

**Statistische analyse van
zwevend-stofgehalte door
verspreiding baggerspecie
Eemshaven**



Statistische analyse van zwevend- stofgehalte door verspreiding baggerspecie Eemshaven

dr. H.F.P. van den Boogaard
ir. L. Arentz

1208159-000

Titel

Statistische analyse van zwevend-stofgehalte door verspreiding baggerspecie Eemshaven

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Groningen Seaports	1208159-000	1208159-000-ZKS-0006	57

Trefwoorden

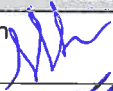



Baggerspecieverspreidingen, Zwevendstofconcentraties, Omgevingskondities, Data analyse, Statistische analyse, Statistisch model, Data gedreven modellering, Trends, Tijdreeksen, Tijdschalen, Onzekerheden.

Samenvatting (beknopt)

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.

Het doel van huidige studie is om op basis van een statistische analyse van hoogfrequente metingen die gedurende een periode van 5 maanden in 2012 zijn uitgevoerd, vast te stellen of de verspreidingen van baggerspecie al dan niet tot een extra vertroebeling leiden na 15 maart, en zo ja in welke mate dat dan het geval is.

Op basis van de statistische analyse in combinatie met een expert judgment mag verwacht worden dat na 15 maart geen substantiële verhoging van de zwevendstofconcentratie optreedt als gevolg van de baggerspecieverspreiding door GSP.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	okt. 2013	dr. H.F.P. van den Boogaard		drs. A.J. Nolte		drs. F.M.J. Hoozemans	
		ir. L. Arentz					

Status
definitief

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. Het Eems-Dollard estuarium wordt gekenmerkt door hoge concentraties zwevend stof. Indien de verspreide baggerspecie de vertroebeling verhoogt, kan de algengroei, die afhankelijk is van de hoeveelheid licht die in het water doordringt, worden beïnvloed. De milieueffectrapportage heeft laten zien dat de bijdrage van de baggerspecieverspreiding aan de troebelheid beperkt zal zijn. Op basis hiervan heeft Groningen Seaports een vergunning gekregen om de baggerwerkzaamheden uit te voeren. Om potentiële negatieve effecten te vermijden is in de vergunning vastgelegd dat er tussen 15 november en 15 februari gebaggerd en verspreid mag worden. De vergunning 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. Echter, 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.

Het doel van de huidige studie is om op basis van een statistische analyse van de hoogfrequente metingen die gedurende een periode van 5 maanden in 2012 zijn uitgevoerd, vast te stellen of de verspreidingen van baggerspecie al dan niet tot een extra vertroebeling zal leiden na 15 maart, en zo ja in welke mate dat dan het geval is.

Van 15 januari tot 1 juli 2012 zijn op twee locaties (GSP2 en GSP5) metingen uitgevoerd waarbij iedere minuut de zwevendstofconcentratie gemeten is. Omdat met twee verschillende meetmethodes (OBS en ADCP) nabij de bodem en nabij het wateroppervlak is gemeten, zijn per meetlocatie vier tijdreeksen beschikbaar. Ook waterstand, stroomsnelheid en -richting, zoutgehalte en temperatuur zijn op deze locaties met dezelfde frequentie gemeten. Locatie GSP5 ligt tussen de drie verspreidingslocaties op enkele kilometers van de Eemshaven. Locatie GSP2 ligt aanzienlijk verder weg van de drie verspreidingslocaties en dient als referentie voor de omgevingscondities.

Door de gemeten zwevendstofconcentratie tijdens en na de baggersverspreiding (dat wil zeggen voor en na 15 februari) te vergelijken moet de bijdrage van de baggersverspreiding aan de zwevendstofconcentratie bepaald kunnen worden. In de tijdreeksen is op het oog geen duidelijk verschil zichtbaar tussen voor en na 15 februari. Zelfs kort na een verspreiding door een baggerschip is geen duidelijk toename in zwevendstofconcentratie te zien. De bepaling is echter lastig, omdat de zwevendstofconcentratie veel varieert in de tijd en door meer factoren dan alleen de baggersverspreiding wordt bepaald. Voordat ingegaan wordt op het statistische onderzoek om de bijdrage van de baggersverspreiding te bepalen, wordt de achtergrond van zwevend stof beknopt geschetst.

Zwevend stof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte. Stroming en golven zorgen ervoor dat deeltjes in de waterkolom blijven. Voor grotere deeltjes zijn grotere stroming en/of hogere golven nodig om de deeltjes in de waterkolom te houden dan voor kleinere deeltjes die makkelijker blijven zweven. Als de stroming en/of golven te gering zijn, zakken deeltjes uit naar de bodem. Afhankelijk van de deeltjesgrootte kan dat minuten tot vele dagen duren. Zolang de deeltjes zich in de waterkolom bevinden, worden ze meegevoerd (getransporteerd) door het water en worden ze dus verplaatst binnen het estuarium. Binnen een getijcyclus van eb en vloed kan de horizontale verplaatsing van deze deeltjes vele kilometers zijn.

In het Eems-Dollard estuarium veranderen stroming en golven voortdurend. Stroming wordt primair veroorzaakt door het getij. Ook de menging van het zoete rivierwater van de Eems met het zoute water van de Noordzee zorgt voor stroming. Golven worden lokaal door de wind opgewekt en elders opgewekte golven verplaatsen zich. De combinatie van getij, rivierafvoer en wind zorgt niet alleen voor variatie binnen een dag, maar ook voor variaties over het jaar. Daarnaast kunnen bovenop deze natuurlijke processen menselijke activiteiten een rol spelen in de verspreiding en het transport van sediment, bijvoorbeeld baggeractiviteiten voor vaargeul- en havenonderhoud (waaronder de Eemshaven). Om te bepalen hoeveel de Eemshaven-baggerverspreiding bijdraagt aan de zwevendstofconcentratie, moet deze bijdrage dus onderscheiden worden van die van andere bronnen zoals stroming en golven, en andere baggeractiviteiten.

De meetserie van 15 januari tot 1 juli heeft naast informatie over de zwevendstofconcentratie ook informatie over de heersende omgevingscondities opgeleverd. De gemeten omgevingscondities bevatten informatie over waterstand (getij), stroming, en rivierafvoer door middel van het zoutgehalte. Golven zijn niet gemeten, maar als vervanging zijn windgegevens van enkele locaties in de buurt beschikbaar (wind wekt golven op). Tenslotte is op basis van de logboeken precies bekend waar, wanneer en hoeveel bagger uit de Eemshaven verspreid is tot 15 februari. In theorie is hiermee alle informatie beschikbaar op basis waarvan de gemeten zwevendstofconcentratie verklaard kan worden uit een combinatie van natuurlijke dynamiek en menselijke factoren.

Bij een nadere inspectie van de metingen is geconstateerd dat een moment van baggerverspreiding niet leidt tot een kortdurende, duidelijk op het oog zichtbare verhoging van zwevendstofconcentratie. Bovendien blijkt dat de verspreidingen vrijwel continue in de tijd hebben plaatsgevonden en niet als duidelijke van elkaar te onderscheiden pulsen. Om deze reden wordt uitgegaan van de hypothese dat tijdens de hele periode van baggerverspreiding de zwevendstofconcentratie een zekere hoeveelheid hoger is dan in de periode na de baggerverspreiding. Deze hypothese is op twee manieren statistisch getoetst. In de tweede statistische toetsing is een nieuwe, zeer geavanceerde aanpak gevolgd nadat eerst een bestaande aanpak was gevolgd.

In beide gevallen wordt een vergelijking opgesteld waarin de zwevendstofconcentratie berekend wordt ('voorspeld wordt') op basis van de omgevingscondities. Omdat de afzonderlijke metingen in een tijdserie niet onafhankelijk van elkaar zijn – er is sprake van een sterke autocorrelatie wat inhoudt dat de opeenvolgende metingen sterk aan elkaar gerelateerd zijn – wordt in de vergelijking gerekend met de natuurlijke omgevingscondities die tot 12 uur of zelfs 48 uur terugkijken in de tijd. Zo ontstaat een vergelijking met ongeveer duizend variabelen. Voor iedere variabele is er een weegfactor gedefinieerd. Door middel van statistische analyse wordt iedere weegfactor zo bepaald dat de berekende zwevendstofconcentratie over de hele gemeten periode het best overeenkomt met de gemeten zwevendstofconcentratie.

Bij de eerste statistische toetsing is voor de perioden voor en na 15 februari (laatste dag van de verspreidingen) bepaald welk deel van het gemeten signaal niet verklaard kan worden met het berekende signaal door uitsluitend de natuurlijke omgevingsfactoren. Omdat de baggerverspreiding niet in de vergelijking is meegenomen, zou het verschil tussen de periode voor en na 15 februari verklaard kunnen worden door de bijdrage van de baggerverspreiding. Hoewel dit verschil 1,75 mg/l bedroeg, bleek uit een validatietest dat dit getal niet als voldoende nauwkeurig beschouwd mag worden. Door in de verspreidingsperiode (d.w.z. tot 15 februari) kunstmatig 10 mg/l aan de zwevendstofmeting toe te voegen, zou uit het model 11,75 mg/l bijdrage moeten rollen. Dit bleek 'slechts' 3,2 mg/l te zijn. Deze test geeft wel aan dat omgevingscondities een zo grote variabiliteit omvatten dat een relatief kleine bijdrage van de verspreiding vrij makkelijk en onterecht verklaard kan worden uit de omgevingscondities.

De tweede statistische toetsing hanteert een iets andere benadering door de baggerverspreiding als verklarende variabele met een eigen weefactor in de vergelijking mee te nemen. Door de baggerverspreiding een weefactor met waarde 1 te geven voor 15 februari (ofwel tijdens baggerverspreidingen) en een waarde 0 na 15 februari (na de verspreidingen) kan in de statistische analyse onderscheid gemaakt worden tussen beide periodes. Door nu over de verspreidingsperiode de gemeten zwevendstoftijdreeks herhaaldelijk met een bepaalde hoeveelheid kunstmatig te verminderen kan bepaald worden hoeveel vermindering nodig is om de weefactor gelijk te laten zijn aan 0. In die situatie is immers de baggerverspreiding niet (meer) nodig om het verschil voor en na 15 februari te verklaren. Die verlaging van de zwevendstofconcentratie zou in dat geval de bijdrage van de baggerverspreiding zijn.

