

Monitoring baggerverspreiding Eemshaven: Data-analyse vaste en langdurige meetopstelling

Fase 3: baggerperiode november 2011 - februari 2012



Titel

Monitoring baggersverspreiding Eemshaven: Data-analyse vaste en langdurige meetopstelling

Opdrachtgever

Groningen Seaports

Project

1201609-000

Kenmerk

1201609-000-ZKS-0022

Pagina's

24

Trefwoorden

Baggerspecieverspreidingen, Zwevendstofconcentraties, Data analyse, Trends, Tijdreeksen, Tijdschalen, Onzekerheden.

Samenvatting

In de wintermaanden van de jaren 2009-2012 is de Eemshaven verdiept en verruimd. De baggerspecie die daarbij vrijkomt, is op drie locaties in het Eems-Dollard estuarium verspreid. De vergunning voor baggerspecieverspreiding is verleend onder de aanname dat de baggerspecieverspreiding na 15 maart – als het groeiseizoen voor algen begint – geen significante bijdrage aan de vertroebeling meer levert. Groningen Seaports dient nog wel aan te tonen dat deze aanname juist is. Hiertoe heeft Groningen Seaports metingen uitgevoerd en daarnaast zal een gespecificeerd numeriek verspreidingsmodel worden ingezet voor het nagaan van effecten van de verspreidingen. Bij de studies is samengewerkt met Rijkswaterstaat, die de verruiming van de vaargeul Eemshaven-Noordzee voorbereidt.

De huidige studie is onderdeel van Fase 3 waarin de verspreidingsperiode loopt van november 2011 tot en met medio februari 2012. In dit kader zijn van 15 januari tot juli 2012 op twee locaties rond de verspreidingslocaties hoogfrequente metingen – dat wil zeggen iedere minuut – van onder andere zwevendstofgehalte uitgevoerd. Per locatie is met een ADCP de waterstand en een verticaal profiel van stroomsnelheid en stroomrichting en de zwevendstofconcentratie gemeten. Met een OBS bij de bodem en een OBS ongeveer 5 m onder het wateroppervlak zijn saliniteit, temperatuur, waterstand, en zwevendstofconcentratie gemeten. De metingen zijn uitgevoerd en gerapporteerd door Aqua Vision. In huidige studie worden de hoogfrequente Fase 3 metingen verwerkt, gecontroleerd en (visueel) geanalyseerd.

In deze analyse bleek het niet mogelijk om het instantane effect van de verspreidingen visueel in de metingen terug te zien. Het (tijdelijk) verhogen van de achtergrondconcentratie als gevolg van het cumulatieve effect van de verspreidingen bleek evenmin visueel uit de tijdreeksen af te leiden.

Op basis van deze bevindingen is geadviseerd om op basis van een statistische analyse van deze unieke lange set van hoogfrequente metingen een uitspraak te doen over het al dan niet bijdragen van de verspreidingen aan de zwevendstofconcentratie. De veronderstelling is dat door de hoogfrequente metingen van zwevendstofconcentratie te correleren aan verklarende grootheden zoals wind, golven en getij, Eemsafoer en verspreidingsregime, het in een aantal situaties mogelijk kan zijn om de antropogene invloed van de verspreidingen op de zwevendstofhuishouding in de Waddenzee (althans in de buurt waar die gemeten is) te onderscheiden van de natuurlijke variabiliteit.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2012	dr. M.S.J. Chatelain	MC	dr.ir. T. van Kessel	TVK	drs. F.M.J. Hoozemans	
		drs. A.J. Nolte	AN				

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Algemene inleiding	1
1.2 Voorgaande fasen	2
1.3 Inleiding Fase 3: Baggerperiode november 2011 - februari 2012	2
1.4 Dit rapport	3
2 Methodologie en meetgegevens	5
2.1 Methodologie	5
2.2 Meetgegevens – verzamelen en controleren	6
2.2.1 Locaties, parameters en beschikbaarheid	6
2.2.2 Baggervolumes en baggerverspreiding	8
2.2.3 Waterstand en getij	9
2.2.4 Saliniteit	11
2.2.5 Temperatuur	12
2.2.6 Stroomsnelheid en -richting	12
2.2.7 Zwevendstofconcentraties	14
2.2.8 Windsnelheid en windrichting	18
2.2.9 Golfhoogte, -richting en -periode	20
3 Vervolg	23
3.1 Voorstel voor statistische analyse	23
3.2 Voorstel voor analyse op basis van het verspreidingsmodel	24

1 Inleiding

1.1 Algemene inleiding

In december 2009 is gestart met de verruiming en uitbreiding van de Eemshaven. Het materiaal dat hierbij wordt gebaggerd, wordt op verschillende locaties in de Waddenzee verspreid. Om effecten op algenbloei en primaire productie door vertroebeling te minimaliseren, mag volgens vergunning alleen tussen november en half februari baggerspecie verspreid worden. Daarom wordt de verruiming in meerdere jaren uitgevoerd. Volgens vergunningsvoorschrift wordt daarnaast monitoring uitgevoerd om vast te stellen of de waargenomen effecten niet groter zijn dan zoals voorspeld in de Passende Beoordeling en MER.

Groningen Seaports (GSP) dient op grond van de Nb-wetvergunningen, verleend door LNV (nu EL&I) en de provincie Groningen voor de verdieping en uitbreiding van de Eemshaven, te rapporteren over de monitoring van de effecten op de natuur conform het goedgekeurde Bedrijfsspecifiek gedeelte van het Monitoringsplan (Moes en De Kok, 2010), opgesteld door Consulmij Milieu en Deltares in opdracht van Groningen Seaports (versie 12 juli 2010). In dit bedrijfsspecifieke monitoringsplan is het doel van de monitoring als volgt omschreven:

“Het doel van het meetprogramma is om vast te stellen of de effecten van de specieverspreiding in het kader van de havenuitbreiding Eemshaven gelijk zijn aan of minder zijn dan de voor de Passende Beoordeling berekende effecten en vergund in de Nb-wetvergunning. Vanwege de grote natuurlijke variatie van de troebelheid in de Eems zijn dergelijke effecten echter moeilijk aan te tonen, zelfs met een uitgebreid meetprogramma. Daarom wordt dit programma uitgevoerd in samenhang met het numerieke verspreidingsmodel dat in het kader van de Passende Beoordeling is ontwikkeld. Met dit model wordt een deel van de natuurlijke variatie in troebelheid verklaard (b.v. door getij en golven), waardoor het mogelijke effect van specieverspreiding eerder aantoonbaar is.”

De volgende deelvragen (Moes en De Kok, 2010) dienen met behulp van de monitoring te worden beantwoord:

- 1 Is er sprake van extra vertroebeling en kan deze worden toegerekend aan de verspreidingactiviteiten van GSP?
- 2 Wat is de duur van de extra vertroebeling? Strekt deze zich uit tot de voorjaarsbloei van algen?
- 3 Wat is de intensiteit van de extra vertroebeling?
- 4 In hoeverre komen de gemeten intensiteit en duur van de extra vertroebeling overeen met de voor de Passende Beoordeling berekende intensiteit en duur?

1.2 Voorgaande fasen

Omdat de baggerspecieverspreiding ten behoeve van de verdieping en uitbreiding van de Eemshaven steeds in de winterperiode plaatsvindt (november t/m februari), volgt na elke periode een rapportage van de uitgevoerde metingen en de resultaten hiervan. Zo kunnen inmiddels drie fasen (jaren) worden onderscheiden:

1. Fase 1: november 2009 – juni 2010
2. Fase 2: november 2010 – februari 2011
3. Fase 3: januari 2012 – mei 2012

Fase 1 van de monitoring was voornamelijk gericht op de bepaling van de verblijftijd van baggerslib op de bodem op en rondom de verspreidingslocaties. Uit de metingen zijn erosiesnelheden afgeleid. Ook werd de tijdsduur bepaald van nalevering van slib vanaf een bepaalde verspreidingslocatie na beëindiging van het verspreiden van specie. De resultaten van Fase 1 zijn gerapporteerd door De Kok (2010a). De waargenomen effecten bleken conform de voorspelde effecten te zijn.

Voor Fase 2 was er behoefte aan aanvullende metingen in waterkolom, mede ten behoeve van de validatie van het verspreidingsmodel. De vertroebeling is gemeten tijdens en tot 8 dagen na de laatste specieverspreiding. In totaal heeft dit geleid tot vier meetdagen in februari 2011. De troebelheidsmetingen zijn in meer detail gerapporteerd door Aqua Vision (Mol, 2011). Hiernaast zijn in beperkte mate multibeam lodingen van de verspreidingslocatie uitgevoerd en slibmonsters in de Eemshaven genomen om het percentage slib in het te verspreiden materiaal te bepalen (de Hoogd, 2010). Ook is een overzicht gemaakt van beschikbare Remote Sensing data ten behoeve van modelvalidatie (Bijker, 2011). De resultaten van Fase 2 zijn gerapporteerd in Van Kessel en Vroom (2012). Analyse van de lodingen van de verspreidingsvakken voor en na specieverspreiding bevestigden de conclusie uit Fase 1 dat slib zich snel verspreidt vanaf de verspreidingslocaties. Metingen van de troebelheid lieten verhoogde en vervolgens afnemende waarden zien vlak na de specieverspreiding, maar vanwege grote variatie in hydrodynamische condities was het moeilijk een wetenschappelijk onderbouwd bewijs te geven dat dit het gevolg was van de specieverspreiding. Hiervoor is meer gedetailleerde kennis van de natuurlijke dynamiek nodig (b.v. op basis van langere meetreeksen). Daarnaast kan het numerieke model meer inzicht geven in de temporele en ruimtelijke variatie in de slibconcentraties, zowel ten gevolge van natuurlijke dynamiek als de specieverspreiding. Dit wordt verder uitgewerkt in Fase 3.

1.3 Inleiding Fase 3: Baggerperiode november 2011 - februari 2012

Fase 3 richt zich conform de oorspronkelijke planning met name op (Van Kessel, 2012):

- Meten van een langere periode tijdens en na afloop van de specieverspreiding;
- Meten van de natuurlijke achtergrond;
- Interpretatie van de metingen en validatie van het verspreidingsmodel door de gecombineerde inzet van metingen en model voor eenzelfde periode;
- Vergelijking met Remote Sensing beelden¹.

1. In de beschouwde periode (fase 3) zijn op moment van schrijven geen Remote Sensing beelden beschikbaar. Daarnaast zijn er in de winterperiode meestal maar weinig beelden beschikbaar omdat er veel bewolking optreedt. Ook geven ze slechts een beeld van de troebelheid aan de oppervlakte. In fase 2 is met de Remote Sensing beelden aangetoond dat de ruimtelijke variatie in troebelheid erg groot kunnen zijn. Hier wordt in fase 3 niet verder op doorgegaan.

1.4 Dit rapport

Voorliggende rapportage bevat de analyse van de monitoringsresultaten over een langere periode. Gedurende een periode van bijna 6 maanden is op twee locaties een vaste meetopstelling geplaatst die hoogfrequent – dat wil zeggen iedere minuut – saliniteit, temperatuur, waterstand, stroomsnelheid en stroomrichting, en zwevendstofconcentratie meet. Per locatie is met een ADCP de waterstand en een verticaal profiel van stroomsnelheid en stroomrichting en de zwevendstofconcentratie gemeten. Met een OBS bij de bodem en een OBS ongeveer 5 m onder het wateroppervlak zijn saliniteit, temperatuur, waterstand, en zwevendstofconcentratie gemeten. De metingen zijn uitgevoerd door Aqua Vision en gerapporteerd in (Aqua Vision, 2012a, 2012b, 2012c, 2012d). Een korte beschrijving van de meetopstelling, de meetlocatie en de gemeten grootheden is opgenomen in paragraaf 2.2.

