAS III. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week).

Golven

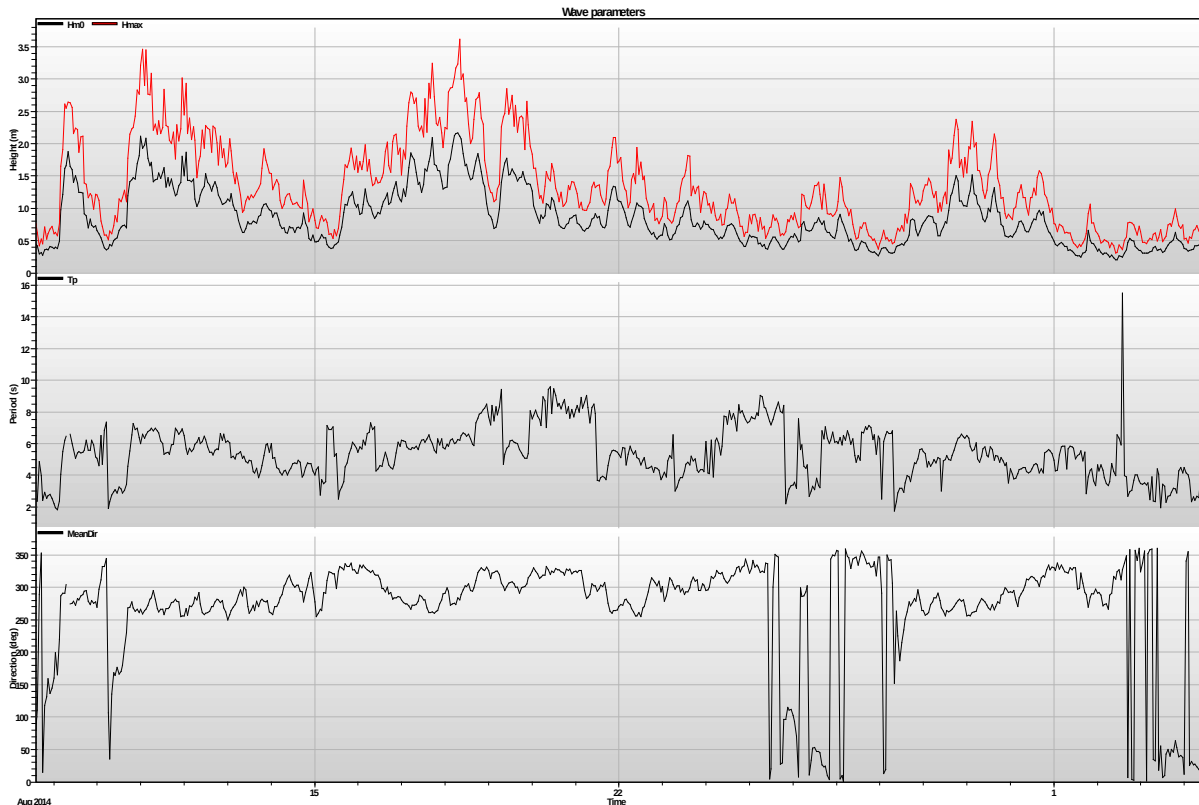
Figuur 31 geeft een overzicht van de karakteristieke golfparameters (AWAC) over de volledige meetperiode voor meetframe HYLAS III.

Tijdens de eerste 2 weken varieert de significante golfhoogte tussen 50 en 200 cm. De maximale golfhoogte loopt op tot 300 cm. Tijdens de derde week zijn de golfhoogtes lager: tot 150 cm (significante) en 200 cm (maximaal). Bij het begin van de 4^e week werden opnieuw hogere golfhoogtes gemeten. De golfperiode varieert tussen 4 en 8 seconden, terwijl de golfrichting hoofdzakelijk west tot noordwest was.

Figuur 30 – Overzicht waterstanden en diepte-gemiddelde stroomsnelheden AquaDopp en AWAC



Figuur 31 – Overzicht golfparameters AWAC
Boven: significante (zwart) en maximale (rood) golfhoogte | Midden: golfperiode | Onder: golfrichting



Sedimentbeweging

Aangezien enerzijds de optische sensoren (OBS) gedurende de meetperiode door algengroei op de sensor werden verstoord en anderzijds er voor de akoestische toestellen (ABS) geen specifieke kalibratie werd uitgevoerd, dienen de hierna gepresenteerde resultaten van de sedimentconcentraties met grote omzichtigheid te worden gebruikt.

Sedimentconcentratie OBS-3+

Figuur 32 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over de volledige meetperiode voor de 3 OBS-sensoren op meetframe HYLAS III. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week) voor de OBS-sensor op 60 cm boven de bodem..

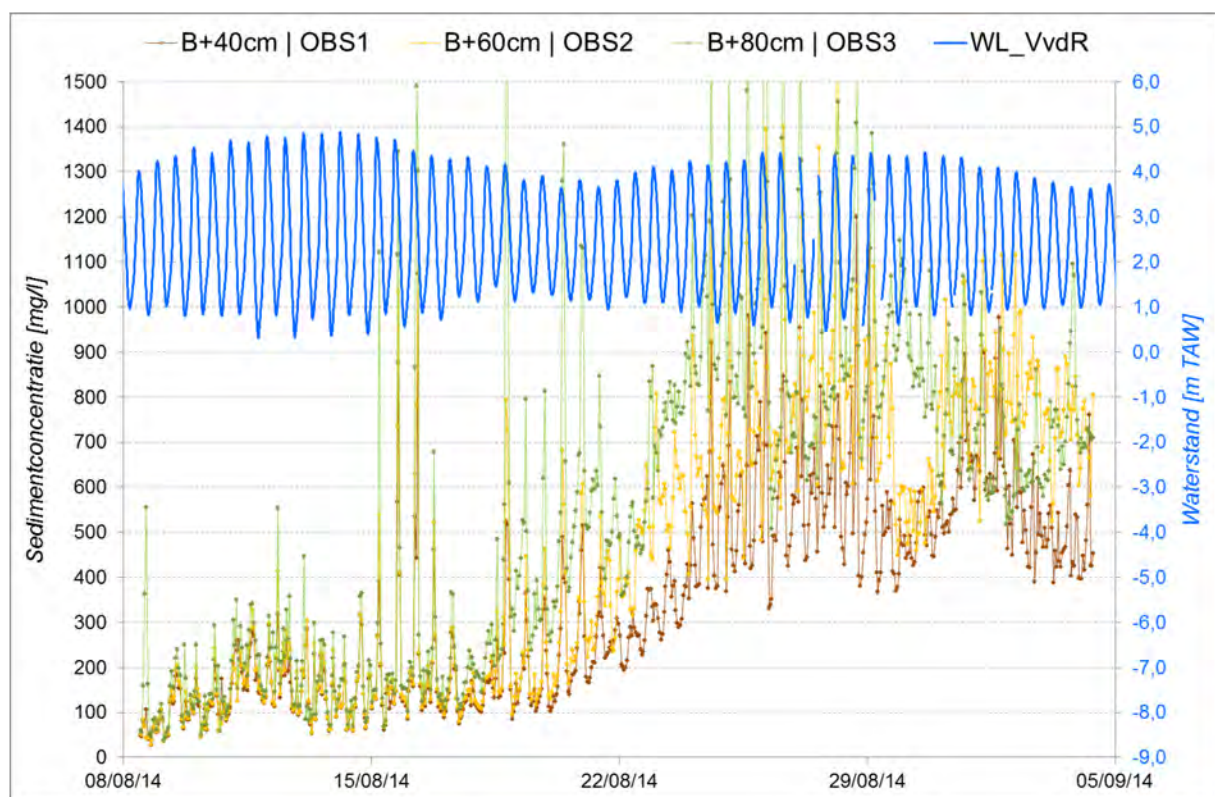
Uit deze figuur blijkt na 10 dagen een afwijkend patroon voor alle drie de sensoren. Dit kan waarschijnlijk verklaard worden door aangroei op de sensor, waardoor de metingen verstoord worden. Dit vermoeden wordt bevestigd door de schijnbaar geleidelijke toename van de sedimentconcentratie gedurende ongeveer één week, waarna de fluctuaties tijdens het getij opnieuw rond een gemiddelde waarde gebeuren (deze is aanzienlijk hoger dan initieel, wat door de aangroei kan verklaard worden). Ook de foto's (Figuur 33) bij het ophalen van de meetframes bevestigen dit vermoeden.

Sedimentconcentratie ABS

Figuur 34 geeft een overzicht van de sedimentconcentratie over de volledige meetperiode op basis van de ABS op meetframe HYLAS III. Hierbij wordt de berekende sedimentconcentratie op basis van zowel de OBS-data als de Delftse fles data gedurende de 13u-metingen gepresenteerd. In Bijlage G – Langdurige metingen worden deze gegevens meer gedetailleerd gepresenteerd (1 figuur per week).

De sedimentconcentratie op basis van de Delftse fles is aanzienlijk lager dan dan de overige 2 signalen. Hier geldt dezelfde verklaring als in § 0. Voor deze locatie vertoont de omgerekende sedimentconcentratie op basis van de ABS over de getijcyclus bij doottij (periode rond 20/08/2014 – $\Delta \sim 40$ mg/l) ten opzichte van deze bij springtij (periode rond 14/08/2014 – $\Delta \sim 70$ mg/l) een kleinere variatie in vergelijking met overige 2 locaties..

Figuur 32 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie uit OBS-3+

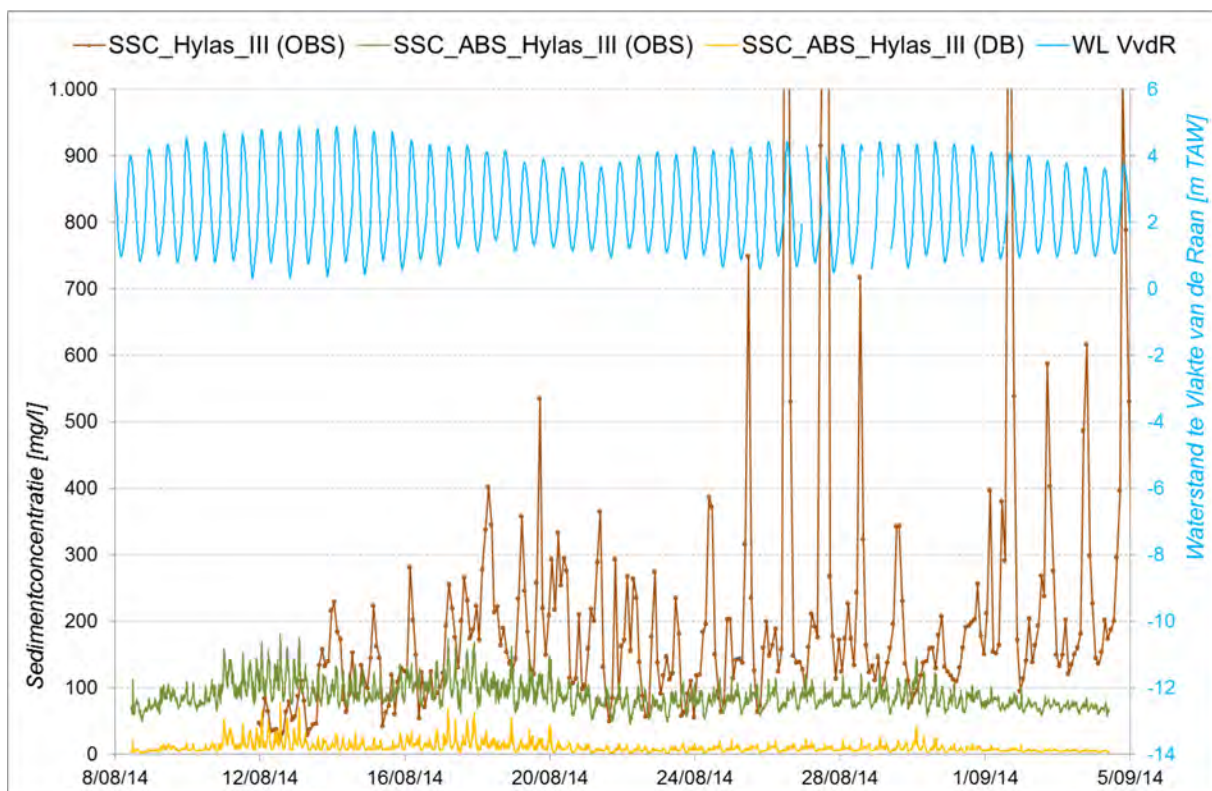


Figuur 33 – OBS-3+ sensoren bij ophalen (na 4 weken op de meetlocatie te hebben uitgestaan)



Figuur 34 – Overzicht berekende sedimentconcentratie op basis van ABS
(kalibratie op basis van OBS en Delftse fles data tijdens 13u-metingen)

Opmerking: voor de ABS(DB) betreft het een inschatting van de diepte-gemiddelde sedimentconcentratie, voor de OBS en ABS(OBS) betreft het een inschatting van de sedimentconcentratie op 60 cm boven de bodem

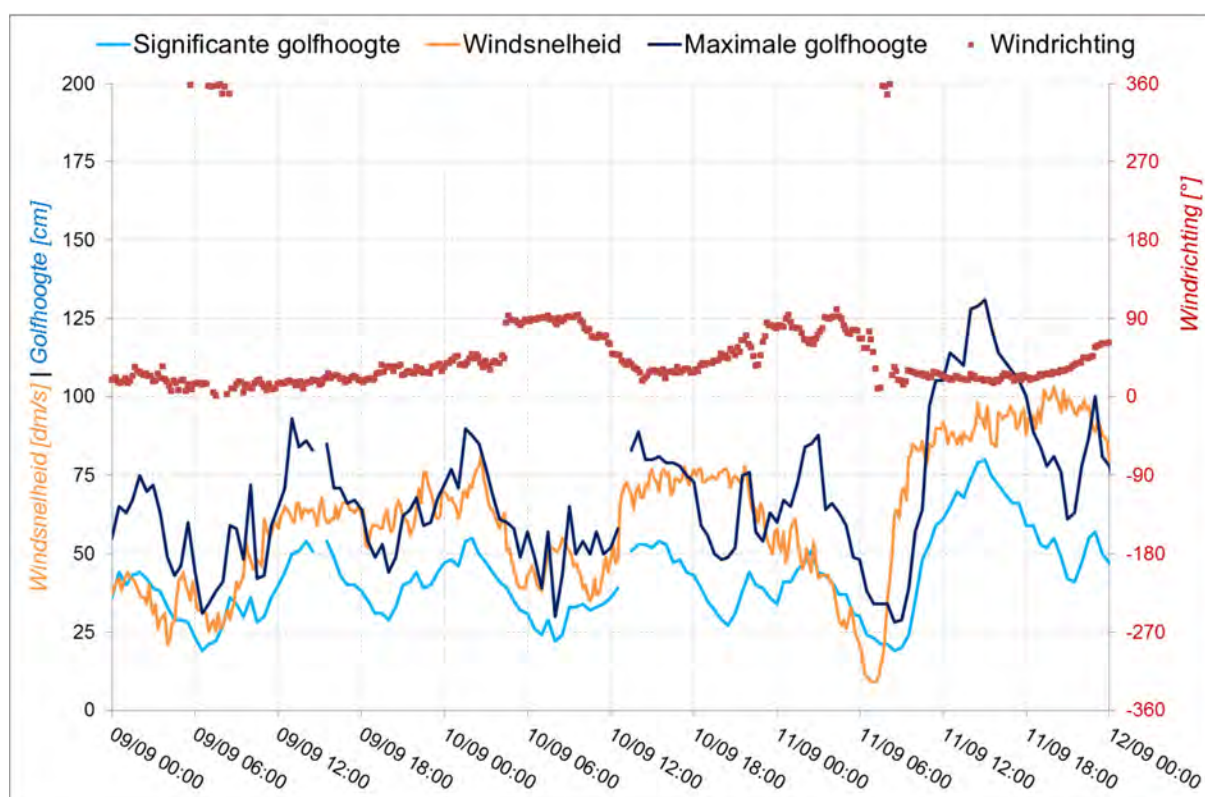


5.3 Stationaire 13u-metingen

5.3.1 Omgevingscondities

De 13-uursmetingen vonden plaats van 9 tot en met 11 september 2014. Figuur 35 geeft de omgevingscondities (wind, golven) weer tijdens deze 3 dagen. De wind blies uit noordelijke tot oostelijke richting en was redelijk krachtig, tot 5 à 6 beaufort op de laatste dag. De significante golfhoogte varieerde tussen 25 en 75 cm, terwijl de maximale golfhoogte piekte tot 100 cm, met uitschieters tot 125 cm op de laatste dag.

Figuur 35 – Overzicht omgevingscondities tijdens 13u-metingen
Windmetingen te Vlake van Raan | Golfmetingen te Wielingen (bron: <http://waterberichtgeving.rws.nl>)



5.3.2 Geul van de Walvischstaart 2 (09/09/2014)

Waterbeweging

Waterstanden

Tabel 7 en Figuur 36 geven een overzicht van de getijcondities tijdens de meting. Uit de getij-coëfficiënt K blijkt dat de metingen werden uitgevoerd bij een gemiddeld springtij.

Tabel 7 – Overzicht getijcondities

	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	Δ LHW [cm]	Δ HLW [cm]	κ [–]
Vlakte vd Raan	+85	+463	+32	378	431	
Vlissingen	+53	+491	+2	438	489	1,20
Doodtij ⁵	+86	+388	+86	302		0,78
Gemiddeld tij ³	+52	+438	+52	386		1,00
Springtij ³	+29	+476	+29	447		1,16

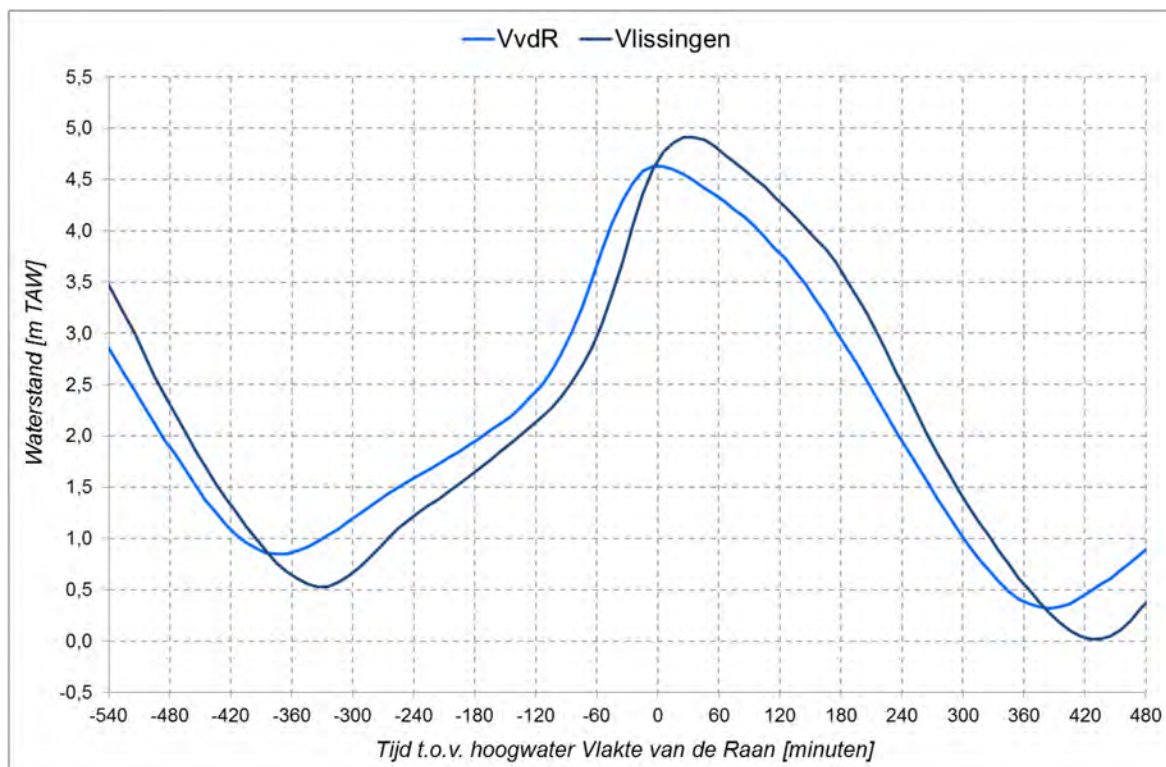
Stromingen

Figuur 37 en Figuur 38 geven het verloop van de gemeten stroomsnelheden weer tijdens de metingen. Uit Figuur 37 blijkt dat de diepte-gemiddelde snelheid gemeten met de ADCP quasi identiek is aan de stroomsnelheid gemeten met de Aanderaa op een vaste diepte (ca. 3m onder het wateroppervlak). De hoogste snelheden (120 cm/s) worden gemeten tijdens de eb-fase, ongeveer 4u na hoogwater. De piek bij de vloed is aanzienlijk lager (90 cm/s) en treedt ongeveer 1u voor hoogwater op. Daarnast kan opgemerkt worden dat er geen sprake is van een echte kentering: de minimale stroomsnelheden bedragen nog steeds 30 cm/s. Tijdens de kentering is er eerder sprake van het geleidelijk draaien van de stroming, zonder dat de stroming echt terugvalt.

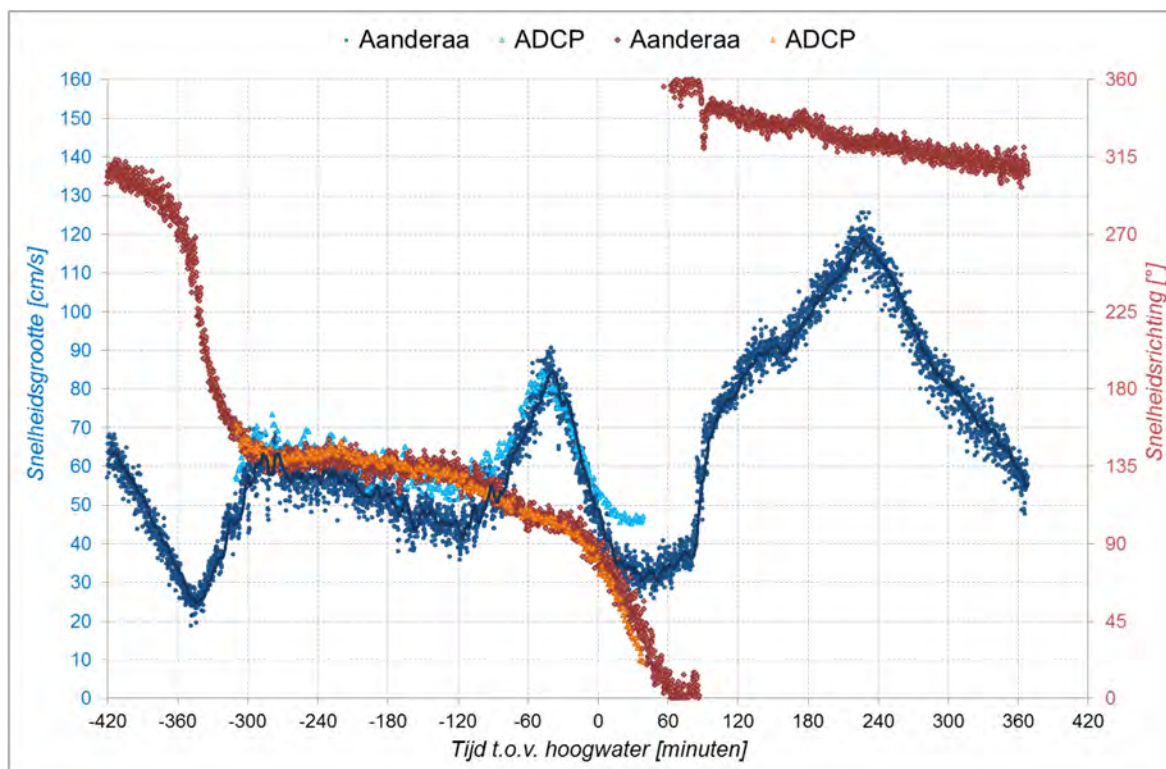
Dit draaien komt ook naar voor in de richting, waarbij ook bij zowel de vloed als de eb de stroomrichting continu geleidelijk draait: bij vloed draait de richting van ca. 135° bij het begin naar ca. 90° op het einde van de vloed; bij eb draait de richting van ca. 0° bij het begin naar ca. 315° op het einde van de eb.

⁵ De hier opgenomen waardes zijn de slotgemiddelden 1991.0 uit
http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Referentiewaarden%20waterstanden_tcm174-326696.pdf

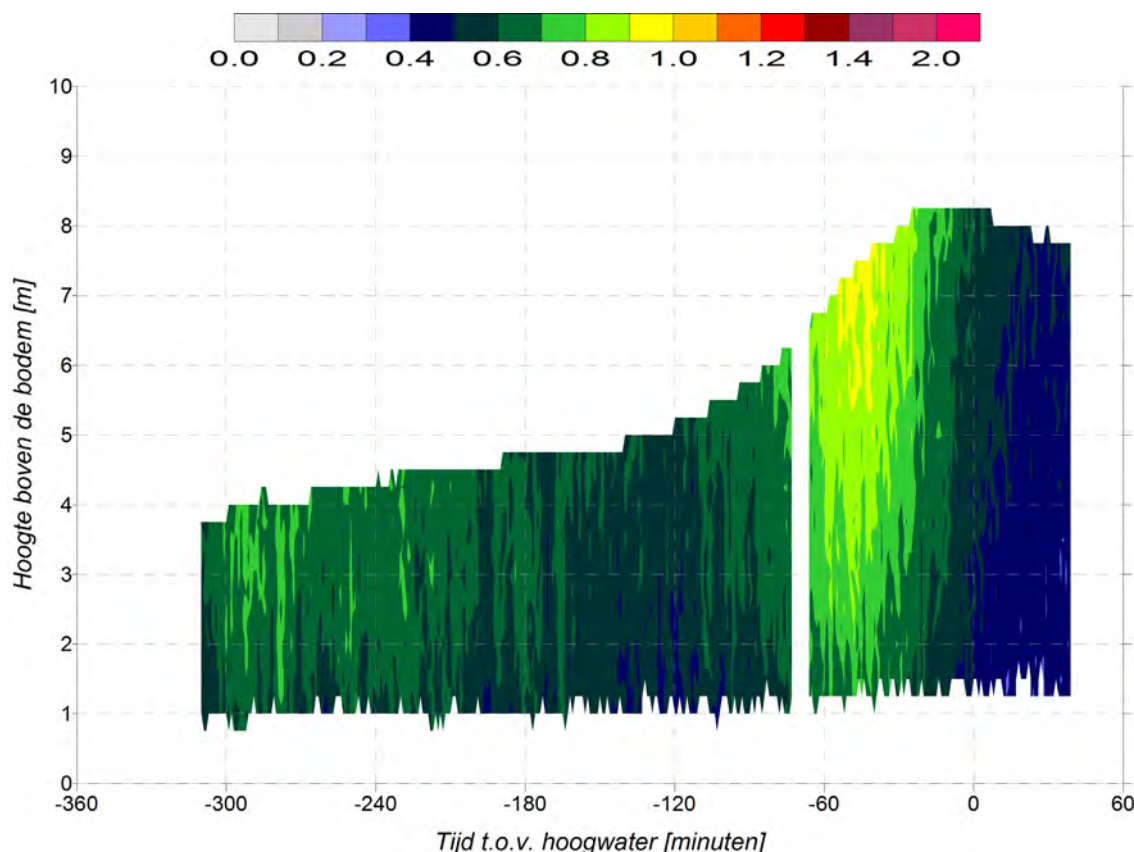
Figuur 36 – Overzicht waterstanden gedurende 13u-meting
[Bron: www.hmcz.nl]



Figuur 37 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)



Figuur 38 – Stroomsnelheden ADCP (enkel vloed werd bemeten)



Sedimentbeweging

Turbiditeit

Tijdens de meetcampagne werd gebruik gemaakt van een Aanderaa multiparametersonde waarmee naast de stroming ook de conductiviteit en de turbiditeit werden gemeten. Figuur 39 geeft een overzicht van de gemeten conductiviteit en turbiditeit ca. 3m onder het wateroppervlak. Door het ontbreken van pompstalen kon geen kalibratie uitgevoerd worden om de turbiditeit om te rekenen naar een sedimentconcentratie.

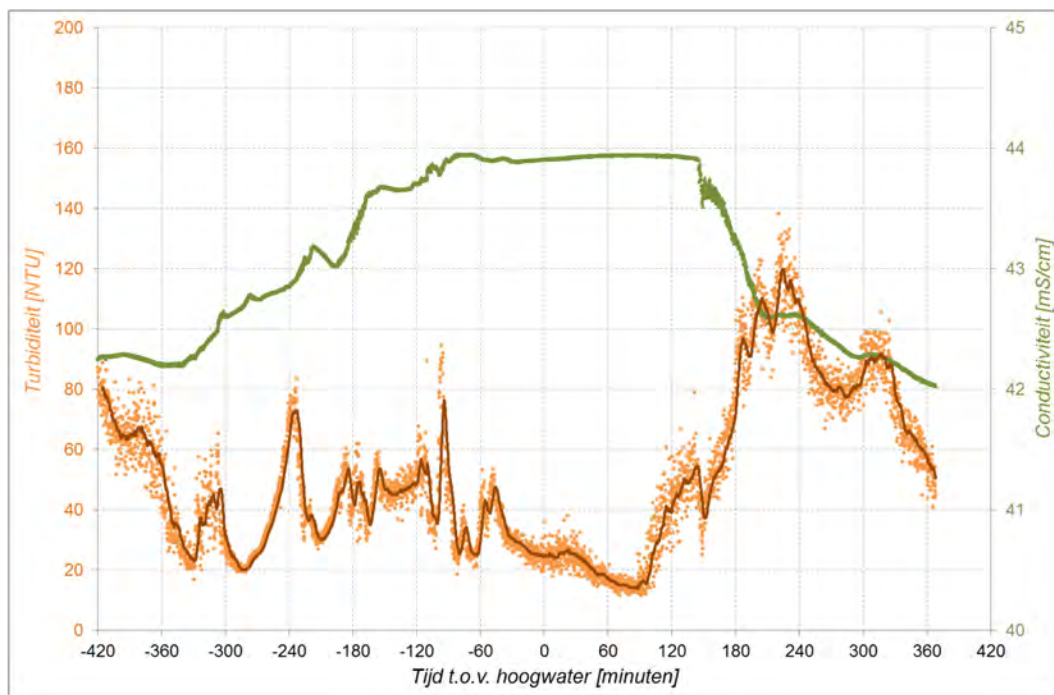
De conductiviteit neemt geleidelijk toe vanaf het begin van de vloed om van ongeveer 2u voor tot 2u na hoogwater constant (maximaal) te zijn. Van 2u tot 3u na hoogwater zakt de conductiviteit vrij snel om nadien meer geleidelijk af te nemen.

De turbiditeit vertoont tijdens de vloed aanzienlijke fluctuaties met 2 maxima: enerzijds 4u voor hoogwater en anderzijds ongeveer 2u voor hoogwater. Deze pieken vallen niet samen met de maximale stroomsnelheden, maar eerder met de momenten van de toename in stroomsnelheid. Bij de eb is er één uitgesproken piek, die wel samenvalt met het moment van maximale stroomsnelheid.