Voor de vier tijdreeksen op locatie GSP5 is zo een bijdrage van de baggerverspreiding variërend van 1 tot 17 mg/l gevonden, ofwel 2% tot 14% van de gemiddelde zwevendstofconcentratie over de hele periode.

Is er na 15 maart een significante extra vertroebeling te verwachten als gevolg van de verspreidingen van GSP? In beide toetsen is de periodegrens op 15 februari (laatste dag verspreidingen) in plaats van op 15 maart gelegd. Hoofdrede hiervoor is om het model te testen en behapbaar te houden. Wat betekent dit voor de bijdrage van de baggerverspreiding als niet 15 februari maar 15 maart als periodegrens wordt gebruikt? Op basis van expert judgment mag verwacht worden dat na 15 maart geen substantiële verhoging van de zwevendstofconcentratie optreedt als gevolg van de baggerspecieverspreiding door GSP. Deze verwachting is op gebaseerd op het te verwachten fysisch gedrag van de baggerspecieverspreiding onder de hier geldende omgevingscondities. De naijleffecten van de verspreidingen zullen al na één of een paar weken, (maar zeker na een maand) verdwenen zullen zijn.

Het statistisch onderzoek kan, zoals dat nu is uitgevoerd, niet onomstotelijk vaststellen, maar wel aannemelijk maken dat de baggerverspreiding na 15 februari geen substantiële bijdrage aan de vertroebeling levert (laat staan na 15 maart). De grote variabiliteit van de gemeten zwevendstofconcentratie, alsmede de beperkingen aan de metingen zoals het gebruik van wind als alternatief voor golven en de inherente ruis en grote variabiliteit in de meetseries, laten een grotere nauwkeurigheid van de gevonden schattingen niet toe.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Doel van het onderzoek	3
3	Beschikbare meetdata voor het identificeren van effecten van verspreiding	5
4	Opzet van de statistische modellen en de toetsprocedures	9
4.1	Analyse en validatie van de beschikbare data	9
4.2	De Duitse verspreidingen	18
4.3	Toetsingsprocedure en toetsingsgrootheden	19
4.4	Beschrijving van de statistische modellen	21
5	Resultaten van de statistische modellering en toetsen op verspreidingseffecten	31
5.1	Resultaten van de modellering van de zwevendstoftijdreeksen van GSP5 met een Neutraal Netwerk	31
5.2	Resultaten van de toetsingsprocedure bij de NN-gebaseerde modellering	36
5.3	Resultaten van de toetsingsprocedure bij het exponentiele regressiemodel	38
6	Samenvatting, conclusies, opmerkingen en discussie	51
7	Referenties	57
	Bijlage(n)	
A	Eerste variant in de opzet van de statistische modellering en opvolgende toetsing van effecten van de verspreiding	A-1
A.1	Beschrijving van de statistische modellering	A-1
A.2	Residuen na kalibratie van het regressiemodel	A-3
A.3	Uitwerking/beschrijving van de toets	A-3

1 Inleiding

De aanleiding voor de voorliggende studie is een verdieping en verruiming van de Eemshaven. Groningen Seaports (GSP) heeft een vergunning verkregen voor de verspreiding van baggerspecie, dat vrijkomt tijdens de werkzaamheden. Een van de verplichtingen van GSP die aan deze vergunning is gekoppeld, is een rapportage- en monitoringsplicht met als doel het in kaart brengen van de effecten van de specieverspreiding ten gevolge van de uitbreiding van de Eemshaven. Als onderdeel van de monitoringsplicht heeft GSP metingen (mede gefinancierd door Rijkswaterstaat) laten uitvoeren en zal daarnaast eveneens een gespecificeerd numeriek verspreidingsmodel worden ingezet voor het nagaan van effecten van de verspreidingen. De belangrijkste vraag die met behulp van de monitoring (metingen en model) beantwoord dient te worden is: is er na 15 maart sprake van extra vertroebeling en kan deze worden toegerekend aan de verspreidingen van GSP? Deze vraag vormt het thema van de hier voorliggende analyse, zij het dat hierbij nu alleen de meetgegevens gebruikt worden.

De baggerspecieverspreiding ten behoeve van de verdieping en uitbreiding van de Eemshaven vindt steeds in de winterperiode plaats (november tot en met uiterlijk 15 februari). Aan de vergunning is de voorwaarde verbonden dat de baggerspecieverspreiding na 15 maart (dus een maand na het stoppen van de verspreiding) niet significant meer bijdraagt aan de vertroebeling. Na elke periode volgt een rapportage van de monitoring. In de winter van 2009 is gestart met de werkzaamheden. Deze periode van baggerspecieverspreiding wordt Fase 1 genoemd. Fase 2 heeft betrekking op de verspreidingen in de winter van 2010 / 2011. De huidige studie is onderdeel van Fase 3 waarin de baggerperiode 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 van onder andere zwevendstofgehalte uitgevoerd. In Chatelain en Nolte (2013) zijn 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.

De opbouw van dit rapport is als volgt:

In het volgende hoofdstuk wordt het doel van dit onderzoek beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de beschikbare metingen voor de analyse. Hoofdstuk 4 begint met een beknopte analyse en validatie van de beschikbare data. Vervolgens worden in dit hoofdstuk de opzet van de statistische modellen en de toetsingsprocedures beschreven. Daarna worden in hoofdstuk 5 de resultaten van de modellering en de toetsingsprocedures beschreven.

Het rapport wordt afgesloten met een samenvatting, de conclusies, enkele opmerkingen en een discussie in hoofdstuk 6.

Dit rapport is geschreven voor een lezer met enige kennis van statistiek.

2 Doel van het onderzoek

De hier uitgevoerde statistische analyse richt zich op de vraag of concentraties van zwevend stof in het interessegebied op een “significante” wijze worden beïnvloed door de verspreidingen in dit gebied van in de Eemshaven gebaggerd materiaal. Onder significant wordt in deze studie verstaan dat (de *eventuele*) effecten van de verspreiding van de verspreidingen op de concentraties voldoende groot moeten zijn om die te kunnen onderscheiden van de effecten van andere (fysische, niet antropogene) invloedsfactoren. Dat voldoende groot moet bovendien van een omvang zijn dat dit niet aan toeval kan worden toegeschreven.

In dit kader wordt dit via een statistische procedure onderzocht en waarbij “uitsluitend” gebruik wordt gemaakt van metingen van diverse fysische grootheden in het gebied. Samenvattend:

Het doel van het uitgevoerde onderzoek is om op basis van een statistische analyse van de beschikbare hoogfrequente meetdata vast te stellen of verspreidingen van baggerspecie al dan niet tot een extra vertroebeling leiden na 15 maart, en zo ja in welke mate dat dan het geval is.
--

3 Beschikbare meetdata voor het identificeren van effecten van verspreiding

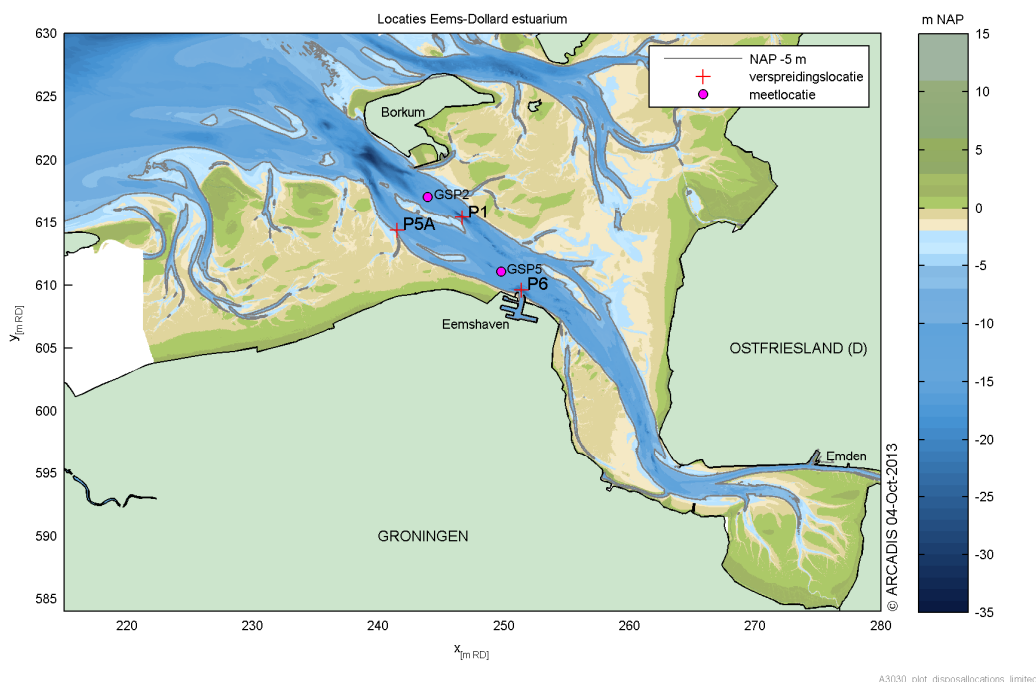
De beschikbare metingen bestaan uit tijdreeksen van diverse grootheden op één of meerdere locaties in de buurt van de verspreidingslocaties (P1, P5a en P6).

De zwevendstofconcentratie op de twee meetlocaties GSP2 en GSP5 (zie Figuur 3.1) is één van de gemeten grootheden. Deze zijn hier van groot belang omdat hieruit de (eventuele) effecten van verspreidingen geïdentificeerd moeten worden. Per zwevendstofmeetlocatie is op twee posities in de waterkolom gemeten, namelijk aan de bodem, en aan het oppervlak met een meetfrequentie van ongeveer 1 meting per minuut (afgezien van gaten en / of uitval). Bovendien zijn er van OBS (Optical BackScatter) en van ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) afgeleide zwevendstofmetingen beschikbaar. De OBS metingen representeren in overmaat de concentraties van de fijnere deeltjes, en ADCP in overmaat de concentratie van de grotere deeltjes. De verwachting is dat beide fracties in de verspreidingen substantieel aanwezig zullen zijn. In totaal zijn er hiermee $2 \times 2 \times 2 = 8$ gemeten tijdreeksen van zwevend stof.