Hoofdstuk 2 beschrijft de meetgegevens en geeft een eerste analyse van de geschiktheid hiervan voor het doel, namelijk het bepalen van de extra vertroebeling ten gevolge van specieverspreiding.

Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgstappen, enerzijds op het gebied van statistische analyse van de metingen, anderzijds met betrekking tot modellering met het bestaande verspreidingsmodel.

Dit rapport is een voortgangsrapport, geen (concept-)eindrapport. Het is bedoeld om de discussie te voeden over de vervolgstap(pen) en afronding van het project.

2 Methodologie en meetgegevens

2.1 Methodologie

De zwevendstofconcentratie wordt bepaald door de gecombineerde invloed van getij, stroomsnelheid, golven, wind en zoetwateraanvoer. Daarbovenop komt een zekere bijdrage van de baggerspecieverspreiding uit de Eemshaven en andere menselijke activiteiten. Tenslotte spelen de karakteristieken van het sediment zoals de korrelgrootte en biologische factoren zoals benthische algen die het sediment vasthouden, ook nog een rol. Omdat al deze factoren verschillende tijd- en ruimteschalen hebben is de tijdsvariabiliteit van troebelheid is groot op tijdschalen van uren (getij) tot maanden (seizoen) en jaren. Het verklaren van de opgetreden zwevendstofconcentratie kan dus zeer complex zijn.

Uit modelberekeningen is afgeleid dat de bijdrage van de baggersverspreiding aan de zwevendstofconcentratie waarschijnlijk beperkt is, met name na 15 maart. Om een procentueel kleine bijdrage in een zeer variabele omgeving te onderscheiden zijn veel metingen nodig. Hoeveel metingen is van tevoren niet precies aan te geven.

In fase 3 zijn gedurende bijna 6 maanden op twee locaties iedere minuut metingen uitgevoerd. De hypothese is dat door hoogfrequente metingen van zwevendstofconcentratie te correleren aan verklarende grootheden zoals wind, golven, getij, Eemsafoer en baggerspecieverspreidingen, het in een aantal situaties mogelijk is om de antropogene invloed van de baggerspecie te onderscheiden van natuurlijke invloeden. De bijdrage van de baggerspecieverspreiding aan de zwevendstofconcentratie kan zo uit de metingen bepaald worden.

Om een statistische analyse uit te voeren worden voor ieder van de twee locaties zo gedetailleerd mogelijke tijdseries opgesteld van de zwevendstofconcentratie aan de ene kant en van de verklarende factoren aan de andere kant. Een deel van de het SPM signaal zal niet verklaard kunnen worden. Dit niet verklaarde deel wordt het residu genoemd.

$$SPM = f(\text{getij, stroomsnelheid, wind, golven, zoetwaterafvoer, baggerspecieverspreiding}) + \text{residu}$$

Een aantal verklarende factoren heeft een onderlinge relatie met elkaar. Zo zullen wind en golven gedeeltelijk gecorreleerd zijn, evenals getij en stroomsnelheid. In de statistische analyse wordt rekening gehouden met deze onderlinge relaties. Niet alle parameters zijn op de zelfde locatie gemeten.

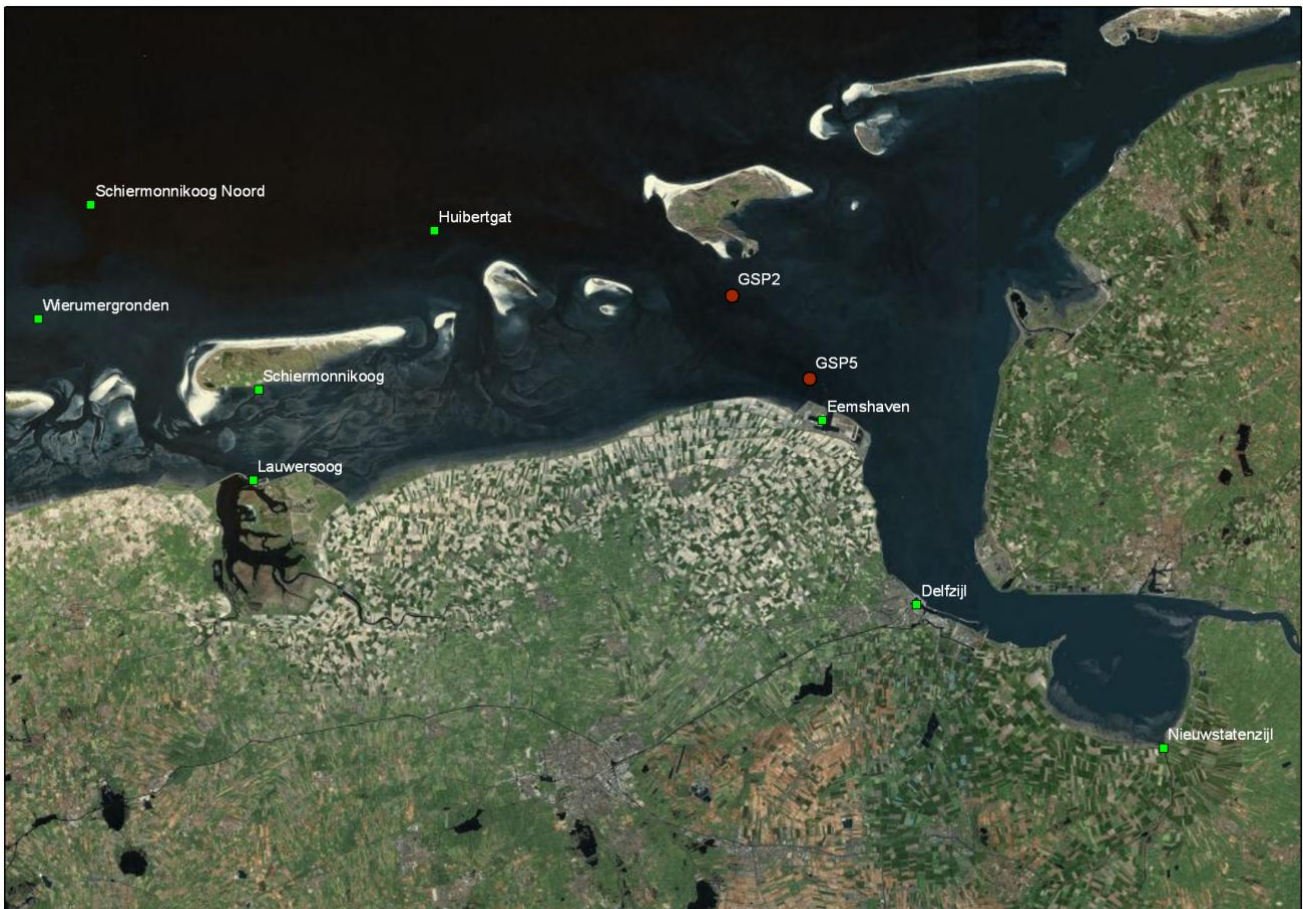
De volgende stappen zijn gezet:

- 1 Verzamelen en controleren van de datasets;
 - a Verzamelen en ordenen;
 - b Controle op basis van begrijpelijkheid;
 - c Controle op basis van verwachte kruislingse verbanden;
- 2 Visuele analyse;
- 3 Statistische analyse → voorstel voor aanpak / analyse zelf nog niet uitgevoerd.

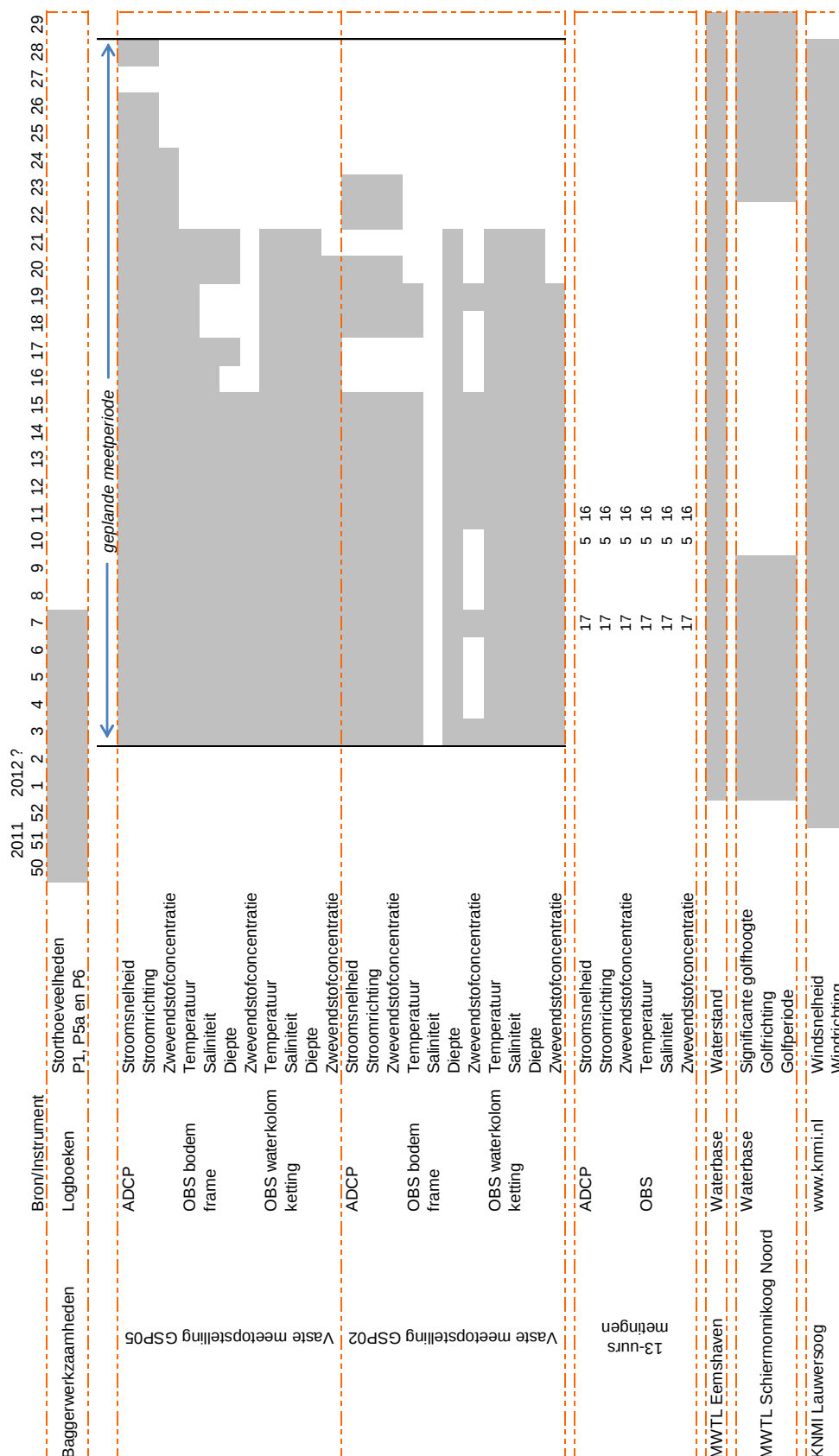
2.2 Meetgegevens – verzamelen en controleren

2.2.1 Locaties, parameters en beschikbaarheid

Figuur 2.1 geeft de locaties van de meetstations die in de analyse gebruikt worden. Naast de locaties van de vaste meetopstelling – GSP2 en GSP5 – is een aantal meetstations in de nabijheid gebruikt om de data voor de statistische analyse aan te vullen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de gemeten grootheden en de periode waarvoor de gegevens beschikbaar zijn. De volgende paragrafen gaan uitgebreider in op de verschillende locaties en gegevens.