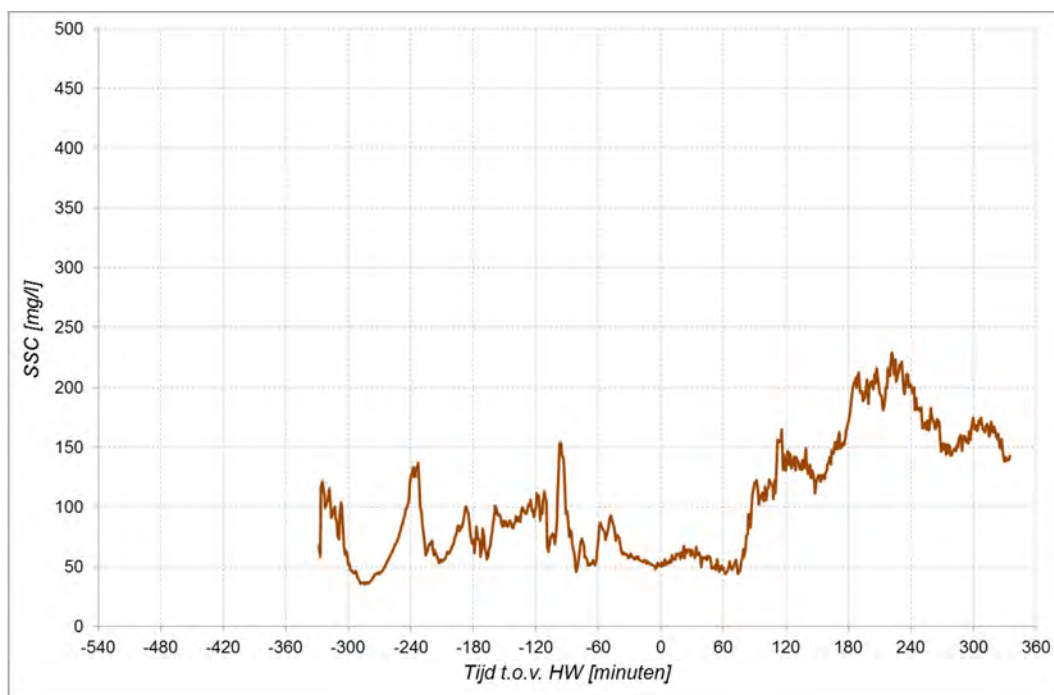
Naast de Aanderaa multiparametersonde, werden tijdens de meetcampagne ook de OBS-3+ turbiditeitsensoren gebruikt. In tegenstelling tot de Aanderaa, werden voor deze turbiditeitsensoren wel expliciet pompstalen genomen om de kalibratie uit te kunnen voeren. De kalibratie is beschreven in Bijlage F. Figuur 40 geeft het verloop weer van de SSC tijdens de meetcampagne (gemiddelde van de 3 sensoren die op deze locatie hebben gemeten tijdens de langdurige metingen). Dit verloop is, zoals verwacht mocht worden (zelfde meettechniek), quasi identiek aan het verloop van de turbiditeit gemeten met de Aanderaa sonde: tijdens de vloed zijn er aanzienlijke fluctuaties met 2 maxima (enerzijds 4u voor hoogwater en anderzijds ongeveer 2u voor

hoogwater), die niet samenvallen met de maximale stroomsnelheden, maar eerder met de momenten van de toename in stroomsnelheid; bij de eb is er één uitgesproken piek, die wel samenvalt met het moment van maximale stroomsnelheid.

Figuur 39 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit



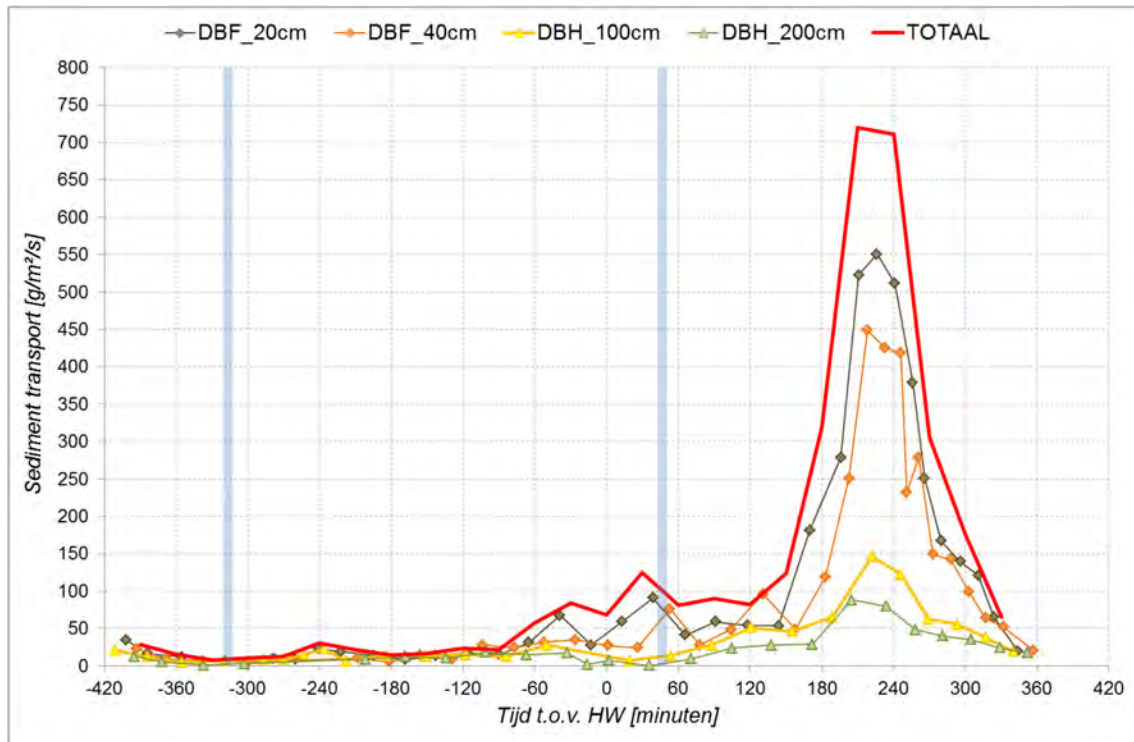
Figuur 40 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren



Sedimenttransport

Figuur 41 geeft het verloop van het sedimenttransport gemeten met de Delftse fles weer. Figuur 42 geeft de overeenkomstige korrelgrootte van het getransporteerde sediment. Hieruit blijkt dat er sprake is van één uitgesproken transportpiek, ongeveer 4u na hoogwater. Ook de korrelgrootte is grover ($d_{50} \sim 150 \mu\text{m}$) in deze fase van de eb.

Figuur 41 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]



Korrelgrootte

Het bodemsediment ter hoogte van deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand ($d_{50} \sim 200 \mu\text{m}$) (zie Tabel 8). Het getransporteerde sediment is aanzienlijk fijner: gedurende het grootste deel van de getijcyclus bestaat het getransporteerde sediment hoofdzakelijk uit silt, zowel in de waterkolom (pompstalen 3 m onder wateroppervlak - Tabel 9 en opgehangen Delftse fles Figuur 42) als nabij de bodem (Delftse fles op frame Figuur 42).

Alleen tijdens de periode van sterkere transporten wordt er zowel nabij de bodem als in suspensie (bodem + 2 m) ook zand getransporteerd. Op basis van de pompstalen kan afgeleid worden dat het aandeel van (zeer fijn) zand in suspensie steeds beperkt blijft tot minder dan 35% (d_{65} steeds kleiner dan $63 \mu\text{m}$).

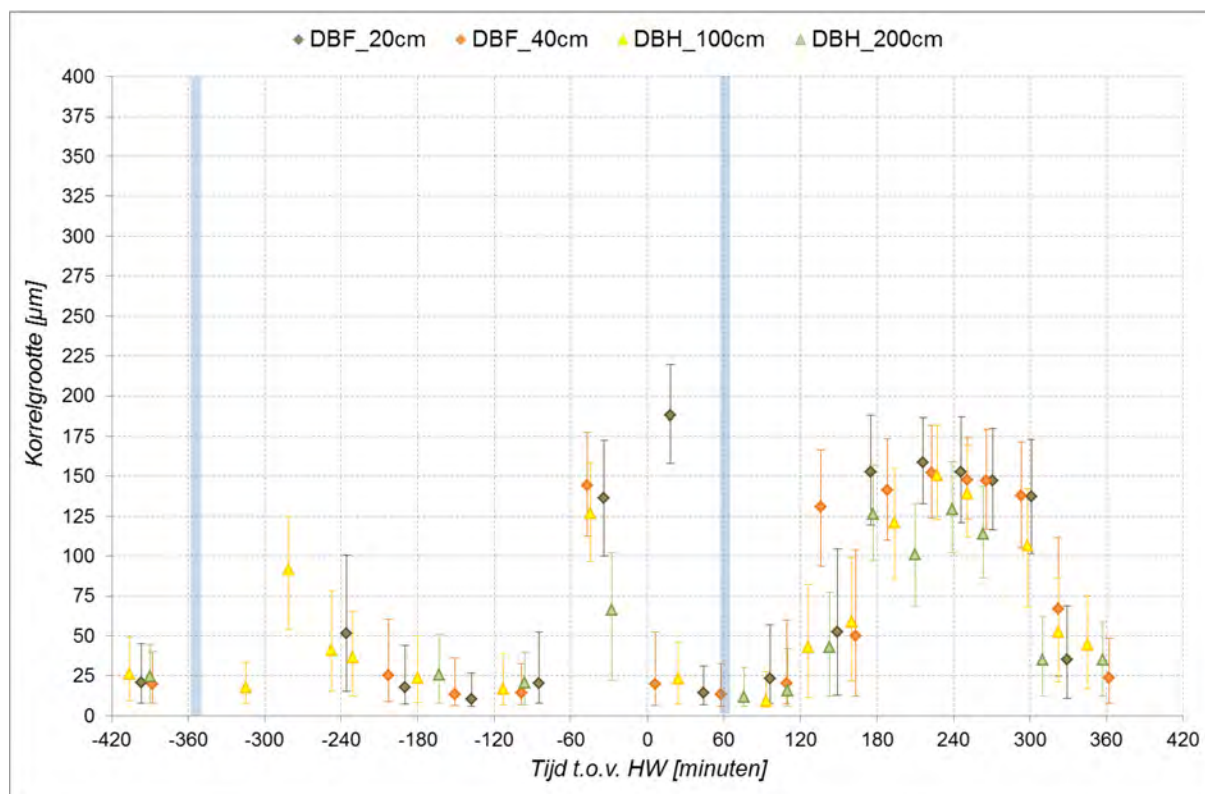
Tabel 8 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
137	179	202	227	297

Tabel 9 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. HW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-213	4	13	20	30	84
+24	4	12	18	30	77
+143	4	14	22	38	114
+210	4	13	20	34	115

Figuur 42 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment



5.3.3 Geul van de Walvischstaart 1 (10/09/2014)

Waterbeweging

Waterstanden

Tabel 10 en Figuur 43 geven een overzicht van de getijcondities tijdens de meting. Uit de getij-coëfficiënt K blijkt dat de metingen werden uitgevoerd bij een sterk springtij.

Tabel 10 – Overzicht getijcondities

	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	Δ LHW [cm]	Δ HLW [cm]	κ [–]
Vlakte vd Raan	+64	+473	+18	409	455	
Vlissingen	+31	+502	-12	471	514	1,28
Doodtij	+86	+388	+86	302		0,78
Gemiddeld tij	+52	+438	+52	386		1,00
Springtij	+29	+476	+29	447		1,16

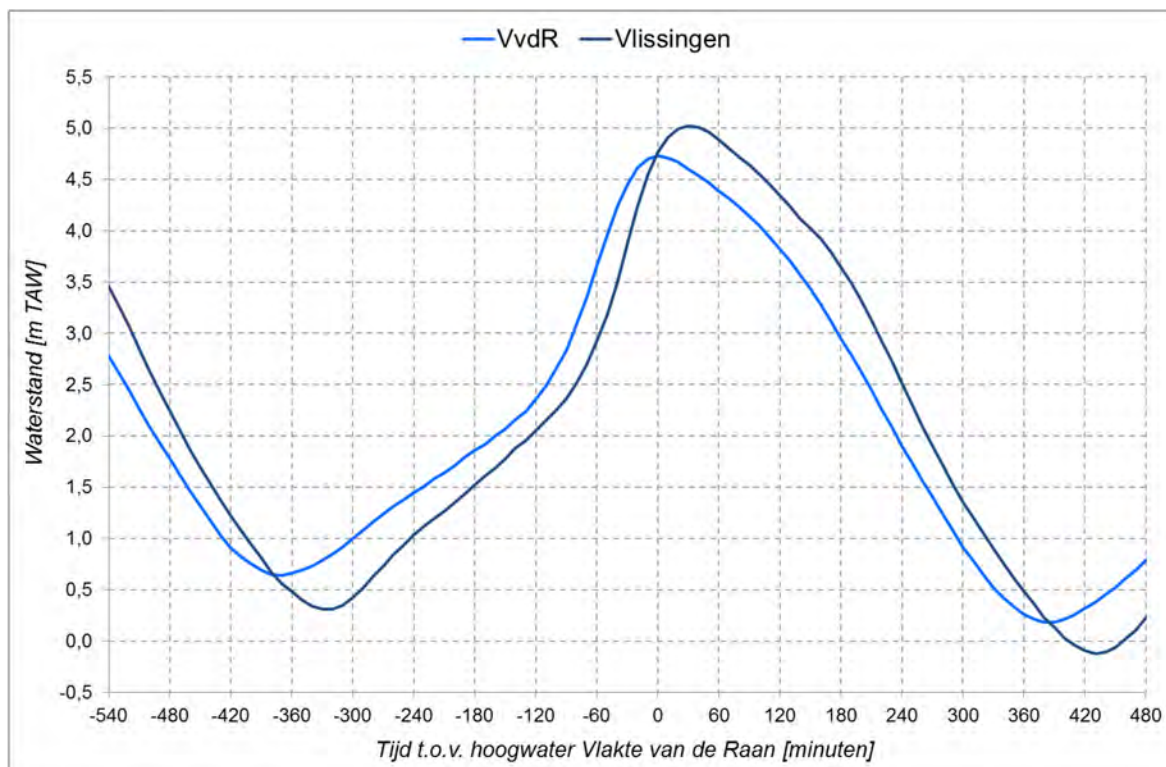
Stromingen

Figuur 44 en Figuur 45 geven het verloop van de gemeten stroomsnelheden weer tijdens de metingen. Uit Figuur 44 blijkt dat de diepte-gemiddelde snelheid gemeten met de ADCP quasi identiek is aan de stroomsnelheid gemeten met de Aanderaa op een vaste diepte (ca. 3m onder het wateroppervlak).

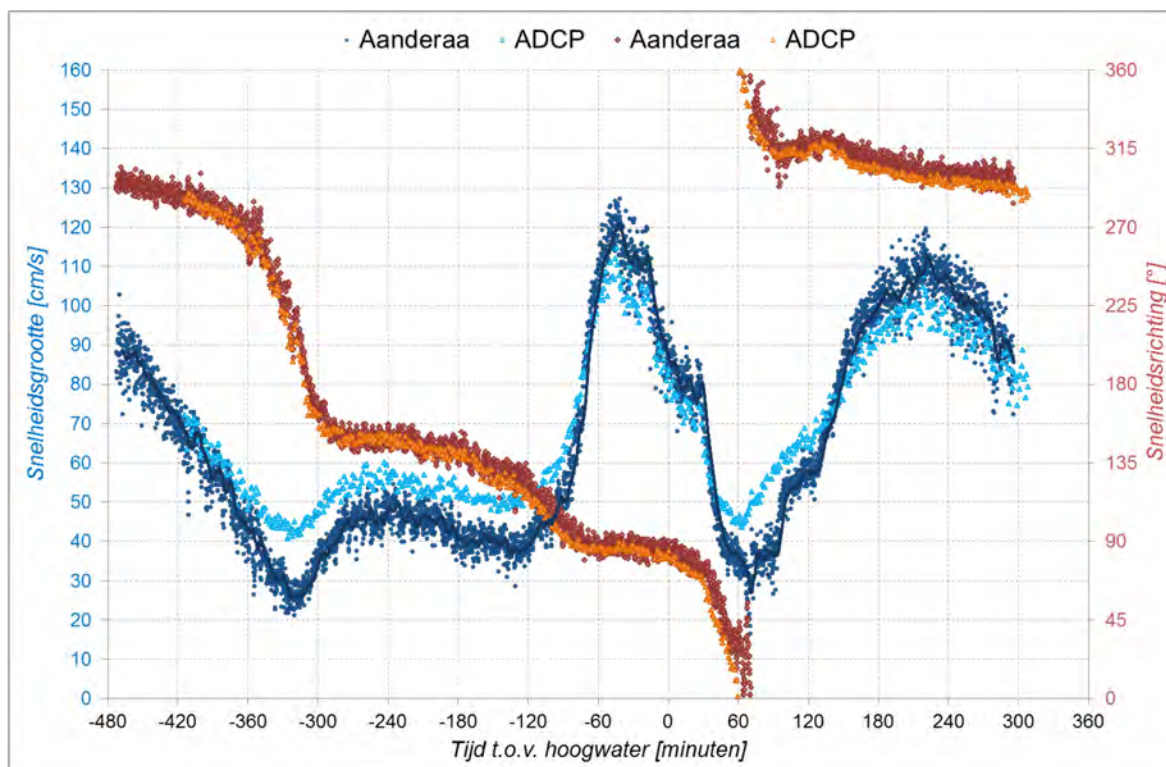
De hoogste snelheden (120 cm/s) worden zowel gemeten tijdens de vloed-fase - ongeveer 1u voor hoogwater - als tijdens de eb-fase - ongeveer 4u na hoogwater. Daarnast kan opgemerkt worden dat er geen sprake is van een echte kentering: de minimale strommsnelheden bedragen nog steeds 30 cm/s. Tijdens de kentering is er eerder sprake van het geleidelijk draaien van de stroming, zonder dat de stroming echt terugvalt.

Dit draaien komt ook naar voor in de richting, waarbij bij de eb de stroomrichting continu geleidelijk draait: van ca. 315° bij het begin naar ca. 270° op het einde van de eb. Bij vloed zijn er 2 dominante richting te onderscheiden: in de eerste fase van de vloed (5u tot 3u voor hoogwater) is de richting ca. 135° en blijven de stroomsnelheden beperkt tot 50 cm/s; in de tweede eerste fase van de vloed (2u voor tot 1u na hoogwater) is de richting ca. 90° en is de stroomsnelheid aanzienlijk hoger.

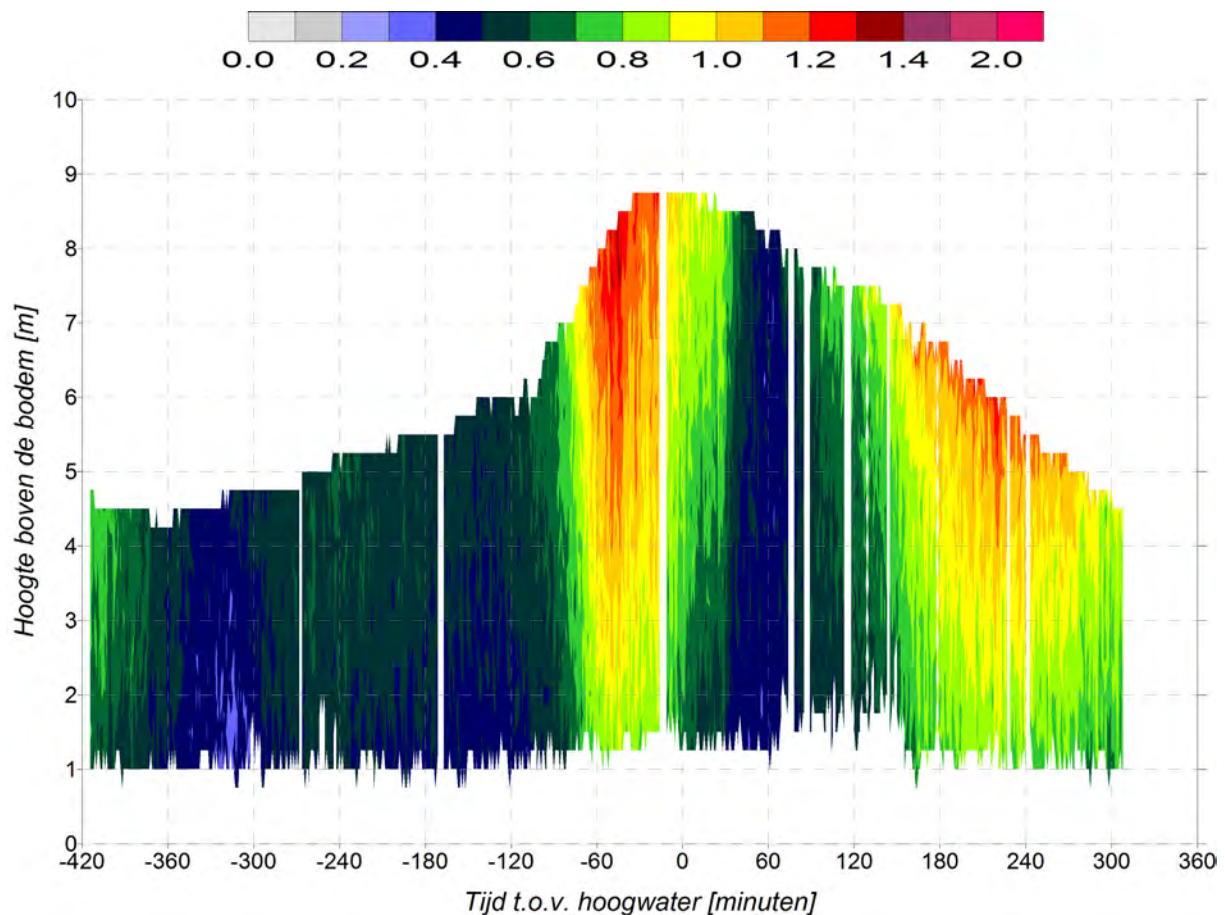
Figuur 43 – Overzicht waterstanden te Vlakte van de Raan gedurende 13u-meting
[Bron: www.hmcz.nl]



Figuur 44 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)



Figuur 45 – Stroomsnelheden ADCP



Sedimentbeweging

Turbiditeit

Tijdens de meetcampagne werd gebruik gemaakt van een Aanderaa multiparametersonde waarmee naast de stroming ook de conductiviteit en de turbiditeit werden gemeten. Figuur 46 geeft een overzicht van de gemeten conductiviteit en turbiditeit ca. 3m onder het wateroppervlak. Door het ontbreken van pompstalen kon geen kalibratie uitgevoerd worden om de turbiditeit om te rekenen naar een sedimentconcentratie.

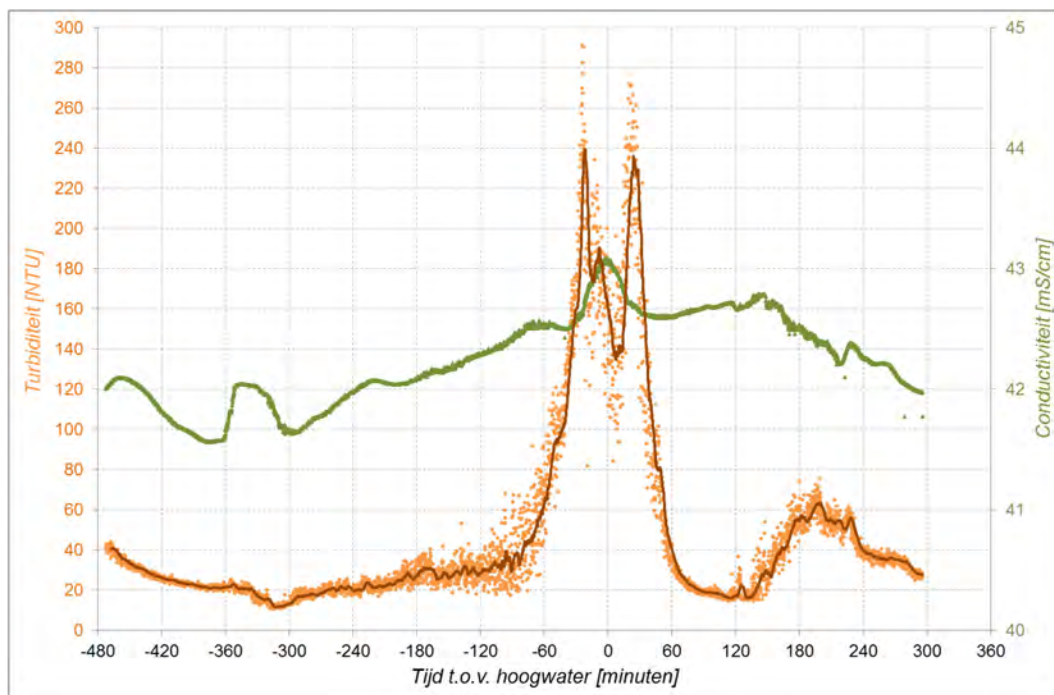
De conductiviteit neemt geleidelijk toe vanaf het begin van de vloed tot de kentering hoogwater. Tijdens de eb zakt de conductiviteit geleidelijk. Opmerkelijk is het voorkomen van een aantal tijdelijke verhogingen van de conductiviteit rond de momenten van kentering.

De turbiditeit vertoont één uitgesproken dubbele piek rond hoogwater. Het eerste deel van deze piek komt overeen met het moment van maximale vloedstroming, het tweede deel situeert zich in het terugvallen van de stroomsnelheid.

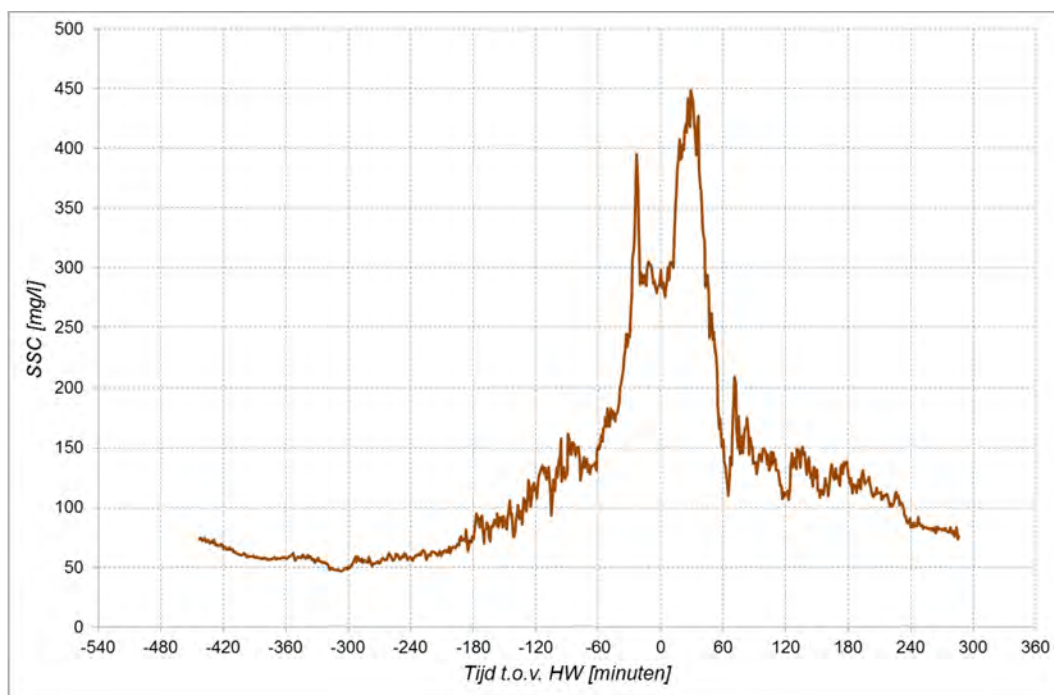
Naast de Aanderaa multiparametersonde, werden tijdens de meetcampagne ook de OBS-3+ turbiditeitsensoren gebruikt. In tegenstelling tot de Aanderaa, werden voor deze turbiditeitsensoren wel expliciet pompstalen genomen om de kalibratie uit te kunnen voeren. De kalibratie is beschreven in Bijlage F. Figuur 47 geeft het verloop weer van de SSC tijdens de meetcampagne (gemiddelde van de 3 sensoren die op deze locatie hebben gemeten tijdens de langdurige metingen). Dit verloop is, zoals verwacht mocht worden (zelfde meettechniek), quasi identiek aan het verloop van de turbiditeit gemeten met de Aanderaa sonde: er is één uitgesproken

dubbele piek rond hoogwater; het eerste deel van deze piek (HW-60' tot HW) komt overeen met het moment van maximale vloedstroming, het tweede deel (HW tot HW+60') situeert zich in het teruggallen van de stroomsnelheid.

Figuur 46 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit



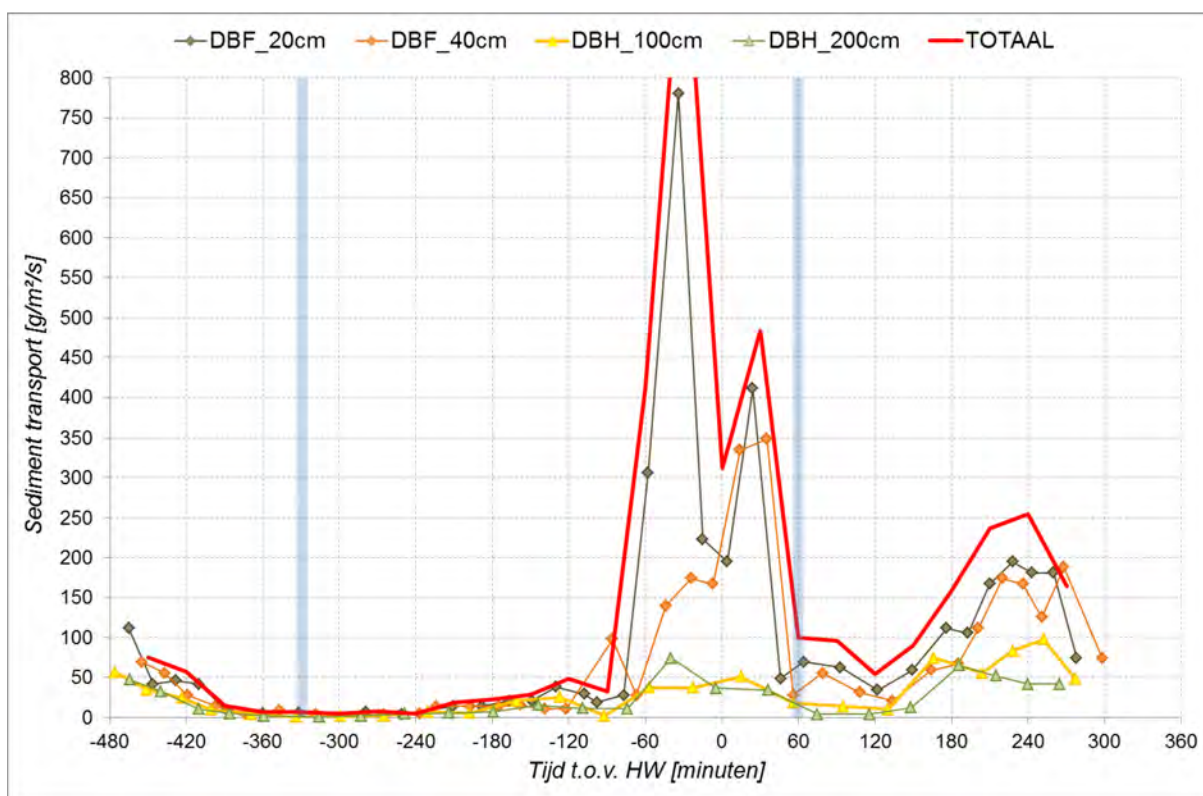
Figuur 47 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren



Sedimenttransport

Figuur 48 geeft het verloop van het sedimenttransport gemeten met de Delftse fles weer. Figuur 49 geeft de overeenkomstige korrelgrootte van het getransporteerde sediment. Hieruit blijkt dat er sprake is van één uitgesproken transportpiek, ongeveer 1u voor hoogwater. Ook in de eb is een verhoging van het sedimenttransport vast te stellen, doch met een beduidend lagere peikwaarde. Ook de korrelgrootte is grover ($d_{50} \sim 150 \mu\text{m}$) tijdens beide pieken in allebei de getijfasen.

Figuur 48 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]



Korrelgrootte

Het bodemsediment ter hoogte van deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand ($d_{50} \sim 240 \mu\text{m}$) (zie Tabel 11). Het getransporteerde sediment is aanzienlijk fijner: gedurende een groot deel van de getijcyclus bestaat het getransporteerde sediment hoofdzakelijk uit silt, zowel in de waterkolom (pompstalen 3 m onder wateroppervlak - Tabel 12 en opgehangen Delftse fles Figuur 49) als nabij de bodem (Delftse fles op frame Figuur 49).

Alleen tijdens de periode van sterkere transporten (rond HW en tijdens de eb-fase) wordt er zowel nabij de bodem als in suspensie (bodem + 2 m) ook zand getransporteerd. Op bepaalde momenten is de d_{50} van het nabij-bodem transport gelijkaardig aan deze van het bodemsediment. Op basis van de pompstalen kan afgeleid worden dat het aandeel van fijn zand in suspensie steeds beperkt blijft tot minder dan 35% (d_{65} steeds kleiner dan $63 \mu\text{m}$).