Figuur. 3.1. Locaties van meetstations. De rode locaties GSP2 en GSP5 zijn de locaties van de vaste meetopstelling. De groene locaties geven overige meetstations weer.

De grootste hoeveelheid baggerspecie is verspreid op locatie P6 welke het dichtstbij de meetlocatie GSP5 ligt (Figuur 3.2 en Tabel 3.1). Op locaties P1 en P5a is in totaal minder verspreid. Als de baggerspecieverspreiding een merkbare verhoging van de zwevendstofconcentratie levert, zou de verspreiding 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 (Chatelain en Nolte, 2013)



Figuur. 3.2. Locaties van meetstations GSP2 en GSP5. De rode kruisjes geven de verspreidingslocaties weer.

De locaties P1 en P5a liggen ongeveer midden tussen de meetlocaties GSP2 en GSP5. Meetlocatie GSP2 ligt weliswaar dichtbij verspreidingslocatie P1, maar daar wordt vooral zandig materiaal verspreid. GSP2 ligt ook relatief dicht bij P5a, maar in een andere geul. GSP5 ligt juist tussen P5a en P6 in. Voor GSP2 wordt daarom weinig of althans veel minder effect van die verspreidingen verwacht dan voor GSP5. Derhalve worden de zwevendstofmetingen bij GSP2 gebruikt als een representant voor de situatie waar de invloed van de verspreidingen niet of nauwelijks merkbaar is. In die zin vormen de gemeten sedimentconcentraties op locatie GSP5 de *doelvariabele* in de hier uitgevoerde analyse, en die van GSP2 fungeren daarbij als referentie voor afwezigheid van verspreidingen.

Tabel 3.1. Afstand van midden verspreidingsvak tot meetlocatie afgerond op hele kilometers. De getijfase geeft aan wanneer de stroomrichting vanaf het verspreidingsvak richting de meetlocatie is (Chatelain en Nolte, 2013).

Verspreidingsvak	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)

Naast die zwevendstofmetingen zijn (andere) grootheden van belang die als verklarende factor voor die zwevendstofconcentraties gebruikt zullen worden.

Voor het kunnen identificeren van effecten van verspreidingen moet de bron van die verspreidingen beschikbaar zijn. Hier is dat het geval in de vorm van de logboeken van de verspreide hoeveelheid (volumes of massa) baggerspecie. Soortgelijke informatie is beschikbaar voor de Duitse verspreidingen in de nabije omgeving van het interessegebied. In de analyse fungeren deze als *invloedsfactor* (ofwel input).

De sedimentconcentraties op de meetlocaties worden niet alleen bepaald door de verspreidingen maar ook door de omgevingscondities in de vorm van stroming, golven en saliniteit. Voor het representeren van deze invloedsfactoren kunnen eveneens metingen te GSP2, GSP5 en een aantal andere locaties worden gebruikt. In dit geval omvatten deze waterstanden, diepte gemiddelde stroomsnelheden, wind, en saliniteit. Golfdata zijn niet op een representatieve locatie beschikbaar. Voor het verrekenen van (eventuele) door golf geïnduceerde effecten op de sedimentconcentraties zal hier als alternatief (ofwel als “proxy”) de wind als invloedsfactor worden gebruikt. Op eenzelfde wijze wordt als een andere invloedsfactor de saliniteit als proxy gebruikt voor de rivierafvoer. Metingen van rivierafvoer zijn weliswaar beschikbaar maar met een te lage temporele resolutie vergeleken met de tijdschalen van de variaties in de sedimentconcentraties om als invloedsfactor bruikbaar te zijn. Voor een verdere beschrijving en analyse van de metingen zie Chatelain en Nolte (2013).

Samenvattend kan dus worden gezegd dat voor de analyse gemeten tijdreeksen geselecteerd zijn van enerzijds de doelvariabelen (zwevend stof te GSP5), en anderzijds meerdere invloedsfactoren, die vanuit fysisch oogpunt de tijdsevolutie van die doelvariabelen bepalen, of anderzijds als verklarende factor kunnen worden gebruikt.

4 Opzet van de statistische modellen en de toetsprocedures

De kwantiteit en kwaliteit van de meetdata speelt een belangrijke rol in het al dan niet kunnen identificeren van (eventuele) effecten van zwevendstofverspreidingen op basis van een statistische analyse. "A priori" is het niet zeker of de kwantiteit en kwaliteit van de meetdata voldoende is voor het beantwoorden van de hier gestelde vraag. Ofwel: zelfs als er een effect van verspreidingen aanwezig zou zijn is het nog ongewis dat de hier beschikbare meetdata van voldoende omvang is om dat effect met voldoende mate van zekerheid te kunnen identificeren. Die identificeerbaarheid vormt daarom een integraal onderdeel van het onderzoek. Daarbij is het a priori bovendien nog de vraag op welke wijze er zinvol op de effecten van verspreidingen getoetst kan/moet gaan worden. Ofwel: wat zijn hiervoor geschikte criteria, hypothesen, en/of te gebruiken kentallen? In Secties 4.1 en 4.2 wordt daar nader op ingegaan.

Een ander belangrijk onderdeel in de analyse en het daarin identificeren van (eventuele) effecten van de zwevendstofverspreidingen is het afleiden van hoe de doelvariabelen (hier de zwevendstofconcentraties op de twee meetlocaties) afhangen van de invloedsfactoren (de omgevingscondities zoals die hier via metingen van waterstanden, stroomsnelheden, wind, etc. beschikbaar zijn). Hiertoe wordt een data georiënteerde modellering uitgevoerd. De uitkomsten van die modellering vormen 'input' voor criteria waarmee kan worden getoetst of de slibverspreidingen een effect op de zwevendstofhuishouding hebben gehad. De opzet van die data georiënteerde ("statistische") modellering en de daarmee verbonden toetsprocedures worden de Secties 4.3 en 4.4 beschreven.

4.1 Analyse en validatie van de beschikbare data

Voorafgaand aan het modelleren en toetsen (secties 4.3 en 4.4) is via een validatie de kwantiteit en kwaliteit (en daarmee bruikbaarheid) van de beschikbare meetdata nagegaan. Uit deze analyses, en met de daar gebruikte elementaire analysetechnieken, kon nog niet worden afgeleid dat de verspreidingen een wezenlijk effect op de gemeten zwevendstofconcentraties hebben gehad. Het omgekeerde, namelijk geen effect van die verspreidingen was echter op dat moment eveneens niet vast te stellen. De conclusie was dat voor het aantonen of kunnen uitsluiten van eventuele effecten een veel meer gedetailleerde en geavanceerde analyse nodig is. Die methode betreft eerder genoemde statistische modellering.

Afgezien van deze conclusie was daarnaast een belangrijke uitkomst dat de beschikbare data qua kwaliteit en kwantiteit voldoende perspectieven lijken te bieden voor het daadwerkelijk gaan toepassen van meer geavanceerde statistische analyses. Of daarmee dan wel met zekerheid effecten kunnen worden aangetoond of juist uitgesloten kon op dat moment niet worden voorspeld. Dat kan pas op basis van de uitkomsten van zo'n gedetailleerde analyse worden vastgesteld.

In deze eerste analyses werd slechts een matige correlatie gevonden tussen de zwevend stof metingen van ADCP en OBS. Daarnaast zijn de zwevendstofmetingen via kruiscorrelatiefuncties de (één op één) afhankelijkheid van zwevend stof concentratie met invloedsvariabelen zoals stroomsnelheid, waterstand, saliniteit en wind bekeken. Dit is gedaan voor zowel de OBS metingen als voor de ADCP metingen van zwevend stof. De hoogste correlaties worden gevonden met de stroomsnelheid en waterstand.

Hieruit blijkt dat het grootste gedeelte van de variatie in de gemeten zwevend stof concentraties wordt bepaald door het getij. Dit is conform de verwachting aangezien getijstroming gemiddeld genomen de grootste factor is in het transporteren en opwervelen / uitzakken van zwevend stof in de waterkolom. De correlaties met de ADCP metingen waren groter dan met de OBS metingen. Dit valt fysisch te verklaren uit de verschillende gevoeligheid van de beide sensoren voor grover of fijner sediment. ADCP is ingericht voor de grovere deeltjes en OBS voor de fijnere deeltjes. Omdat de (bewegingen/transporten van) grovere deeltjes veel sterker reageren op fysische omgevingsfactoren zoals stroming en golven dan de fijnere deeltjes, is er (conform de uitkomsten van de data-analyses) een betere correlatie te verwachten van ADCP zwevend stof met dergelijke fysische invloedsvariabelen.

Op grond van deze bevindingen is besloten om statistische modellen te ontwikkelen voor zowel de OBS als de ADCP metingen van zwevend stof. Voor beide fracties is het interessant of zo de impact van verspreidingen kan worden aangetoond. Dit levert 4 doelvariabelen die elk apart geanalyseerd zullen worden.

Op basis van alle te GSP5 gemeten zwevendstoftijdreeksen (doelvariabelen) is gekeken voor welke overlappende periode alle metingen van zowel doelvariabele als verklarende variabelen beschikbaar zijn. Allen zijn vereist als invoer in de statistische modellering van de zwevendstoftijdreeksen. Dit resulteert in 4 reeksen die verschillen in lengte:

Voor de OBS zwevendstofmetingen te GSP5 aan de bodem ("Frame") was data beschikbaar van 18 januari tot 12 april 2012. Voor de OBS metingen aan het oppervlak ("Ketting") was de databeschikbaarheid iets langer namelijk van 18 januari tot 15 mei 2012. De beide ADCP metingen (bodem en wateroppervlak) strekten zich uit van 18 januari tot 12 juni 2012. Met deze periode van "totale beschikbaarheid" is verder geanalyseerd.