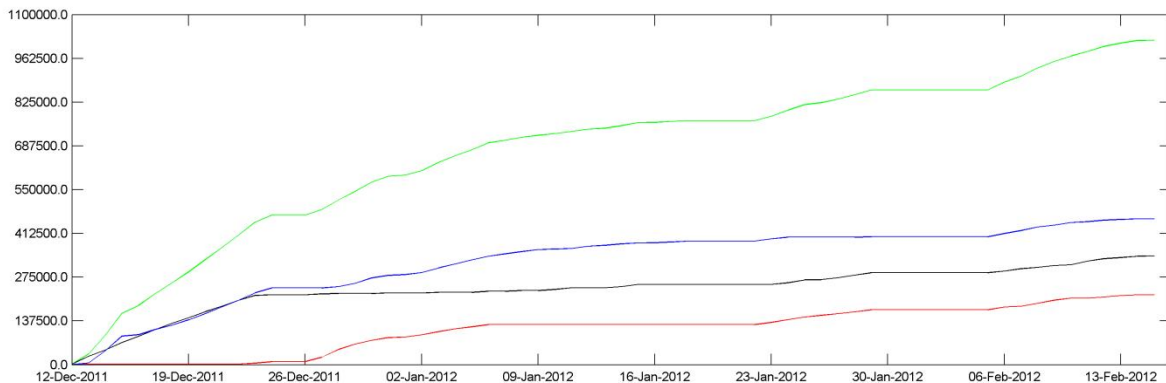
Figuur 2.1 Locaties van meetstations. De rode locaties GSP2 en GSP5 zijn de locaties van de vaste meetopstelling. De groene locaties geven de overige meetstations weer.



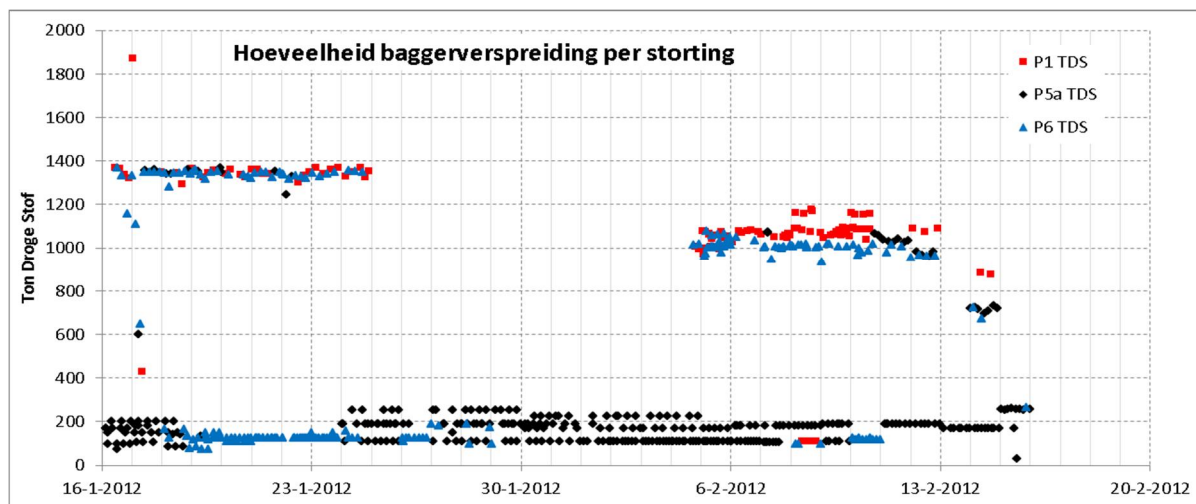
Tabel 2.1 Overzicht van meetlocaties en gemeten grootheden.

2.2.2 Baggervolumes en baggersverspreiding

Tussen 12 december 2011 en 15 februari 2012 hebben baggerwerkzaamheden plaatsgevonden ten behoeve van de verruiming van de Eemshaven. Figuur 2.2 toont de hoeveelheden per verspreidingslocatie geaggregeerd per dag op basis van aangeleverde logboeken. In Deltares (2012a) is aangegeven hoe het baggervolume is omgerekend naar een hoeveelheid sediment in gram droge stof. De analyse wordt gebaseerd op hoeveelheid om de eenheid aan te sluiten bij de gemeten zwevendstofconcentratie (g/m^3). Voor de analyse gaan we uit van de totaal verspreide hoeveelheid en maken geen onderscheid tussen herkomst van het materiaal (dat wil zeggen Wilhelminahaven of Doekegatkanaal). Voor de periode waarin met de ADCP en OBS gemeten is, toont Figuur 2.3 de hoeveelheid verspreide bagger per individuele storting.



Figuur 2.2 Cumulatieve hoeveelheid verspreide baggerspecie (in ton droge stof) voor de drie locaties P1 (rood), P5a (zwart) en P6 (blauw). De groene lijn geeft de totale hoeveelheid weer.



Figuur 2.3 Hoeveelheid baggersverspreiding (in ton droge stof) per individuele storting per verspreidingslocatie vanaf de start van de meetperiode.

De grootste hoeveelheid baggerspecie is gestort op locatie P6 welke het dichtstbij de meetlocatie GSP5 ligt. In P6 is ongeveer 65% gestort voor het begin van de meetperiode. Op locaties P1 en P5a is in totaal minder gestort. Het grootste aantal stortingen gedurende de meetperiode vindt plaats in stortvak P5a, hoewel het merendeel van de stortingen een relatief kleinere hoeveelheid van rond 200 ton droge stof rond heeft.

Als de baggerspecieverspreiding een merkbare instantane bijdrage aan de zwevendstofconcentratie levert, zou de storting in P6 het meest zichtbaar moeten zijn in de gemeten zwevendstofconcentratie in GSP5. Aangezien GSP5 aan de westkant van P6 ligt, zou de bijdrage vooral bij eb tij merkbaar moeten zijn, wanneer het water van P6 via GSP5 richting Noordzee stroomt (Tabel 2.2).

Tabel 2.2 Afstand van midden stortvak tot meetlocatie afgerond op hele kilometers. De getijfase geeft aan wanneer de stroomrichting vanaf het stortvak richting de meetlocatie is.

Stortvak	Afstand tot meetlocatie GSP5	Afstand tot meetlocatie GSP2
P1	4 km (eb)	18 km (eb)
P5a	11 km (vloed)	6 km (?)
P6	6 km (vloed)	8 km (eb)

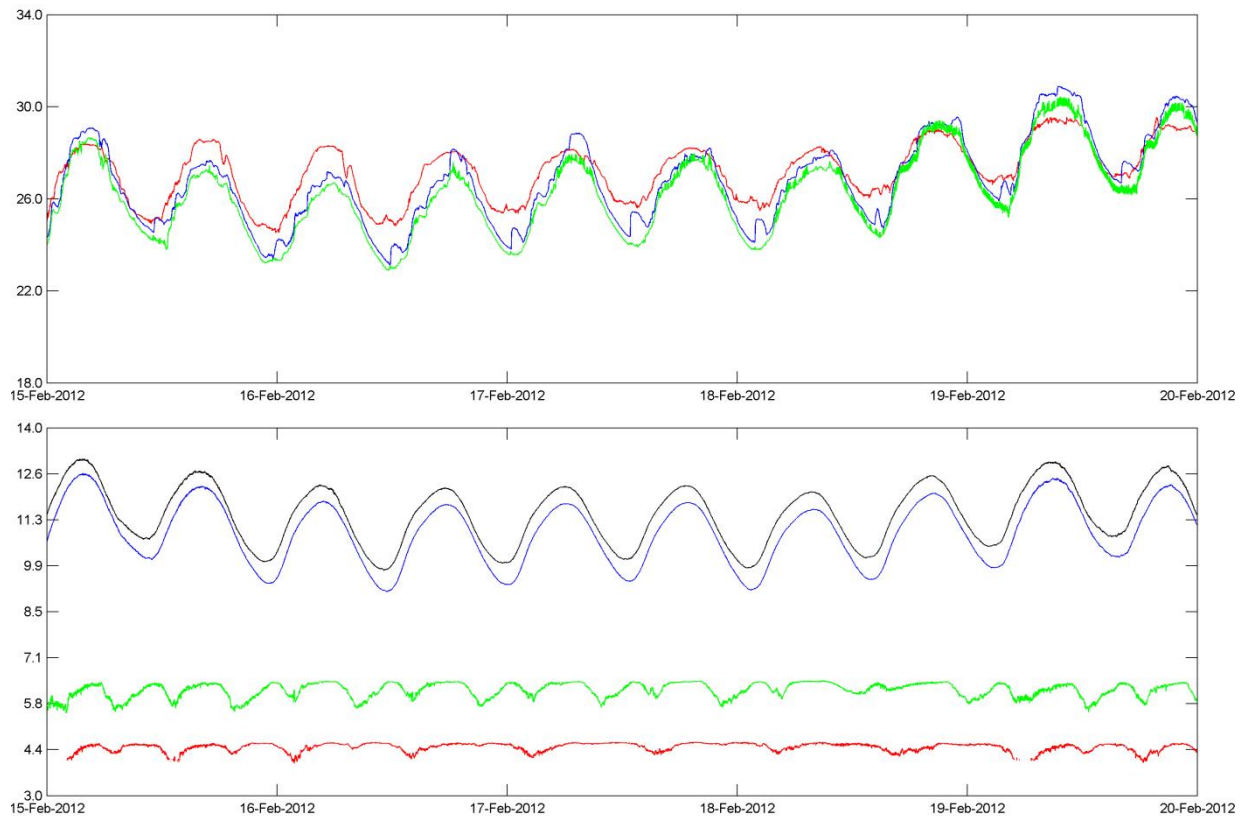
De locaties P1 en P5a liggen ongeveer midden tussen de meetlocaties GSP2 en GSP5. Hoewel de afstand tot de meetlocaties met 5 km tot 8 km wat groter is dan P6-GSP5, valt de afstand waarschijnlijk (?) binnen de getijafstand, dat wil zeggen de afstand die het water in een getijfase aflegt. Dit houdt in dat een baggerstorting in P5a en P1 binnen een getij op beide meetlocaties merkbaar zou kunnen zijn. Voor GSP5 zou dat tijdens de vloedfase moeten zijn; voor GSP2 tijdens eb. Een storting in P5a is wellicht niet direct merkbaar in GSP2, omdat P5a en GSP2 van elkaar gescheiden worden via een ondiepte. Een direct transport van zwevend stof van P5a naar GSP2 lijkt daardoor beperkt.

Naast het direct merkbare effect (binnen 1 of 2 getijfasen) kan de baggersverspreiding zorgen voor een geleidelijke toename van de zwevendstofconcentratie in een groter gebied. Deze geleidelijke toename zou een functie moeten zijn van de hoeveelheid die cumulatief gestort is voor de gemeten zwevendstofconcentratie. Op 15 januari 2012 zou de concentratie beïnvloed worden door de cumulatieve stort tot 15 januari en op 15 februari door de cumulatieve stort tot 15 februari. Niet bekend is hoe lang de significante cumulatieve periode zou moeten zijn. Daarom zal met verschillende periodes statistisch onderzoek gedaan worden.

Tenslotte dient nog opgemerkt te worden dat circa 60% van de totale baggerhoeveelheid gestort is voordat de meetcampagne op 15 januari begon. Bij de analyse moet hiermee rekening gehouden worden.

2.2.3 Waterstand en getij

De waterdiepte is gemeten met de OBS meters op meetlocaties GSP2 en GSP5. Een OBS is aan het frame bevestigd op circa 0,7 m boven de bodem. Een tweede OBS is bevestigd aan de boeiketting op ongeveer 5 m onder het wateroppervlak. De waterdiepte is niet geconverteerd naar een waterstand in m NAP. Voor de statistische analyse is een dergelijke conversie niet nodig, omdat het om een constante conversie gaat; De variatie is belangrijker dan de absolute waarde. Figuur 2.4 toont de gemeten waterdiepte voor een korte periode.