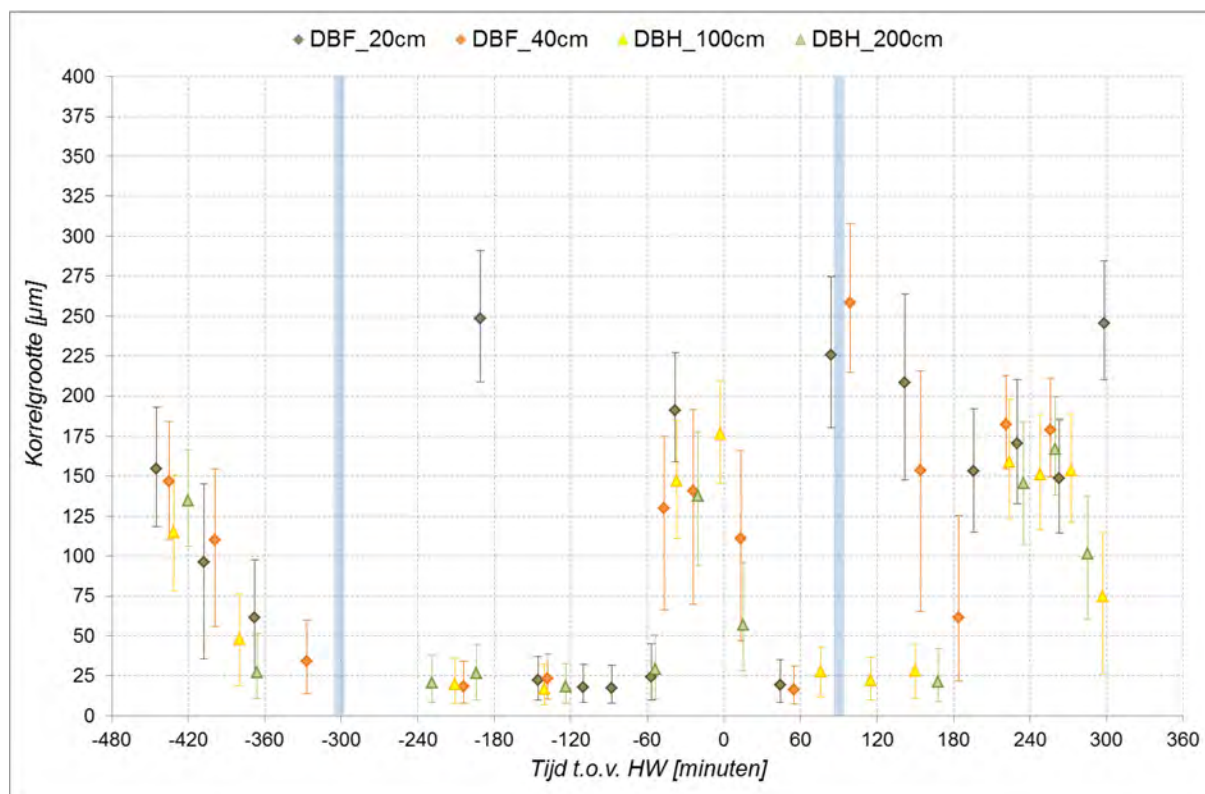
Tabel 11 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
146	209	239	274	365

Tabel 12 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. HW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-408 (+337)	4	13	20	35	141
-217	4	11	17	27	112
-102	4	9	13	19	49
+169	4	11	17	26	74

Figuur 49 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment



5.3.4 Vlake van de Raan (11/09/2014)

Deze meetdag werd gekenmerkt door zeer uitdagende condities met een sterke noord-noordoosten wind (5 à 6 beaufort), met golven tot boven de 100 cm. Hierdoor werd beslist om de Delftse fles op frame niet te gebruiken om het risico bij ophalen/neerlaten (door het slingeren) uit te sluiten.

Waterbeweging

Waterstanden

Tabel 13 en Figuur 50 geven een overzicht van de getijcondities tijdens de meting. Uit de getij-coëfficiënt K blijkt dat de metingen werden uitgevoerd bij een sterk springtij.

Tabel 13 – Overzicht getijcondities

	LW [cm TAW]	HW [cm TAW]	LW [cm TAW]	Δ LHW [cm]	Δ HLW [cm]	κ [–]
Vlakte vd Raan	+61	+476	+18	415	458	
Vlissingen	+30	+505	-11	475	516	1,28
Doodtij	+86	+388	+86	302		0,78
Gemiddeld tij	+52	+438	+52	386		1,00
Springtij	+29	+476	+29	447		1,16

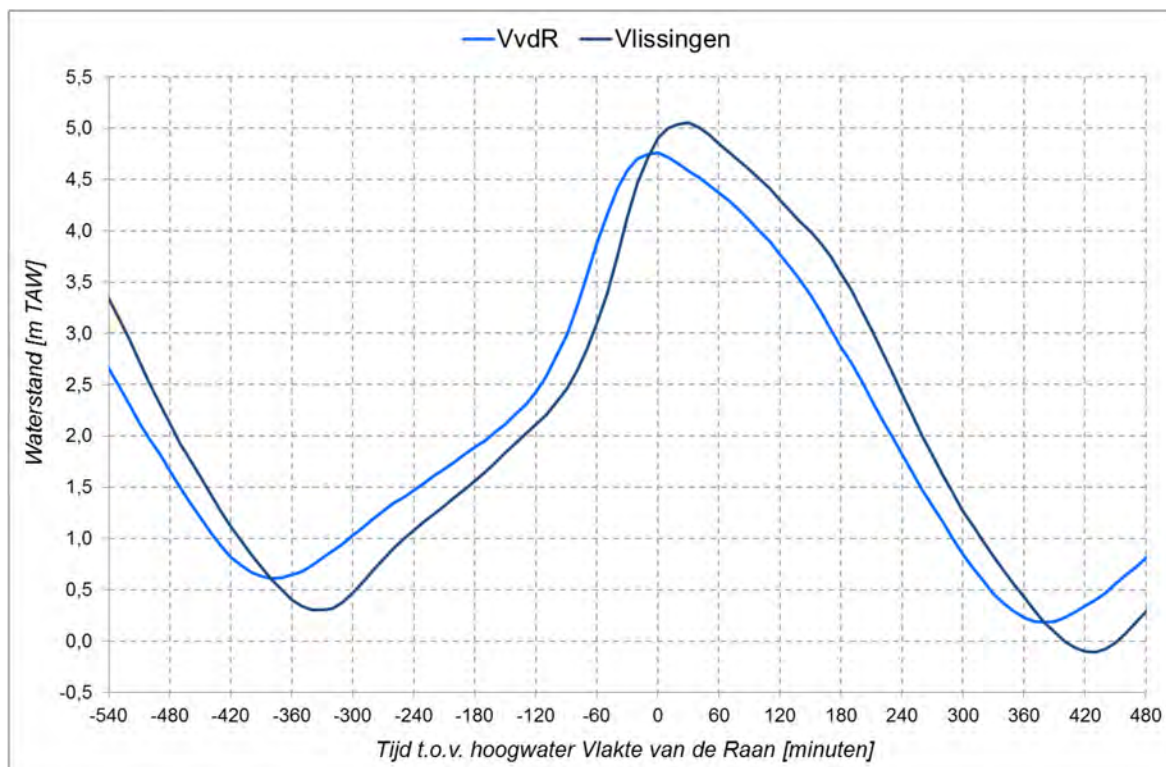
Stromingen

Figuur 51 en Figuur 52 geven het verloop van de gemeten stroomsnelheden weer tijdens de metingen. Uit Figuur 51 blijkt dat de diepte-gemiddelde snelheid gemeten met de ADCP quasi identiek is aan de stroomsnelheid gemeten met de Aanderaa op een vaste diepte (ca. 3m onder het wateroppervlak).

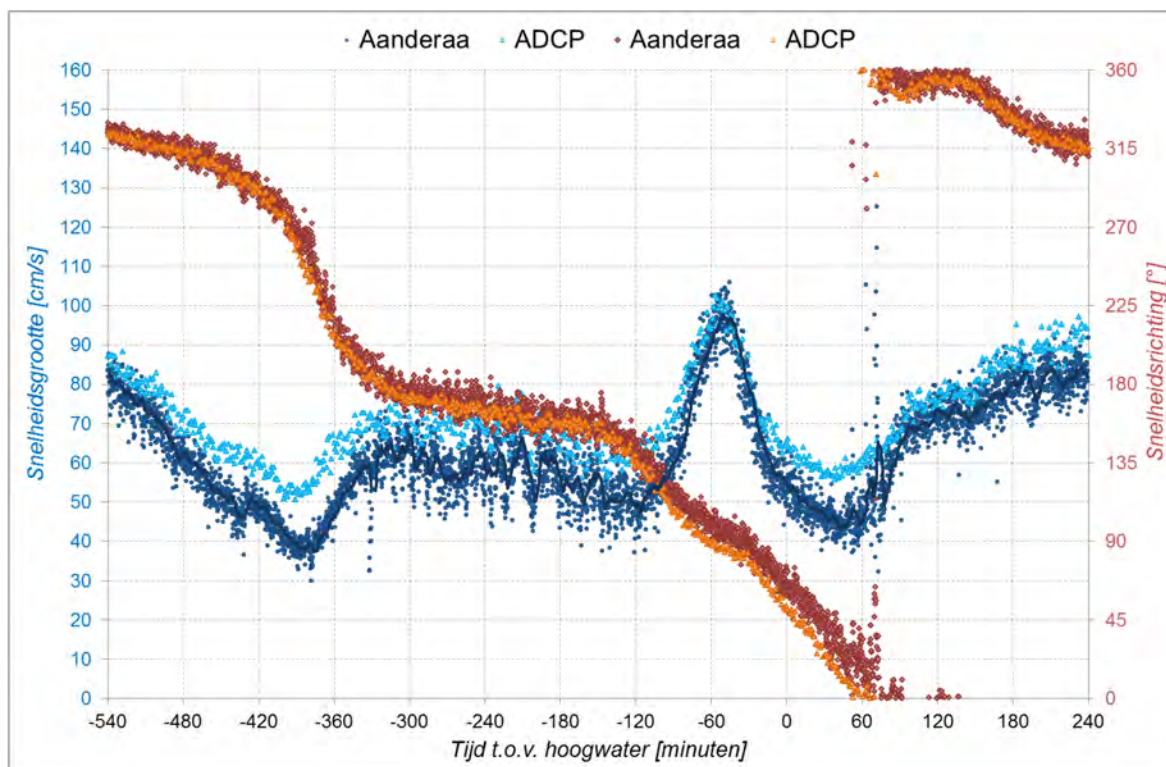
De hoogste snelheden (100 cm/s) worden zowel gemeten tijdens de vloed-fase - ongeveer 1u voor hoogwater - als tijdens de eb-fase - ongeveer 4u na hoogwater. Daarnaast kan opgemerkt worden dat er geen sprake is van een echte kentering: de minimale stroomsnelheden bedragen nog steeds 40 cm/s. Tijdens de kentering is er eerder sprake van het geleidelijk draaien van de stroming, zonder dat de stroming echt terugvalt.

Dit draaien komt ook naar voor in de richting, waarbij ook bij zowel de vloed als de eb de stroomrichting continu geleidelijk draait: bij vloed draait de richting van ca. 180° bij het begin naar ca. 135° in het midden en 45° op het einde van de vloed; bij eb draait de richting van ca. 0° bij het begin naar ca. 270° op het einde van de eb. Het draaien van de stroming is voor deze locatie nog meer uitgesproken dan voor de overige locaties.

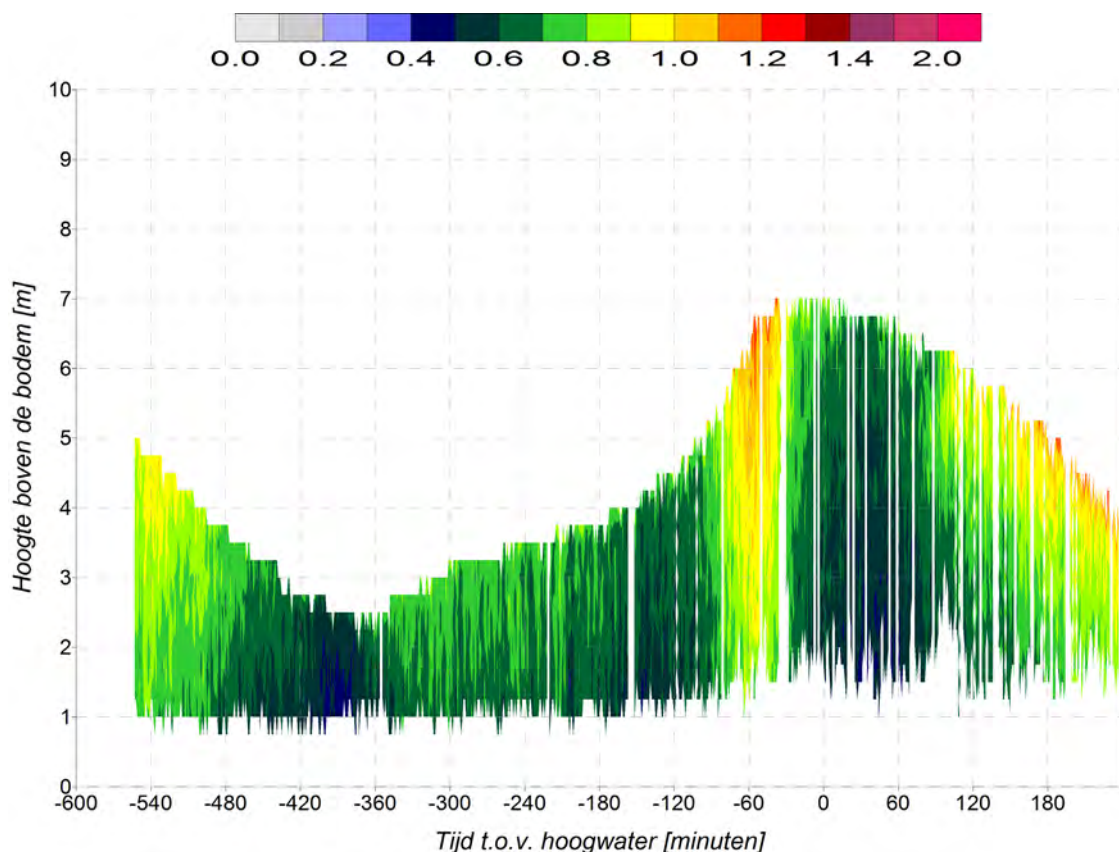
Figuur 50 – Overzicht waterstanden te Vlakte van de Raan gedurende 13u-meting
[Bron: www.hmcz.nl]



Figuur 51 – Overzicht stroomsnelheden Aanderaa en ADCP (diepte-gemiddeld)



Figuur 52 – Stroomsnelheden ADCP



Sedimentbeweging

Turbiditeit

Tijdens de meetcampagne werd gebruik gemaakt van een Aanderaa multiparametersonde waarmee naast de stroming ook de conductiviteit en de turbiditeit werden gemeten. Figuur 53 geeft een overzicht van de gemeten conductiviteit en turbiditeit om ca. 3m onder het wateroppervlak. Door het ontbreken van pompstalen kon geen kalibratie uitgevoerd worden om de turbiditeit om te rekenen naar een sedimentconcentratie.

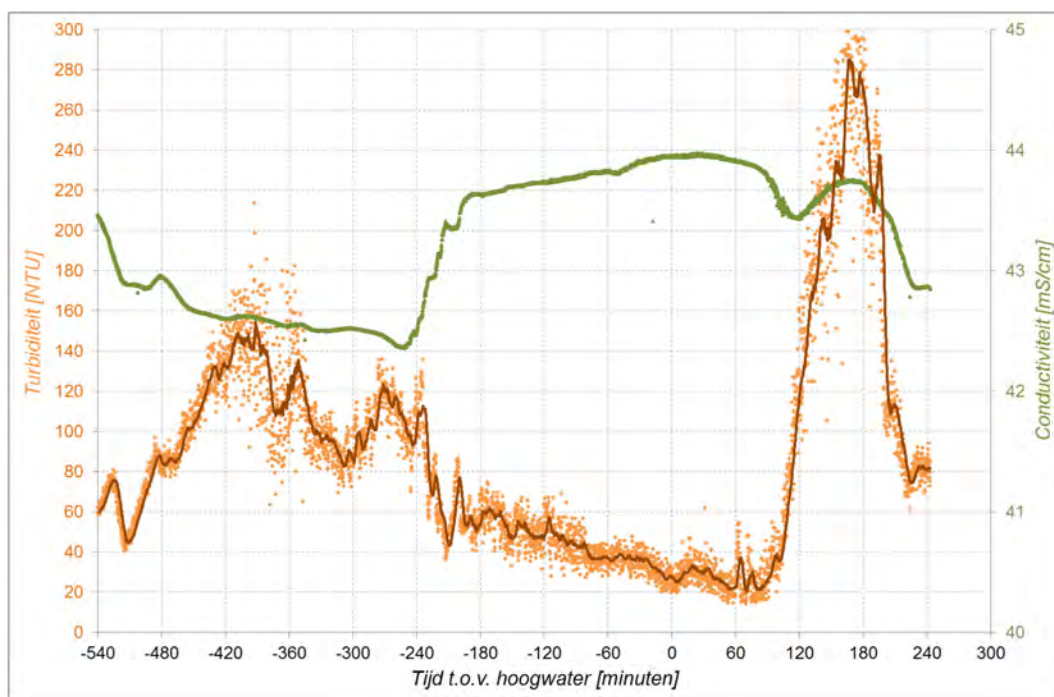
De conductiviteit neemt sterk toe vanaf het begin van de vloed om van ongeveer 4u voor tot 2u na hoogwater constant (maximaal) te zijn. Van 3u tot 4u na hoogwater zakt de conductiviteit vrij snel om nadien meer geleidelijk af te nemen.

De turbiditeit vertoont één uitgesproken piek 2 à 3u na hoogwater. Deze piek treedt op op het moment dat de ebstroming toeneemt, niet op het moment van maximale ebstroming. Een tweede verhoging is terug te vinden rond het moment van kentering laagwater, doch minder hoog dan de eerste piek.

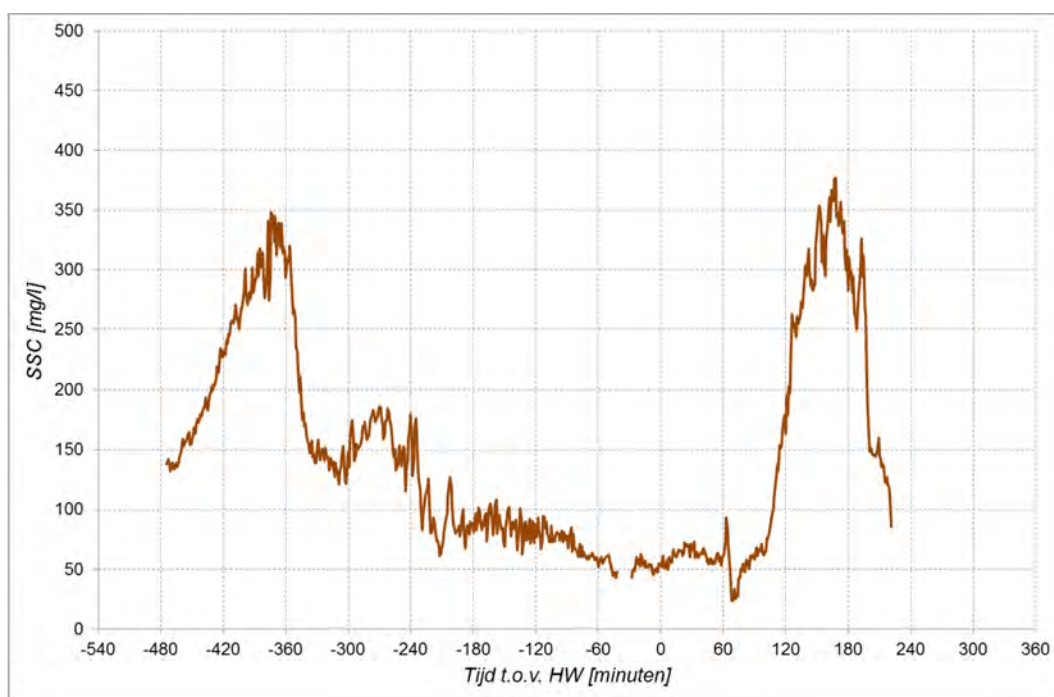
Naast de Aanderaa multiparametersonde, werden tijdens de meetcampagne ook de OBS-3+ turbiditeitsensoren gebruikt. In tegenstelling tot de Aanderaa, werden voor deze turbiditeitsensoren wel expliciet pompstalen genomen om de kalibratie uit te kunnen voeren. De kalibratie is beschreven in Bijlage F. Figuur 54 geeft het verloop weer van de SSC tijdens de meetcampagne (gemiddelde van de 3 sensoren die op deze locatie hebben gemeten tijdens de langdurige metingen). Dit verloop is, zoals verwacht mocht worden (zelfde meettechniek), quasi identiek aan het verloop van de turbiditeit gemeten met de Aanderaa sonde: er is één uitgesproken piek 2 à 3u na hoogwater die optreedt op het moment dat de ebstroming toeneemt, maar niet op

het moment van maximale ebstroming; een tweede verhoging is terug te vinden rond het moment van kentering laagwater, en is in tegenstelling tot de turbiditeit van de Aanderaa quasi even hoog als deze bij vloed.

Figuur 53 – Overzicht gemeten turbiditeit en conductiviteit



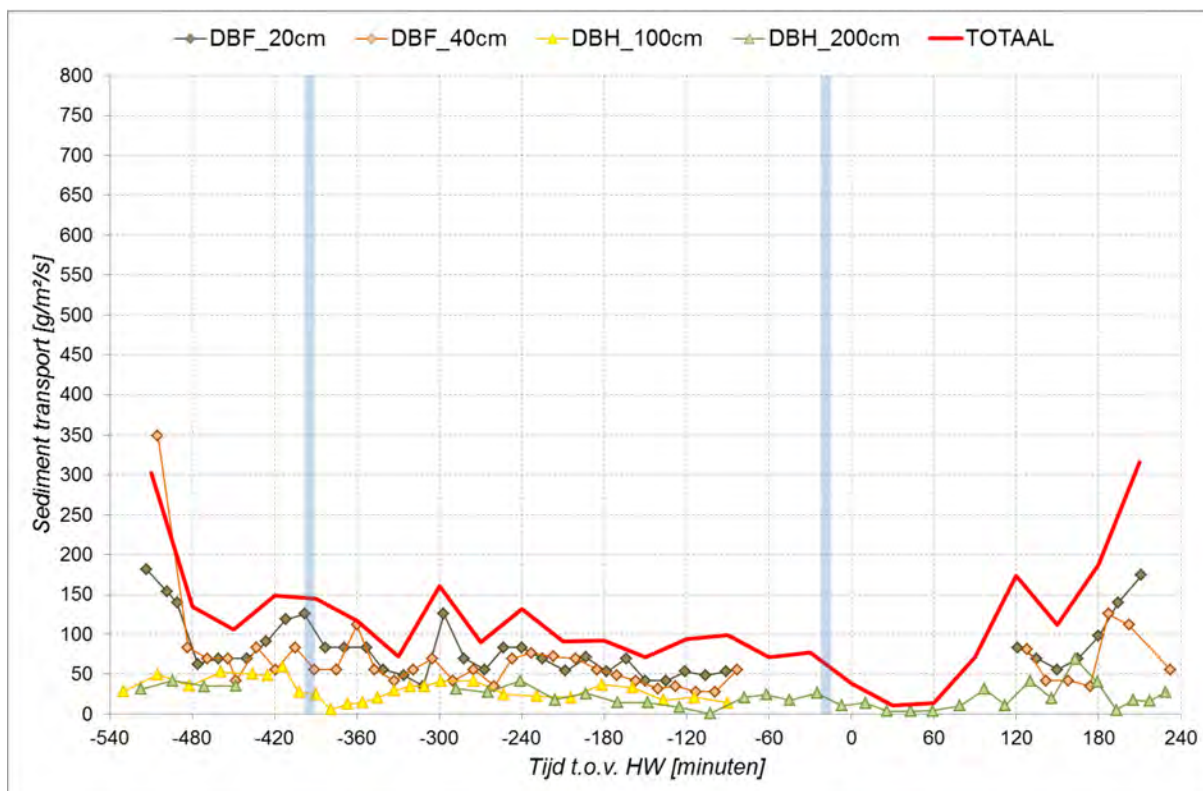
Figuur 54 – Overzicht gemeten sedimentconcentratie (SSC) m.b.v. OBS-3+ sensoren



Sedimenttransport

Figuur 55 geeft het verloop van het sedimenttransport gemeten met de Delftse fles weer. Figuur 56 geeft de overeenkomstige korrelgrootte van het getransporteerde sediment. Hieruit blijkt dat er sprake is van één transportpiek, ongeveer 3 à 4u na hoogwater. Ook de korrelgrootte neemt ietwat toe op dit moment van de eb, doch niet uitgesproken ($d_{50} \sim 100 \mu\text{m}$).

Figuur 55 – Overzicht gemeten sediment transport en berekend totaal transport
Opmerking: totaal transport in [g/s]



Korrelgrootte

Het bodemsediment ter hoogte van deze locatie bestaat hoofdzakelijk uit fijn zand ($d_{50} \sim 200 \mu\text{m}$) (zie Tabel 14). Het getransporteerde sediment is aanzienlijk fijner: gedurende het grootste deel van de getijcyclus bestaat het getransporteerde sediment hoofdzakelijk uit silt, zowel in de waterkolom (pompstalen 3 m onder wateroppervlak - Tabel 15 en opgehangen Delftse fles Figuur 56) als nabij de bodem (Delftse fles op frame Figuur 56).

Alleen tijdens de periode van sterkere transporten wordt er nabij de bodem ook fijn zand getransporteerd. Op basis van de pompstalen kan afgeleid worden dat het aandeel van fijn zand in suspensie quasi steeds beperkt blijft tot minder dan 10% (d_{90} kleiner dan $63 \mu\text{m}$).

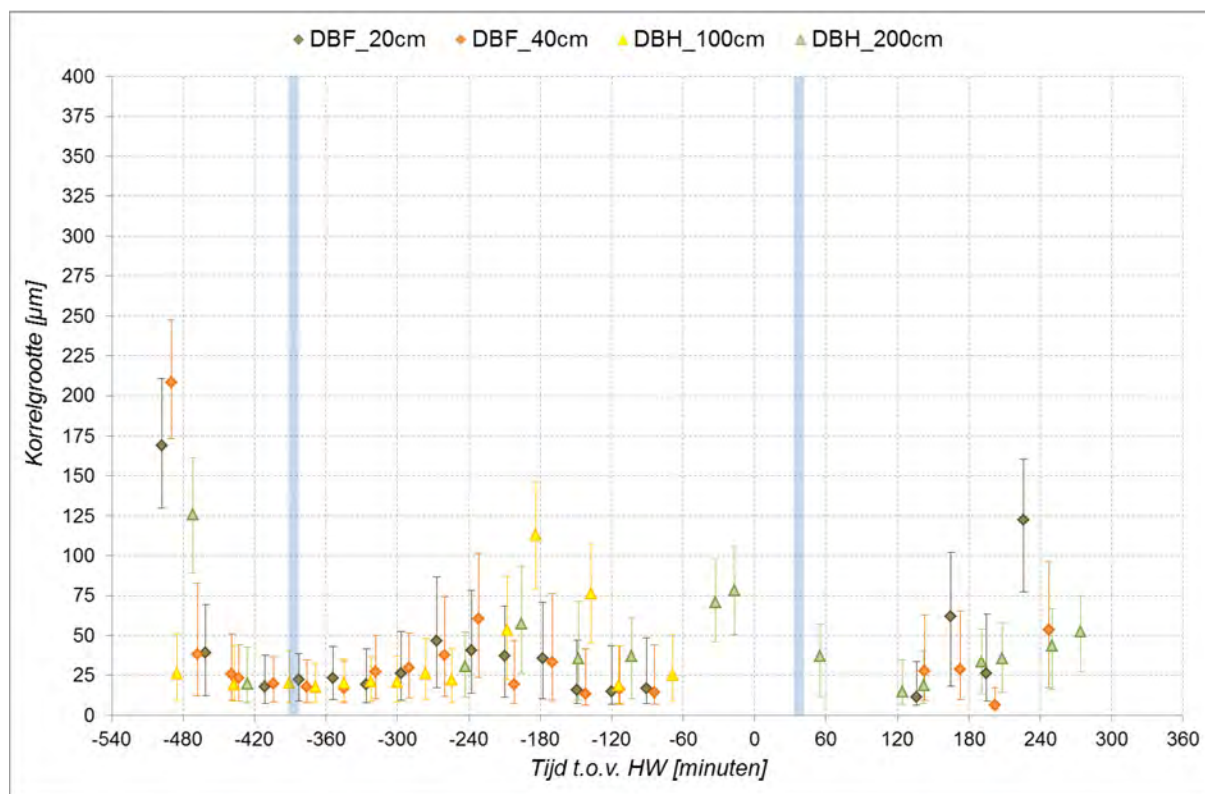
Tabel 14 – Karakteristieke korreldiameters bodemstaal [in μm]

<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
144	185	206	230	296

Tabel 15 – Karakteristieke korreldiameters suspensiestalen [in μm]

<i>Tijdstip [minuten t.o.v. HW]</i>	<i>D10</i>	<i>D35</i>	<i>D50</i>	<i>D65</i>	<i>D90</i>
-414 (+331)	4	11	17	28	79
-322	3	8	12	17	48
-159	4	10	15	23	71
-17	4	13	21	35	112
+195	3	8	12	17	44

Figuur 56 – Overzicht gemeten sediment transport en korrelgrootte getransporteerd sediment



6 Conclusies

6.1 Waterbeweging

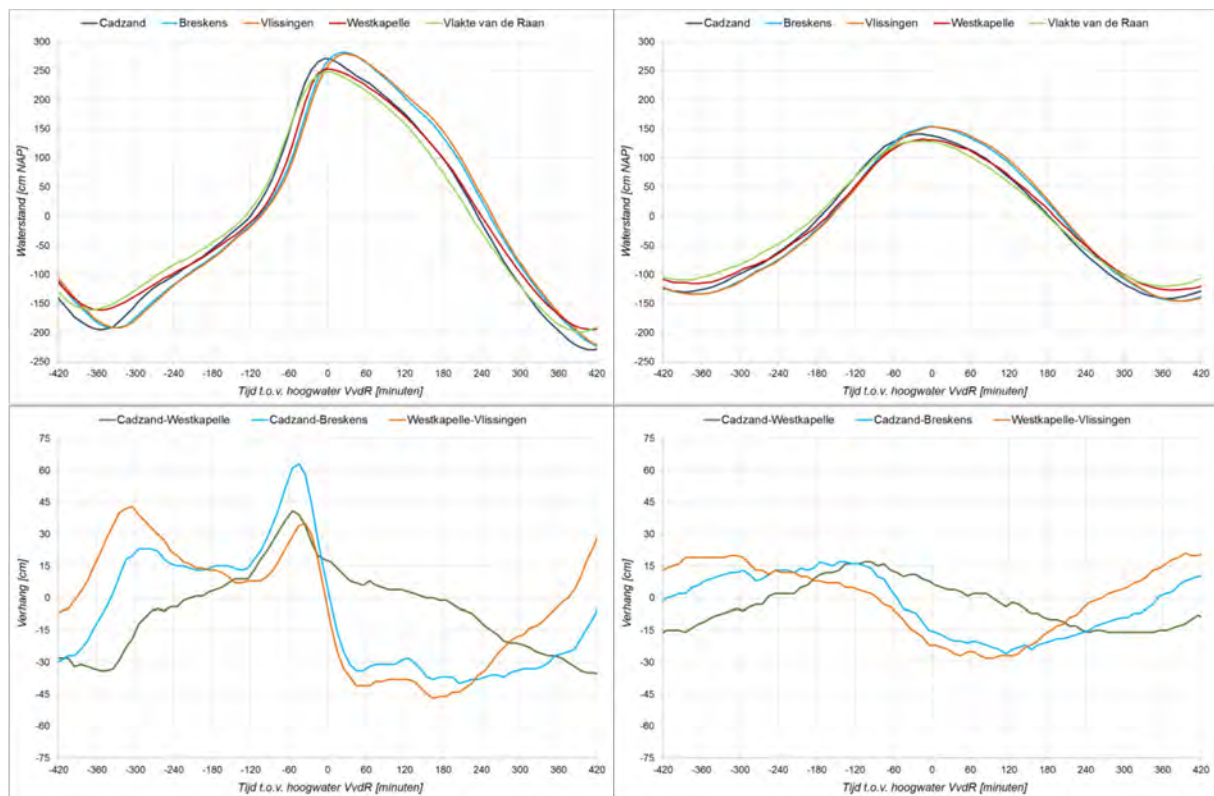
6.1.1 Waterstanden

Langdurige metingen

De langdurige metingen werden uitgevoerd voor een periode van 2 springtij-doodtij-cycli. In de periode is also gemeten voor een range van verschillende getijcondities.