Naast de kruiscorrelaties en een visuele inspectie van tijdreeksen van de zwevend stof metingen van GSP5 zijn (kans)verdelingen van die concentraties berekend. Deze zijn te vinden in Figuur 4.1.1. Elk van de vier deelpanelen in Figuur 4.1.1 bevat de verdeling van één van de in totaal vier doelvariabelen: zwevend stof metingen met OBS-ketting (nabij het wateroppervlak), OBS-Frame (dit is aan de bodem), ADCP-oppervlak en ADCP-bodem. Deze verdelingen zijn in feite histogrammen van de beschikbare meetwaarden. Zij tonen het door elke tijdreeks qua waarden omvatte bereik en in welke mate verschillende concentraties voorkomen.

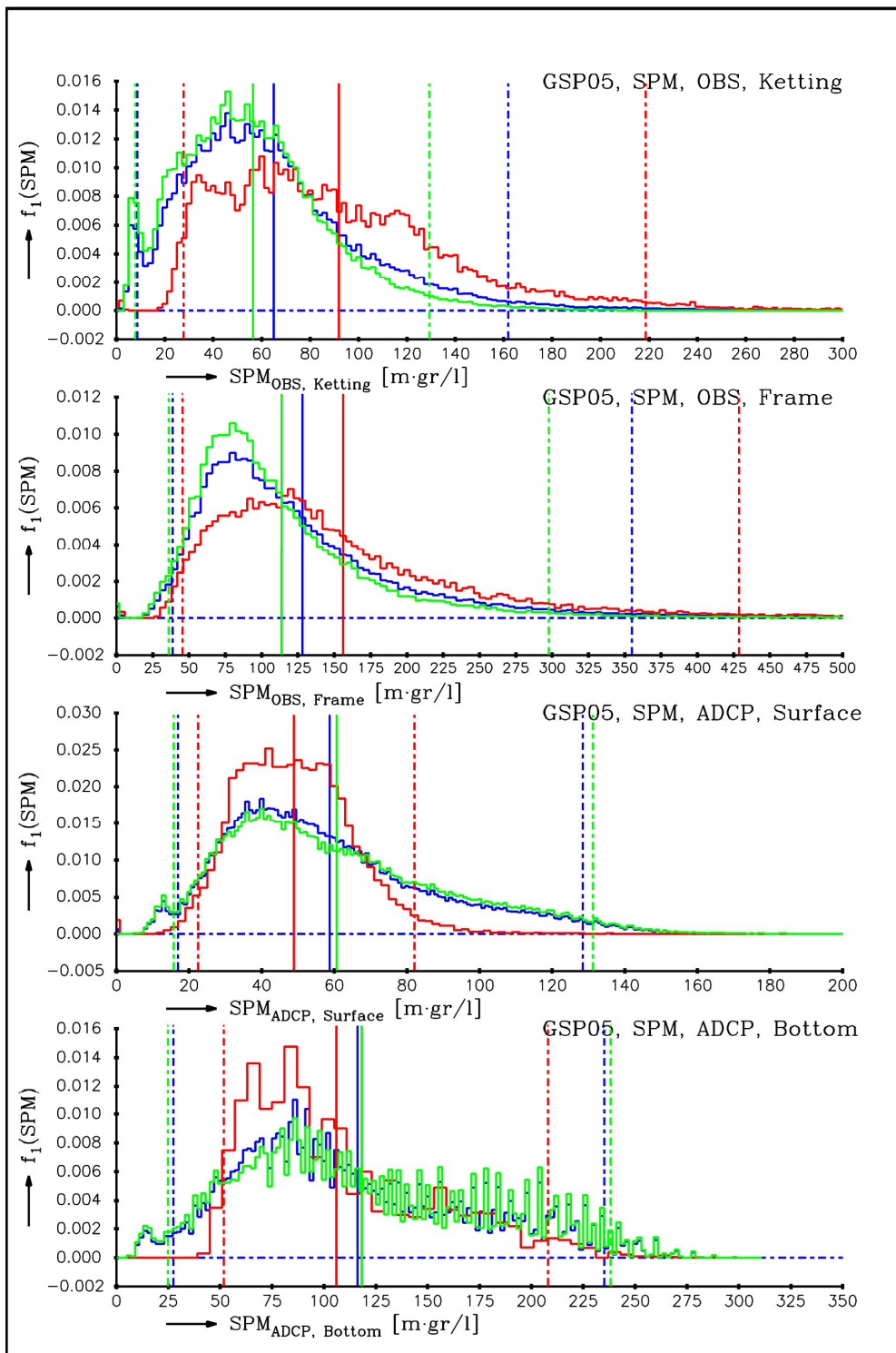
De histogrammen zijn per paneel in drievoud weergegeven. De **blauwe** histogrammen geven de verdeling over de hele meetperiode waarvoor vereiste metingen beschikbaar zijn (medio januari 2012 tot juni of begin juli 2012), de **rode** betreffen de verdeling van de zwevendstofmetingen van tijdens de verspreidingen (tot 16 februari), en de **groene** de verdeling van de metingen van na 16 februari toen geen verspreidingen meer plaatsvonden. In de (deel)figuren is via de doorgetrokken verticale lijnen (in overeenkomstige kleur) voor de diverse perioden eveneens de positie van de gemiddelde zwevendstofconcentratie aangegeven. Deze gemiddelden zijn getalsmatig eveneens in onderstaande Tabel 4.1.1 te vinden.

De onderbroken verticale lijnen in Figuur 4.1.1 geven de 2.5% en 97.5 kwantielen van de verdelingen. Het 2.5% kwantiel is de concentratie waar 2.5% van alle metingen onder ligt (en door 97.5% van alle metingen wordt overschreden), en het 97.5% kwantiel is de waarde die door 2.5% van de metingen wordt overschreden. Zo wordt, als voorbeeld, voor de OBS meting te GSP5 aan het oppervlak ("Ketting") de waarde 8.6 mg/l gevonden voor het 2.5% kwantiel, en de waarde 162.0 mg/l voor het 97.5% kwantiel. Dat betekent dat 95% van alle metingen in het interval [8.6, 162] mg/l vallen.

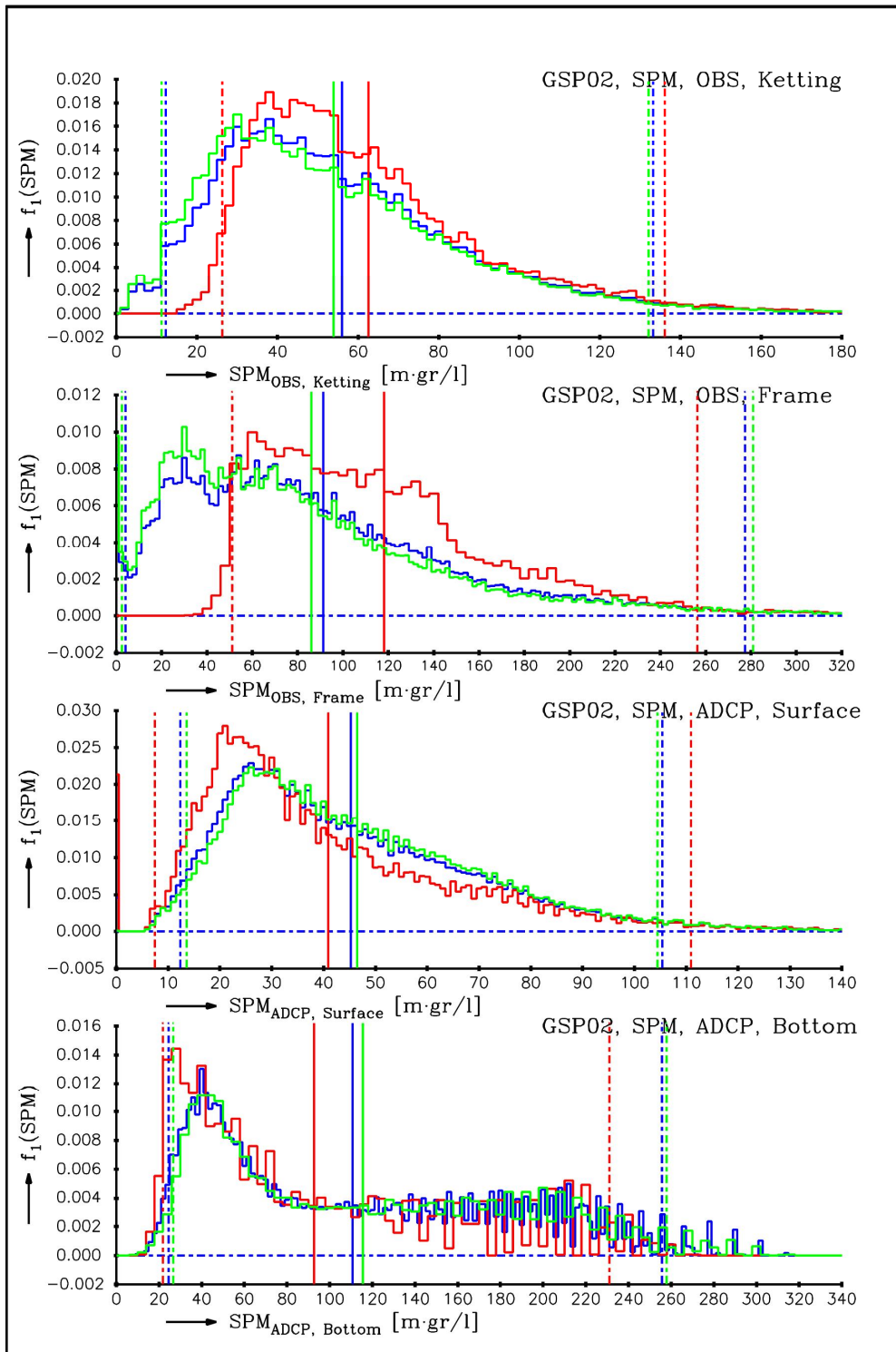
Dit interval kan worden opgevat als een maat voor de spreiding in de metingen (maar met hierbij die spreiding niet in de zin van een standaard deviatie).