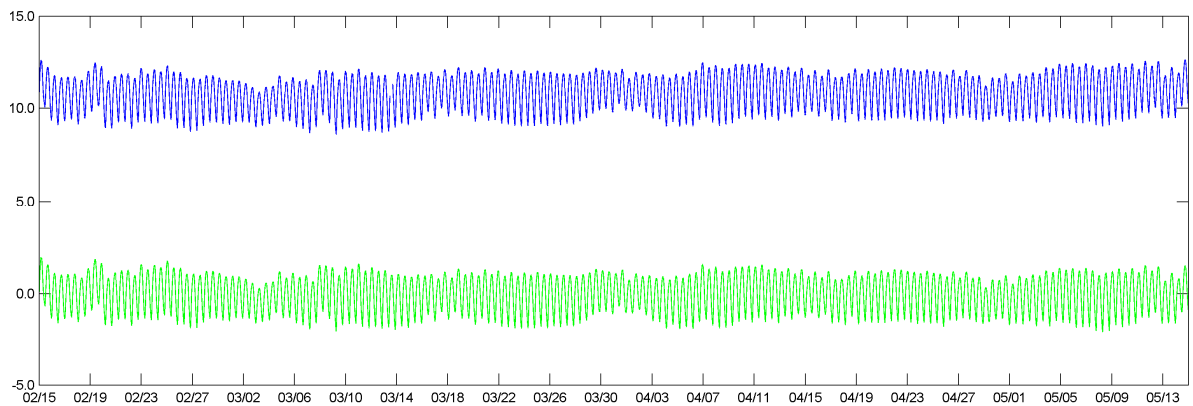


Figuur 2.4 Gemeten waterdiepte (onder; in m onder wateroppervlak) en gemeten saliniteit (boven; in ppt). Zwart: GSP2 OBS frame; Rood: GSP2 OBS ketting; Blauw: GSP5 OBS frame; Groen: GSP5 OBS ketting.

De op de GSP2 en GSP5 frame gemeten waterdieptes vertonen hetzelfde patroon. Er is een klein faseverschil van ongeveer 30 minuten. Het verschil in absolute waarde van ongeveer 0,4 m is het gevolg van het niet converteren naar hetzelfde referentieniveau (m NAP). De twee OBS hebben waarschijnlijk op dezelfde afstand van de bodem bevestigd gezeten.

De waterdiepte gemeten met de OBS ketting is niet bruikbaar voor analyse. Het instrument beweegt mee met het wateroppervlak. De geringe variatie van circa 0,5 m is waarschijnlijk het gevolg van scheefstand van de ketting bij hogere stroomsnelheden. De waterdiepte onder het wateroppervlak wordt dan kleiner. Het feit dat de kleinste waterdiepte gemeten wordt tussen laagwater en hoogwater wanneer de hoogste stroomsnelheid en dus de grootste scheefstand van de ketting optreedt, bevestigt dit vermoeden.

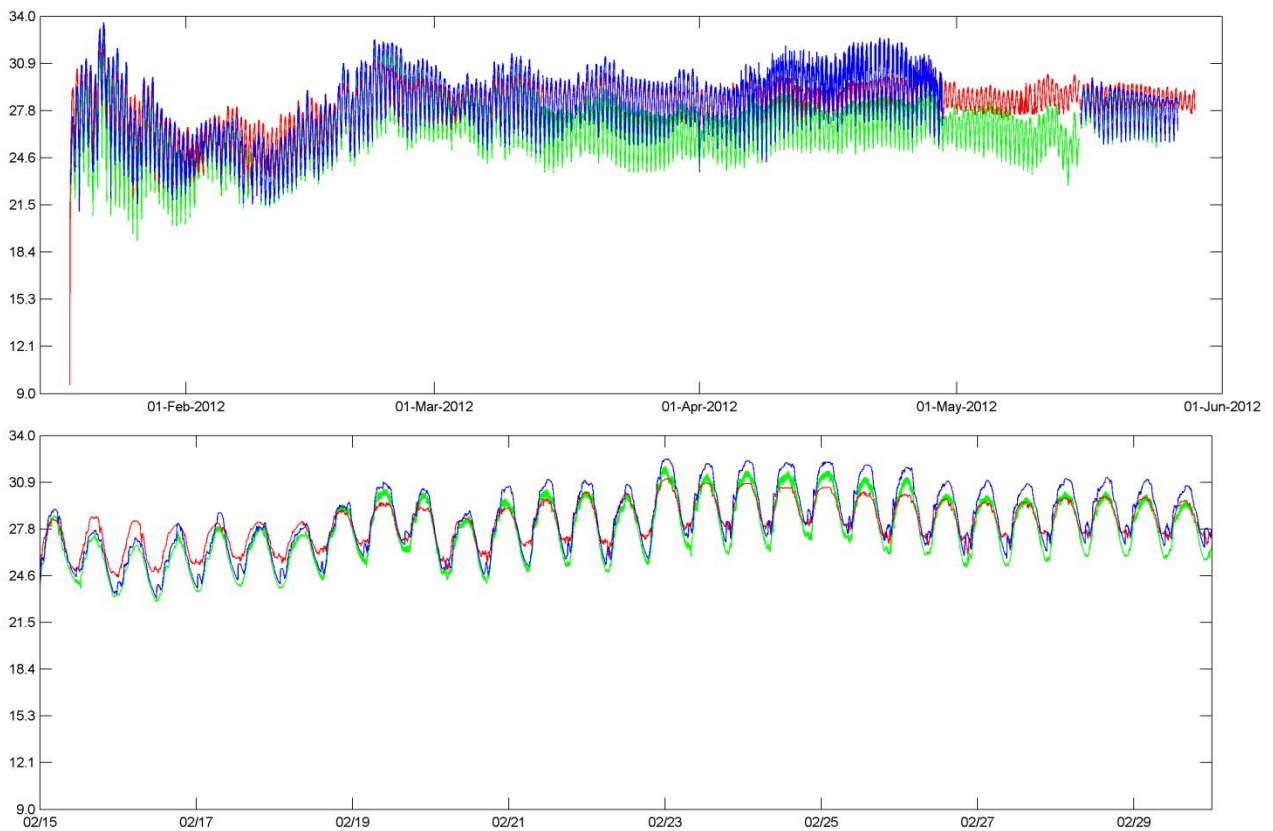
De waterdiepte is niet beschikbaar voor de hele periode, omdat in de 3^e meetperiode de stroomvoorziening van de OBS niet toereikend was. Voor de statistische analyse kan de tijdserie voor de waterdiepte verlengd worden door te vergelijken met de gemeten waterstand in de Eemshaven. Figuur laat zien dat beide sterk aan elkaar gecorreleerd zijn.



Figuur 2.5 Waterstand Eemshaven (groen, in m NAP) en waterdiepte OBS frame op locatie GSP5.

2.2.4 Saliniteit

De saliniteit is gemeten met de OBS. Op locatie GSP5 heeft de OBS frame geen saliniteit gemeten. De tijdserie loopt tot eind mei, omdat de 3^e periode vanwege ontoereikende stroomvoorziening niet gemeten is.



Figuur 2.6 Saliniteit (in ppt) gemeten op locatie GSP2 ketting (rood), GSP5 frame (blauw) en GSP5 ketting (groen) – Boven: Hele periode; Onder 15 dagen periode 15 februari - 1 maart 2012.

Enkele observaties:

- De saliniteit is hoger in GSP2 ketting dan in GSP5 ketting hetgeen de aanwezigheid van een horizontale gradiënt veroorzaakt door de rivierafvoer van de Eems aangeeft.

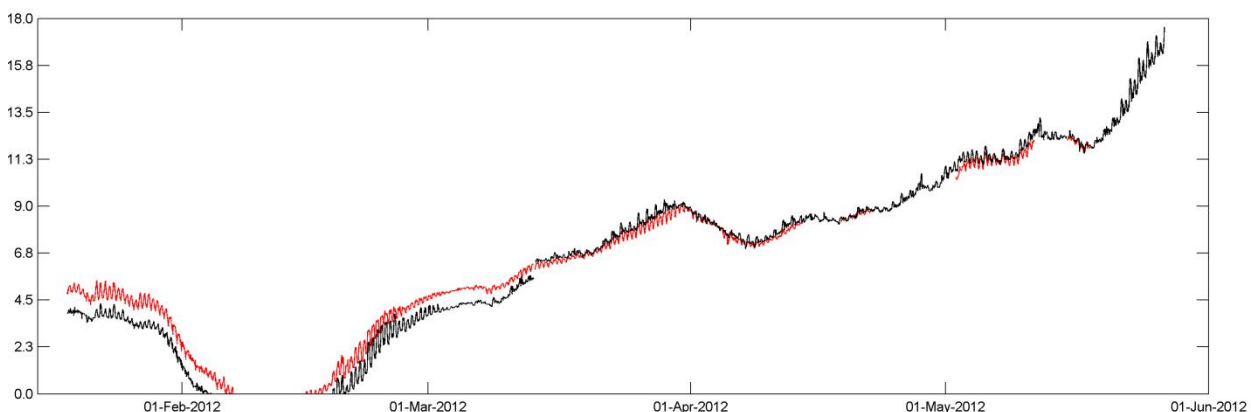
- De variatie is hoger in GSP5 ketting dan in GSP2 ketting, wat aangeeft dat locatie GSP5 meer onder invloed staat van de rivierafvoer en GSP2 meer onder invloed staat van de Noordzee.
- Er is vrijwel altijd sprake van enkele ppt saliniteitsverschil tussen de GSP5 meting bij de bodem (frame) en in de waterkolom (ketting). Er is dus sprake van stratificatie.
- Begin februari is de saliniteit het laagst. In februari neemt de saliniteit toe om daarna tot en met redelijk rond hetzelfde gemiddelde te blijven. Dit patroon is het resultaat van de rivierafvoer.

De tijdserie voor de saliniteit is niet compleet voor de hele meetperiode. In week 21 (tussen 24-28 mei) raakte de accu van de OBS sensoren leeg, waardoor de meetserie beperkt is tot ruim 4 maanden. In eerste instantie zal de statistische analyse met deze serie worden uitgevoerd. Indien dat onvoldoende blijkt te zijn, zou onderzocht kunnen worden hoe de tijdserie compleet gemaakt kan worden. Gedacht wordt aan een correlatie met de waterstand. Mocht echter blijken dat er een sterke correlatie is tussen waterstand en saliniteit, dan kan er sprake zijn van statistische redundantie. Dat wil zeggen dat beide verklarende parameters overlappend zijn en derhalve geen extra aanvullende verklaring leveren.

2.2.5 Temperatuur

De watertemperatuur is gemeten met de OBS. De tijdserie loopt tot eind mei, omdat de 3^e periode vanwege ontoereikende stroomvoorziening niet gemeten is. De watertemperatuur wordt niet meegenomen in de statistische analyse, omdat temperatuur niet als verklarende parameter voor de zwevendstofconcentratie wordt gezien.