Het mondingsgebied van het Schelde-estuarium is echter een complexe omgeving daar ze de overgang vormt tussen de Noordzee, waar de getijgolf een eerder lopend karakter heeft, en de rest van het estuarium, waar het getij meer neigt naar een staand karakter. Aan de randen van het mondingsgebied zijn verschillende getijstations aanwezig. Figuur 58 geeft een overzicht van de waterstanden ter hoogte van deze stations, alsook het verschil in waterstand tussen de stations (mits deling door onderlinge afstand wordt het verhang bekomen). Hieruit blijkt dat het wateroppervlak tijdens een getijcyclus verschillende vormen aanneemt: zo blijkt zowel tijdens de stijging als tijdens de daling het verschil in de waterstand afwisselend dominant te zijn tussen de kust van Zeeuws-Vlaanderen (2^e fase stijging en 2^e fase daling) en Walcheren (1^e fase stijging en 1^e fase daling). Dit zal mede verantwoordelijk zijn voor de verdeling van de stromingen over het mondingsgebied.

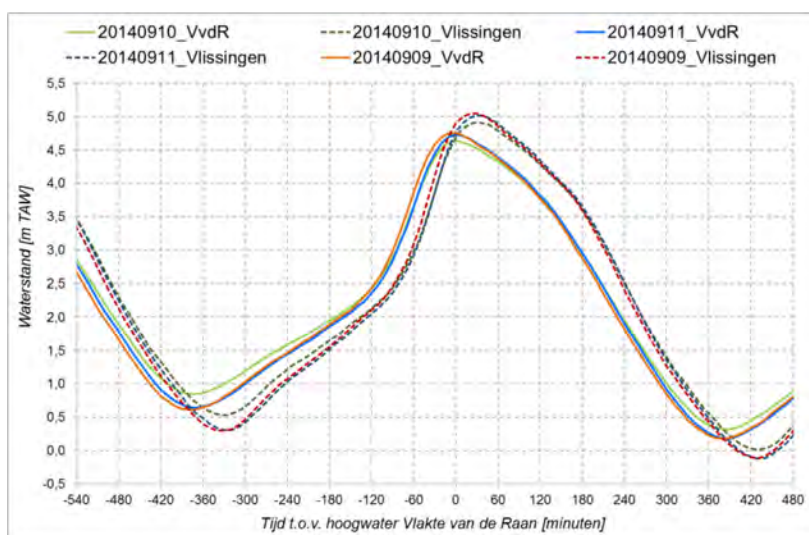
Figuur 57 – Overzicht waterstanden (boven) en verhangen (onder) in het mondingsgebied
Links: springtij | rechts: doottij



13u-metingen

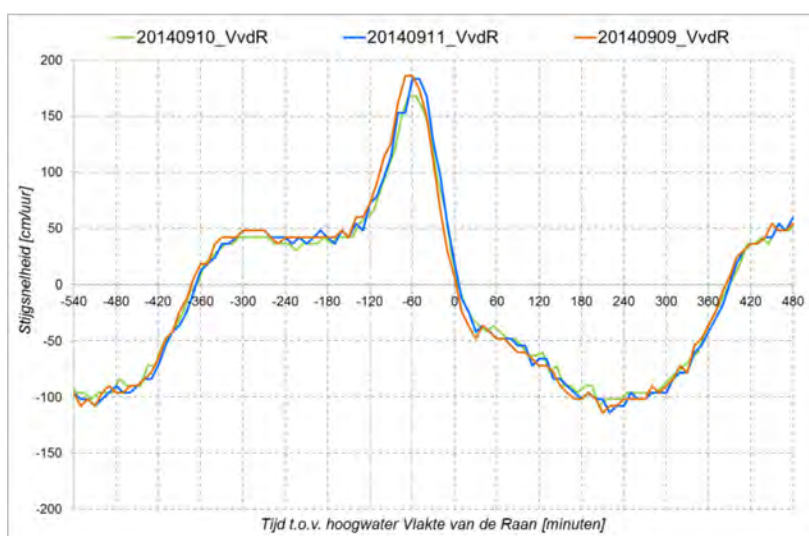
Figuur 58 geeft een overzicht van de variatie van de waterstanden onder invloed van het getij op de verschillende locaties op het moment dat de metingen uitgevoerd werden. Het merendeel van de meetcampagnes werd uitgevoerd bij condities die overeenstemmen met een sterker dan gemiddeld tot sterk springtij.

Figuur 58 – Overzicht waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties



Figuur 59 geeft het verloop van de stijgsnelheid van de waterstanden weer voor de verschillende meetlocaties. Dit is vergelijkbaar voor alle 3 meetdagen. De stijgsnelheid vertoont één uitgesproken piek ongeveer één uur voor hoogwater. Deze laatste piek manifesteert zich ook het meest in de stroomsnelheden, aanleiding gevend tot de maximale vloedstroom op dit moment binnen de getijcyclus.

Figuur 59 – Overzicht stijgsnelheid⁶ van de waterstanden ter hoogte van de verschillende meetlocaties



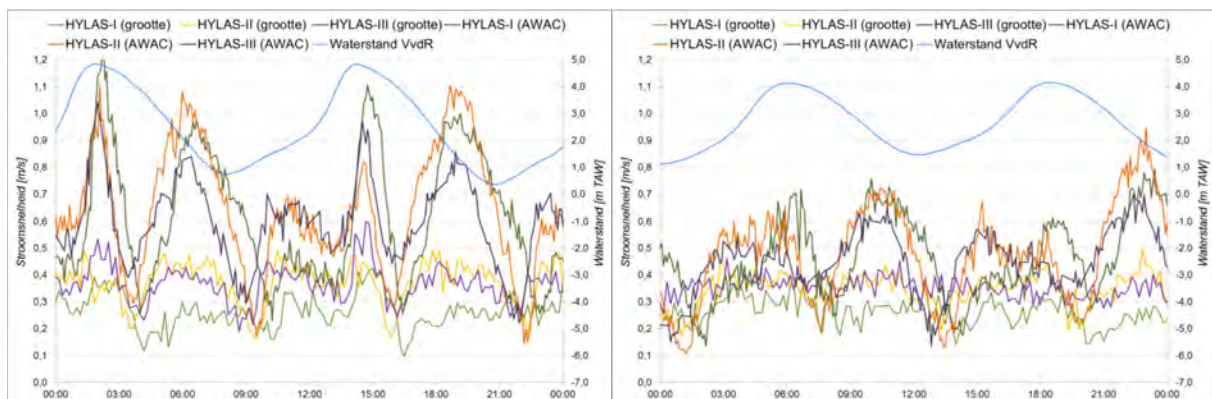
⁶ De stijgsnelheid werd bepaald als het verschil in waterstand over een periode van 10 minuten.

6.1.2 Stromingen

Langdurige metingen

Figuur 60 geeft een overzicht van de gemeten stroomsnelheid (Aquadopp Profiler en AWAC) ter hoogte van de meetlocaties voor de metingen op de frames. De stroomsnelheden bij springtij zijn aanzienlijk hoger dan bij doottij. Dit komt het best tot uiting in de bovenste deel van de waterkolom (AWAC).

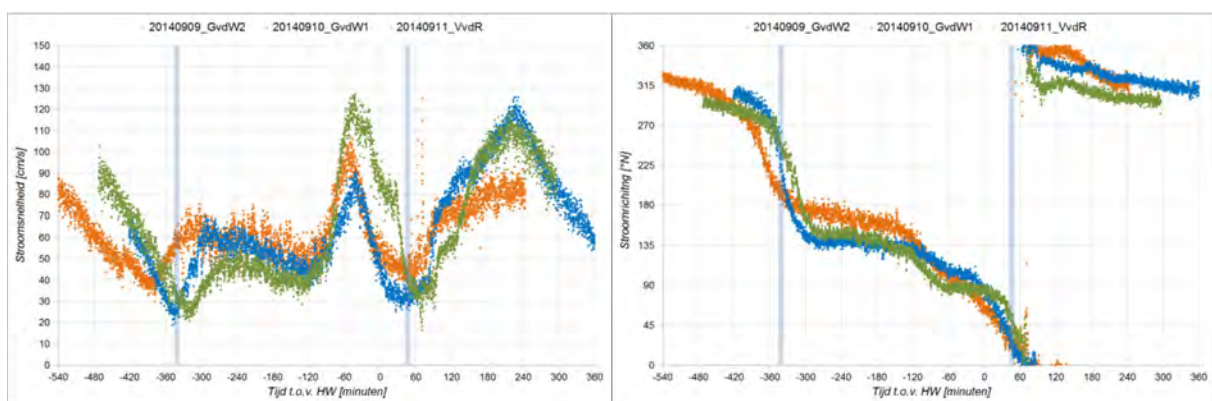
Figuur 60 – Overzicht stroomsnelheid op de verschillende frame-meetlocaties (links: springtij | rechts: doottij)



13u-metingen

Figuur 61 geeft een overzicht van de gemeten stroomsnelheid en -richting ter hoogte van de meetlocaties voor de 13u-metingen. Het verloop tijdens de getijcyclus is vergelijkbaar voor de 3 locaties. De locatie “GvdW2” geeft de hoogste snelheden bij eb, terwijl de locatie “GvdW1” de hoogste snelheden geeft bij vloed. Voor alle 3 de locaties is het geleidelijk draaien van stroming opmerkelijk, waarbij dit het meest uitgesproken is op de Vlakte van de Raan (“VvdR”).

Figuur 61 – Overzicht stroomsnelheid op de verschillende 13u-meetlocaties (links: grootte | rechts: richting)



6.2 Sedimentbeweging

6.2.1 Sedimenttransport

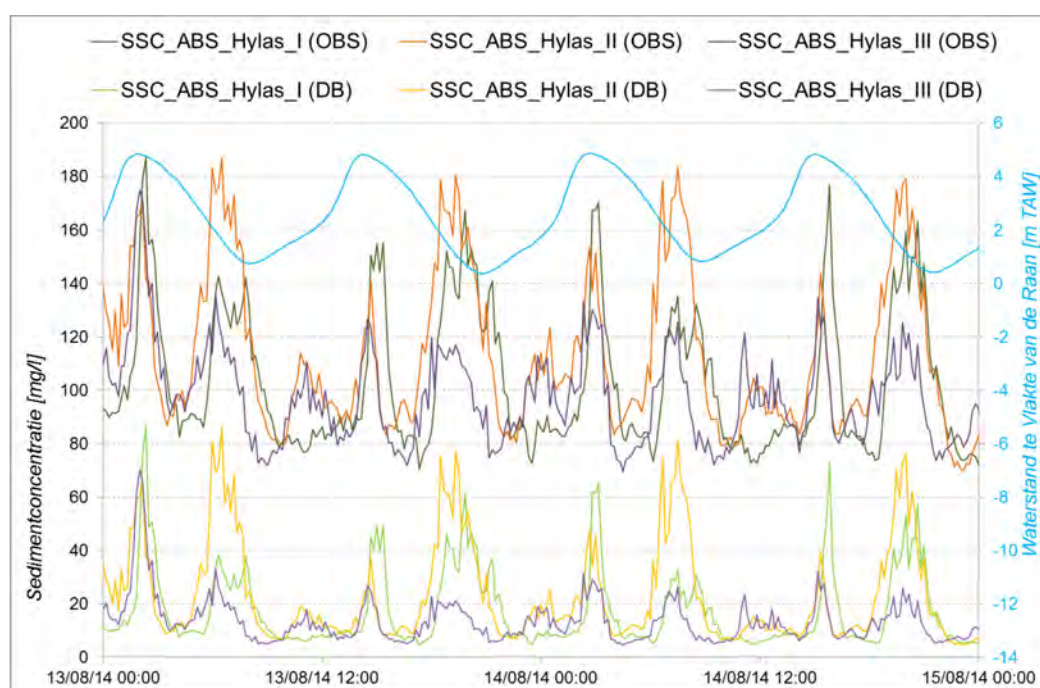
Langdurige metingen

Tijdens de langdurige metingen werd de sedimentconcentratie gemeten behulp van OBS-sensoren. Bij het ophalen van de meetframes bleken de sensoren begroeid te zijn met algen, waardoor het optische signaal verstoord werd. Aangezien er geen zekerheid is rond het tijdstip waarop de begroeiing startte, zijn de afgeleide sedimentconcentraties onbetrouwbaar. Aangezien de akoestische toestellen geen hinder ondervinden van dergelijke begroeiing en tevens een inschatting kunnen geven van de sedimentconcentratie, is getracht het ABS-signaal om te rekenen naar een sedimentconcentratie. Echter, de toestellen werden niet ingezet tijdens de kalibratiecampagne, waardoor de omrekening van ABS naar sedimentconcentratie op een benaderende manier is gebeurd. Daarnaast is het ook zo dat een ABS-signaal minder gevoelig is voor de fijne sedimentfractie dan een OBS-signaal. Hierdoor dienen de resultaten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.

Het omgerekende ABS-signaal laat voor alle locaties een duidelijk kleinere variatie in SSC zien bij doottij dan bij springtij. De hoogste waarden treden op het moment van hogere stroomsnelheden, wat in overeenstemming is met het feit dat de ABS gevoeliger is van zand (dan eerder simultaan reageert met de stroming) dan voor slib (dat eerder als (minder bezinkbare) wolk getransporteerd wordt door de stroming).

Voor Geul van de Walvischstaart I (HYLAS I) treden de hoogste sedimentconcentraties op rond hoogwater, wat overeenkomt met het moment van maximale stroomsnelheden (vloed). Voor Geul van de Walvischstaart II (HYLAS II) treden de hoogste sedimentconcentraties net voor laagwater, wat overeenkomt met het moment van maximale stroomsnelheden (eb). Voor Vlake van de Raan (HYLAS III) is de variatie over de getijcyclus kleiner en liggen de maximale sedimentconcentraties lager. Er is zowel een verhoging net voor laagwater (eb) als rond hoogwater (vloed).

Figuur 62 – Overzicht sedimentconcentratie ter hoogte van de verschillende meetlocaties bij springtij

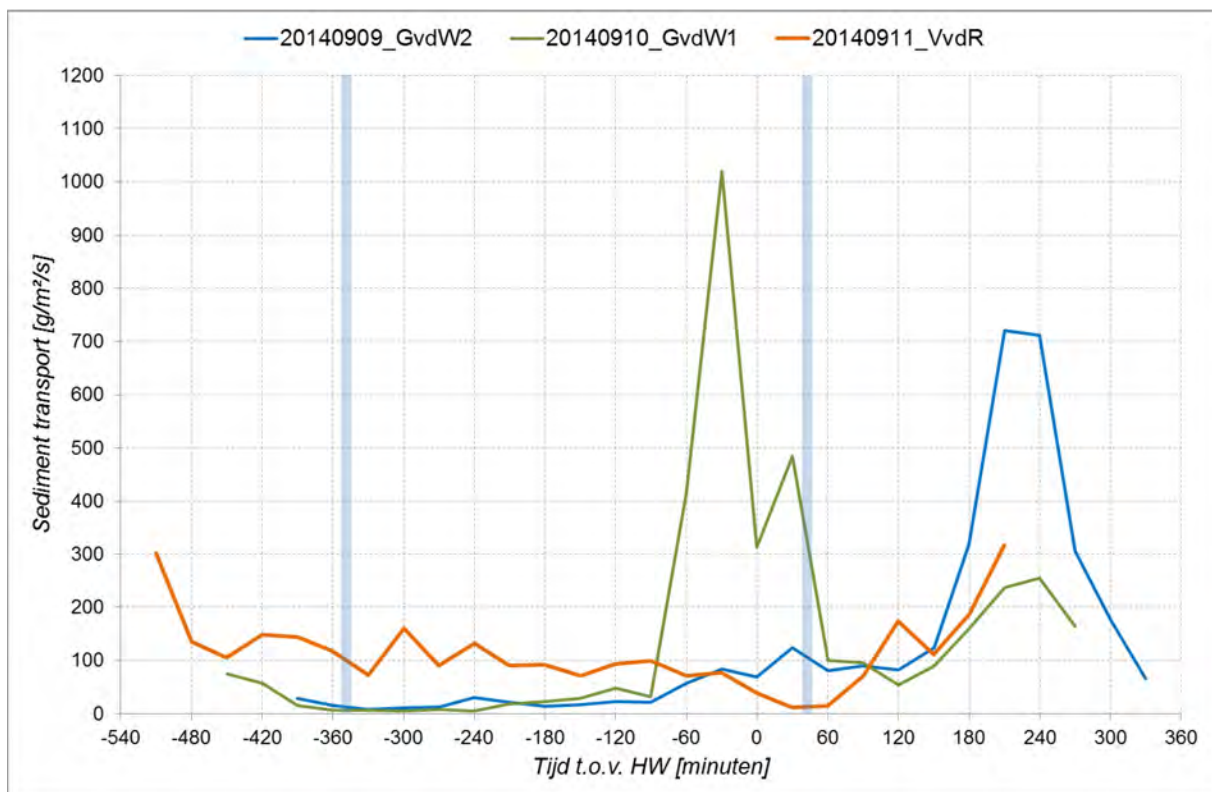


13u-metingen

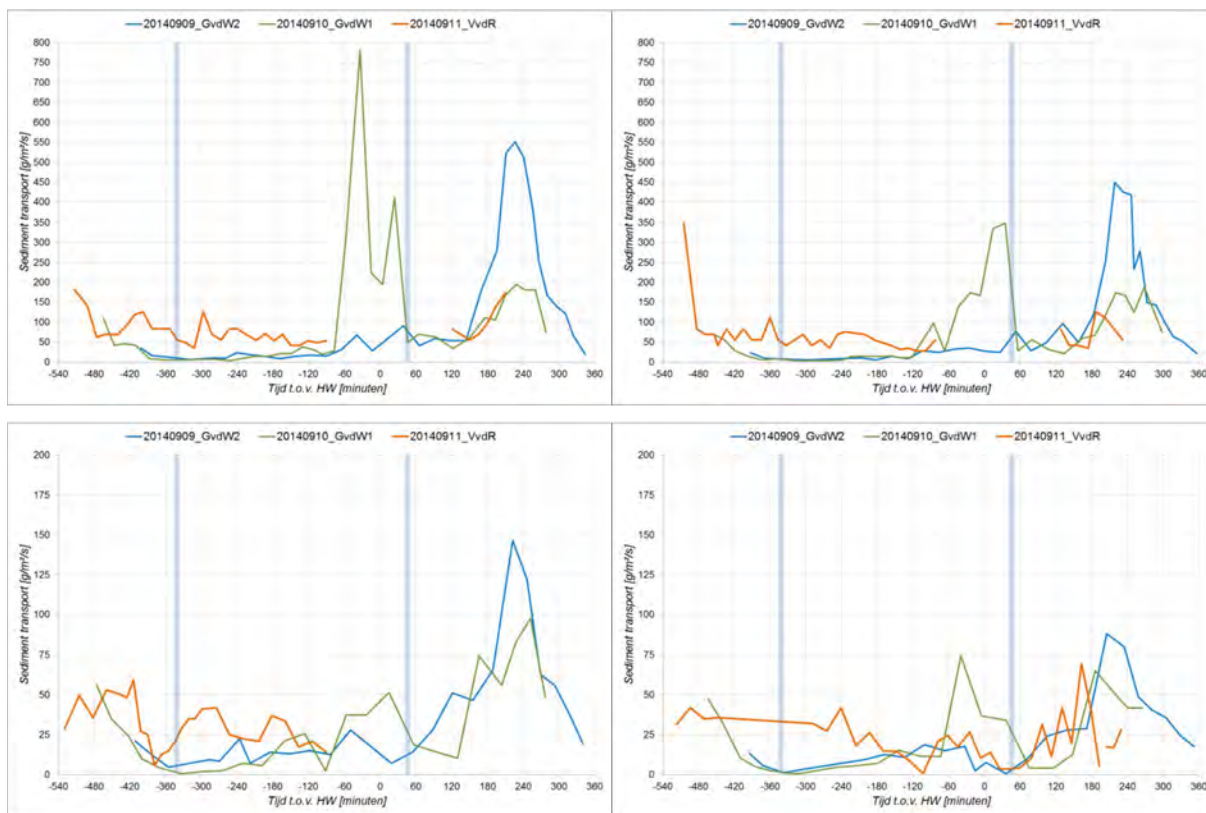
Figuur 63 geeft een overzicht van het totaal sedimenttransport op de verschillende meetlocaties. Figuur 64 geeft een overzicht van het gemeten sedimenttransport op de verschillende verticale posities voor de verschillende meetlocaties.

Het patroon op de 3 bemeten locaties verschilt sterk: voor de locatie Geul van de Walvischstaart 1, gelegen ter hoogte van de aansluiting met de Wielingen, vertoont een duidelijke piek in transport ongeveer één uur voor hoogwater, tijdens de vloed; de locatie Geul van de Walvischstaart 2, gelegen midden in de geul door de Vlake van de Raan, vertoont een duidelijke piek in transport ongeveer vier uur na hoogwater, tijdens de eb; de locatie Vlake van de Raan, gelegen centraal op het ondiepwatergebied, vertoont geen uitgesproken piek in transport, met enkel ongeveer drie uur na hoogwater een verhoging, tijdens de eb.

Figuur 63 – Overzicht totaal sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties



Figuur 64 – Overzicht sedimenttransport ter hoogte van de verschillende meetlocaties
 (boven links: bodem+20cm | boven rechts: bodem+40cm | onder links: bodem+100cm | onder rechts: bodem+200cm)



6.2.2 Korrelgrootte

Figuur 65 geeft een overzicht van de verschillende karakteristieke diameters van de korrelgrootte (d10, d35, d50, d65, d90) van het bodemsediment. De d50 varieert tussen 200 en 240 μm .

Figuur 65 geeft een overzicht van de verschillende karakteristieke diameters van de korrelgrootte voor de verschillende meettoestellen (DBF, DBH en pomp) en dit voor zowel vloed als eb.

Voor de Delftse fles op frame varieert de d50 bij vloed tussen 40 (VvdR) en 85 μm (GvdW1). Bij eb is de variatie van de d50 groter, tussen 50 (VvdR) en 155 μm (GvdW1). Voor de opgehangen Delftse fles is de variatie kleiner: bij vloed varieert de d50 tussen 45 (VvdR) en 60 μm (GvdW1), bij eb tussen 35 (VvdR) en 95 μm (GvdW1). Voor de pompstalen varieert de d50 tussen 15 en 20 μm .

Figuur 65 – Overzicht karakteristieke korrelgrootte bij vloed (boven-links), eb (boven-rechts) en bodem (onder)



Tabel 16 – Karakteristieke korreldiameters bij vloed en eb op verschillende verticale posities [in μm]

Locatie		EB					VLOED				
		D10	D35	D50	D65	D90	D10	D35	D50	D65	D90
Geul van de Walvischstaart 2	DBF	6	68	96	130	219	3	33	50	77	152
	DBH	5	44	69	99	175	3	22	45	72	144
	SUSP	4	13	20	33	97					
Geul van de Walvischstaart 1	DBF	31	111	155	199	312	11	54	83	111	191
	DBH	7	67	96	127	207	5	40	62	86	153
	SUSP	4	11	17	27	94					
Vlakte van de Raen	DBF	5	28	50	79	169	4	19	38	68	153
	DBH	2	17	34	55	112	3	23	45	71	143
	SUSP	4	10	15	24	71					

7 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)

Nortek, 2001. Monitoring Sediment Concentration with acoustic backscattering instruments.

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

van Sluis, C.J. en de Boer; M.E. Voortoets en Quicksan monitoring mondingsgebied Westerschelde. Arcadis Nederland BV, Nederland. 2014

Bijlage A – Contactpersonen

Contactpersonen Rijkswaterstaat opzet meetcampagne

Maarten Platteeuw

Senior adviseur ecologie en natuur, RWS Water, Verkeer en Leefomgeving

maarten.platteeuw@rws.nl

Peter Heslenfeld

projectmanager Beheerplan Vlake van de Raan, RWS Zee en Delta

peter.heslenfeld@rws.nl

Sanne van den Heuvel

projectmanager Beheerplan Voordelta, RWS Zee en Delta

sanne.vanden.heuvel01@rws.nl

Marco Schrijver

Ingenieur Netwerk Ontwikkeling, RWS Zee en Delta

marco.schrijver@rws.nl

Contactpersonen in kader van toelating op basis van bestaande wetgeving

Sander Figee

Beleidsmedewerker Directoraat-generaal Natuur en Regio, Ministerie van Economische Zaken Nederland

d.a.figee@minez.nl

Jaap van der Sneppen

Coördinator Uitvoering Regelingen, Ontheffingen Flora- en faunawet Ruimtelijke Ingrepen, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Ministerie van Economische Zaken

jaap.vandersneppen@rvo.nl

Contactpersonen bebakningsadvies en -uitvoering

Diana de Nooijer

Adviseur Vaarwegmarkering, Rijkswaterstaat Zee en Delta, Directie Netwerkmanagement District Zuid, Team Samenwerkende Landelijke Uitvoeringsdiensten

diana.de.nooijer@rws.nl

Laura Snoep

Adviseur Vaarwegmarkering, Ondersteuning Operaties Water en Scheepvaart, Rijkswaterstaat Verkeer- en Watermanagement

laura.snoep@rws.nl

Hoofdverkeersleiding Vlissingen

Rijkswaterstaat Verkeer en Watermanagement, Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit

hoofdverkeersleider@vts-scheldt.net

Contactpersoon Beroepsvisserij

Jaap Hennekeij

Voorzitter van Producenten Organisatie Delta Zuid

jihennekeij@zeelandnet.nl

Bijlage B – Aquadopp Profiler – technische kenmerken

Technical Specifications

Water velocity measurement

	0.4MHz	0.6MHz	1.0MHz	2.0MHz
Acoustic frequency:	0.4MHz	0.6MHz	1.0MHz	2.0MHz
Maximum profiling range*:	60-90m	30-40m	12-20m	4-10m
Cell size:	2-8m	1-4m	0.3-4m	0.1-2m
Beam width:	3.7°	3.0°	3.4°	1.7°
Minimum blanking:	1m	0.50m	0.20m	0.05m
Number of beams:	3			
Maximum # cells:	128			
Velocity Range:	±10m/s (Inquire for extended range)			
Accuracy:	1% of measured value ±0.5cm/s			
Max. Sampling rate:	1Hz			
Velocity uncertainty:	Consult software program			

* The Aquadopp profiler measures the current profile in a user specified number of cells from the instrument out to a maximum range that depends on the acoustic scattering conditions. The lower range should be expected with clear water and small cells and the higher range with large cells and acoustically turbid water.

Cell zero (optional for 0.6MHz and 1MHz transducers)

Cell zero acoustic frequency:	2Mz
Maximum profiling range*:	0.4-0.9m
Number of beams:	3

Echo intensity

Sampling:	Same as velocity
Resolution:	0.45dB
Dynamic range:	90dB

Standard sensors

Temperature:	Thermistor embedded
Range:	-4°C to 30°C
Accuracy/resolution:	0.1°C/0.01°C
Time response:	10 min
Compass:	Magnetometer
Accuracy/resolution:	2°/0.1° for tilt <20°
Tilt:	Liquid level
Accuracy/resolution:	0.2°/0.1°
Maximum tilt:	30°
Up or down:	Automatic detect
Pressure:	Piezoresistive
Range:	0-100m (standard)
Accuracy/resolution:	0.5%/0.005% of full scale

Analog inputs

Number of channels:	2
Voltage supply:	Three options selectable through firmware commands: • Battery voltage / 500 mA • +5V / 250 mA • +12V / 100 mA
Voltage input:	0-5V
Resolution:	16 bit A/D

Data communication

I/O:	RS232, RS422. Software supports most commercially available USB-RS232 converters
Communication Baud rate:	300-115200 (baud)
Recorder download baud rate:	600/1200 k.Baud for both RS232 and RS422

Data recording

Capacity:	9 MB, can add 32/176/352/1MB & 4GB Prolog
Data record:	32 bytes + 9xNoels
Mode:	Stop when full (default) or wrap mode
Software:	AquaPro
Operating system:	Windows®XP, Windows® 7
Functions:	Deployment planning, data retrieval, ASCII conversion, online data collection, and graphical display

Power

DC Input:	9-15VDC
Peak current:	3A
Max average consumption at 1Hz:	0.2-1.5W
Sleep consumption:	0.0003 mW (RS232), 0.005 mW (RS422)
Transmit power:	0.3-20W, 3 adjustable levels

Real time clock

Accuracy:	+/- 1min/year
Backup in absence of power:	4 weeks

Internal batteries

Type/capacity:	18 AA Alkaline cells/50Wh
New battery voltage:	13.5VDC
Duration (10-minute avg.):	60 days for 2MHz, 0.5m cells 50 days for 1MHz, 1.0m cells

Exact battery consumption and velocity uncertainty are complex functions of the deployment configuration. Please consult the AquaPro software for more exact predictions.

Materials

Standard:	Delrin and polyurethane plastics with titanium screws
Intermediate and deepwater models:	Titanium and Delrin plastics

Connectors

Bulkhead (Impulse):	MCBH-8-FS
Cable:	PMCIL-8-MP on 10-m polyurethane cable

Environmental

Operating temperature:	-5°C to 35°C
Storage temperature:	-20°C to 60°C
Shock and vibration:	IEC 721-3-2
Depth rating:	300m

Dimensions

	0.4MHz	0.6MHz	1MHz/2MHz
Weight in air:	3.4 kg	2.9 kg	2.2 kg
Weight in water:	0.2 kg	0.4 kg	0.2 kg
Length:	see dimensional drawings		
Diameter:	see dimensional drawings		

Options

Batteries:	Lithium, Li-Io rechargeable
External batteries:	Alkaline, Lithium or Lithium Ion. See battery brochure for details
Transducer head:	Right angle head for 1 or 2MHz. Inquire for special configurations
Deep water systems:	Inquire for 3000m & 6000m versions
Communication:	Request special harness for RS422



18-03-14-06-2016

NortekMed S.A.S.
Z.I. Toulon Est
BP 520
83 078 TOULON cedex 09
FRANCE
Tel: +33 (0) 4 94 31 70 30
Fax: +33 (0) 4 94 31 25 49
E-mail: info@nortekmed.com

NortekUK
Mildmay House, High St.
Hartley Wintney
Hants. RG27 6NY
Tel: +44-1428 751 953
E-mail: inquiry@nortekuk.co.uk

NortekUSA
222 Severn Avenue
Building 14, Suite 102
Annapolis, MD 21403
Tel: +1 (410) 295-3733
Fax: +1 (410) 295-2918
E-mail: inquiry@nortekusa.com

南京诺特克海洋仪器有限公司
地址: 中国南京江宁区
江宁区 1512
南京 211100
Tel: 0532-85017570, 85017270
Fax: 0532-85017570
E-mail: inquiry@nortek.com.cn

Nortek B.V.
Schipholweg 333a
1171PL, Badhoevedorp
Nederland
Tel: +31 20 6543600
Fax: +31 20 6599530
email: info@nortek-bv.nl

Bijlage C – AWAC – technische kenmerken

Technical Specifications

System

Acoustic frequency: 1MHz, 800kHz or 400kHz
 Acoustic beams: 4 beams, one vertical, three slanted at 25°
 Vertical beam opening angle: 1.7°
 Operational modes: Stand-alone or online monitoring

Current Profile

Maximum range: 30m (1MHz), 60m (800 kHz), 100m (400kHz) (depends on local conditions)
 Depth cell size: 0.25 – 4.0m (1MHz)
 0.5 – 8.0m (800kHz)
 1.0 – 8.0m (400kHz)
 Number of cells: Typical 20–40, max. 128
 Maximum output rate: 1Hz

Velocity measurements

Velocity range: ±10 m/s horizontal, ±5 m/s along beam
 Accuracy: 1% of measured value ±0.5 cm/s

Doppler uncertainty

Current profile: 1cm/s (typical)

Wave measurements

Maximum depth: 35m (1MHz), 60m (800 kHz), 100m (400kHz)
 Data types: Pressure, one velocity along each beam, AST*
 Sampling rate (output): 2 Hz velocity, 4 Hz AST* (1MHz),
 1 Hz velocity, 2Hz AST* (800kHz),
 0.75 Hz velocity, 1.5Hz AST* (400kHz)
 No. of samples per burst: 512, 1024, or 2048. Inquire for options

Wave estimates

Range: -15 to +15m
 Accuracy/resolution (Hz): <1% of measured value/1cm
 Accuracy/resolution (Dir): 2° / 0.1°
 Period range: 0.5–100s (1MHz), 1 – 100s (0.6MHz),
 1.5 – 100s (0.4MHz)

Depth(m)	cut-off period (Hz)	cut-off period (dir)
5	0.5 sec	1.5 sec
20	0.9 sec	3.1 sec
60	1.5 sec	4.2 sec
100	2 sec	5.0 sec

Sensors

Temperature: Thermistor embedded in housing
 Range: -4°C to 40°C
 Accuracy/ Resolution: 0.1°C/0.01°C
 Time constant: <5 min
 Compass: Magnetoresistive
 Accuracy/Resolution: 2°/0.1° for tilt <15°
 Tilt: Liquid level
 Maximum tilt: 30°, AST* requires <10° instrument tilt
 Up or down: Automatic detect
 Pressure: Piezoresistive
 Standard range: 0–50 m (1MHz) / 0–100m (0.6MHz) /
 0–100m (0.4MHz)
 Accuracy: 0.5% of full scale. Optional 0.1% of full scale.
 Resolution: 0.005% of full scale

Transducer configurations

Standard: 3 beams 120° apart, one vertical
 Platform mount: 3 beams 90° apart, one at 5°

Materials

Standard: Delrin and polyurethane plastics with titanium screws

Connectors:

Bulkhead (impulse): MCBH-2-FS
 Cable: PMCIL-8-MP

Environmental

Operating temperature: -4°C to 40°C
 Storage temperature: -20°C to 60°C
 Shock and vibration: IEC 721-3-2
 Depth rating: 300m

Dimensions:

See drawing on front page
 Weight in air: 7.3 kg (0.4MHz), 8.2 kg (0.6MHz), 6.1 kg (1MHz)
 Weight in water: 3.6 kg (0.4MHz), 2.9 kg (0.6MHz & 1MHz)

Analog Inputs

Number of channels: 2
 Supply voltage to analog output devices: Three options selectable through firmware commands:
 • Battery voltage/500mA
 • +5V/250mA
 • +12V/100mA
 Voltage Input: 0–5V
 Resolution: 16 bit A/D

Data Recording

Capacity(standard): 2 MB, can add: 32/176/352MB or 4GB
 Profile record: Noels×8 + 120
 Wave record: Nsamples×24 + 1KB

Data Communication

I/O: RS 232 or RS 422
 Communication baud rate: 300–115200
 Recorder download baud rate: 600/1200 kBaud for both RS232 and RS422
 User control: Handled via «AWAC» software, or ActiveX® controls. «SeaState» for online systems.
 ProLog: Provides NMEA ASCII or Binary output formats for processed wave and current data.