Aan de hand van deze figuur en Tabel 4.1.1 is te zien dat voor de OBS-metingen het gemiddelde van de metingen van voor 16 februari aanzienlijk groter is dan het gemiddelde over de hele meetperiode, en ook groter is dan het gemiddelde over de periode van na 16 februari (waarin geen verspreidingen hebben plaatsgevonden). Naast verschillen in gemiddelden kan ook de vorm van de verdeling in "rode deelperiode" nogal verschillen van die over de andere twee deelperioden. Dat geldt niet alleen voor locatie GSP5 maar ook voor GSP2. Zie hiervoor Figuur 4.1.2 waar op overeenkomstige wijze eveneens de zwevendstofverdelingen van deze locatie geïllustreerd zijn. Zie ook Tabel 4.1.1 voor de waarden van de gemiddelden te GSP2 over de hier onderscheiden (deel)perioden.

In tegenstelling tot de OBS-metingen wordt voor beide locaties voor de ADCP-gebaseerde metingen juist een lager gemiddelde zwevendstofconcentratie gevonden in de verspreidingsperiode.



Figuur 4.1.1. Histogrammen (genormeed als kansverdeling) van in Fase 3 (voorjaar 2012) gemeten zwevendstofconcentraties op locatie GSP5. Het type meting (OBS of ADCP) en de positie in de waterkolom (nabij oppervlak of aan de bodem) is zoals in de legenda van de deelfiguren is aangegeven. De histogrammen in blauw zijn voor de metingen over de hele periode, die in rood over de deelperiode tot 16 februari, en in groen van de deelperiode vanaf 16 februari.



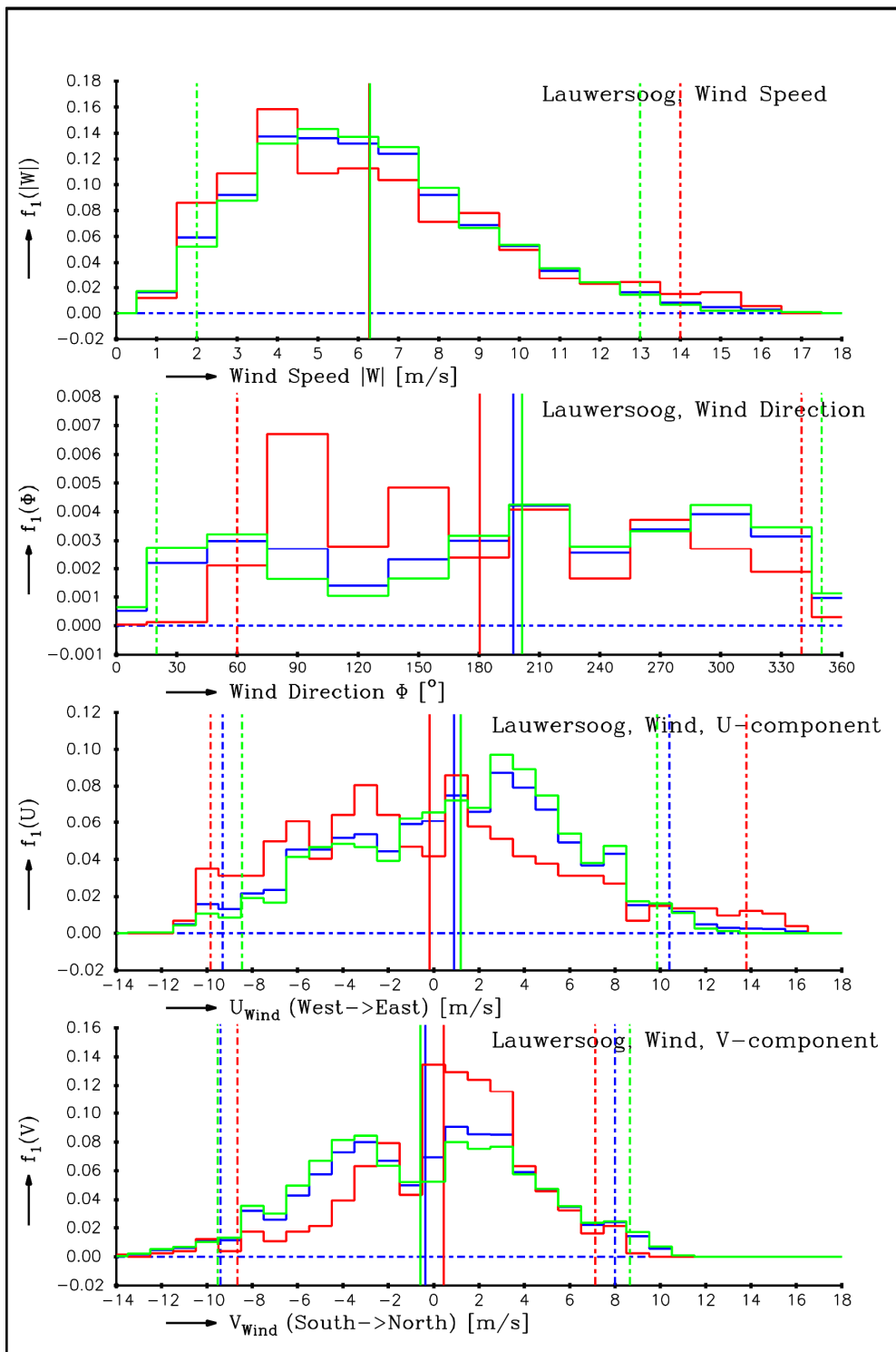
Figuur 4.1.2. Histogrammen (genormeerd als kansverdeling) van in Fase 3 (voorjaar 2012) gemeten zwevendstofconcentraties op locatie GSP2. Het type meting (OBS of ADCP) en de positie in de waterkolom (nabij oppervlak of aan de bodem) is zoals in de legenda van de deelfiguren is aangegeven. De histogrammen in blauw zijn voor de metingen over de hele periode, die in rood over de deelperiode tot 16 februari, en in groen van de deelperiode vanaf 16 februari.

Tabel 4.1.1	Gemiddelde zwevendstofconcentratie [<i>mg/l</i>] over aantal tijdsperioden		
	Locatie en type meting	Tot 16 februari	Na 16 februari
GSP5, OBS, Ketting	91.9	56.4	65.0
GSP5, OBS, Frame	156.1	113.8	127.9
GSP5, ADCP, Oppervlak	48.9	60.7	58.7
GSP5, ADCP Bodem	106.0	118.2	116.2
GSP2, OBS, Ketting	62.6	53.9	56.0
GSP2, OBS, Frame	118.2	86.0	91.2
GSP2, ADCP Oppervlak	40.9	46.5	45.3
GSP2, ADCP, Bodem	92.6	115.6	110.8

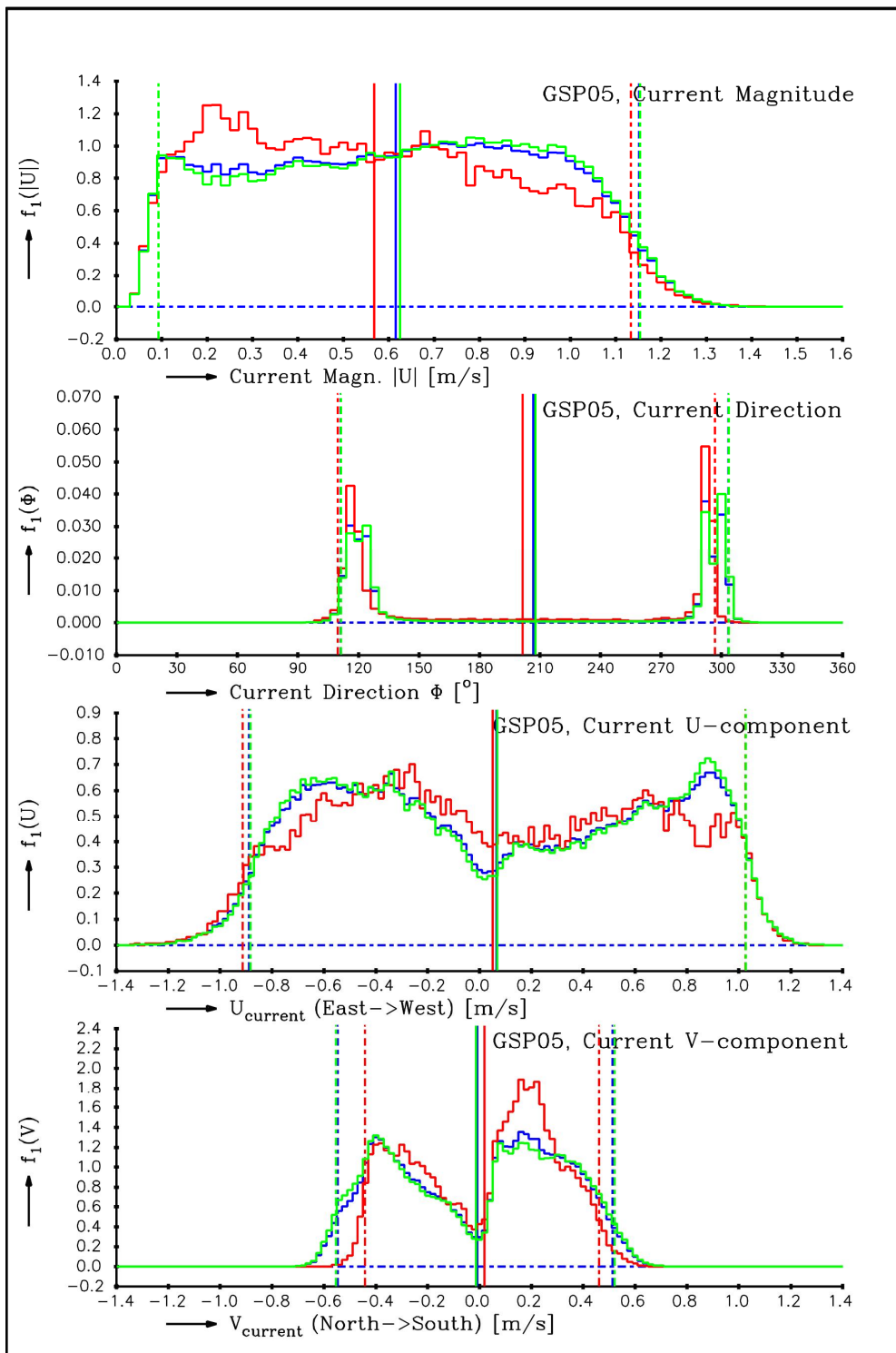
Tabel 4.1.1. Gemiddelden van de gemeten zwevendstofconcentraties te GSP5 en GSP2, en daarbij onderscheiden naar de perioden met en zonder verspreidingen, en de gehele meetperiode.