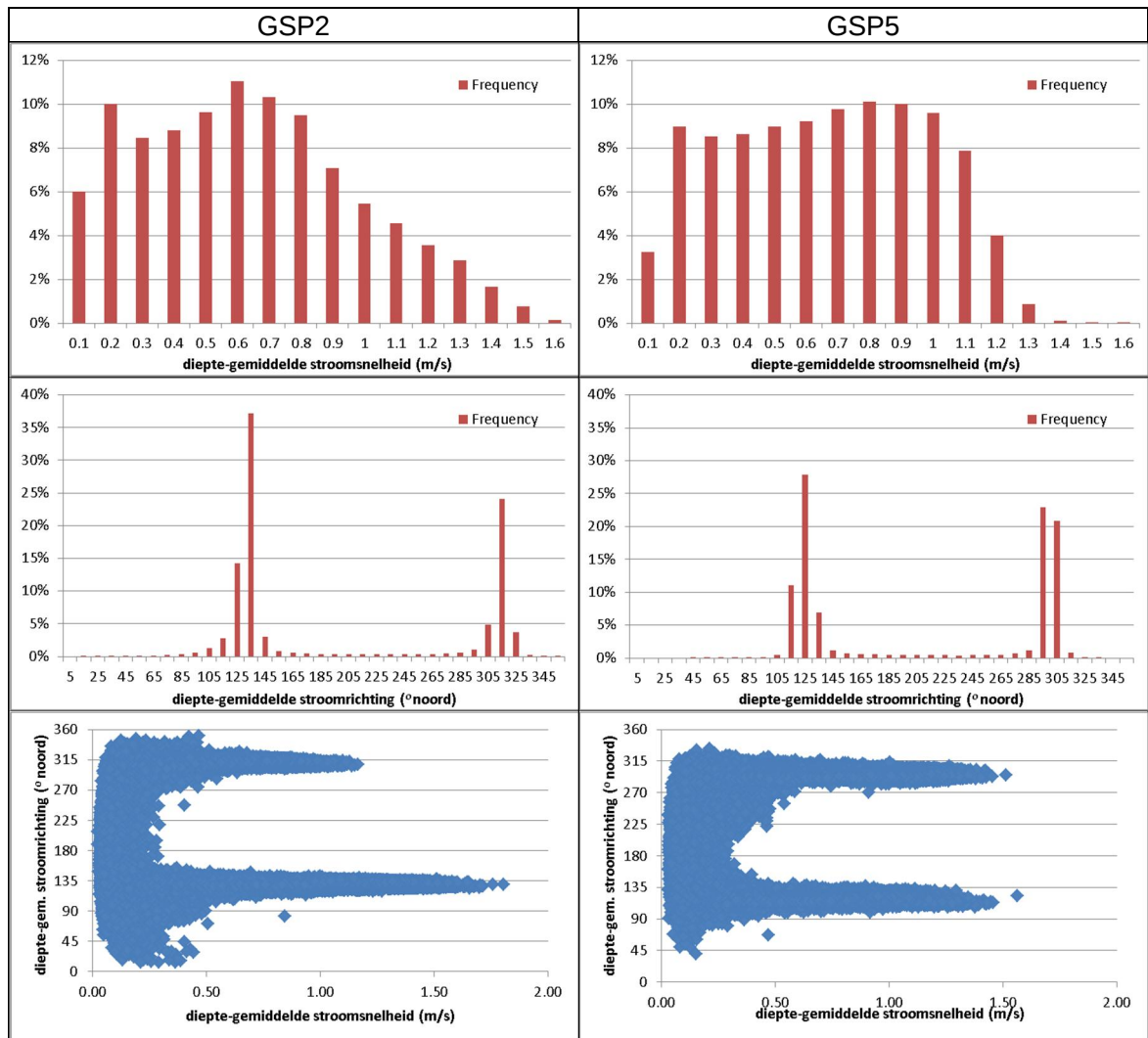
Als enige is mogelijk van belang dat in februari de watertemperatuur beneden 0 °C is geweest. Februari 2012 was een zeer koude maand waarin ook op de Waddenzee sprake was van ijsvorming. Mogelijk is dit van invloed geweest op de zwevendstofconcentratie.



Figuur 2.7 Watertemperatuur (in °C) gemeten op locatie GSP2 frame (rood) en GSP5 frame (zwart)

2.2.6 Stroomsnelheid en -richting

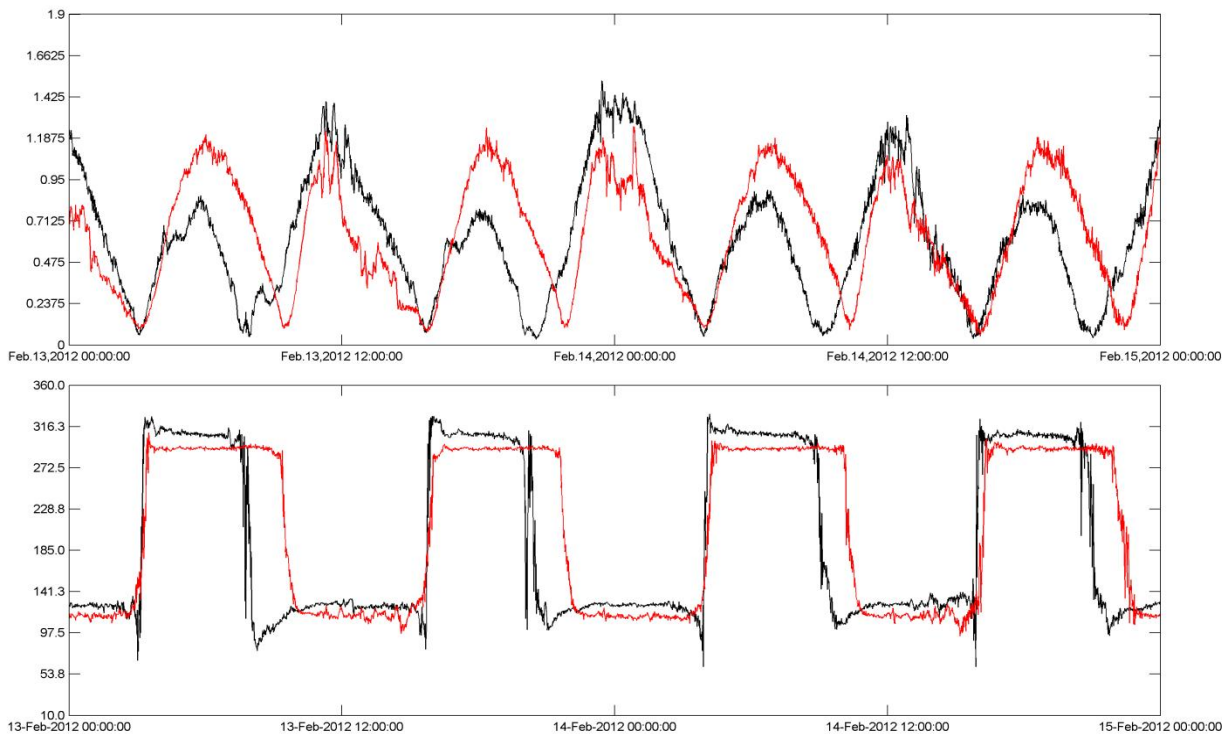
Verticale profielen van stroomsnelheid en stroomrichting zijn gemeten met ADCP op locaties GSP2 en GSP5. Voor locatie GSP2 zijn de gegevens voor de hele meetperiode, met uitzondering van een korte periode aan het eind, beschikbaar. Voor locatie GSP5 zijn de gegevens beschikbaar tot begin juni (week 23) en ontbreken enkele weken tussendoor.



Figuur 2.8 Cumulatieve verdeling van diepte-gemiddelde stroomsnelheid (boven) en diepte-gemiddelde stroomrichting (midden) en relatie tussen beide (onder) voor locaties GSP2 (links) en GSP5 (rechts).

Figuur 2.8 toont enkele samengevatte statistieken van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting. Op GSP5 wordt een relatief uniforme verdeling van de stroomsnelheid gemeten, waarbij de waarden tussen 0,1 en 1,1 m/s ongeveer even vaak voorkomen. Stroomsnelheden groter dan 1,2 m/s komen weinig voor. Er zijn twee dominante stroomrichtingen op GSP5: 130° bij vloedstroming en 315° bij ebstroming die beide evenveel voorkomen ($\pm 45\%$ van de tijd). De stroomsnelheden zijn gelijk voor beide richtingen.

Op locatie GSP2 wordt een minder uniform patroon gemeten. Tussen 0,1 m/s en 0,9 m/s komen de gemeten diepte-gemiddelde stroomsnelheden ongeveer evenveel voor. Tot aan maximale stroomsnelheden van circa 1,6 m/s wordt de diepte-gemiddelde stroomsnelheid in afnemende frequentie gemeten. Ook GSP2 heeft twee dominante stroomrichtingen: 130° bij vloedstroming en 300° bij ebstroming. De vloedstroming ($\pm 57\%$ van de tijd) houdt langer aan dan de ebstroming ($\pm 32\%$ van de tijd). Stroomsnelheden groter dan 1,2 m/s treden alleen bij vloedstroming op. Het getij is derhalve asymmetrisch op GSP2 en symmetrisch op GSP5.



Figuur 2.9 Dieptegemiddelde stroomsnelheid (boven, in m/s) en stroomrichting (onder, in $^{\circ}$ t.o.v. noord) voor GSP2 (zwart) en GSP5 (rood) op 13 en 14 februari 2012

Figuur 2.9 illustreert het verschil tussen GSP2 en GSP5 voor een willekeurige tweedaagse periode in februari 2012. Voor GSP5 laat de rode lijn een regelmatige variatie van dieptegemiddelde stroomsnelheid en -richting zien. Voor GSP2 duurt de vloedperiode langer dan de ebperiode en is de stroomsnelheid hoger bij vloed dan bij eb.

2.2.7 Zwevendstofconcentraties

De zwevendstofconcentratie is gemeten met ADCP (verticaal profiel) en met OBS (circa 0,7 m boven de bodem en circa 5 m onder het wateroppervlak) op locaties GSP2 en GSP5. Door Aqua Vision is op verzoek van Deltares een herkalibratie van de eerste meetresultaten uitgevoerd. In eerste instantie had Aqua Vision voor de drie meetperioden verschillende kalibratiecurves gebruikt, waardoor per periode het back-scattersignaal op een andere wijze werd geconverteerd naar zwevendstofconcentratie. Dit resulteerde in (niet door fysische processen te verklaren) sprongen in de hele tijdserie. In twee instantie is voor de hele periode dezelfde kalibratiecurve gehanteerd.