Power

DC Input: 9–18 VDC
 Peak current: 3A
 Power consumption: Transmit power: 1–30W, 3 adjustable levels
 Sleep consumption: 0.3 mW (RS232)
 5 mW (RS422)

Real time clock

Accuracy: ± 1min/year
 Backup in absence of power: 1 year

Offshore Cable

The Nortek offshore cable can, when properly deployed, withstand tough conditions in the coastal zone. In RS 422 configuration, cable communication can achieved distances up to 5 km.

Online Projects

Nortek can provide long cables, radio/telephone communication equipment, acoustic modems, etc., that can meet the requirements of your specific project.

*) AST = Acoustic Surface Tracking





75-015-06-000

TRUE INNOVATION MAKES A DIFFERENCE

NortekMed S.A.S.
 Z.I. Toulon Est
 BP 520
 83 078 TOULON cedex 09
 FRANCE
 Tel: +33 (0) 4 94 31 70 30
 Fax: +33 (0) 4 94 31 25 49
 E-mail: info@nortekmed.com

NortekUK
 Tresanton House
 Bramshott Court
 Bramshott
 Hants
 GU30 7TRG
 Tel: +44-1428 751 953
 E-mail: inquiry@nortekuk.co.uk

NortekUSA
 222 Severn Avenue
 Building 14, Suite 102
 Annapolis, MD 21403
 Tel: +1 (410) 295-3733
 Fax: +1 (410) 295-2918
 E-mail: inquiry@nortekusa.com

南京诺特克海洋设备有限公司
 地址: 中国南京市鼓楼区
 江苏路102号
 邮编: 210071
 Tel: 0532-85017570, 85017270
 Fax: 0532-85017570
 E-mail: inquiry@nortek.com.cn

Nortek B.V.
 Schipholweg 333a
 1171PL Badhoevedorp
 Nederland
 Tel: +31 20 6543600
 Fax: +31 20 6599830
 email: info@nortek-bv.nl

Bijlage D – OBS – technische kenmerken

Section 5. Specifications

Section 5. Specifications

Features:

- Measures suspended solids and turbidity for up to 4000 NTUs
- Provides a compact, low-power probe that is field proven
- Compatible with all Campbell Scientific dataloggers (including the CR200(X) series)
- Stainless-steel body allows use down to 500 m in fresh water
- Titanium body allows use down to 1500 m in fresh or salt water
- Fitted with MCBH-5-FS, wet-pluggable connector—multiple mating cable length options available
- Accurate and rugged

Compatibility

Dataloggers:	CR200(X) series
	CR800 series
	CR1000
	CR3000
	CR5000
	CR9000(X)
	CR7X
	CR510
	CR100(X)
	CR33X
	21X

Operating Temperature: 0° to 40°C

Ranges

Turbidity (low/high):	250/1,000 NTU; 500/2,000 NTU; 1,000/4,000 NTU
Mud ¹ :	5,000 to 10,000 mg l ⁻¹
Sand ¹ :	50,000 to 100,000 mg l ⁻¹

¹ Range depends on sediment size, particle shape, and reflectivity.

Accuracy

Turbidity ¹ :	2% of reading or 0.5 NTU
Mud ² :	2% of reading or 1 mg l ⁻¹
Sand ² :	4% of reading or 10 mg l ⁻¹

² Whichever is larger.

Height

OBS-3+:	14.1 cm (5.56 in)
OBS500:	13.1 cm (5.15 in)

Diameter:

2.5 cm (0.98 in)

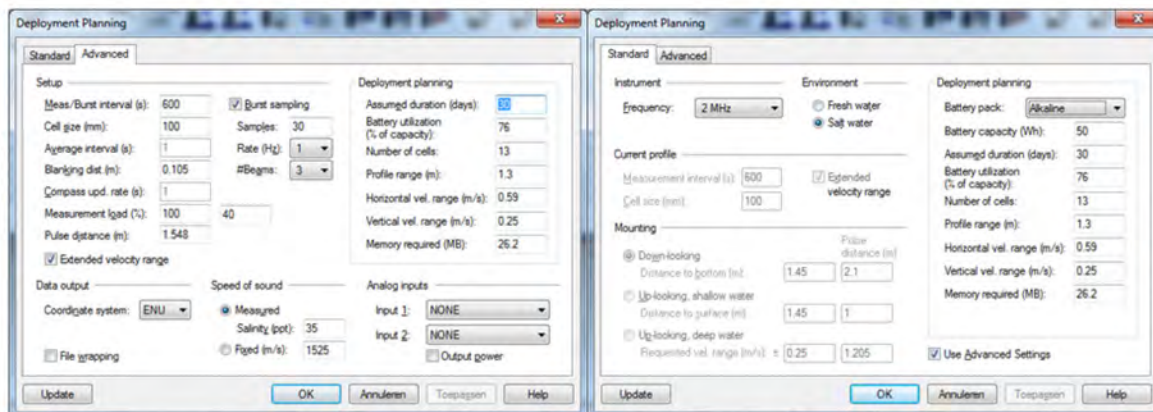
5-2

5-1

Bijlage E – setup en configuratie instrumenten per frame

HYLAS I

Hylas I Aquadopp



Hylas I Aquadopp

```

=====
Deployment : HYLAS1
Current time : 8/08/2014 7:04:57
Start at : 8/08/2014 10:00:00
Comment:
Aquadopp - 20140808_Aquadopp (vertikale)

-----
Measurement interval (s) : 600
Cell size (mm) : 100
Orientation : DOWNLOOKING
Distance to bottom (m) : 1.45
Pulse distance (m) : 1.55
Profile range (m) : 1.30
Horiz. vel. range (m/s) : 0.59
Vert. vel. range (m/s) : 0.25
Number of cells : 13
Average interval (s) : 1
Blanking distance (m) : 0.104
Measurement load (%) : 40
Samples per burst : 30
Sampling rate (Hz) : 1
Compass upd. rate (s) : 1
Coordinate system : ENU
Speed of sound (m/s) : MEASURED
Salinity (ppt) : 35

-----
Analog input 1 : NONE
Analog input 2 : NONE
Analog input power out : DISABLED
File wrapping : OFF
Telltale : OFF
Acoustic modem : OFF
Serial output : OFF
Baud rate : 9600

-----
Assumed duration (days) : 30.0
Battery utilization (%) : 76.0
Battery level (V) : 9.0
Recorder size (MB) : 185
Recorder free space (MB) : 183.973
Memory required (MB) : 26.2

-----
Instrument ID : AQD11968
Head ID : AQP 6550
Firmware version : 3.14 HR

-----
AquaProHR Version 1.10.10
Copyright (C) Nortek AS
=====

```

Hylas I AWAC

```
=====
Deployment : HYLAS1
Current time : 8/08/2014 7:54:48
Start at : 8/08/2014 10:00:00
Comment:
AWAC - 20140808_AWAC (hylas1)
=====

Profile interval (s) : 300
Number of cells : 24
Cell size (m) : 0.50
Average interval (s) : 60
Blanking distance (m) : 0.41
Measurement load (%) : 25
Power level : HIGH
Number of wave samples : 2400
Wave interval (s) : 3600
Wave sampling rate (Hz) : 2
Wave AST Ice mode : DISABLED
Wave AST SUV mode : DISABLED
Compass upd. rate (s) : 300
Coordinate System : ENU
Speed of sound (m/s) : MEASURED
Salinity (ppt) : 35

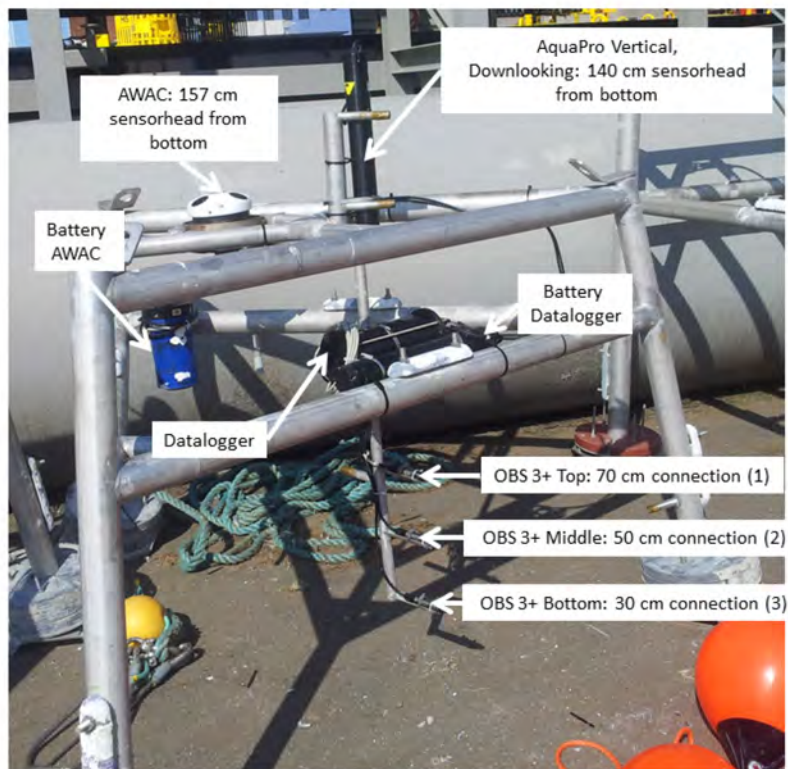
Analog input 1 : NONE
Analog input 2 : NONE
Analog input power out : DISABLED
File wrapping : OFF
TelITale : OFF
Acoustic modem : OFF
Serial output : OFF

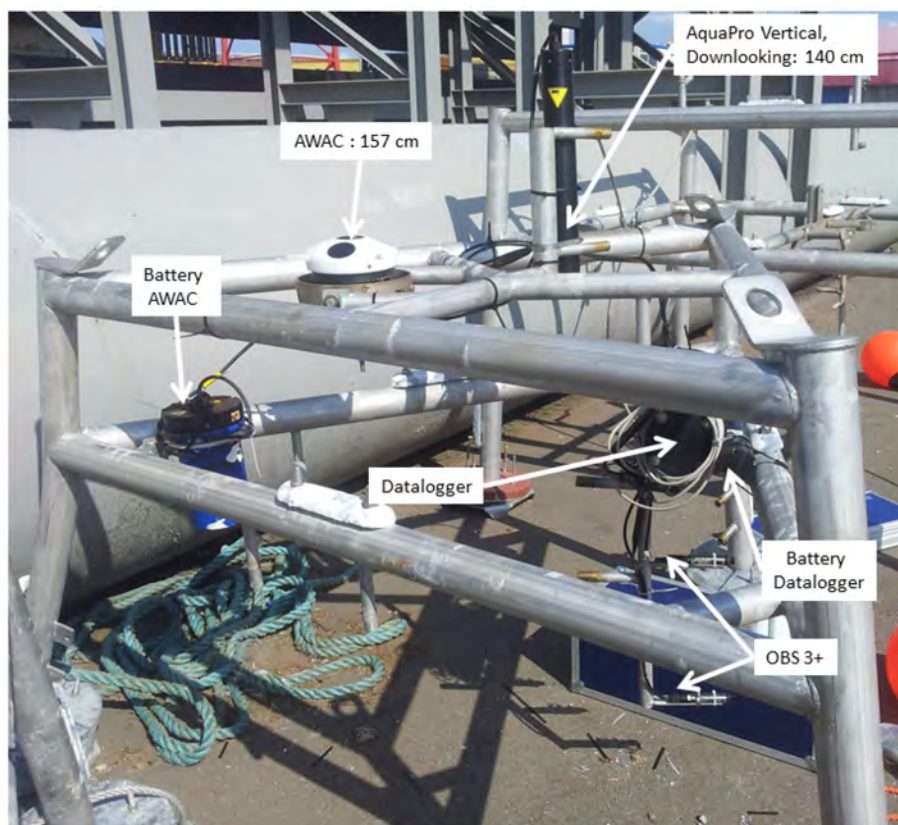
Onboard wave processing : DISABLED

Assumed duration (days) : 30.0
Battery utilization (%) : 43.0
Battery level (V) : 13.5
Recorder size (MB) : 185
Recorder free space (MB) : 184.973
Memory required (MB) : 42.6
Vertical vel. prec (cm/s) : 1.8
Horizon. vel. prec (cm/s) : 5.4

Instrument ID : WPR 2004
Head ID : WAV 6594
Firmware version : 3.37 AST

AWAC AST Version 1.44
Copyright (C) Nortek AS
=====
```





Battery Datalogger

Pinger



Datalogger

Battery Datalogger



AWAC
Top sensor 150
cm from
bottom

Lead for
tilting system
AWAC

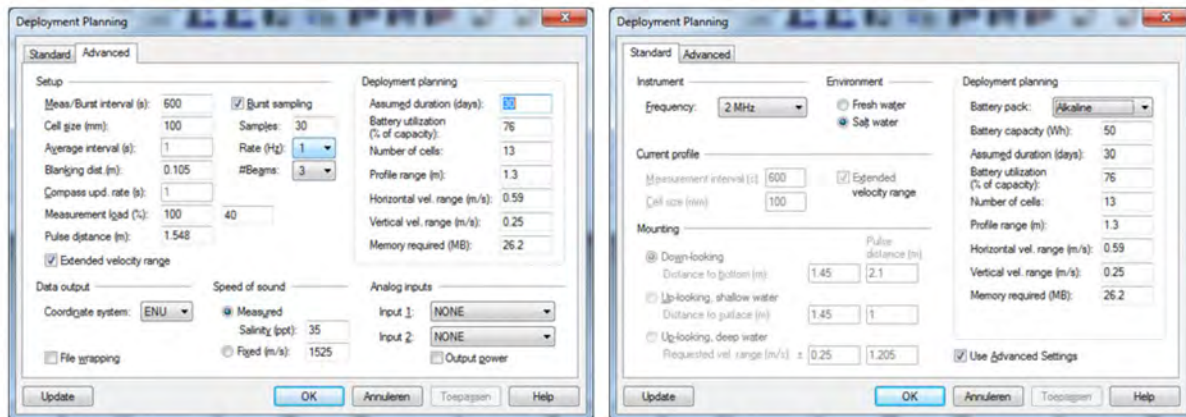
Battery Hired
AWAC



AquaPro
vertical,
downlooking

HYLAS II

Hylas II Aquadopp



Hylas II Aquadopp

```
=====
Deployment      : HYLAS2
Current time   : 8/08/2014 7:13:33
Start at      : 8/08/2014 10:00:00
Comment      :
Aquadopp 20140808 (horizontale)
=====
Measurement interval (s) : 600
Cell size (mm) : 100
Orientation : DOWNLOOKING
Distance to bottom (m) : 1.45
Pulse distance (m) : 1.55
Profile range (m) : 1.30
Horiz. vel. range (m/s) : 0.59
Vert. vel. range (m/s) : 0.25
Number of cells : 13
Average interval (s) : 1
Blanking distance (m) : 0.105
Measurement load (%) : 40
Samples per burst : 30
Sampling rate (Hz) : 1
Compass upd. rate (s) : 1
Coordinate System : ENU
Speed of sound (m/s) : MEASURED
Salinity (ppt) : 35

Analog input 1 : NONE
Analog input 2 : NONE
Analog input power out : DISABLED
File wrapping : OFF
TelTale : OFF
Acoustic modem : OFF
Serial output : OFF
Baud rate : 9600

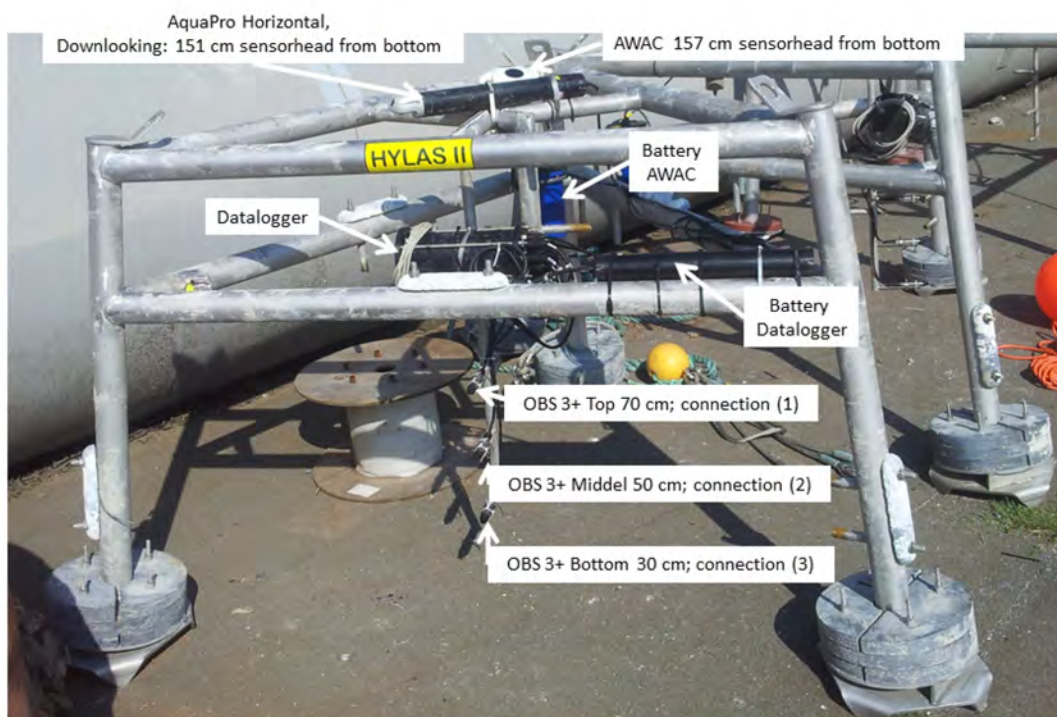
=====
Assumed duration (days) : 30.0
Battery utilization (%) : 76.0
Battery level (V) : 11.1
Recorder size (MB) : 185
Recorder free space (MB) : 184.973
Memory required (MB) : 26.2

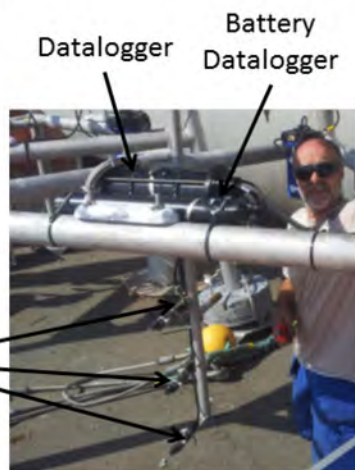
=====
Instrument ID : AQD11842
Head ID : ASP 6603
Firmware version : 3.14 HR

=====
AquaProHR Version 1.10.10
Copyright (C) Nortek AS
=====
```


Hylas II AWAC

Deployment : HYLAS2	Analog input 1 : NONE
Current time : 8/08/2014 7:45:37	Analog input 2 : NONE
Start at : 8/08/2014 10:00:00	Analog input power out : DISABLED
Comment:	Filewrapping : OFF
AWAC - 20140808_AWAC (hylas2)	Tel/Tale : OFF
	Acoustic modem : OFF
	Serial output : OFF
Profile interval (s) : 300	Onboard wave processing : DISABLED
Number of cells : 24	
Cell size (m) : 0.50	Assumed duration (days) : 30.0
Average interval (s) : 60	Battery utilization (%) : 43.0
Blanking distance (m) : 0.41	Battery level (V) : 13.5
Measurement load (%) : 25	Recorder size (MB) : 185
Power level : HIGH	Recorder free space (MB) : 184.973
Number of wave samples : 2400	Memory required (MB) : 42.6
Wave interval (s) : 3600	Vertical vel. prec (cm/s) : 1.8
Wave sampling rate (Hz) : 2	Horizon. vel. prec (cm/s) : 5.4
Wave AST Ice mode : DISABLED	
Wave AST SUV mode : DISABLED	Instrument ID : WPR 2022
Compass upd. rate (s) : 300	Head ID : WAV 6606
Coordinate System : ENU	Firmware version : 3.37 AST
Speed of sound (m/s) : MEASURED	
Salinity (ppt) : 35	
	AWAC AST Version 1.44
	Copyright (C) Nortek AS





AWAC
Top sensor 150 cm from bottom



Tilting mounting system

OBS 3+

Battery
Datalogger

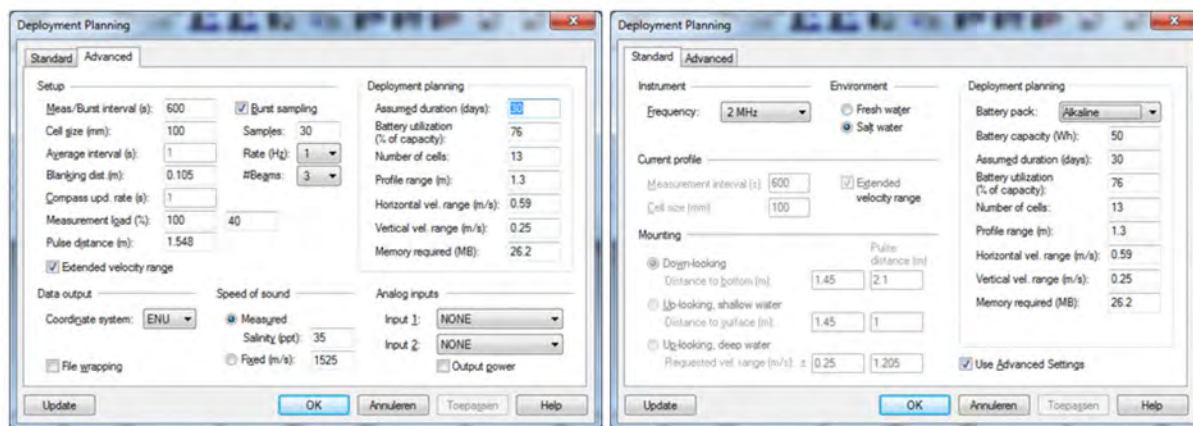


Datalogger



HYLAS III

Hylas III Aquadopp



Hylas III Aquadopp

```
=====
Deployment : HYLAS3
Current time : 8/08/2014 7:21:17
Start at : 8/08/2014 10:00:00
Comment:
HYLAS3 20140808_aquadopp (horizontal)

-----
Measurement interval (s) : 600
Cell size (mm) : 100
Orientation : DOWNLOOKING
Distance to bottom (m) : 1.45
Pulse distance (m) : 1.55
Profile range (m) : 1.30
Horiz. vel. range (m/s) : 0.59
Vert. vel. range (m/s) : 0.25
Number of cells : 13
Average interval (s) : 1
Blanking distance (m) : 0.105
Measurement load (%) : 40
Samples per burst : 30
Sampling rate (Hz) : 1
Compass upd. rate (s) : 1
Coordinate System : ENU
Speed of sound (m/s) : MEASURED
Salinity (ppt) : 35

-----
Analog input 1 : NONE
Analog input 2 : NONE
Analog input power out : DISABLED
File wrapping : OFF
TelITale : OFF
Acoustic modem : OFF
Serial output : OFF
Baud rate : 9600

-----
Assumed duration (days) : 30.0
Battery utilization (%) : 76.0
Battery level (V) : 11.1
Recorder size (MB) : 185
Recorder free space (MB) : 183.973
Memory required (MB) : 26.2

-----
Instrument ID : AQD 8479
Head ID : ASP 5800
Firmware version : 3.14 HR

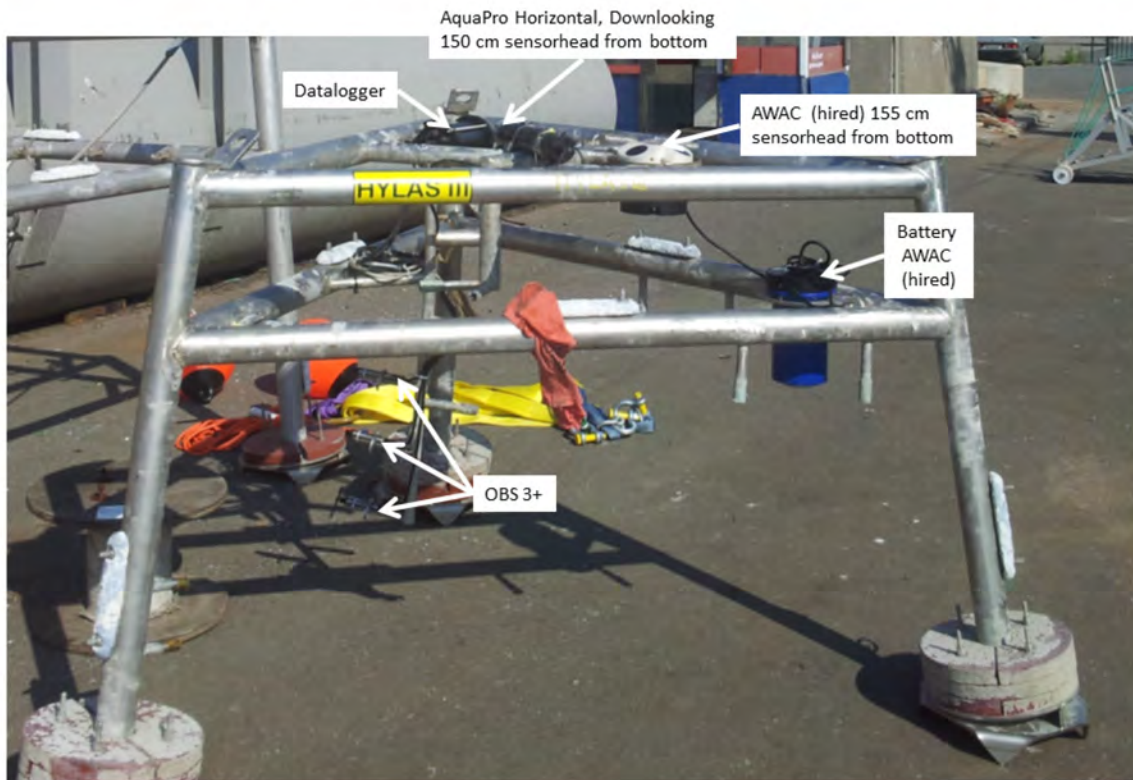
-----
AquaProHR Version 1.10.1D
Copyright (C) Nortek AS
=====
```