Op eenzelfde manier als in de Figuren 4.1.1 en 4.1.2 geven de Figuren 4.1.3-5 de verdelingen van diverse andere gedurende deze perioden gemeten grootheden (zoals wind te Lauwersoog, stroming te GSP5, waterstand in de Eemshaven, saliniteit en temperatuur te GSP5) en die de fysische omgevingscondities representeren. Voor de wind en de stroming zijn die verdelingen zowel voor de polaire representatie (magnitude en richting) als voor de bijhorende carthesische representatie (componenten in de west-oost en zuid-noord richtingen) weergegeven.

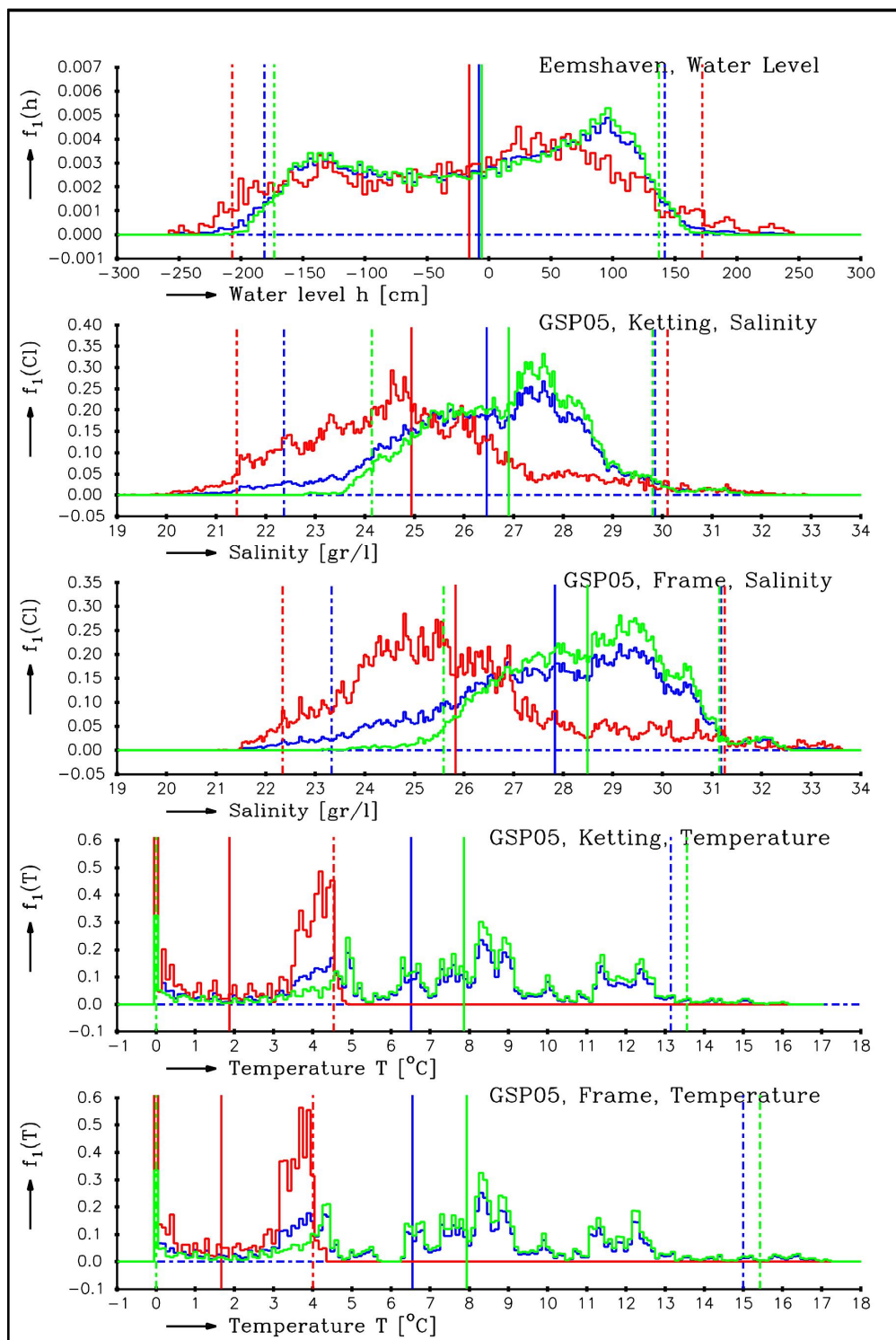
Meest opvallend in deze figuren is dat (naast, en feitelijk nog in veel sterkere mate dan voor de zwevendstofconcentraties) er in de invloedsvariabelen grote verschillen/verschuivingen kunnen optreden in de verdelingen van tijdens en na de verspreidingen. Meest uitgesproken is dat voor de temperatuur (zoals te verwachten gegeven de overgang van het winter naar het lenteseizoen) maar ook voor de saliniteit is er een sterk verschil, in de zin dat tijdens de verspreidingen de saliniteit aanzienlijk lager is dan daarna. Qua magnitude zijn er in die grootheden dus "significante" temporele trends te herkennen. Dit is niet in verder detail met een geëigende trendanalysetechniek in kwantitatieve vorm onderzocht. Het is echter wel een punt waar we in de opzet en analyse van de uitkomsten van de statistische modellen nog mee te maken zullen krijgen. Namelijk, de trends van hogere waarden "tijdens" de verspreidingen en lagere waarden "na" de verspreidingen gebruikt kunnen worden om de zwevend stof metingen tijdens en na de verspreidingen te verklaren.



Figuur 4.1.3. Histogrammen (genormeerd als kansverdeling) van de tijdens Fase 3 (voorjaar 2012) gemeten wind te Lauwersoog. De wind component (magnitude, richting, west-oost en zuid-noord componenten) is zoals in de legenda van de deelfiguren is aangegeven. De histogrammen in blauw zijn voor de metingen over de hele periode, die in rood over de deelperiode tot 16 februari, en in groen van de deelperiode vanaf 16 februari.



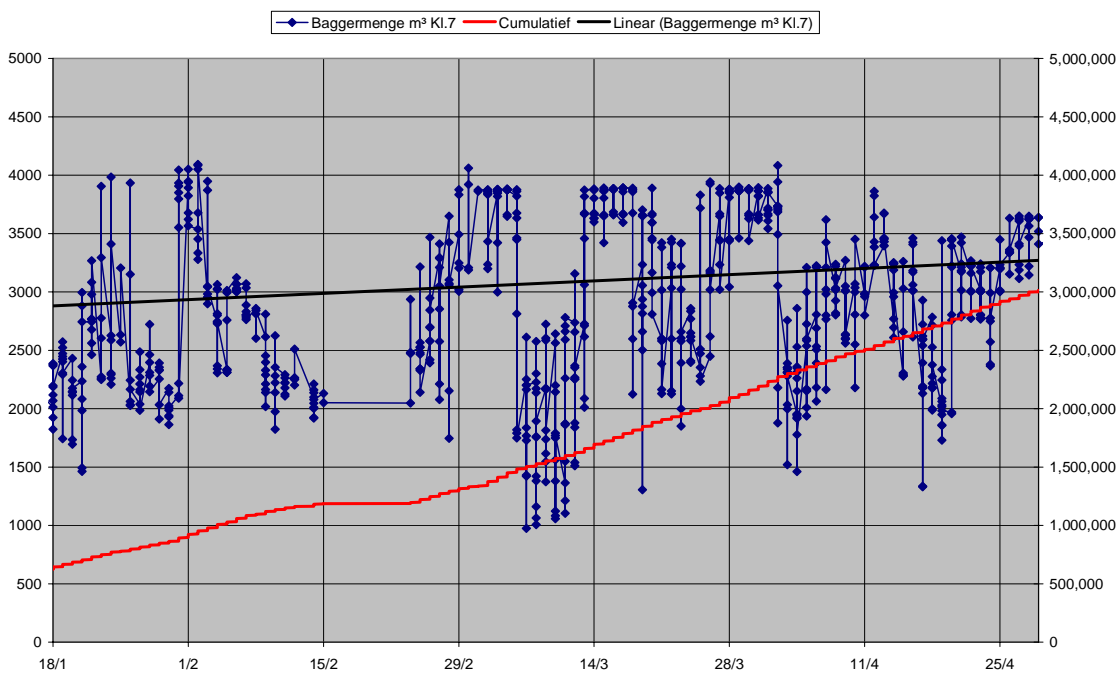
Figuur 4.1.4. Histogrammen (genormeerd als kansverdeling) van de tijdens Fase 3 (voorjaar 2012) gemeten stroming te GSP5. De stroomcomponent (magnitude, richting, oost-west en noord-zuid componenten) is zoals in de legenda van de deelfiguren is aangegeven. De histogrammen in blauw zijn voor de metingen over de hele periode, die in rood over de deelperiode tot 16 februari, en in groen van de deelperiode vanaf 16 februari.



Figuur 4.1.5. Histogrammen (genormeerd als kansverdeling) van de tijdens Fase 3 (voorjaar 2012) gemeten waterstand in de Eemshaven, en saliniteit en temperatuur zoals gemeten te GSP5. De histogrammen in blauw zijn voor de metingen over de hele periode, die in rood over de deelperiode tot 16 februari, en in groen van de deelperiode vanaf 16 februari.

4.2 De Duitse verspreidingen

Het gebied rond de Eemshaven ligt in het grensgebied tussen Nederland en Duitsland. Ook de Duitsers hebben tijdens onze interesse periode, de periode waarvoor wij de metingen beschikbaar hebben, bagger verspreid. Echter, de Duitsers hebben continue en met vrij constante intensiteit verspreidingen (in termen van m³/dag) uitgevoerd (ook na 15 februari). Dit blijkt uit de cumulatieve grafiek die vrijwel lineair in te tijd toeneemt in onze interesse periode.