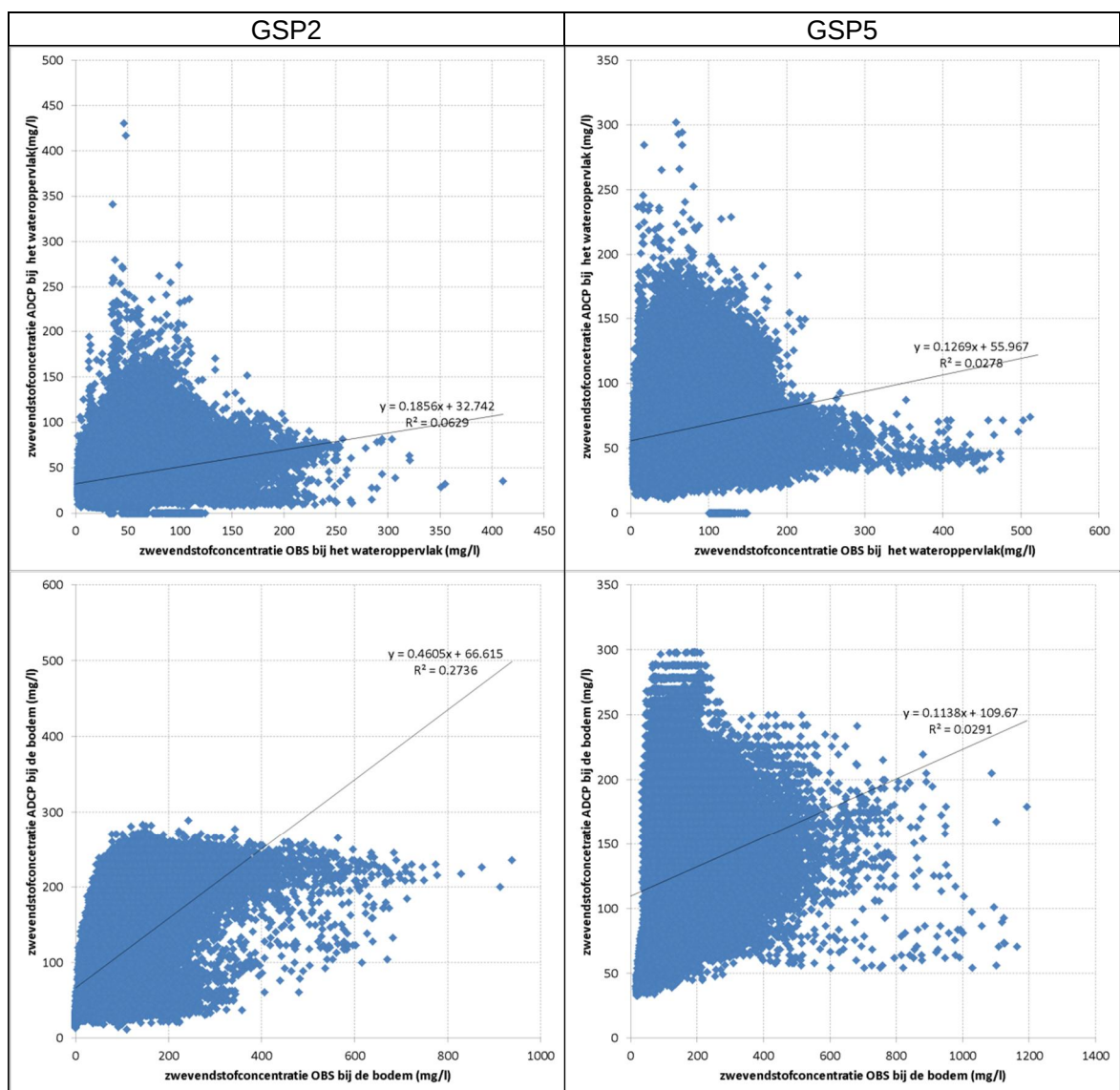
Figuur 2.10 vergelijkt de zwevendstofconcentratie zoals gemeten met ADCP en met OBS. Aangezien met twee meetmethoden op dezelfde locatie in de waterkolom de concentratie is gemeten, zou de correlatie goed moeten zijn. De correlatie tussen beide meetmethoden blijkt echter slecht tot zeer slecht. De vraag die volgt, is of en hoe de gemeten waarden voor de analyse gebruikt mogen worden.

Er zijn twee belangrijke argumenten waarom de OBS in dit geval betrouwbaarder wordt geacht dan de ADCP:

- 1 De kalibratiecurve voor de OBS vertoont veel minder spreiding (R^2 tussen 0.75 en 0.96) dan de kalibratiecurve van de ADCP (R^2 tussen 0.43 en 0.66).

- 2 De OBS meet de lichtverstrooiing van deeltjes, terwijl de ADCP de geluidsverstrooiing meet. De tweede techniek is gevoeliger voor verstoringen, doordat geluidsverstrooiing gevoeliger is voor dichtheidsgradiënten en turbulente wervels die de geluidsverstrooiing van deeltjes kunnen maskeren.

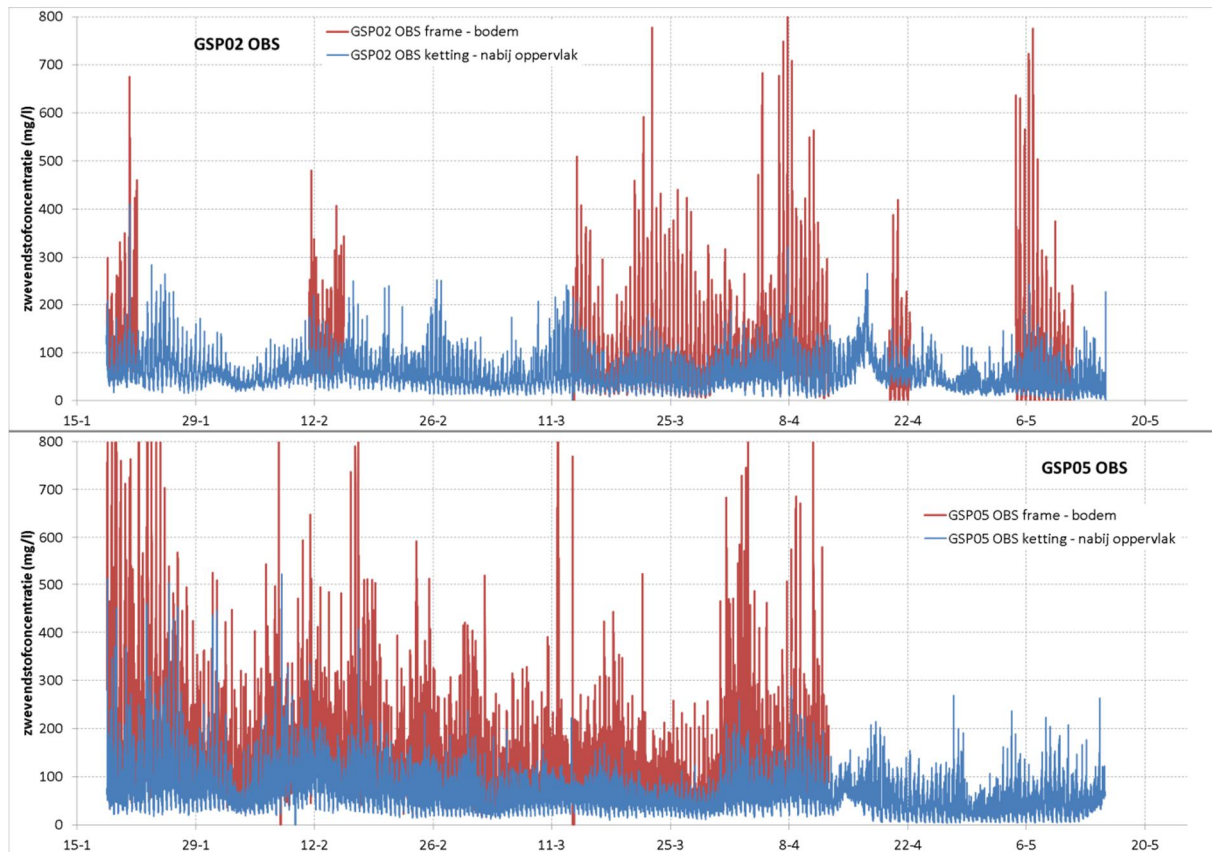
Daarom wordt voorgesteld om de statistische analyse uitsluitend uit te voeren op basis van de OBS-metingen. De ADCP-metingen zijn vervolgens nuttig voor een kwalitatieve vergelijking van verticale concentratiegradiënten met modelresultaten. Gegeven de grote spreiding van de kalibratiecurve zijn de voor een kwantitatieve vergelijking met modelresultaten minder geschikt.



Figuur 2.10 Vergelijking tussen zwevendstofconcentratie (in mg/l) gemeten met OBS en met ADCP.

De met OBS gemeten zwevendstofconcentratie wordt getoond in Figuur 2.11. Hoewel de tijdserie niet volledig is, is wel duidelijk te zien dat de concentratie bij het oppervlak lager is dan bij de bodem. Er is dus sprake van een (sterk) vertikaal profiel. In GSP2 is op het oog geen hogere zwevendstofconcentratie zichtbaar tijdens de stortperiode. In GSP5 lijkt de concentratie vooral in januari wel iets hoger, maar het is niet te

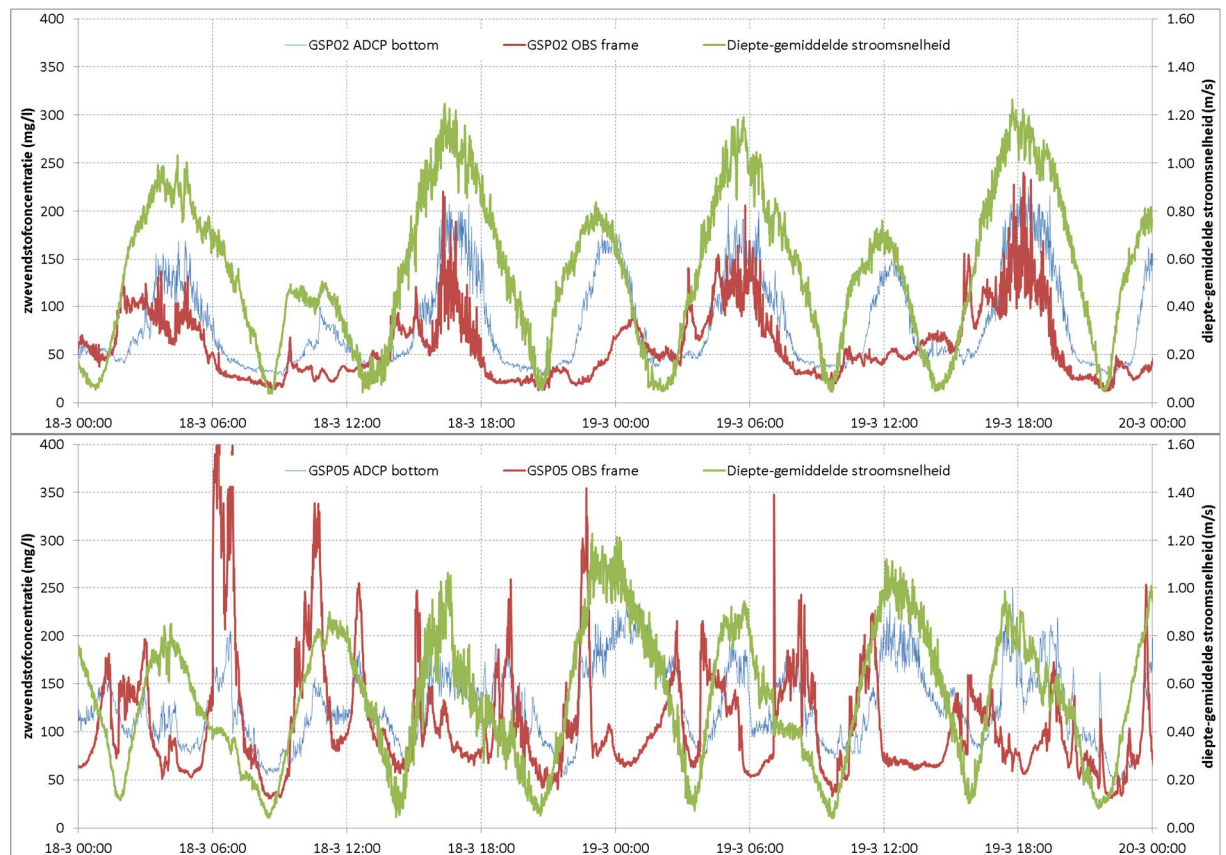
zeggen of de baggerverspreiding daarbij een rol speelt. Begin april is ook een periode met hogere concentraties. Tijdens deze periode wordt geen specie vanuit de Eemshaven verspreid.



Figuur 2.11 Zwevendstofconcentratie (in mg/l) gemeten met OBS op locatie GSP2 (boven) en GSP5 (onder).