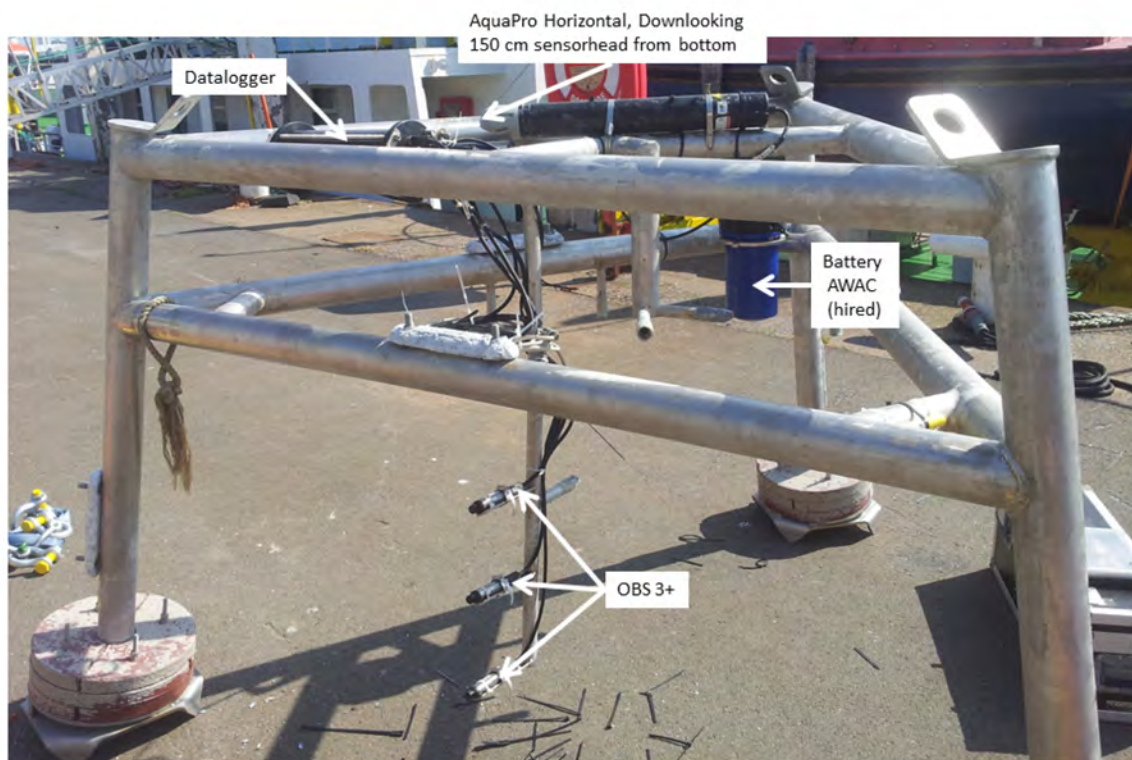

Hylas III AWAC

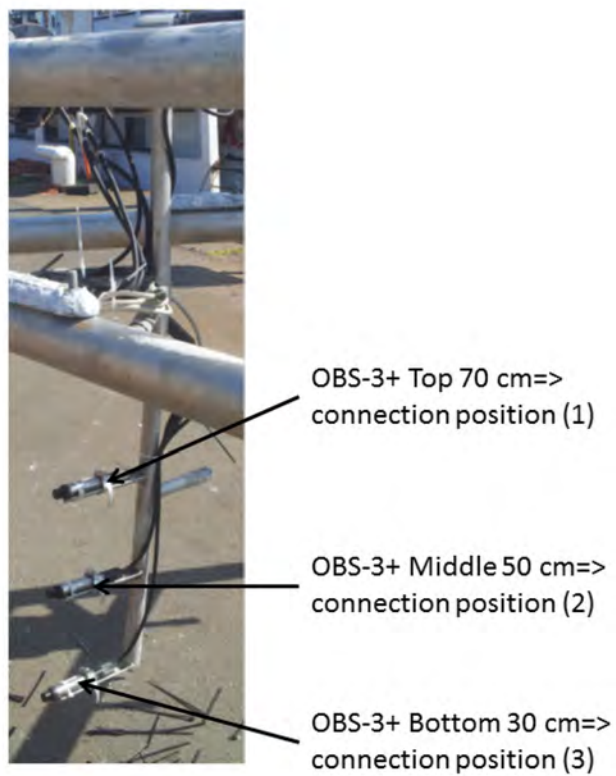
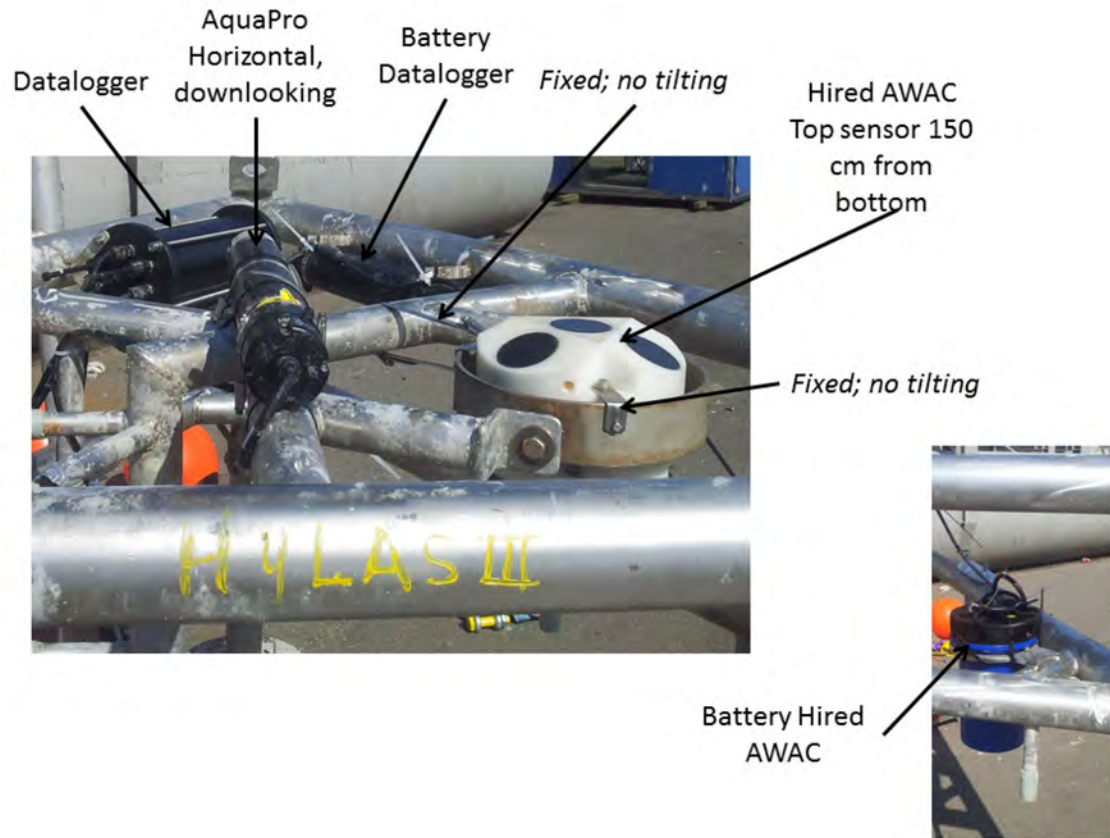
```

=====
Deployment      : HYLAS3
Current time   : 8/08/2014 8:18:16
Start at      : 8/08/2014 10:00:00
Comment       :
AWAC - 20140808_AWAC (hylas3)
=====
Profile interval (s) : 300
Number of cells     : 24
Cell size (m)       : 0.50
Average interval (s) : 60
Blanking distance (m) : 0.41
Measurement load (%) : 25
Power level         : HIGH
Number of wave samples : 2400
Wave interval (s)   : 3600
Wave sampling rate (Hz) : 2
Wave AST Ice mode   : DISABLED
Wave AST SUV mode   : DISABLED
Compass upd. rate (s) : 300
Coordinate System   : ENU
Speed of sound (m/s) : MEASURED
Salinity (ppt)      : 35
=====
Analog input 1      : NONE
Analog input 2      : NONE
Analog input power out : DISABLED
File wrapping       : OFF
Tel/Tale            : OFF
Acoustic modem      : OFF
Serial output       : OFF
=====
Onboard wave processing : DISABLED
=====
Assumed duration (days) : 30.0
Battery utilization (%) : 43.0
Battery level (V)       : 13.5
Recorder size (MB)      : 82
Recorder free space (MB) : 81.975
Memory required (MB)    : 42.6
Vertical vel. prec (cm/s) : 1.8
Horizon. vel. prec (cm/s) : 5.4
=====
Instrument ID       : WPR 104
Head ID            : WAV 5072
Firmware version    : 1.19 AST
=====
AWAC AST Version 1.44
Copyright (C) Nortek AS
=====

```

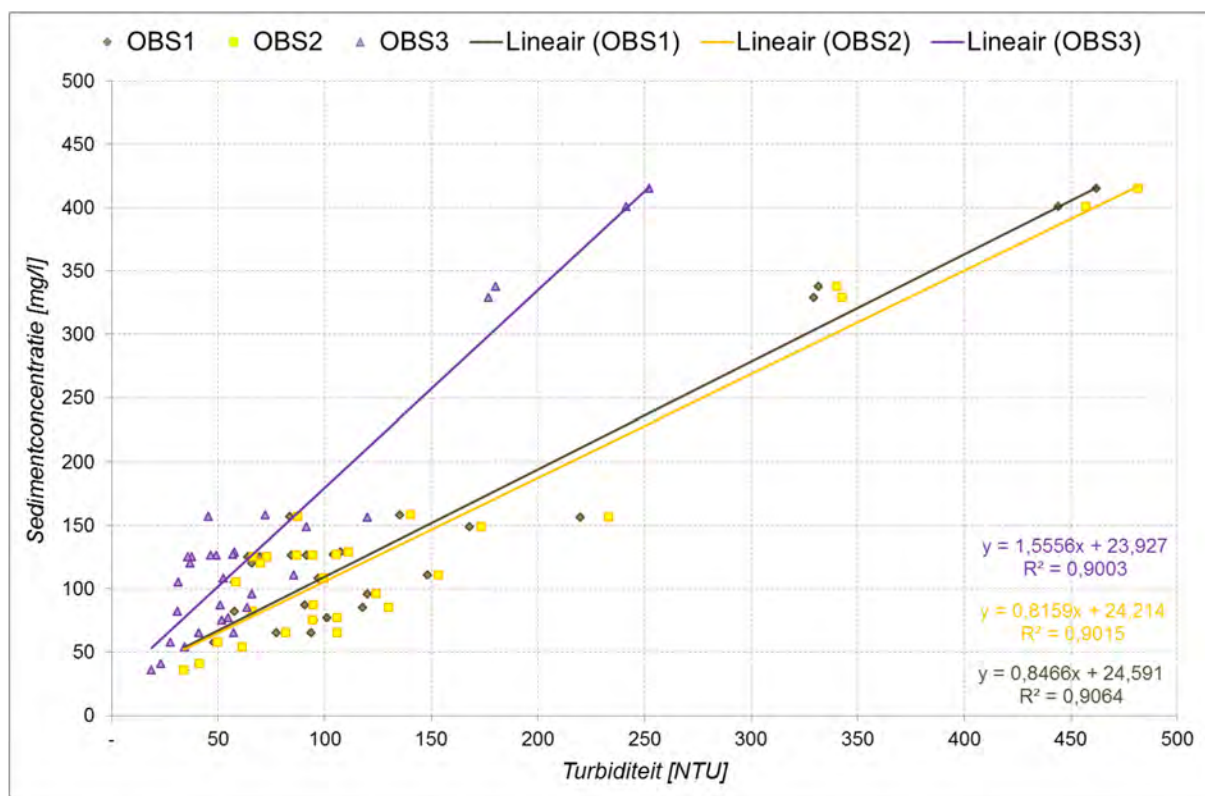




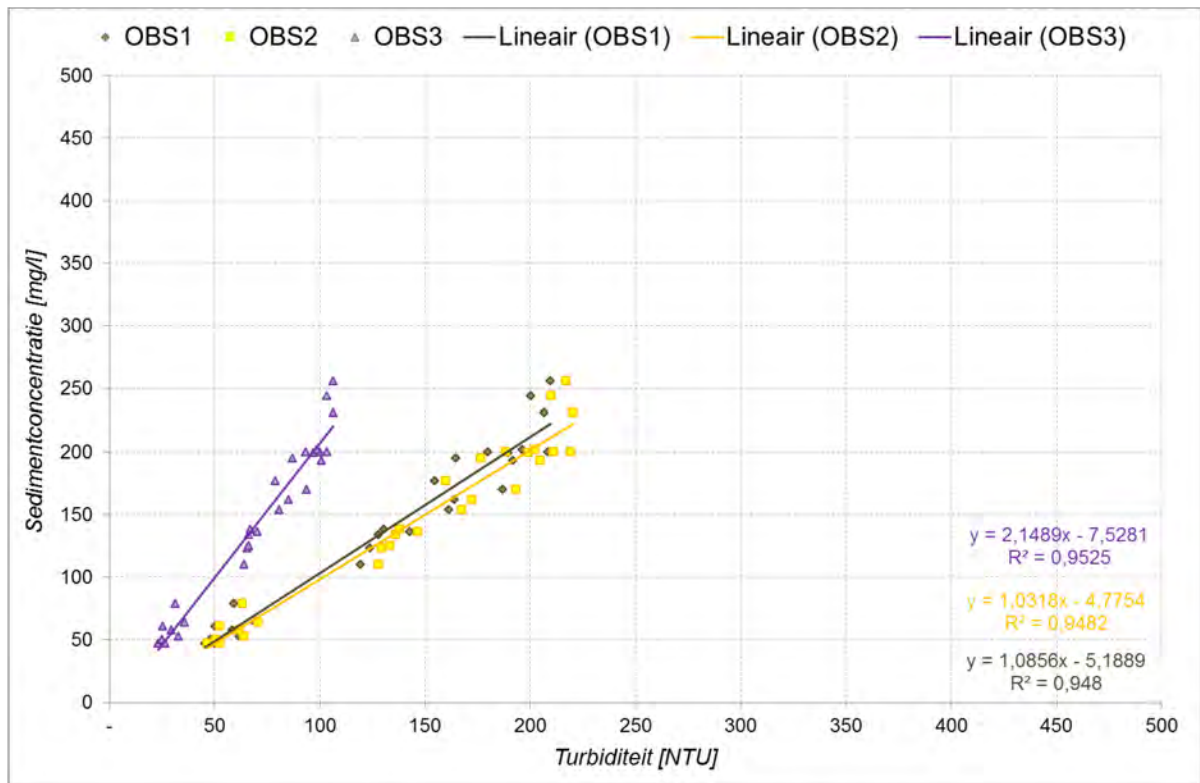


Bijlage F – IJking indirecte meettoestellen

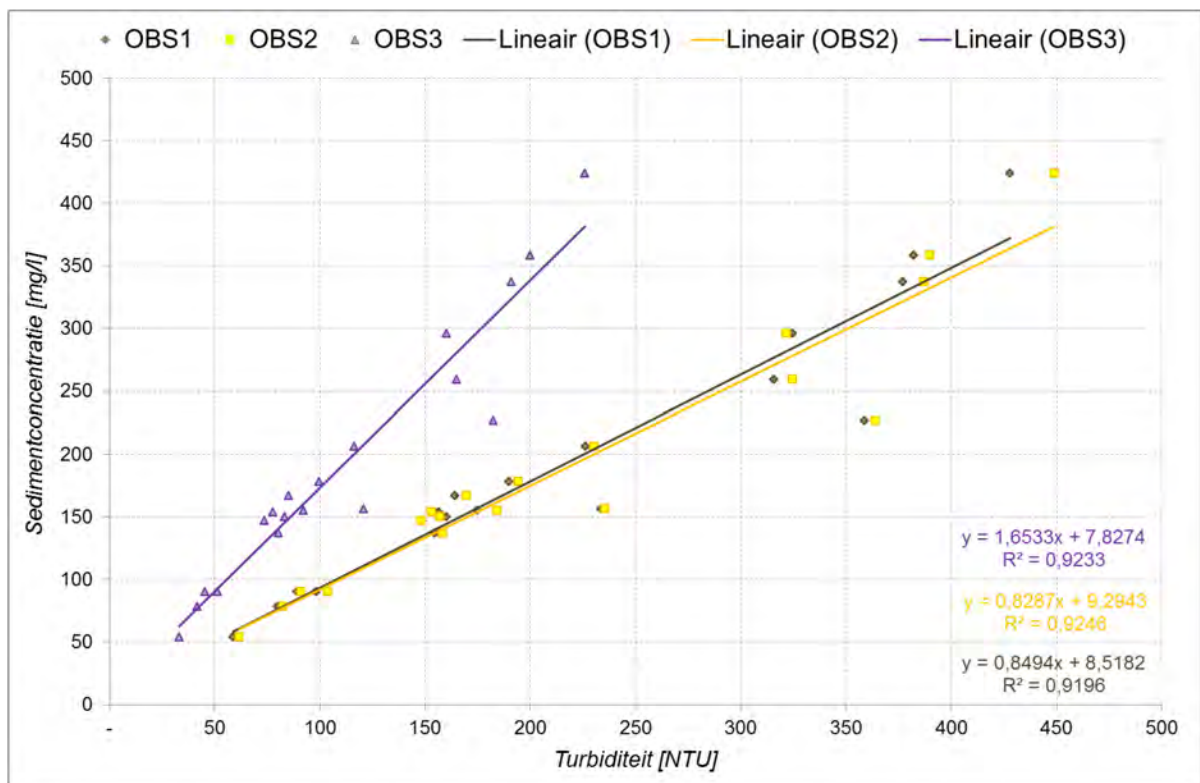
Figuur 66 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS I (10/09/2014)



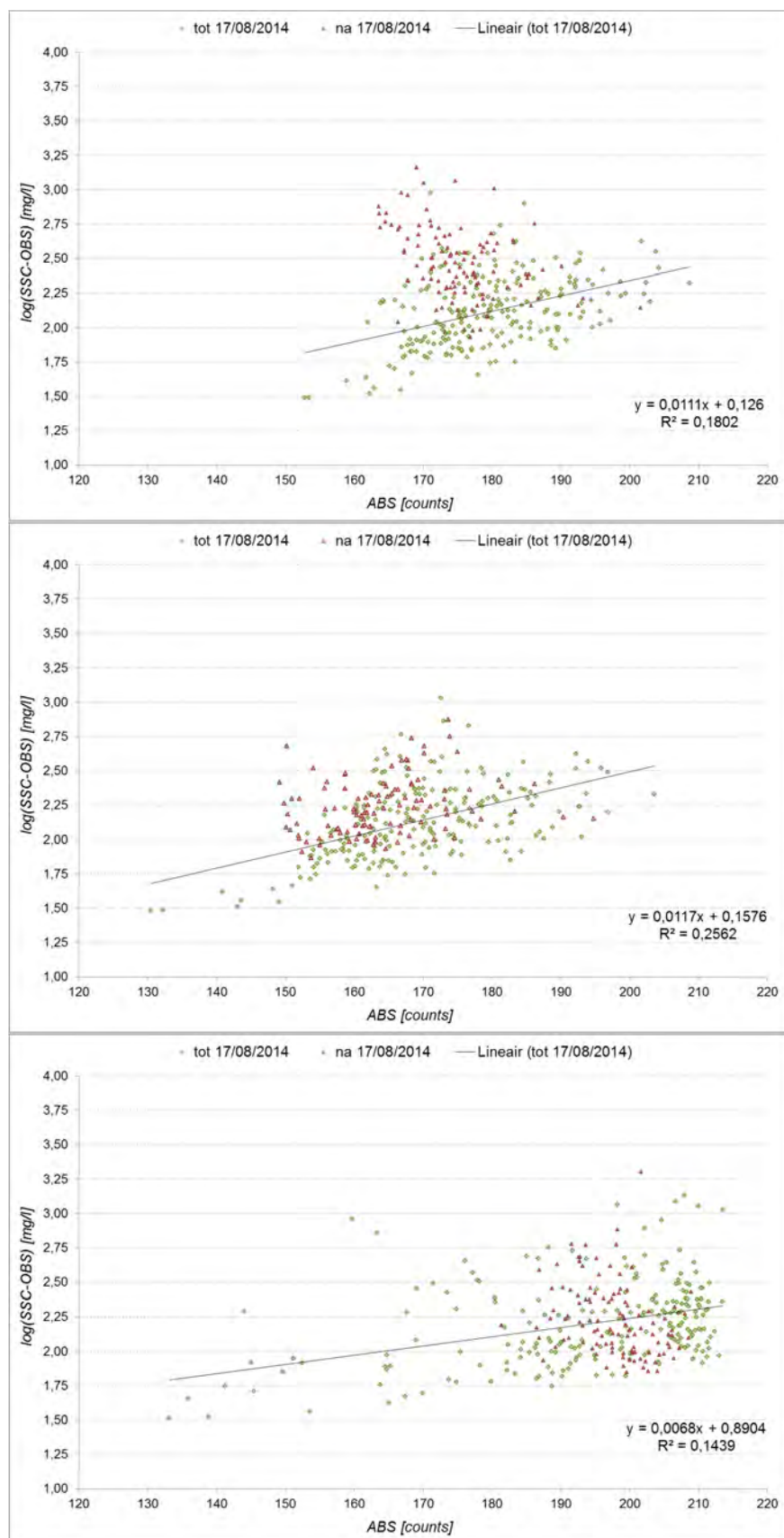
Figuur 67 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS II (09/09/2014)



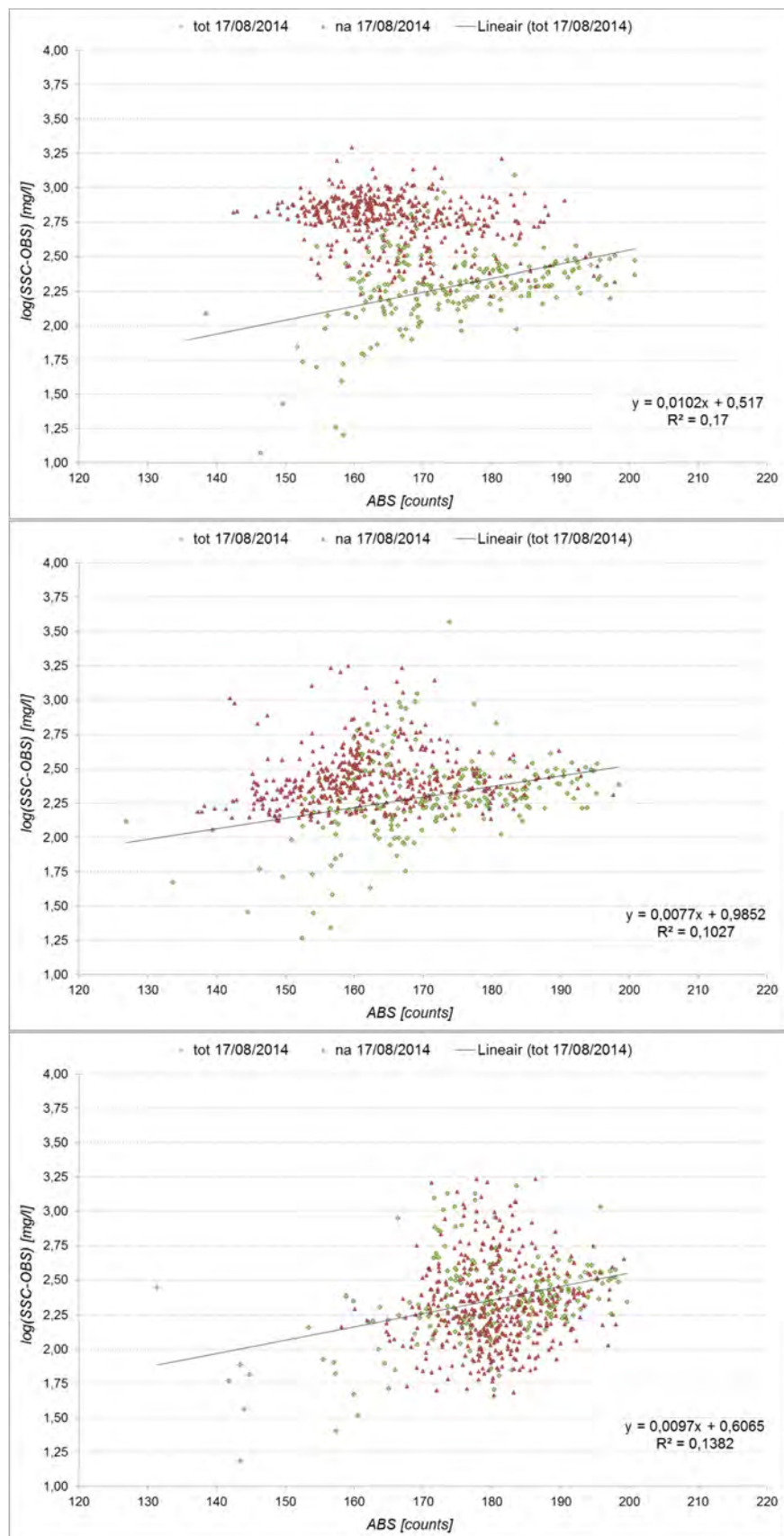
Figuur 68 – IJking OBS-3+ voor meetframe HYLAS III (11/09/2014)



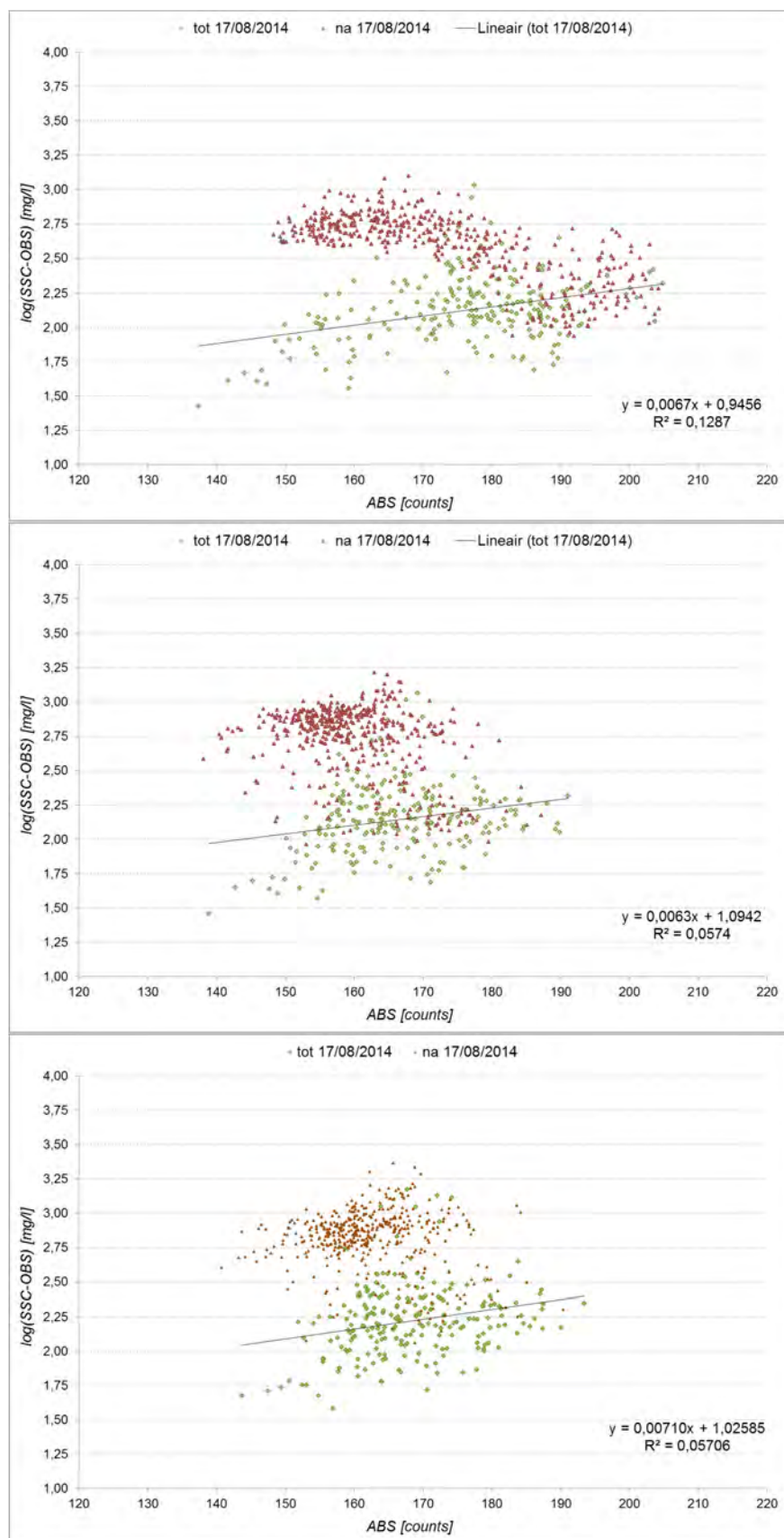
Figuur 69 – IJking ABS voor meetframe HYLAS I [OBS1 (boven) | OBS2 (midden) | OBS3 (onder)]



Figuur 70 – IJking ABS voor meetframe HYLAS II [OBS1 (boven) | OBS2 (midden) | OBS3 (onder)]

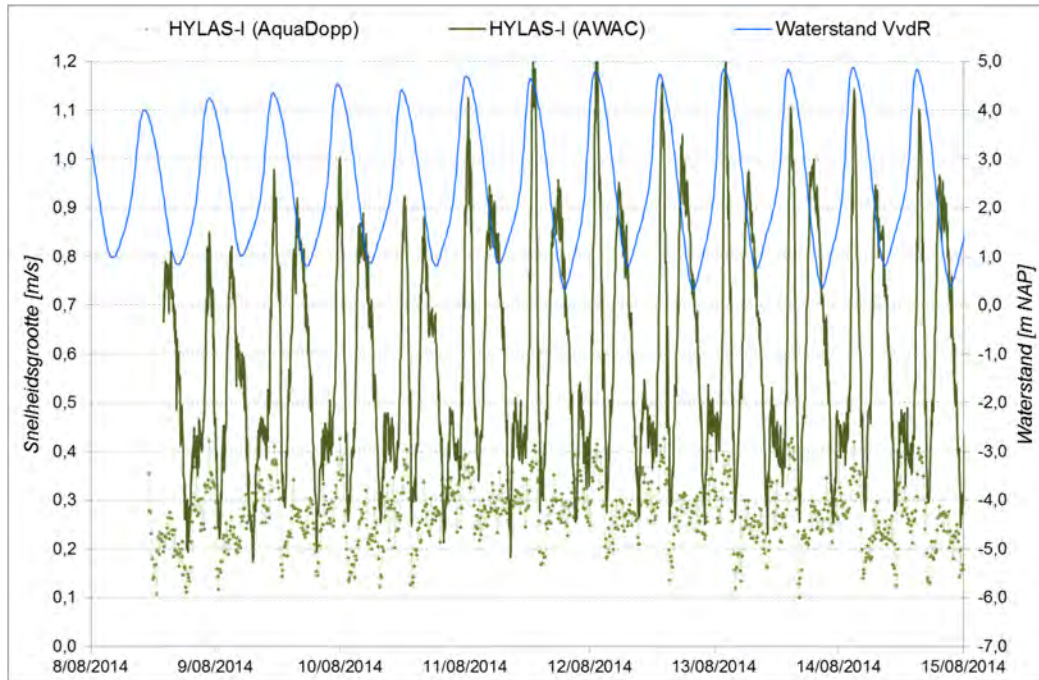


Figuur 71 – IJking ABS voor meetframe HYLAS III [OBS1 (boven) | OBS2 (midden) | OBS3 (onder)]

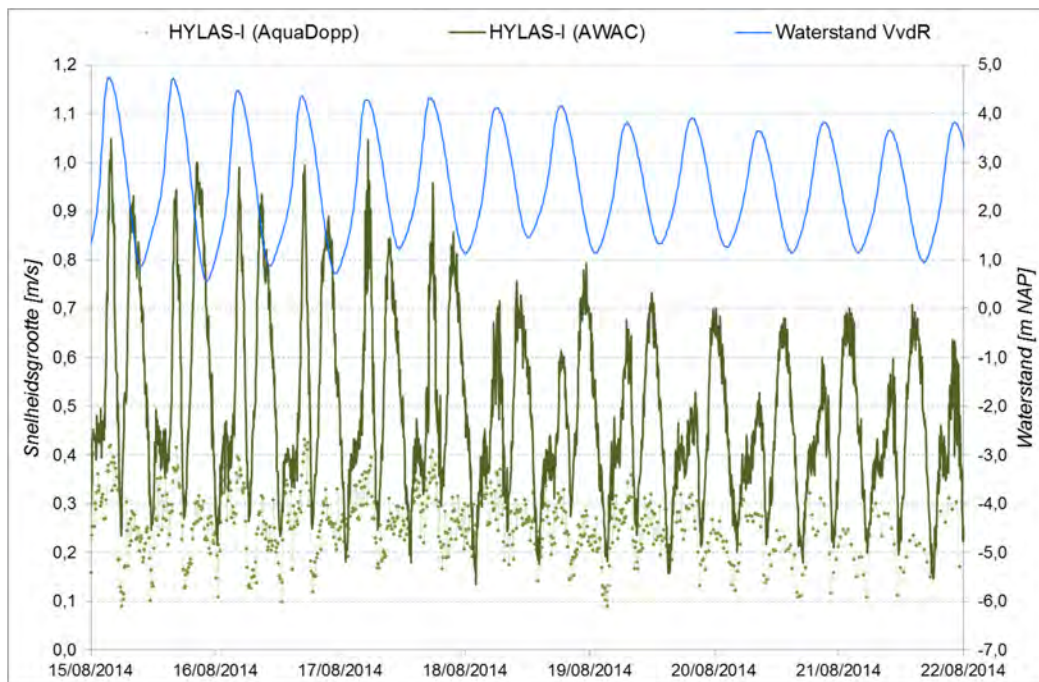


Bijlage G – Langdurige metingen

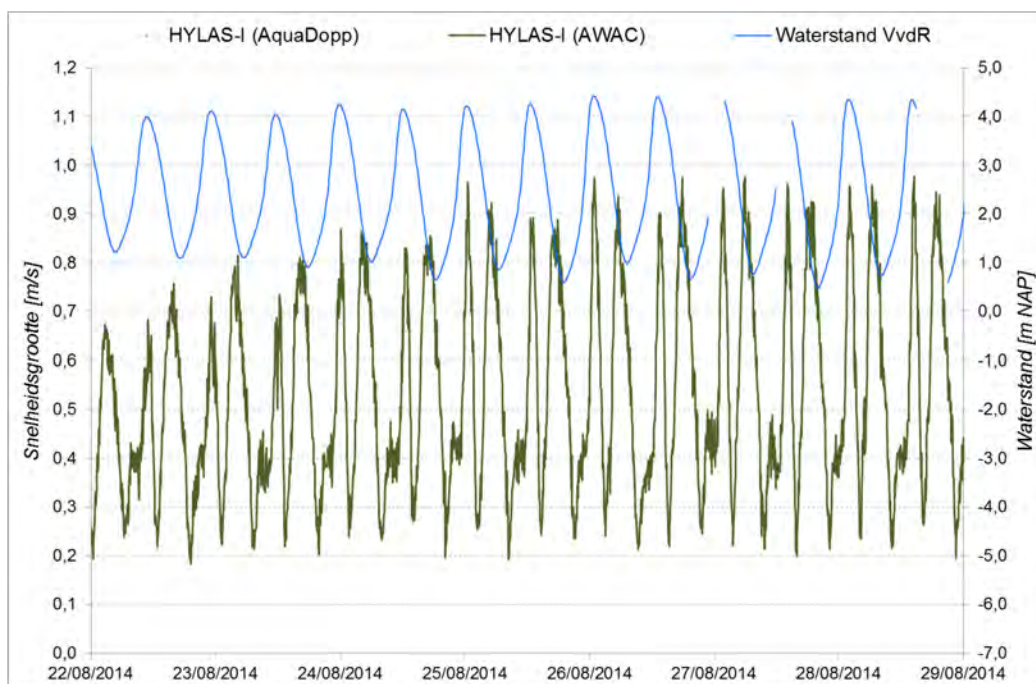
Figuur 72 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS I - week 1)