Figuur 4.2.1. Gesommeerde cumulatieve (rode lijn) en instantane (blauwe lijn) baggergegevens Duitse verspreidingen voor klapstelsel 5 en 7. Merk op dat in titel van figuur onterecht staat KL7: dit moet zijn KL 5 & 7.

Door het continue karakter tijdens de interesseperiode kan een eventuele bijdrage van de Duitse verspreidingen aan de metingen van zwevend stof op locaties GSP5 en 2 zich uiten als een constante verhoging van de achtergrond. Een dergelijke constante verhoging kan je niet onttrekken uit de beschikbare metingen (verhoging van de basis achtergrond). Voor de Nederlandse verspreidingen kan daar wel rekening mee worden gehouden omdat deze op 15 februari zijn gestopt. Deze breuk in het verspreidingsregime moet te onderscheiden zijn en onze statistische analyse is op deze basis ingestoken. In onze aanpak (zie Sectie 4.3) is de achtergrond niet van belang omdat we naar verschillen kijken voor de periode “tijdens” de Eemshaven verspreidingen en de periode “na” de verspreidingen. Derhalve zal in de beschrijving van de methoden, en weergave van de resultaten niet meer op de Duitse verspreidingen terug worden gekomen.

4.3 Toetsingsprocedure en toetsingsgrootheden

Tijdens de meetperiode hebben op drie locaties (P6, P1, en P5a) vanaf medio december 2011 tot en met 15 februari 2012 vrijwel continu verspreidingen plaatsgevonden (Chatelain en Nolte, 2013). In tijdsreeksfiguren van de gemeten zwevendstofmetingen op de locaties GSP2 en GSP5 zijn geen korte termijn (op uur of dagbasis) effecten te zien van die verspreidingen in vorm van “snel opkomende en instantane” toenames van de concentraties na elke “individuele” verspreiding. Ook het over een langere tijd geleidelijk toenemen van de concentraties is in een visuele inspectie van de gemeten zwevendstofconcentraties niet waarneembaar. Zo er al een toename is zal het statistisch model die dan meer in vorm van een overall hogere achtergrondconcentratie detecteren dan dat effecten van de individuele verspreidingen als afzonderlijke “events” onderscheiden zullen kunnen worden. Aan de figuren van de gemeten tijdreeksen is eveneens niet te zien dat na 15 februari (als de verspreidingen zijn gestopt) de achtergrondconcentraties weer (al dan niet geleidelijk) afnemen. Dat dit “visueel” niet waarneembaar is, is ook grotendeels het gevolg van de grote “natuurlijke” variabiliteit in de metingen. Die variaties zijn van diverse tijdschalen, zoals kortdurende events en/of ruisachtige fluctuaties, variaties op getijschalen zoals 12,5 uur en/of springtij-doodtij periodes, en mogelijk nog langere tijdschalen die seizoensafhankelijkheden representeren.

Op basis van deze bevindingen wordt het volgende uitgangspunt gekozen bij (de ontwikkeling van de statistische modellen en op basis van hun uitkomsten) het toetsen op effecten van de verspreidingen:

Uitgangspunt 1 in de modelleer- en/of toetsprocedures:

Toetsen van effecten van verspreidingen vindt plaats op basis van lange termijn gemiddelden van de zwevendstofconcentraties, en niet op basis van effecten en tijdsvariaties op instantane of relatief korte tijdschalen zoals uren of dagen.

Bij een gemiddelde over langere tijdsperioden worden 2 perioden onderscheiden, namelijk de periode waarin verspreidingen plaatsvonden (en tegelijkertijd metingen beschikbaar waren van de zwevendstofconcentraties en potentiële invloedsfactoren), en de periode daarna waarin geen verspreidingen meer plaatsvonden. Oftewel, “tijdens” en “na” de verspreidingen. Met name omvat het toetsen dan het vaststellen of voor deze twee verschillende periodes significant verschillende gemiddelden worden gevonden.

Voor het verkrijgen van een idee van gemiddelde zwevendstofconcentraties wordt verwezen naar de eerder besproken Figuur 4.1.1 en Tabel 4.1.1. Deze tabel laat o.a. zien dat te GSP5 voor de OBS metingen een verschil van ongeveer 40 mg/l wordt gevonden tussen het gemiddelde over de perioden tijdens en na de verspreidingen. Op deze basis mag nog niet worden geconcludeerd dat dit (aanzienlijk) hogere gemiddelde van de OBS waarden tijdens de verspreidingen een gevolg is van die verspreidingen. Immers dat hogere gemiddelde kan ook (geheel of gedeeltelijk) een gevolg zijn van verschillende (hydro/meteo) systeemcondities in de periodes tijdens en na de verspreidingen, en daarmee een seizoens- of klimaatafhankelijkheid van de data weergeven. Dat kan op eenzelfde manier gelden voor de ADCP metingen (hoewel daar de omgekeerde situatie geldt het gemiddelde tijdens de verspreidingen juist lager is dan daarna).

Op een bepaalde manier dient dus een correctie van de metingen plaats te vinden voor de opgetreden systeemcondities. Dat brengt ons bij de functie/doel van het statistische model. Het concept is om dat model te gebruiken om op basis van de omgevingscondities een zo

goed mogelijke schatting te geven van de zwevendstofconcentraties die je bij deze condities kan verwachten. Het verschil (ofwel de residuen van dat model die gedefinieerd zijn als gemeten zwevendstofconcentraties minus de overeenkomstige modelvoorspellingen) wordt dan geacht het effect van de verspreidingen te representeren. Om die reden moet het toetsen op de aanwezigheid en/of grootte van die effecten op die residuen zijn gebaseerd en niet op de "originele" zwevendstofmetingen. Samenvattend:

Uitgangspunt 2 in de modelleer- en/of toetsprocedures:

Conform Uitgangspunt 1 vindt het toetsen op effecten van de verspreidingen nog steeds plaats op basis van lange termijn gemiddelden. Echter hiervoor moeten die gemiddelden worden afgeleid van de *residuen* van een statistisch model. Die residuen representeren daarbij het gedeelte in de zwevendstofmetingen dat niet uit de omgevingscondities kan worden verklaard.

Eerder is al opgemerkt dat de zwevendstofmetingen bij GSP2 gebruikt worden een representant voor de situatie waar de invloed van de verspreidingen niet of nauwelijks merkbaar is (zie Hoofdstuk 3). Deze aanname zou gecontroleerd kunnen worden op basis van de hindcast modelberekeningen gemaakt door Arcadis in een parallele studie. Echter deze berekeningen zijn ten tijde van schrijven van dit rapport nog niet voorhanden. De gehanteerde opzet van de analyse is geconcentreerd op GSP5 en GSP2 wordt gebruikt om langere termijn variaties in GSP5 te verklaren. In de statistische modelleringen geldt derhalve:

Uitgangspunt 3 in de modelleer- en/of toetsprocedures:

Zo er al effecten zijn van de verspreidingen worden die voor GSP2 verwacht veel kleiner te zijn dan voor GSP5. In dat geval wordt aangenomen dat de zwevendstofmetingen van GSP2 kunnen worden gebruikt als een representant voor de globale achtergrondconcentratie in de Waddenzee, althans voor het deelgebied waarin de meet- en verspreidingslocaties zich bevinden. Oftewel, de GSP2 metingen van zwevend stof worden als referentiemetingen gebruikt in het statistisch model. Dit geldt voor zowel de ruimtelijke component als de temporele component.

Dit betekent dat in de statistische modellen voor de zwevendstofconcentraties van GSP05 de zwevendstofmetingen van GSP2 als invoer wordt gebruikt om op deze manier langere termijn variaties in GSP5 zo goed mogelijk te 'verrekenen'.

Als gevolg hiervan:

Uitgangspunt 4 in de modelleer- en/of toetsprocedures:

Met het gebruiken van de zwevendstofmetingen van GSP2 als representant van achtergrond zwevendstofconcentraties bij het modelleren van GSP5 volgt dat voor GSP2 geen statistische modellen worden afgeleid, en hier eveneens geen toetsen van effecten van zwevendstofverspreidingen worden uitgevoerd. Voor GSP5 zal het modelleren en toetsen in viervoud worden uitgevoerd, namelijk voor elke combinatie van de twee typen zwevendstofmetingen (OBS en ADCP) en de beide posities in de verticaal (aan de bodem (frame voor OBS), en nabij het wateroppervlak (ketting voor OBS)).

4.4 Beschrijving van de statistische modellen

In hoeverre een verschil in gemiddeldes in de periodes tijdens en na de verspreidingen (Tabel 4.1.1) te verklaren valt uit de verspreidingen of uit de heersende hydro/meteo/systeemcondities moet uit de statistische analyse blijken. In deze analyse dient dus een "correctie" van de metingen plaats te vinden voor de opgetreden systeemcondities. Die systeemcondities hebben we beschikbaar via gemeten tijdreeksen van waterstand(en), stroming, wind, saliniteit, en temperatuur. Om dat door de omgevingsvariabelen te verklaren deel van de zwevendstofconcentraties te vinden wordt een statistisch (feitelijk: regressie) model gebruikt.

In dit geval zijn ten aanzien van die regressiemodellen en de daaraan gekoppelde toetsprocedure *twee varianten* toegepast. In de eerste variant is uitgegaan van een nulhypothese dat er geen effecten van de verspreidingen zijn, en vanuit die hypothese wordt het verspreidingsregiem niet als verklarende invoer meegenomen. Uit validatieberekeningen blijkt echter dat een trend of trendbreuk in het slib in aanzienlijke mate door de trends in de omgevingscondities kan worden verklaard. De aanpak in de eerste variant is derhalve bijgesteld resulterend in een tweede variant. In uitgebreide vorm is de eerste variant beschreven in Appendix A. Hieronder is daarvan in het kort de essentie weergegeven. Die eerste variant zal uiteindelijk niet gebruikt worden aangezien deze aanpak met deze data niet de verwachte solide basis bleek te bieden voor het toetsen op effecten van verspreidingen. De resultaten van de eerste variant worden slechts beknopt gepresenteerd. De tweede variant bevat voor een groot deel dezelfde elementen als variant 1 en wordt hieronder eveneens in nader detail gepresenteerd

In beide gevallen is de essentie dat een zwevendstofconcentratie c_t (te GSP5 op tijd t) met een model van de vorm

$$c_t = f(X_t^{(1)}, X_t^{(2)}, \dots, X_t^{(N)}) \quad (4.4.1)$$

wordt weergegeven. De $X_t^{(n)}$ zijn hierbij de diverse omgevingsvariabelen die als verklarende variabelen worden meegenomen. Deze omvatten de zwevendstofmetingen van GSP2, de waterstand in de Eemshaven, de stroomsnelheid en richting zoals die bij GSP5 is gemeten, de wind van Lauwersoog, en de saliniteit te GSP5. Per verklarende grootte is niet alleen de waarde van hetzelfde tijdstip t als invoer meegenomen, maar eveneens een (soms groot) aantal waarden uit het recente verleden van dat tijdstip.