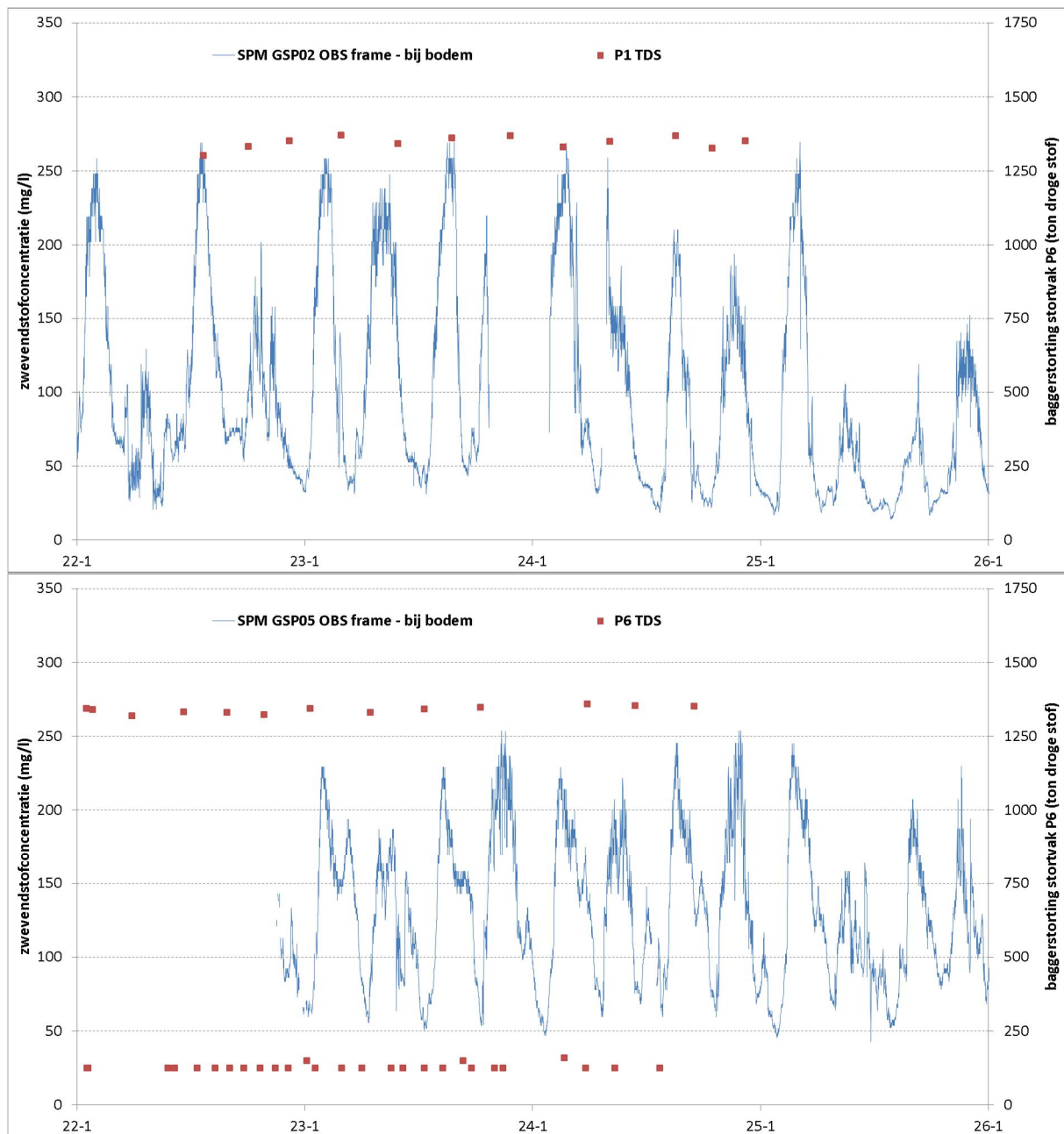
Als ingezoomd wordt op een korte periode (Figuur 2.12), is voor locatie GSP2 een correlatie zichtbaar tussen de diepte-gemiddelde stroomsnelheid en de zwevendstofconcentratie. Bij de hogere stroomsnelheden die tijdens de vloedfase optreden neemt de concentratie toe. Bij de lagere stroomsnelheden tijdens de eb fase is er geen of veel minder verhoging van de concentratie.

Op locatie GSP5 lijkt de relatie tussen diepte-gemiddelde stroomsnelheid en zwevendstofconcentratie op het oog minder eenduidig. Terwijl het ADCP signaal wel een hogere concentratie bij maximale stroomsnelheid laat zien, wordt met de OBS vaak juist een lagere concentratie gemeten. Het OBS signaal laat meestal een toename van de concentratie zien op het moment dat de stroomsnelheid gaat toenemen na kentering, om daarna na een piekwaarde terug te zakken naar het lagere niveau voordat de stroomsnelheid maximaal is. De verklaring hiervoor moet nog nader onderzocht worden.



Figuur 2.12 Zwevendstofconcentratie (in mg/l) bij de bodem gemeten met OBS en ADCP en diepte-gemiddelde stroomsnelheid (in m/s) op locatie GSP2 (boven) en GSP5 (onder).

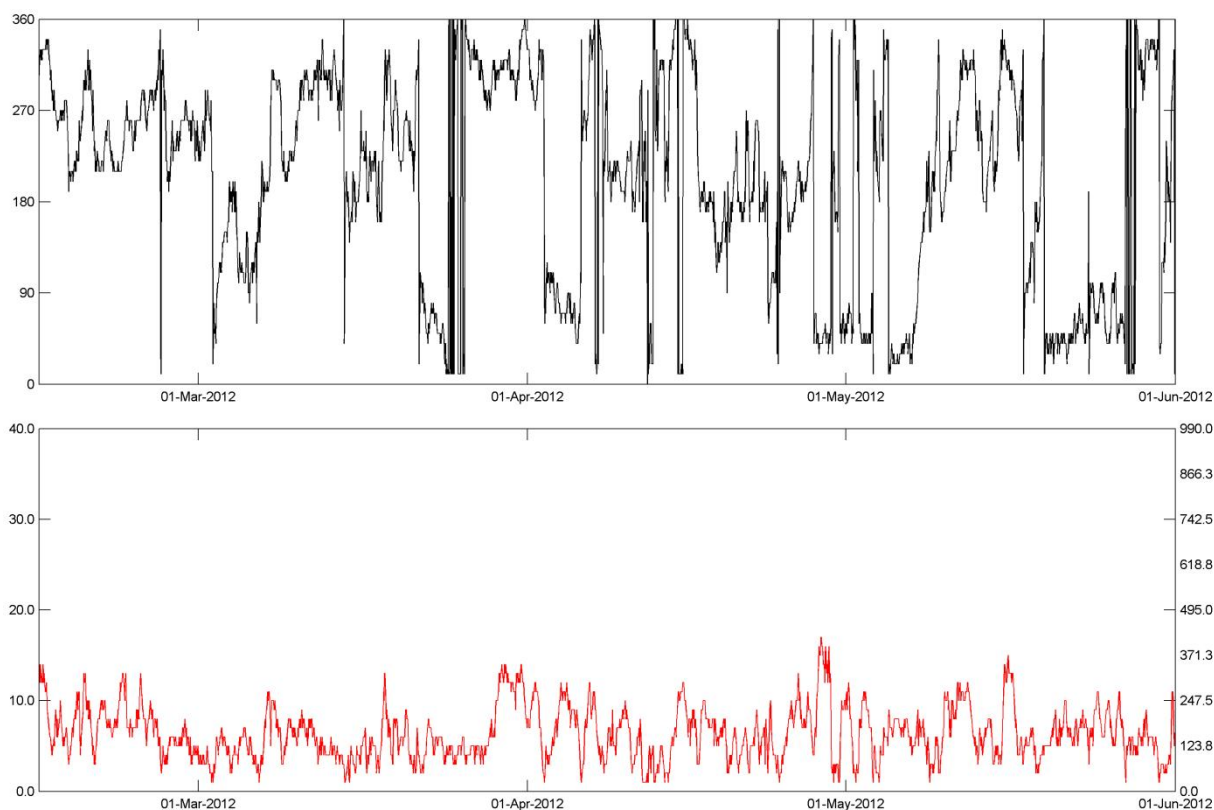
Tenslotte toont Figuur de gemeten zwevendstofconcentratie en de baggerstoring in P1 voor locatie GSP2 en de baggerstoring in P6 voor locatie GSP5 voor enkele dagen in januari. In geen van beide gevallen is er op het oog een relatie zichtbaar tussen het moment van baggerstoring en de zwevendstofconcentratie in de uren na de storing. Een instantaan effect van een storing op de zwevendstofconcentratie lijkt derhalve op 5 tot 8 km van de stortlocatie (Tabel 2.2) niet zichtbaar.



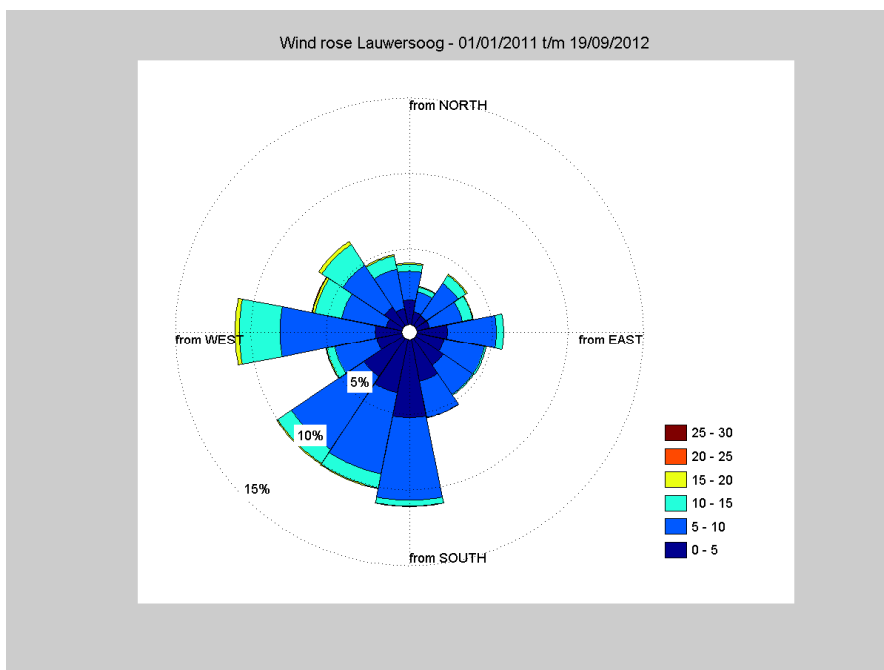
Figuur 2.13 Zwevendestofconcentratie (mg/l) en baggerstorting in P1 voor GSP2 (boven) en P6 voor GSP5 (onder).

2.2.8 Windsnelheid en windrichting

Voor de windsnelheid en windrichting wordt gebruik gemaakt van het KNMI station Lauwersoog. Dit is het dichtstbij gelegen station.



Figuur 2.14 Windrichting (boven, in $^{\circ}$ t.o.v. noord) en windsnelheid (onder, in m/s) voor KNMI station Lauwersoog.