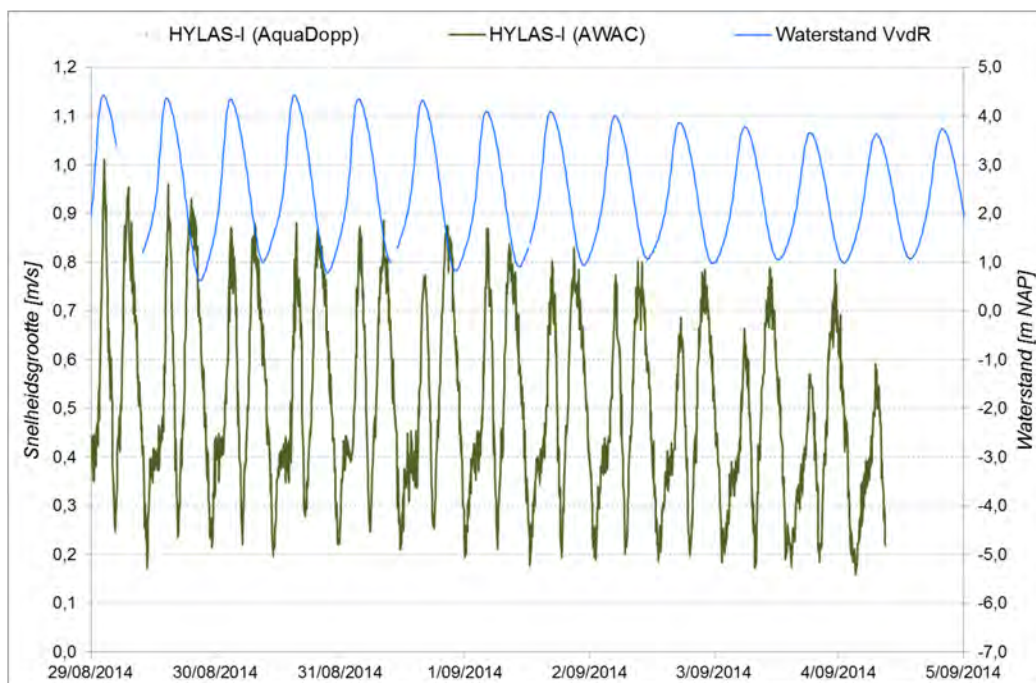
Figuur 73 – Stroming AWAC en AquaDopp (HYLAS I - week 2)



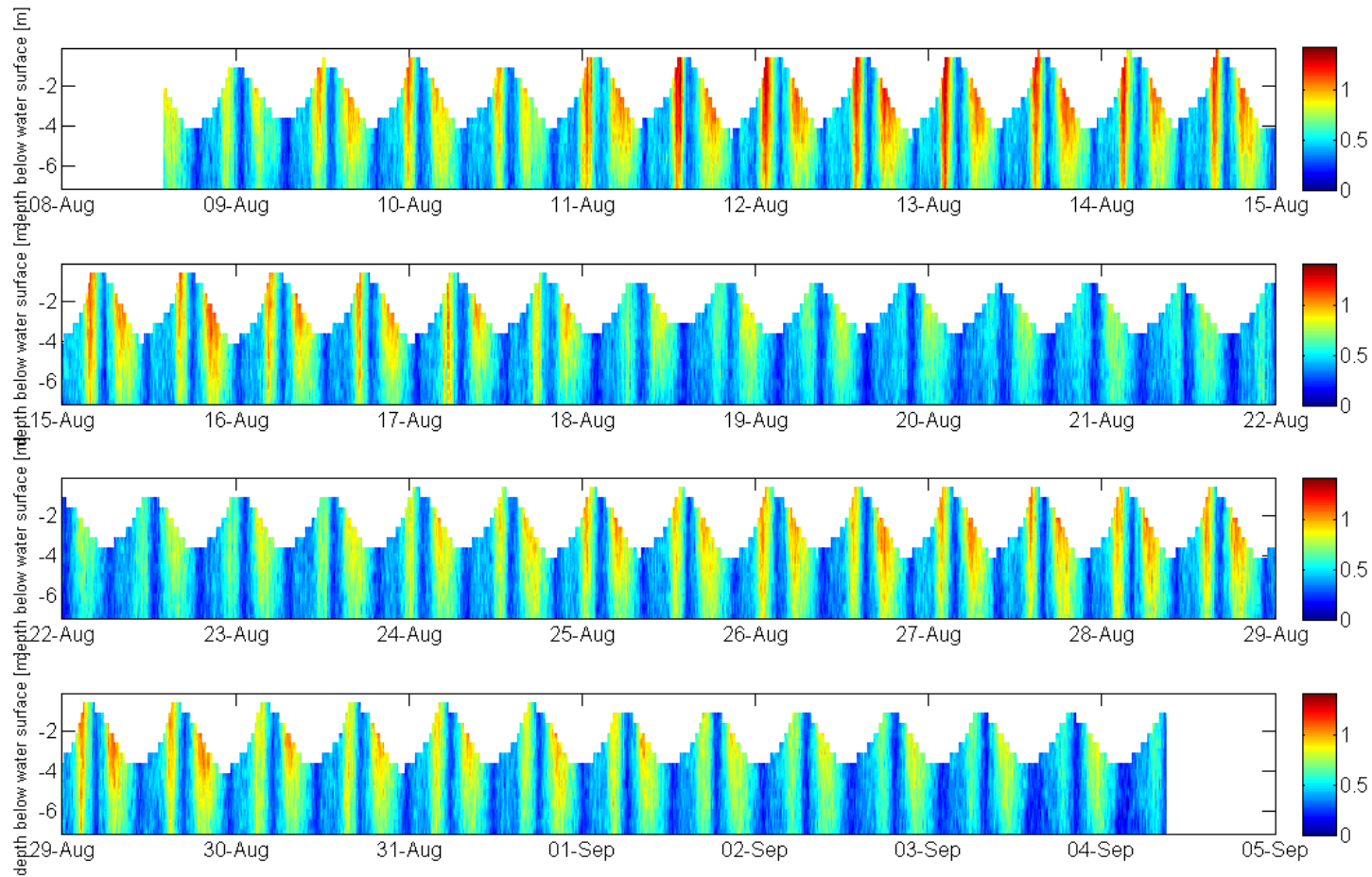
Figuur 74 – Stroming AWAC (HYLAS I - week 3)



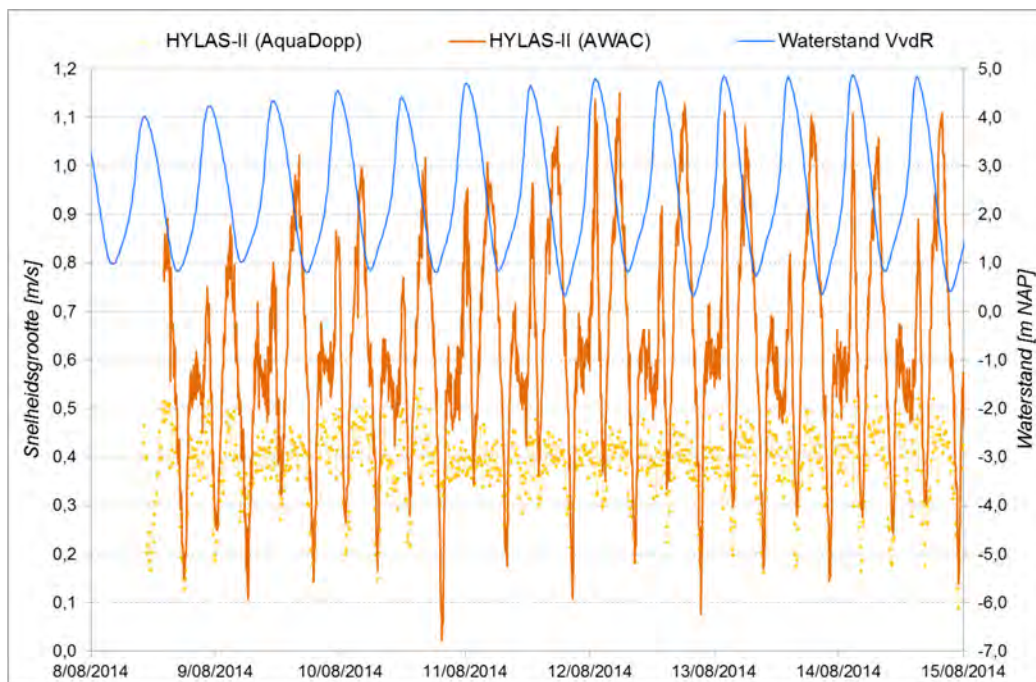
Figuur 75 – Stroming AWAC (HYLAS I - week 4)



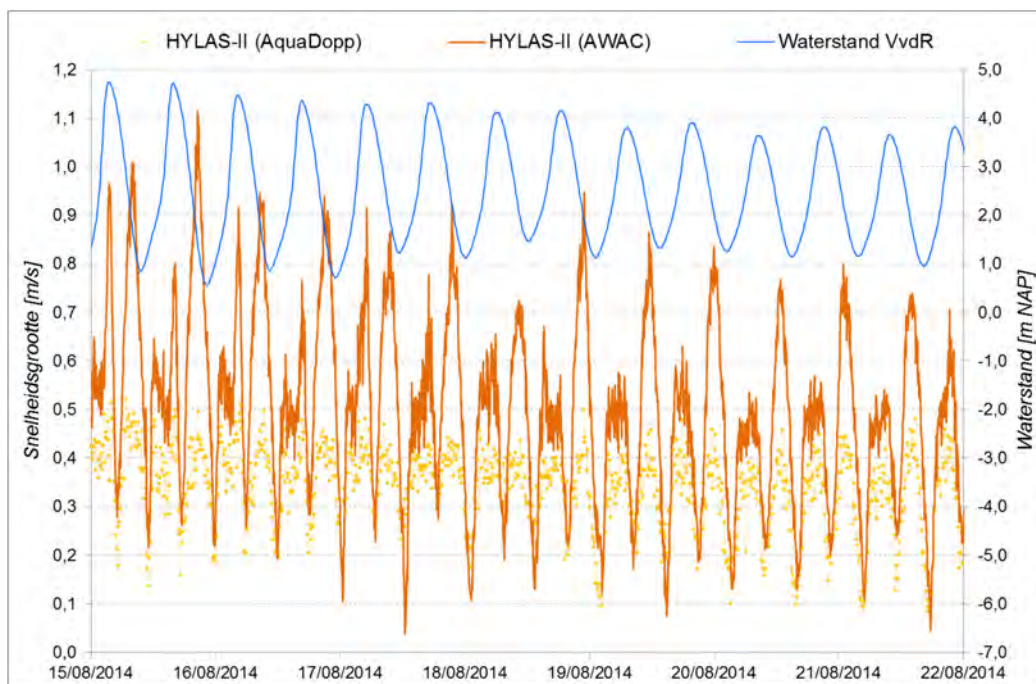
Figuur 76 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS I)



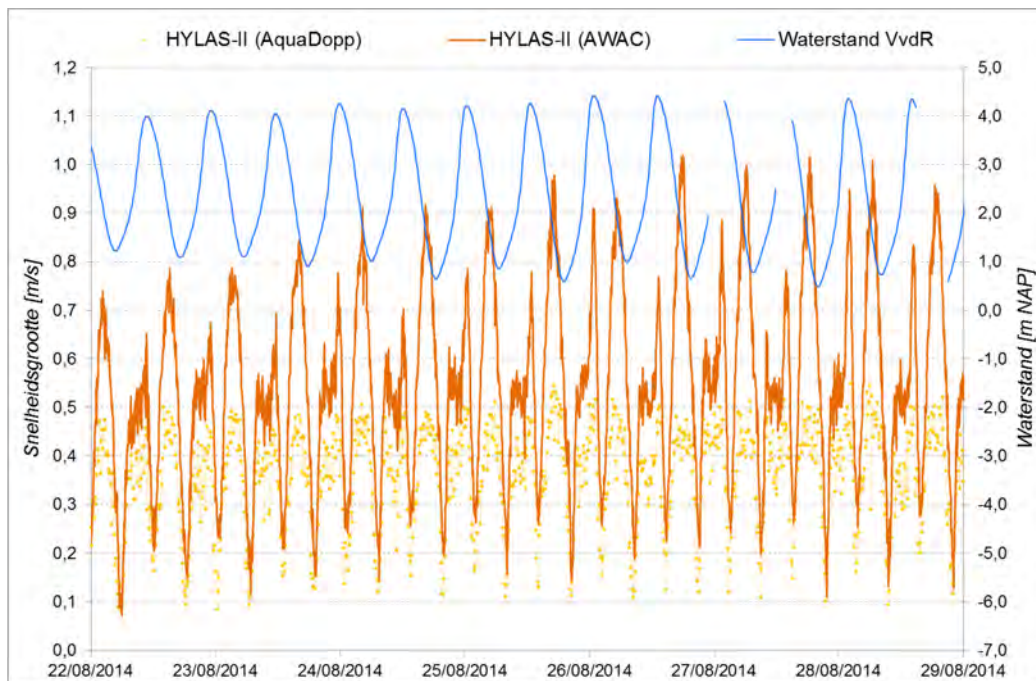
Figuur 77 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 1)



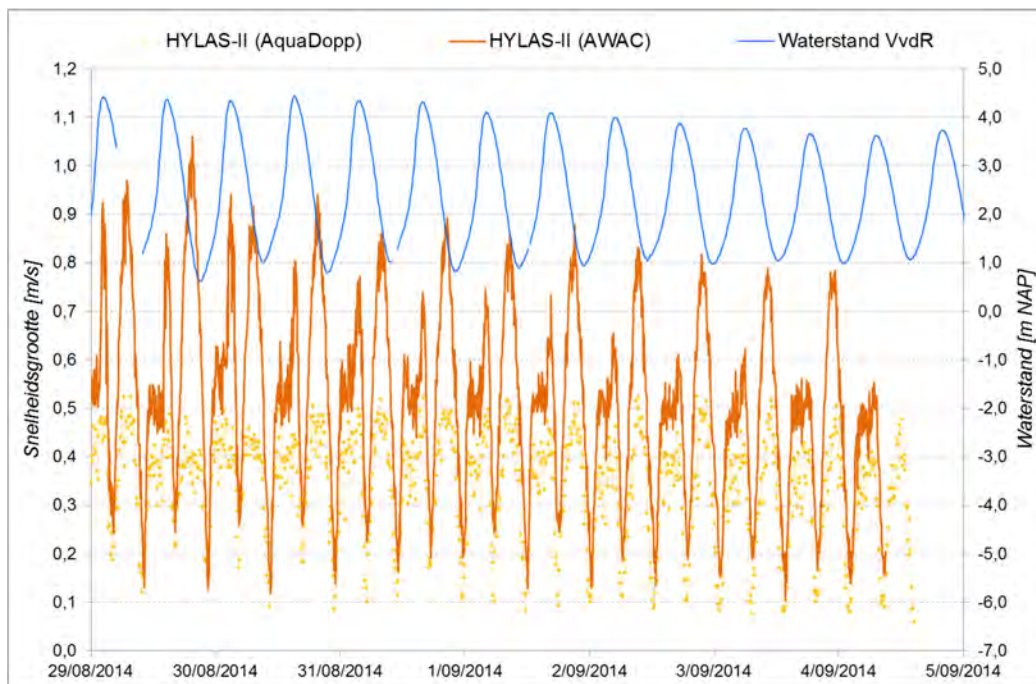
Figuur 78 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 2)



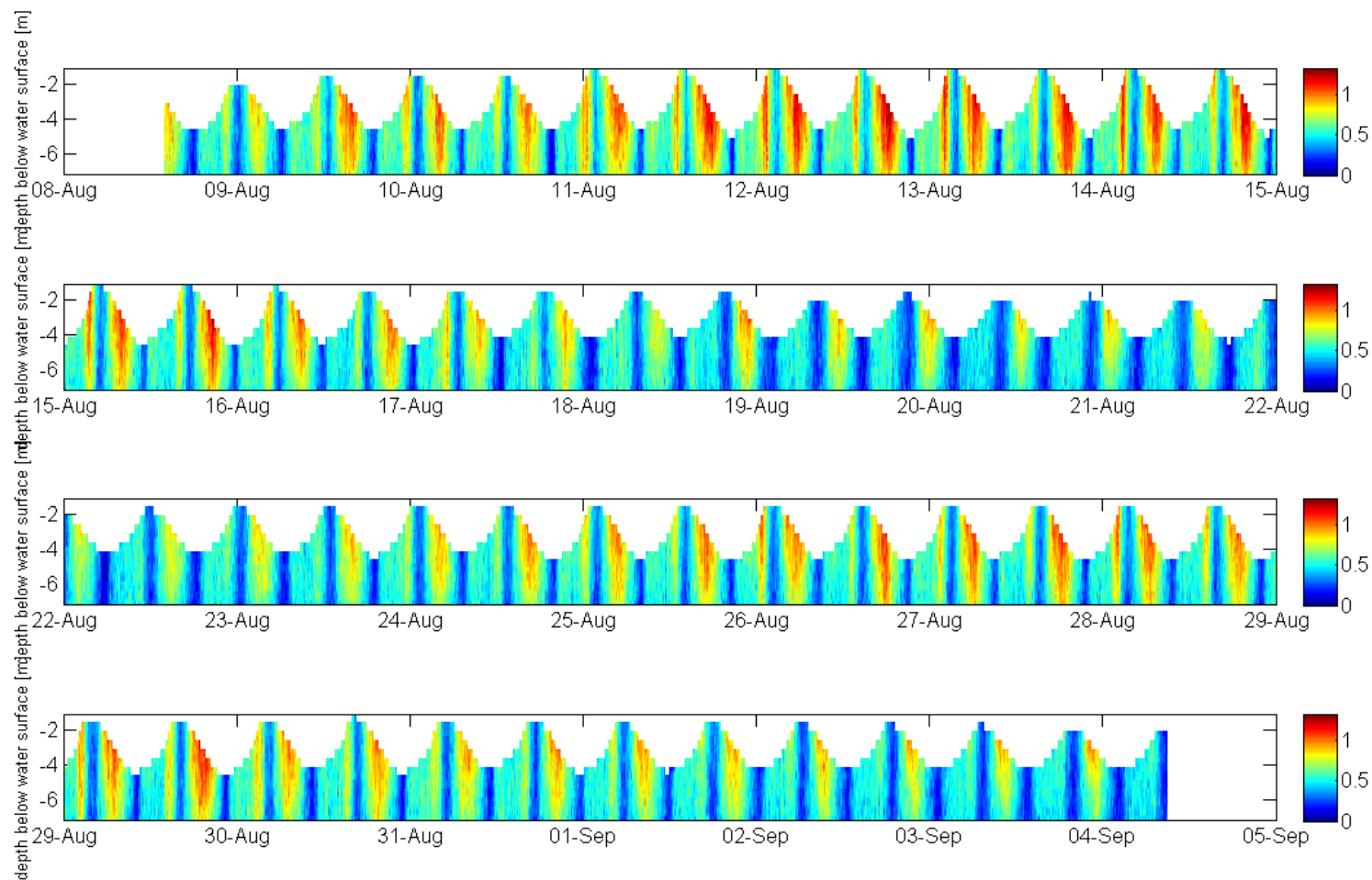
Figuur 79 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 3)



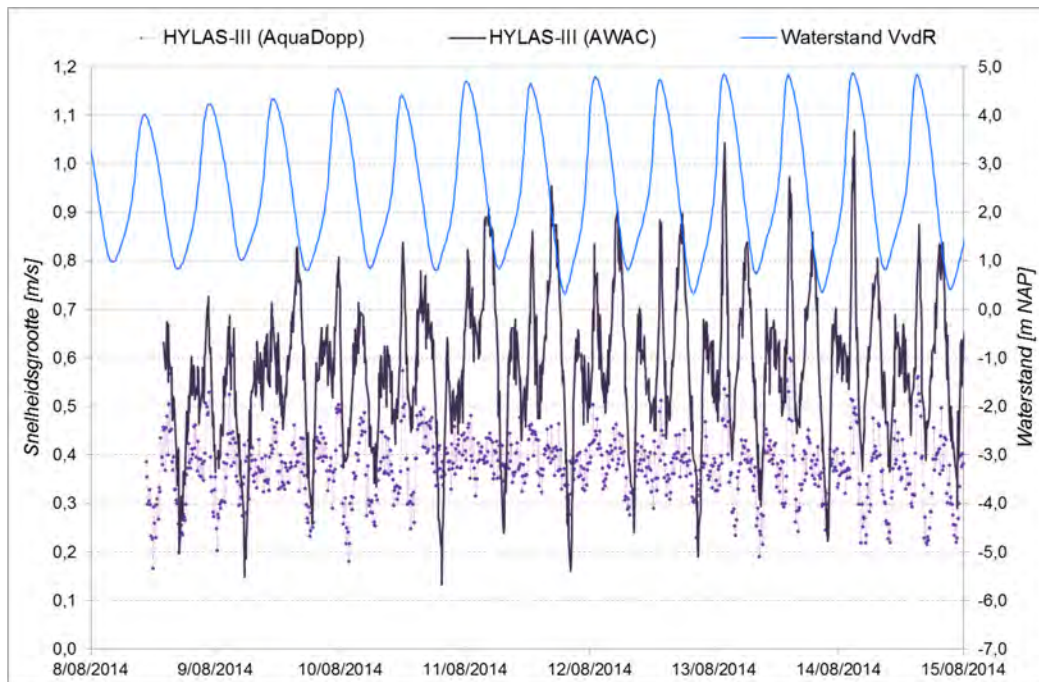
Figuur 80 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS II - week 4)



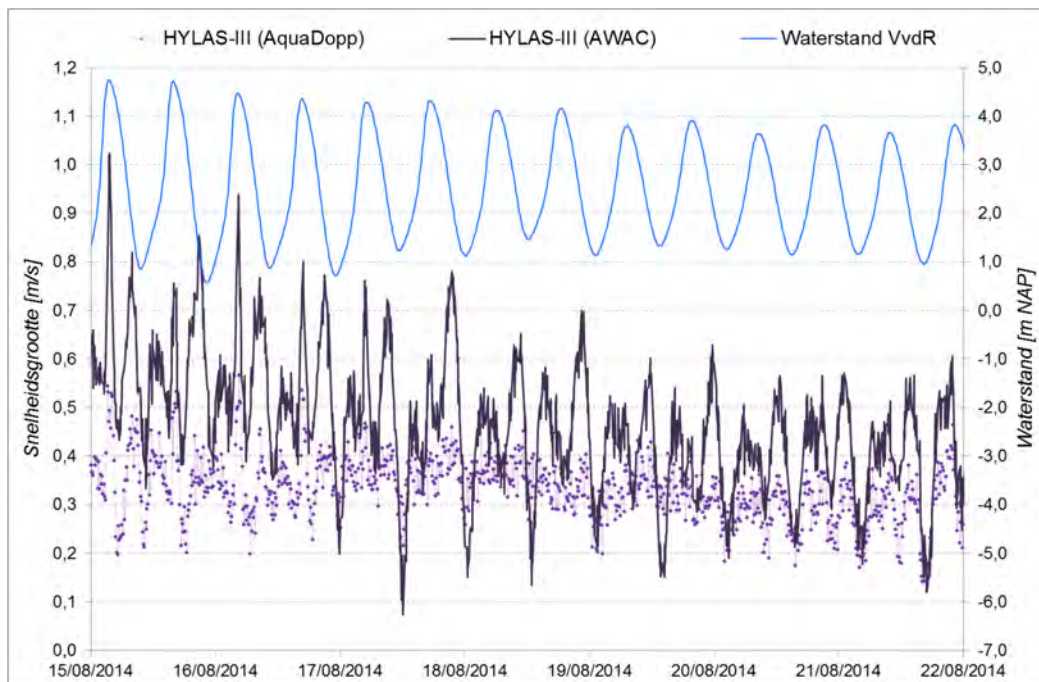
Figuur 81 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS II)



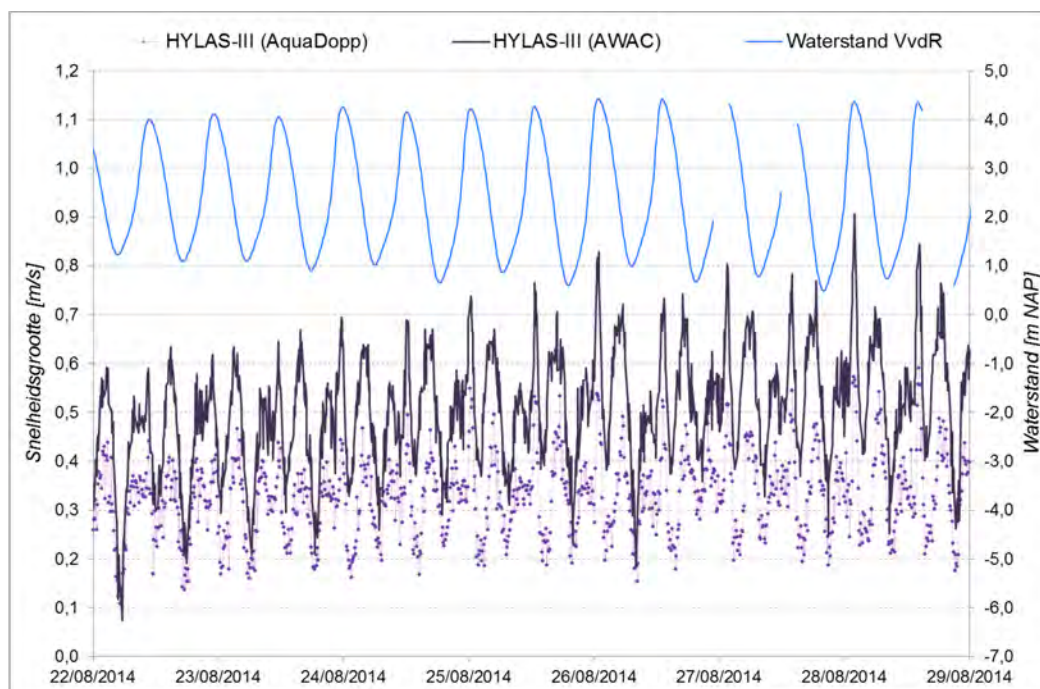
Figuur 82 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 1)



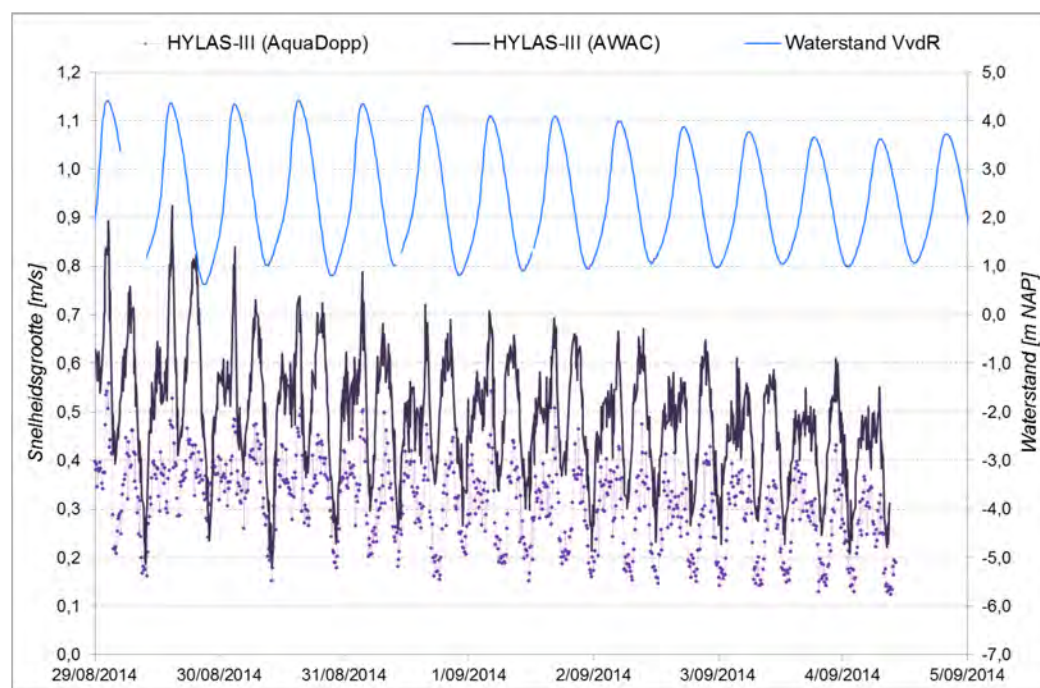
Figuur 83 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 2)



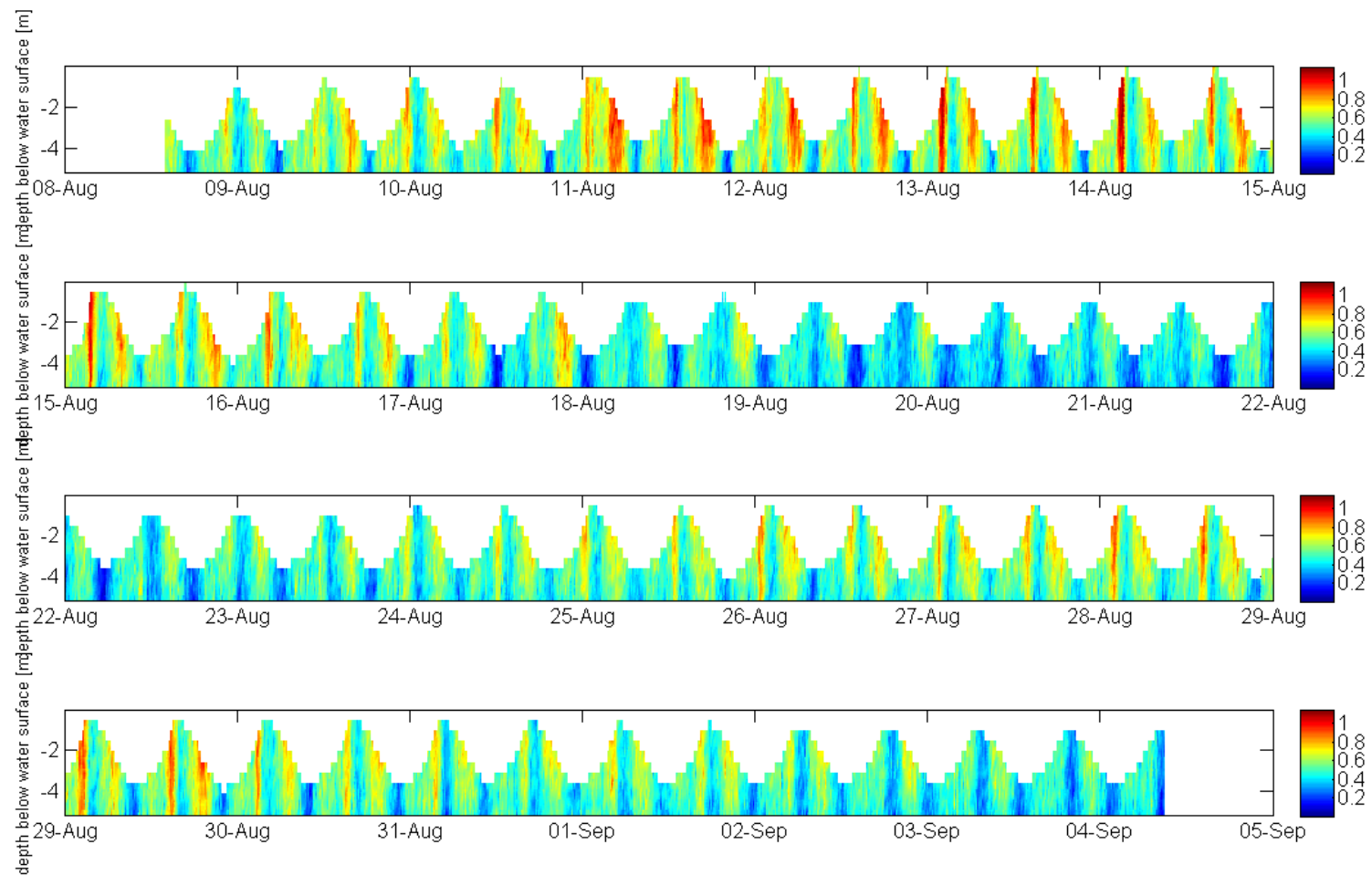
Figuur 84 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 3)