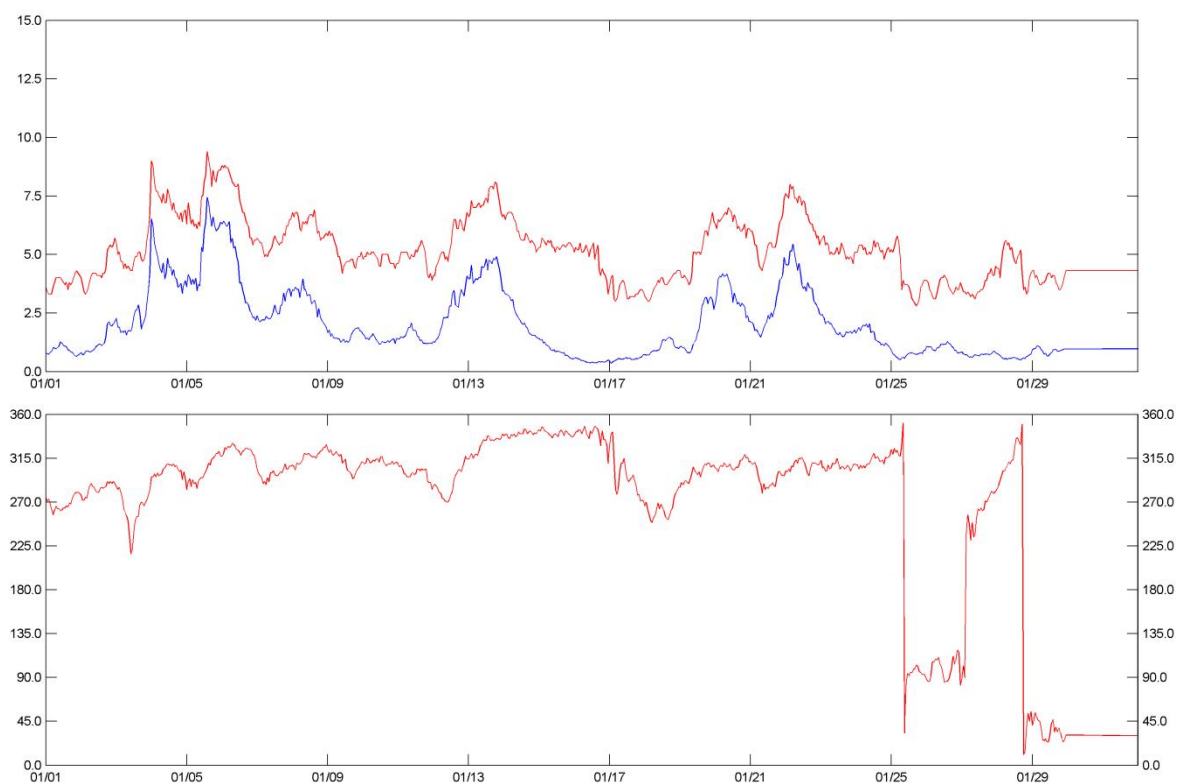


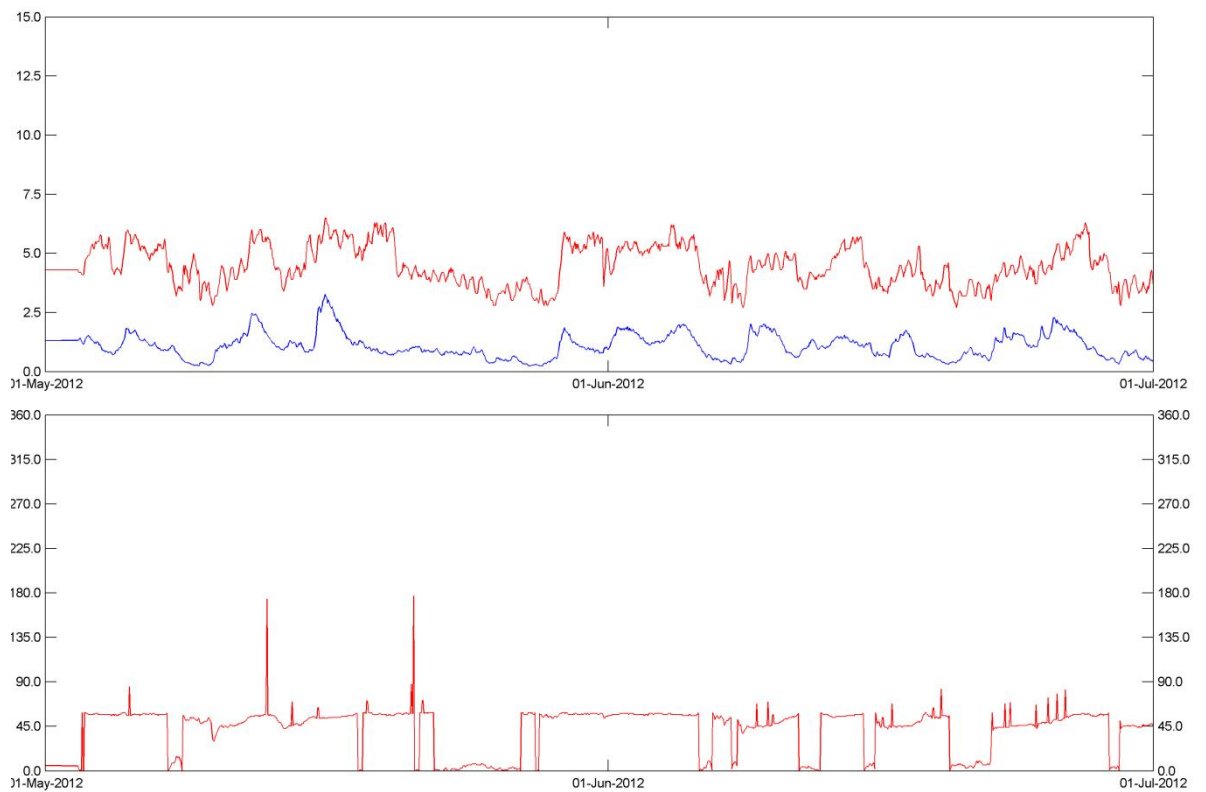
Figuur 2.15 Windroos KNMI station Lauwersoog over de periode 1 januari-19 september 2012.

2.2.9 Golfhoogte, -richting en -periode

Golfkarakteristieken worden gebruikt van station Schiermonnikoog Noord. Dit station ligt op de Noordzee, relatief ver van de twee meetlocaties GSP2 en GSP5 in de Waddenzee. De gegevens zijn beschikbaar in januari 2012 en in mei en juni 2012.

De karakteristieken worden daarom niet representatief geacht voor de statistische analyse. In de volgende paragraaf zal getracht worden de golfkarakteristieken en de windsnelheid en -richting aan elkaar te relateren.





Figuur 2.16 Golfkarakteristieken op locatie Schiermonnikoog Noord. Boven: golfperiode (rood, in s) en significante golfhoogte (blauw, in m); Onder: golfrichting (rood, in $^{\circ}$ t.o.v. noord).

3 Vervolg

3.1 Voorstel voor statistische analyse

Het verwerken, controleren en (visueel) analyseren van de data heeft in 2012 meer tijd gekost dan voorzien. De langdurige, hoogfrequente metingen hebben een grote hoeveelheid waardevolle data opgeleverd. De grote fluctuatie van de zwevendstofconcentratie is duidelijk. Het is zeker dat het getij de grootste invloed heeft op de variatie. Het instantane effect van de baggerstorting is niet visueel te zien. Het (tijdelijk) verhogen van de achtergrondconcentratie door het cumulatieve effect van de stortingen is evenmin visueel uit de tijdreeksen af te leiden. Statistische technieken zijn derhalve nodig om met (statistische) zekerheid of onzekerheid uitspraken te doen over de significante bijdrage van de stortingen aan de zwevendstofconcentratie na 15 maart 2012.

De statistische aanpak die Deltares voorstaat, is nog niet uitgevoerd. De aanpak heeft als doel om de afhankelijke (te verklaren) parameter “Zwevendstofconcentratie” te voorspellen met zo min mogelijk onafhankelijke (verklarende) parameters. Op basis van de analyse in Hoofdstuk 2 wordt als minimale set verklarende parameters gezien:

- 3 diepte-gemiddelde stroomsnelheid;
- 4 windsnelheid;
- 5 saliniteit;
- 6 baggerstorting.

De diepte-gemiddelde stroomsnelheid is de maat voor het getij. De waterstand zou ook een geschikte maat kunnen zijn, maar het is duidelijk dat er een sterke onderlinge afhankelijkheid is tussen beide parameters. Het is daarom niet nodig beide parameters mee te nemen. In een tweede stap is misschien nader een onderscheid tussen eb- en vloedfase nodig.

De windsnelheid is de maat voor golven. Golven zijn niet ter plekke gemeten over een voldoende lange periode. Over het algemeen is de windsnelheid een redelijke voorspeller voor het effect van golven op onder andere resuspensie. De windrichting is mogelijk ook belangrijk als luttewerking belangrijk blijkt te zijn. Windrichting kan derhalve eventueel in een tweede fase worden meegenomen.

De saliniteit is de maat voor de rivierafvoer. De rivierafvoer zelf zou ook een geschikte maat kunnen zijn, maar is in een lagere tijdsfrequentie beschikbaar. Ook zou dan nog een relatie tussen de rivierafvoer bij Ems en de twee locaties GSP2 en GSP5 moeten worden uitgevoerd. Het lijkt efficiënter om de saliniteit die ter plekke gemeten is, te nemen als maat.

De baggerstorting moet mogelijk gesplitst worden in twee onderdelen, te weten de instantane bijdrage aan de concentratie en de cumulatieve bijdrage aan de (achtergrond)concentratie. Het verschil tussen beide onderdelen is de historische periode die in de statistische aanpak wordt meegerekend. Voor de instantane bijdrage is dat waarschijnlijk niet meer dan 48 uur, terwijl dat voor de cumulatieve bijdrage wel 30 dagen zou kunnen zijn. Deze historische periode is een kalibratiegrootte van het statistisch model.

De verklarende parameters zullen geen volledige verklaring voor de zwevendstofconcentratie opleveren. Er zal een onverklaard deel zijn: het residu. De crux van het statistisch model is om het residu zo klein mogelijk te maken, met inachtneming van fysische principes van het gedrag van zwevend stof in de Eems-Dollard. Dat wil dus zeggen dat het statistisch model wel degelijk op fysische aannames en fysisch begrip gebaseerd zal moeten zijn.

$$\begin{aligned}
 SPM = & \sum_{t=0}^{t_{stroomsnelheid}} \alpha_{stroomsnelheid} x_{stroomsnelheid} + \sum_{t=0}^{t_{windsnelheid}} \alpha_{windsnelheid} x_{windsnelheid} \\
 & + \sum_{t=0}^{t_{saliniteit}} \alpha_{saliniteit} x_{saliniteit} + \sum_{t=0}^{t_{baggerstorting}} \alpha_{baggerstorting} x_{baggerstorting} \\
 & + residu
 \end{aligned}$$

De α factoren zijn de maat voor hoeveel de respectievelijke factor bijdraagt aan de SPM concentratie. De tijdsparemeter t geeft aan hoeveel historische metingen meegenomen moeten worden in de verklaring.

Door middel van statische technieken kunnen zowel de α en de t parameters geoptimaliseerd worden waarbij het minimaliseren van het residu het criterium is. Uit het statistisch model is informatie af te leiden over de bandbreedte en de onzekerheid van de parameters en dus onder andere over de onzekerheid van de bijdrage van de baggerstorting aan de zwevendstofconcentratie. Dit laatste is de hoofddoelstelling van de monitoring.

Om een dergelijk statistisch model op te zetten en de analyse hiermee uit te voeren is 20 dagen werk nodig. Deze uitgebreide statistische analyse valt buiten de oorspronkelijke raming en brengt meerwerk en –kosten met zich mee.

3.2 Voorstel voor analyse op basis van het verspreidingsmodel

De waterbeweging van het Eemsmodel is inmiddels gedraaid voor de periode 1 januari tot 1 juli 2012. Hiertoe was het noodzakelijk om nieuwe randvoorwaarden te genereren.

Op basis van deze nieuwe waterbeweging kan het verspreidingsmodel voor dezelfde worden gedraaid met de huidige instellingen en een vergelijking worden gemaakt met de metingen in GSP-2 en GSP-5. De hiermee gemoeide inspanning is in principe beperkt en valt binnen de oorspronkelijke raming.

De vraag is hoeveel tijd vervolgens moet worden besteed aan verdere kalibratie van het model, ook in het licht van de nog uit te voeren hindcast en de op dit moment in uitvoering zijnde modelkalibratie in het kader van de MER vaargeulverdieping (door Arcadis). Dubbel werk dient te worden voorkomen.

IN het vervolgtraject moet een discussie worden gevoerd over de keuze van de vervolgstap(pen) en afronding van het overall project, rekening houdend met flankerende en vervolgprojecten.