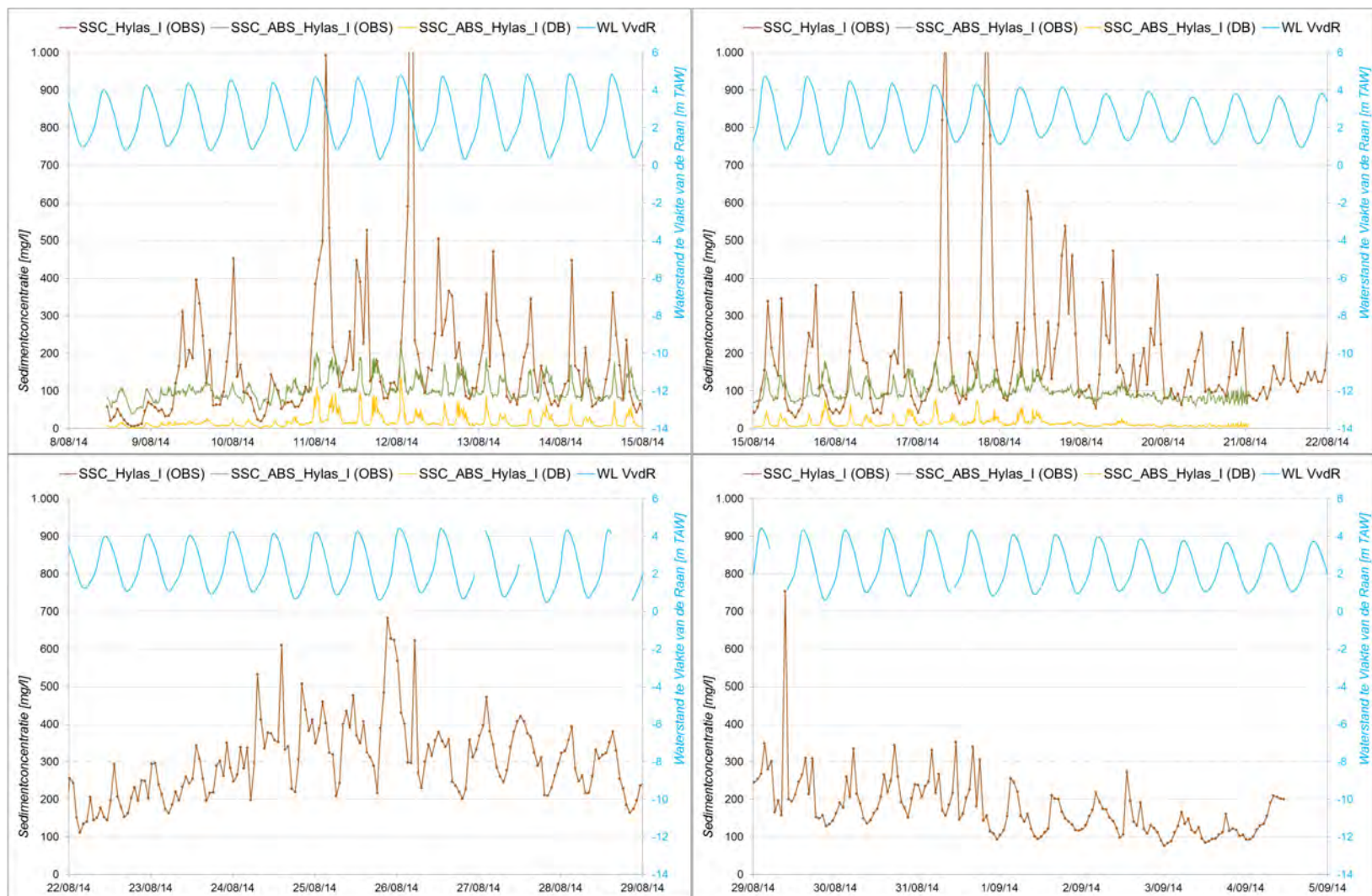
Figuur 85 – Strooming AWAC en AquaDopp (HYLAS III - week 4)



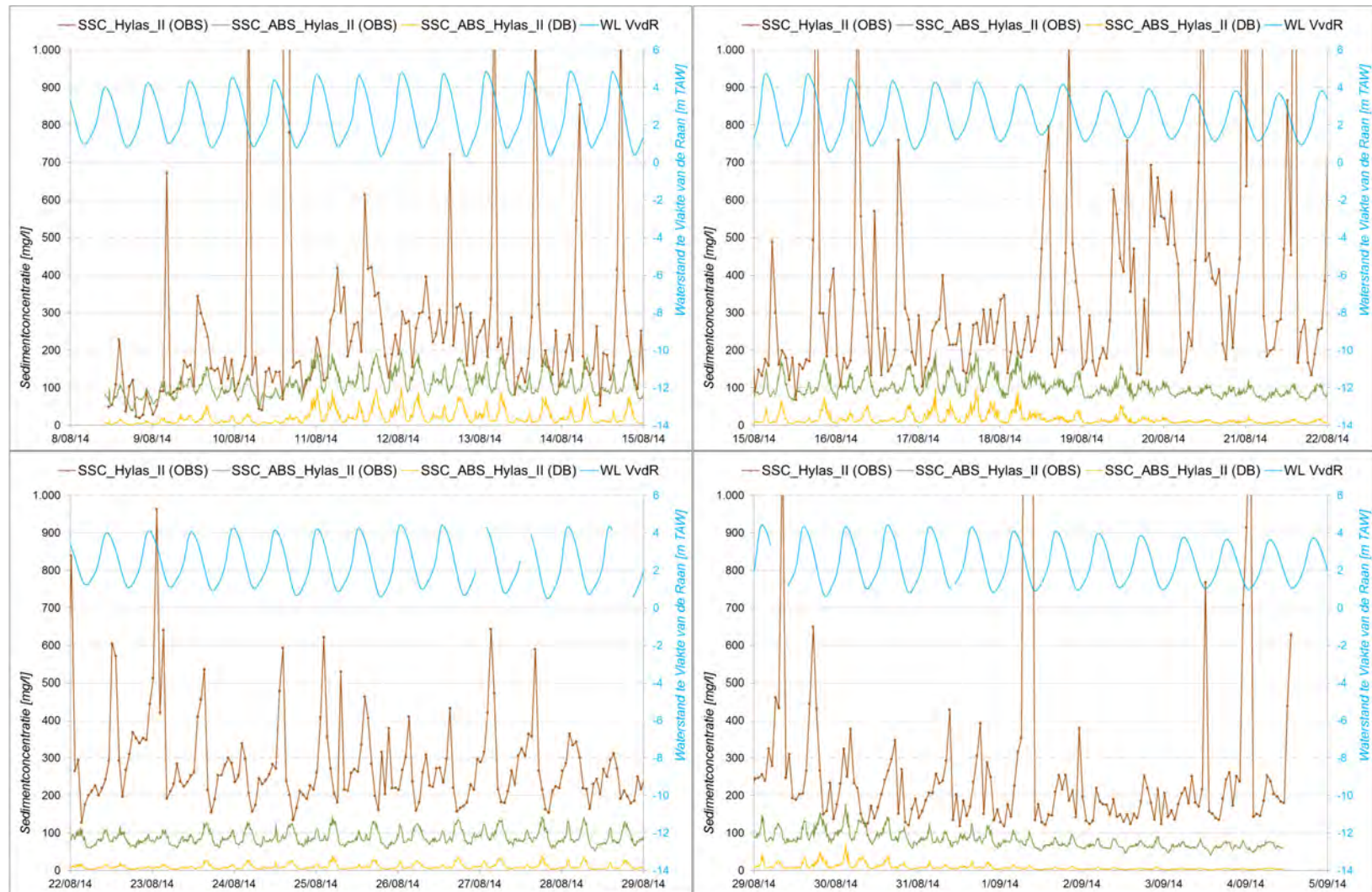
Figuur 86 – Stromingsprofielen AWAC (HYLAS III)



Figuur 87 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS I (OBS @ Bodem+60cm)



Figuur 88 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS II (OBS @ Bodem+60cm)

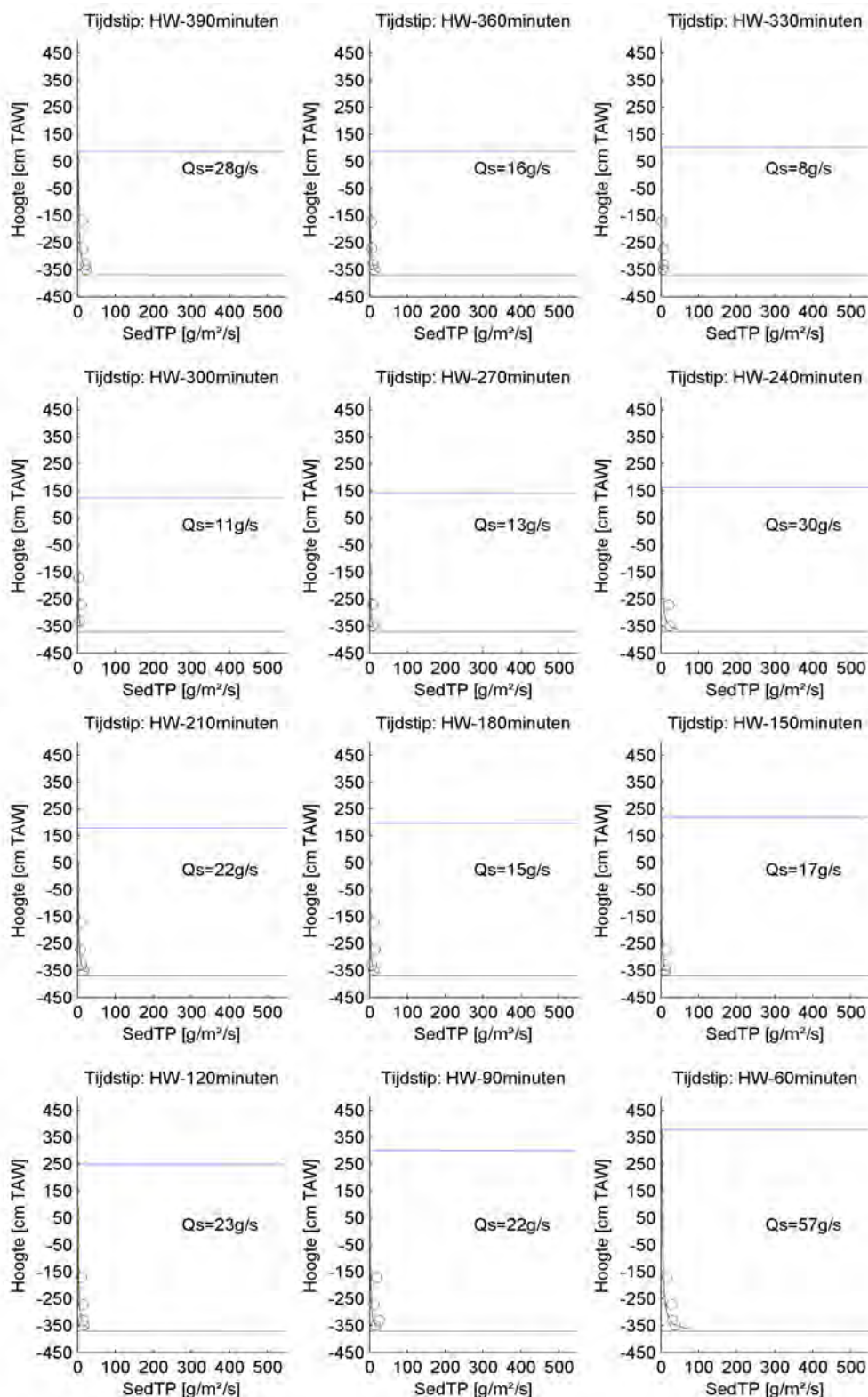


Figuur 89 – Verloop sedimentconcentratie frame HYLAS III (OBS @ Bodem+60cm)

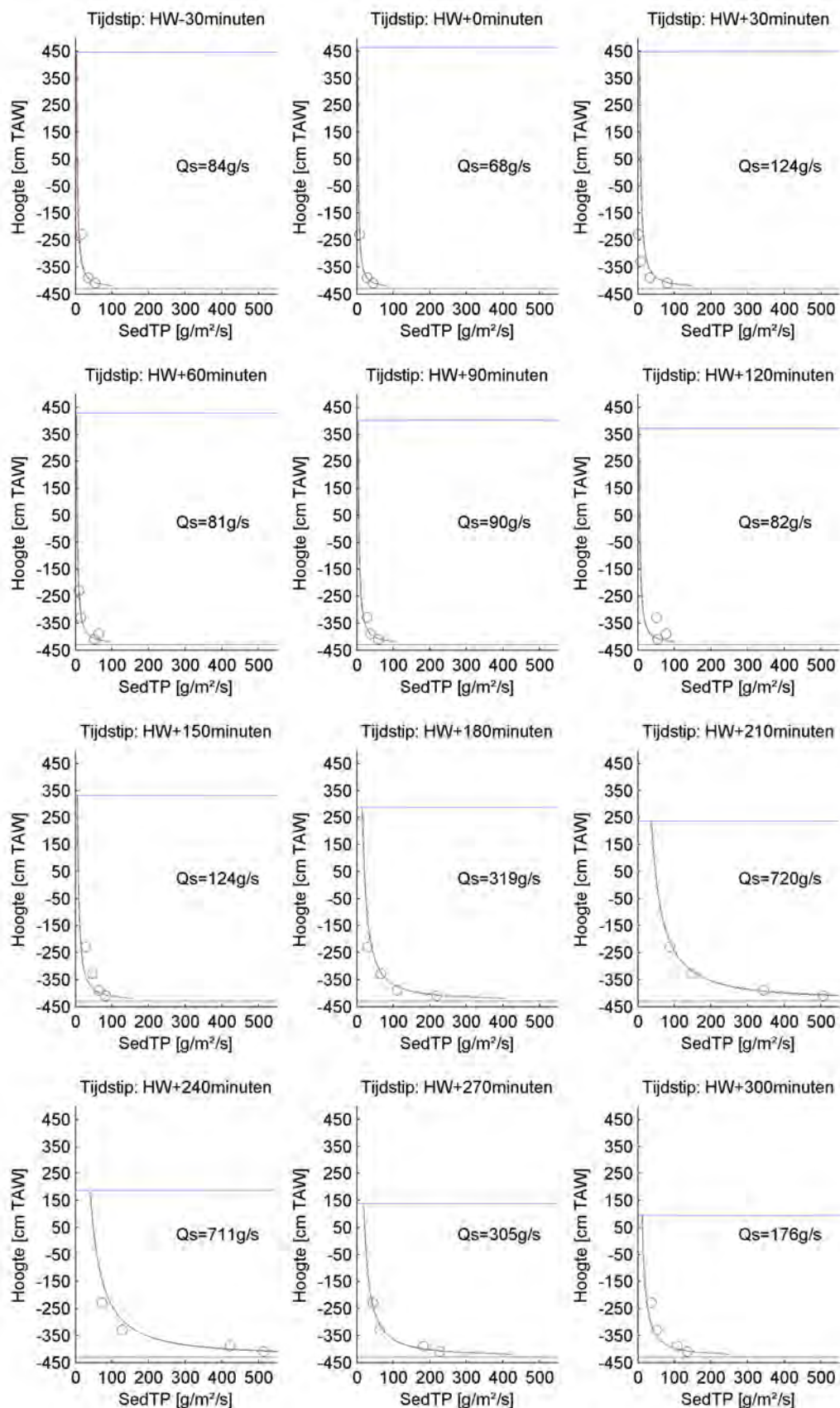


Bijlage I – Geul van de Walvischstaart 2 (09/09/2014)

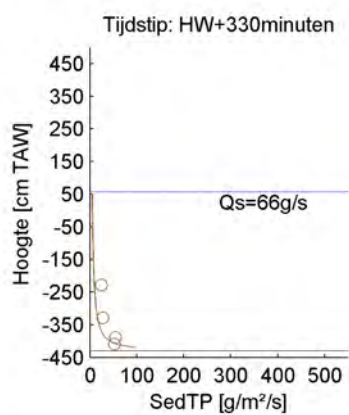
Figuur 90 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)



Figuur 91 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

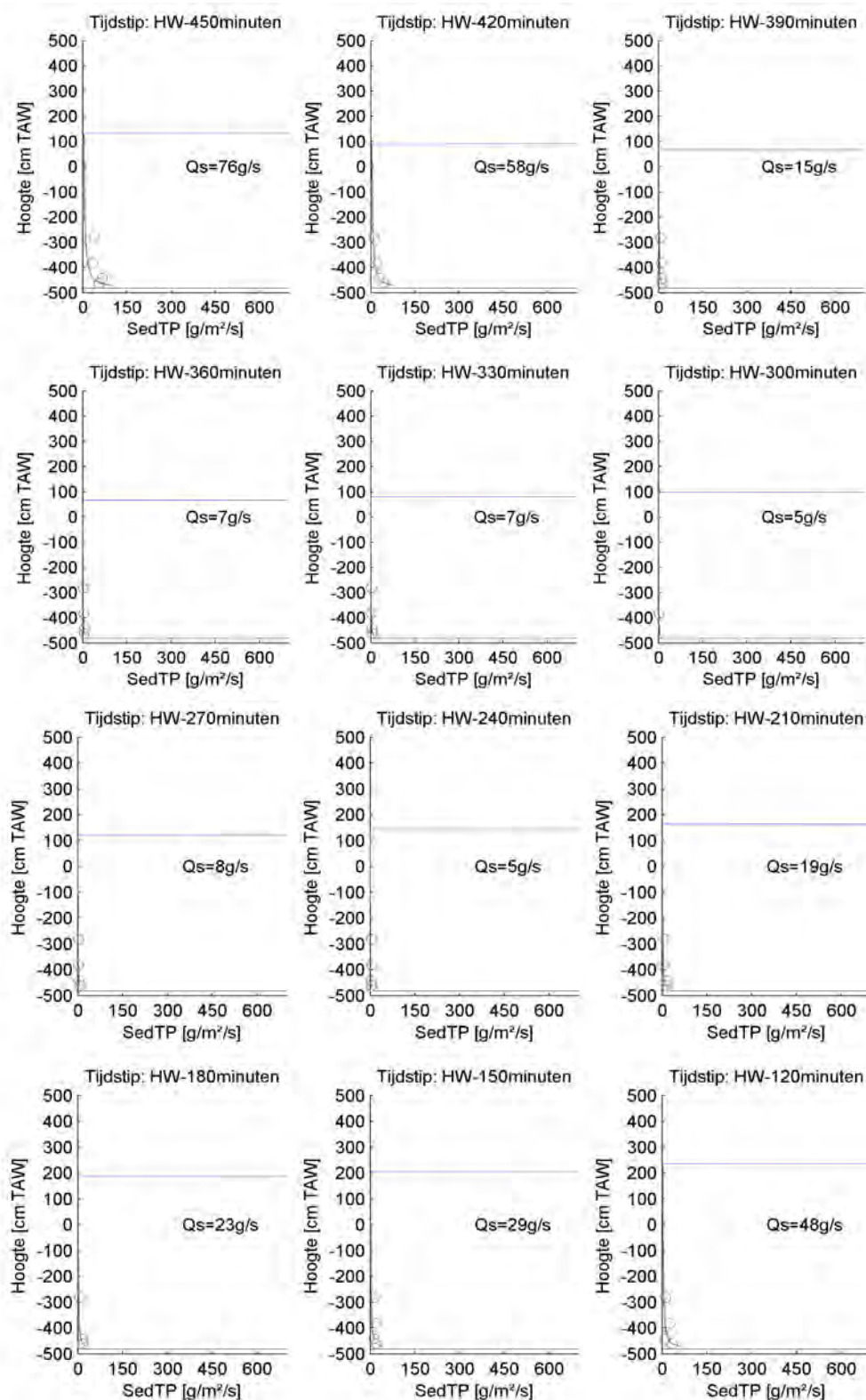


Figuur 92 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)

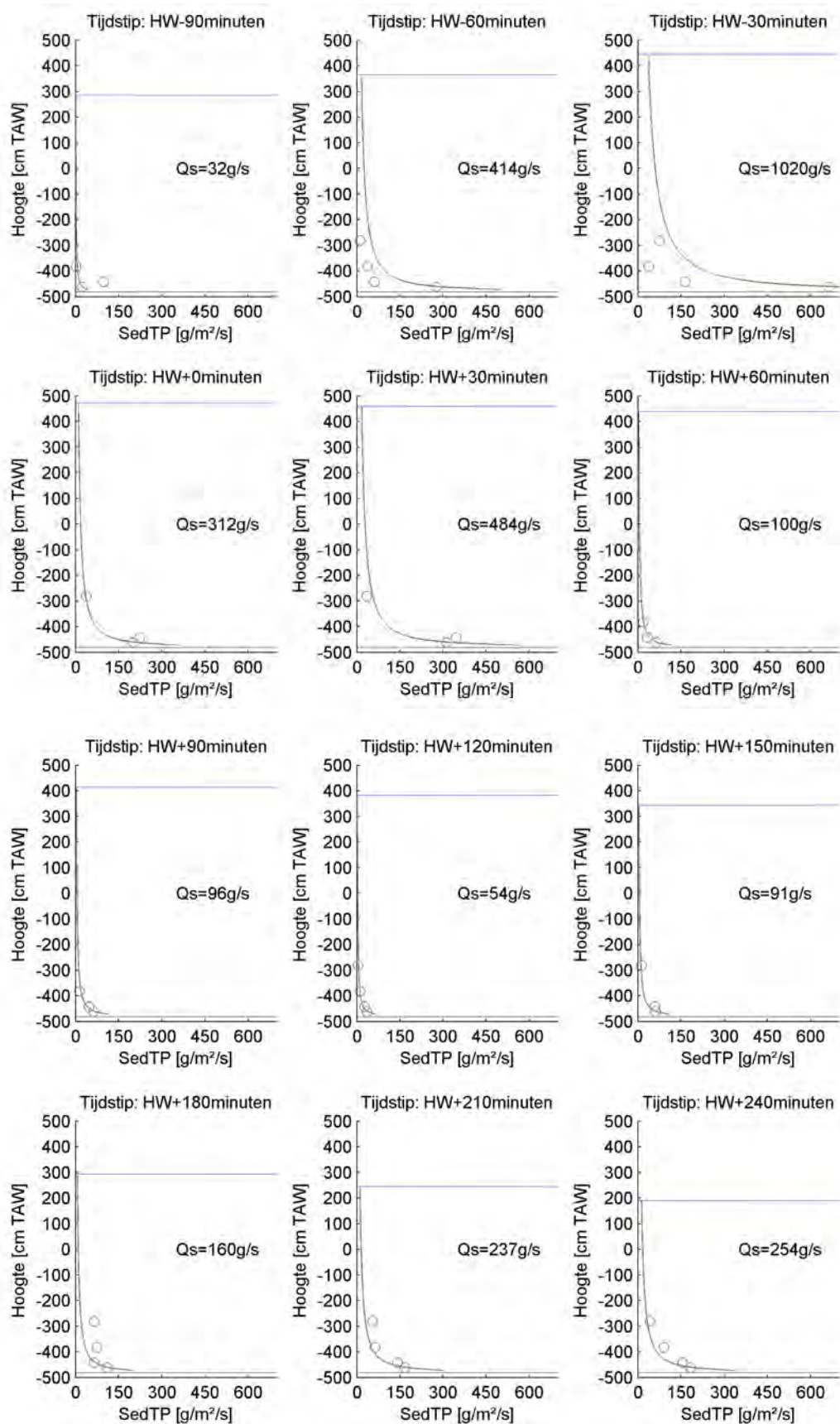


Bijlage J – Geul van de Walvischstaart 1 (10/09/2014)

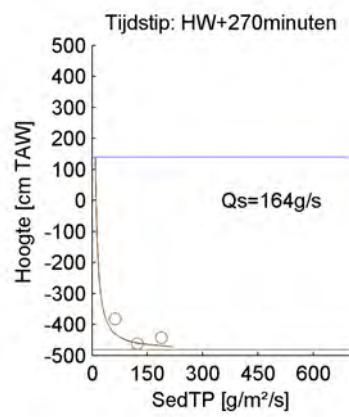
Figuur 93 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)



Figuur 94 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)

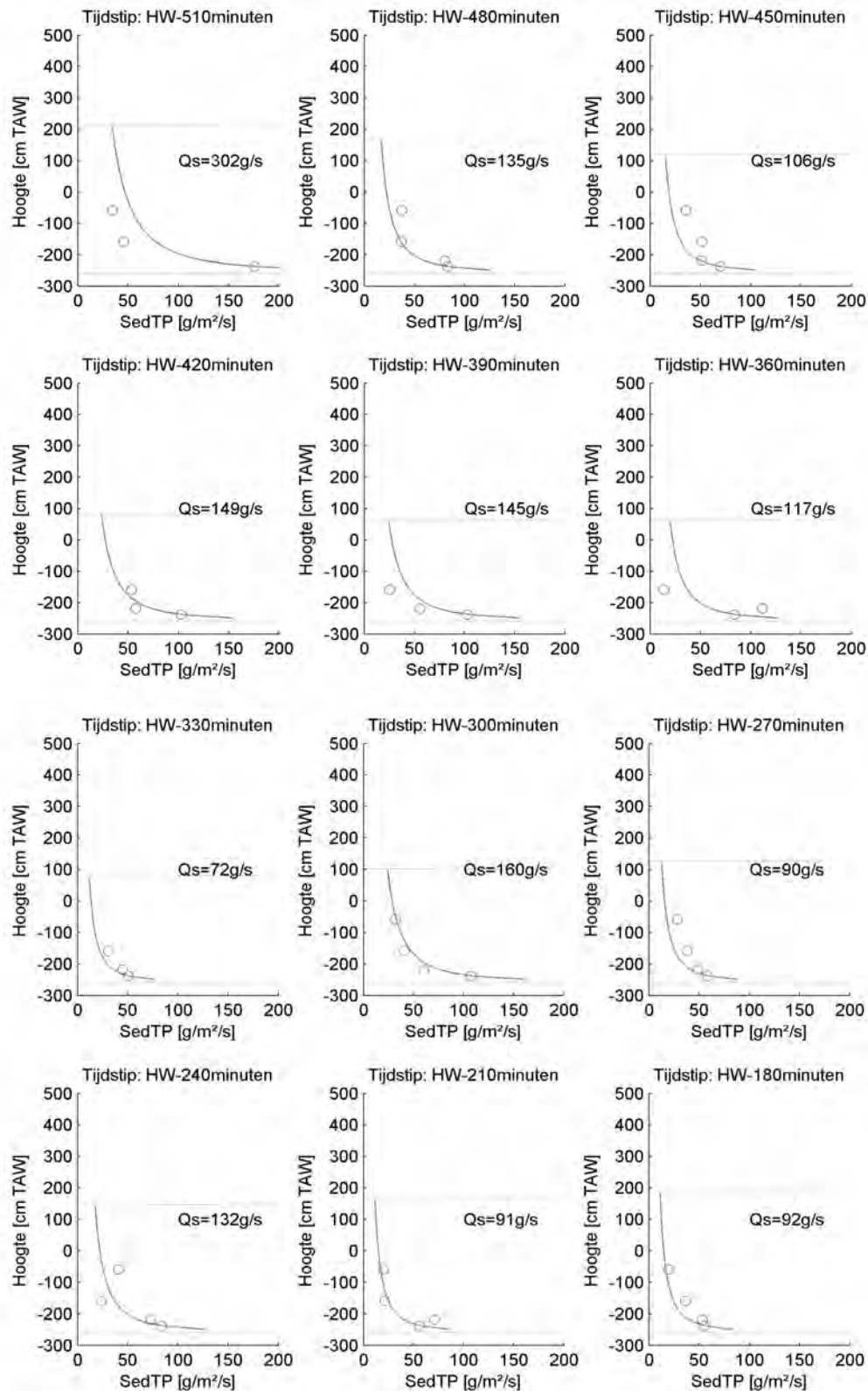


Figuur 95 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)

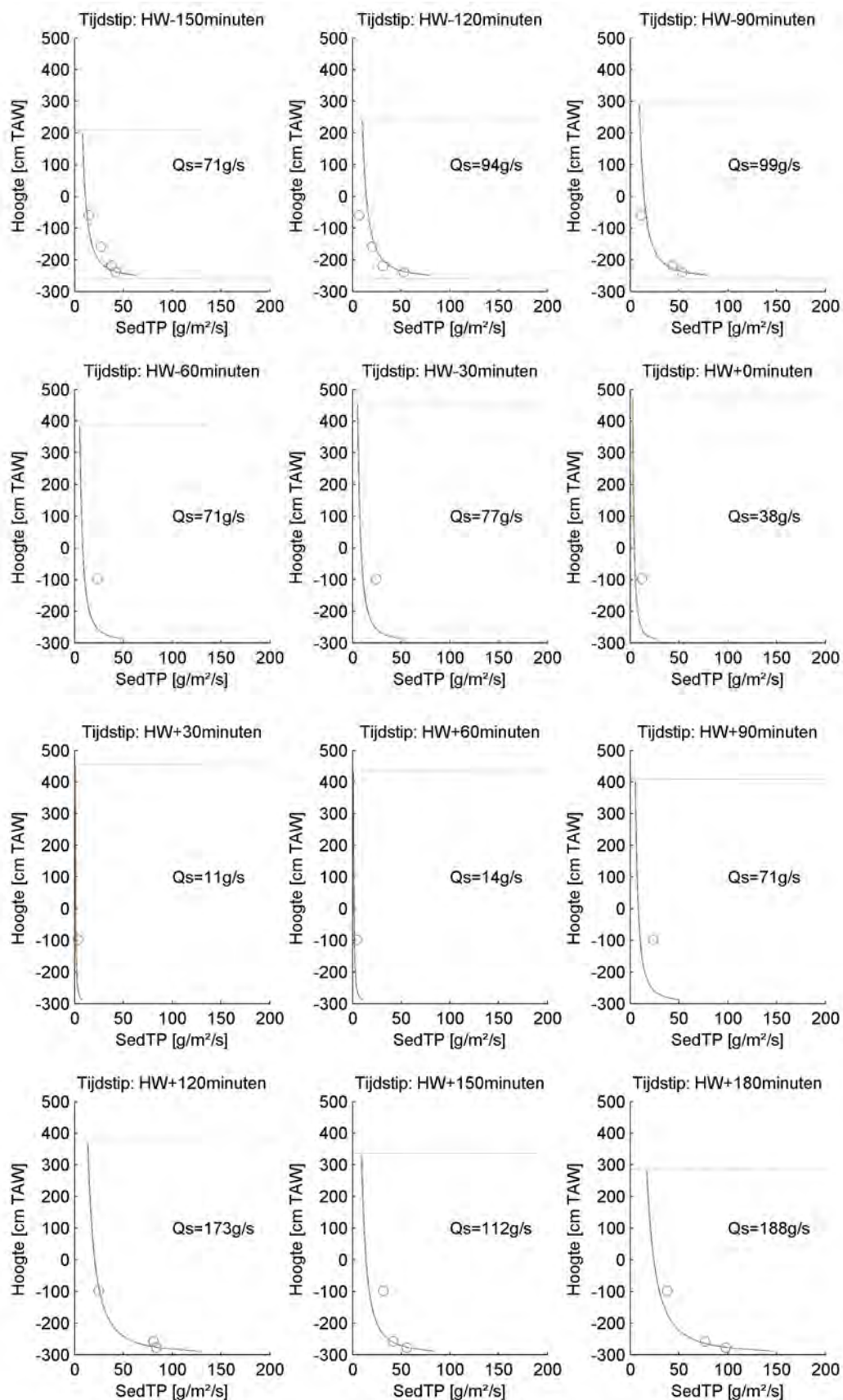


Bijlage K – Vlake van de Raan (11/09/2014)

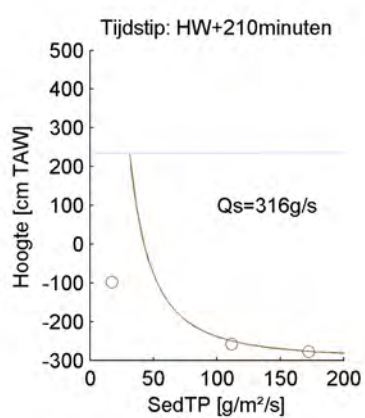
Figuur 96 – Diepteprofielen sediment transport (deel 1)



Figuur 97 – Diepteprofielen sediment transport (deel 2)



Figuur 98 – Diepteprofielen sediment transport (deel 3)



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