Hiermee wordt verdisconteerd dat de concentratie c_t niet alleen door de instantane waarden van de invloedsfactoren is bepaald maar van een of ander (lopend, en niet uniform) gemiddelde van die invloedsfactoren kan afhangen. Bovendien kan via het meenemen van het recente verleden rekening worden gehouden met looptijden¹. De in dit kader daadwerkelijk gebruikte invoergrootheden, en hun recente historie die bij een tijd t als invoer wordt meegenomen, is in nader detail te vinden in Appendix A.

De $f(\cdot)$ in Vergelijking 4.4.1 is een formule met een aantal parameters. Van te voren is niet bekend hoe zo'n formule er uit zou moeten zien, en welke waarde aan de parameters moet worden toegekend. In dit geval is voor die $f(\cdot)$ een Neuraal Netwerk (van type MLP, zie Haykin, 1994) gebruikt. Het voordeel van zo'n Neuraal Netwerk (NN) is dat zo'n functie zelf het verband tussen de invloedsfactoren en de doelvariabele kan afleiden uit de data, ook als die relatie erg niet-lineair of anderszins complex is. De eis hierbij is wel dat er veel data met voldoende variabiliteit beschikbaar moet zijn.

Voor het vinden van $f(\cdot)$ moet een groot aantal parameters in het onderliggende NN worden geschat. Dat schatten is feitelijk het aan de hand van de data kalibreren van het model. Bij veel invoeren (zoals dat hier het geval is) vergt dit kalibreren veel rekentijd.

Ook met een NN mag niet verwacht worden dat na de kalibratie de doelvariabelen exact gereproduceerd worden. De residuen (in dit geval verschil van de gemeten concentraties c_t en de overeenkomstige modelvoorspelling) geven dan het niet uit de invoer te verklaren deel van die metingen. Deze residuen worden, zoals eerder al is aangegeven gebruikt voor het identificeren van effecten van de verspreidingen.

Tot zover het gemeenschappelijke in de beide varianten van de statistische modellering. Nu wordt aangegeven op welke manier zij verschillen in de opzet van de modellering en het opvolgende toetsen op effecten van verspreidingen.

In de *eerste* variant van de statistische modellering is uitgegaan van een nulhypothese dat de verspreidingen geen merkbaar effect hebben op de zwevendstofconcentraties te GSP5. Vanuit die nulhypothese wordt het verspreidingsregiem (de tijdstippen dat een verspreiding plaats vond, en het daarbij horende verspreide volume of massa) in het statistische model *niet* als een extra invoer meegenomen. Na de kalibratie van het model moet dan (nog steeds uitgaande van de nulhypothese) gelden dat in statistische zin de residuen over de periode tijdens de verspreidingen dezelfde eigenschappen hebben als de residuen over de periode na de verspreidingen. In het bijzonder geldt dat voor het gemiddelde van die residuen over beide perioden. Mocht blijken dat er wel een verschil is in die gemiddelden, en als dat verschil bovendien dermate groot is dat dit niet aan toeval kan worden toegeschreven, dan is er een indicatie dat de verspreidingen wel een effect hebben gehad en de nulhypothese moet worden verworpen.

De na de statistische modellering uit te voeren toets bestaat uit het berekenen van die gemiddelden over de tijdsperiodes tijdens ($m_{Tijdens}$) en na (m_{Na}) de verspreidingen. Hieruit kan

¹ Bij looptijden moet in dit geval gedacht worden aan de tijdverschuiving die aan een invoergrootheid (ongeacht welke) moet worden aangebracht om een maximum correlatie met de doelvariabele te krijgen. Deze looptijd wordt gebruikt om bij een actuele tijd t te bepalen welk recent verleden van de historie van een verklarende variabele moet worden meegenomen.

dan het verschil ($\Delta m := m_{Tijdens} - m_{Na}$) van die gemiddelden worden afgeleid. Om te kunnen bepalen of dat verschil Δm significant is moet ook de onzekerheid in de schatting van dat verschil worden bepaald. Om dat te doen moeten in eerste instantie de onzekerheden in de gemiddelden $m_{Tijdens}$ en m_{Na} worden berekend, om die daarna te combineren tot de onzekerheid in Δm . Omdat het aantal metingen vele duizenden omvat kunnen voor de schattingen van de $m_{Tijdens}$, m_{Na} , en Δm Gaussische verdelingen worden aangenomen, en kan voor het afleiden van hun onzekerheden met een schatting voor hun spreiding worden volstaan ("fout in het gemiddelde"). Uiteindelijk leidt dit tot een Gaussische verdeling voor Δm die voor allerlei toetsen kan worden gebruikt. Bijvoorbeeld: is Δm significant verschillend van nul, en/of wat is de kans dat Δm groter is dan (zeg) 10 mg/l, of een andere grens die om een bepaalde reden van belang is.

Bij toepassingen bleek dat met het op een Neuraal Netwerk gebaseerde statistisch model de zwevendstofmetingen van GSP5 met zeer acceptabele kwaliteit uit de invloedsfactoren ge(re)produceerd kunnen worden. Dit geldt voor alle varianten van die zwevendstofmetingen (OBS en ADCP, bodem en oppervlak).

Bij een validatie van dat model (en feitelijk van de hele daaraan gekoppelde toetsprocedure) bleek echter dat het model in staat is om door ons zelf synthetisch aangebrachte systematische verhogingen en/of verlagingen van de doelvariabelen (hier zwevendstofconcentraties te GSP5) eveneens voor een aanzienlijk deel uit de invoergrootheden te verklaren. Daardoor kunnen in de uitkomsten dan (systematische) effecten ten gevolge van de verspreidingen slechts gedeeltelijk onderscheiden worden van effecten ten gevolge van de natuurlijke variabiliteit in de invloedsfactoren. Dit niet geheel kunnen onderscheiden is ongewenst voor - en in conflict met de hier geldende doelstelling.

Er moet worden benadrukt dat deze bevindingen niet betekenen dat qua concept de gevolgde aanpak (het gebruikte statistische model, en de daaraan gekoppelde toetsprocedure) niet goed is. Het vermoeden is dat vooral de verdelingen van de nu beschikbare data debet zijn aan de hierboven genoemde tekortkoming. De (eveneens vermoedelijke) reden is dat sterke temporele trends in de verklarende variabelen (zoals in de saliniteit, zie Figuur 4.1.5) door het model gebruikt (en voor ons doel dus feitelijk "misbruikt") worden om verschillen in de gemiddelde zwevendstofconcentraties van tijdens en na de verspreidingen te verklaren. Hiermee doet het model desalniettemin precies aan wat het bij de kalibratie krijgt opgedragen, namelijk het zo goed mogelijk verklaren van de doelvariabele uit de aangeboden invoervariabelen. De geboden vrijheidsgraden in de vorm van het relatief groot aantal modelparameters worden gebruikt om aan die opdracht te voldoen.

In het geval dat we (meer) data zouden hebben, waarin voor een veel groter aantal varianten van de omgevingscondities er zwevendstofconcentraties beschikbaar zijn voor zowel de situatie met als de situaties zonder verspreidingen, zal in de procedure (=uitkomsten van het model en de toets) wel onderscheid kunnen worden gemaakt tussen natuurlijke en door verspreidingen geïnduceerde variaties.

Deze bevindingen hebben voeding gegeven aan een *tweede* opzet van de modelleer- en toetsprocedure. Die opzet is grotendeels nog het zelfde als hierboven beschreven voor de eerste variant. De aanpassingen worden nu in het kort en puntsgewijs beschreven. Aanpassingen ten aanzien van de *eerste* modelopzet:

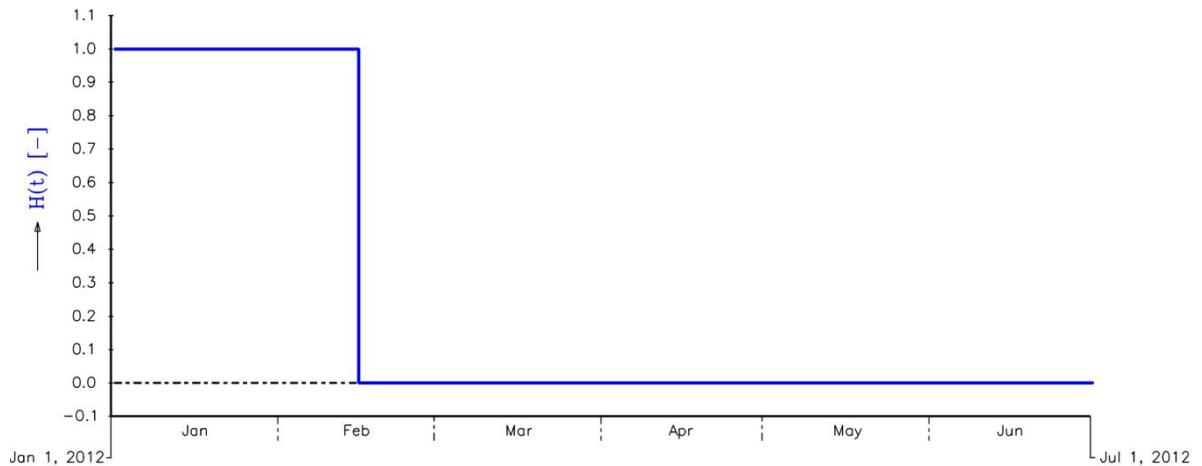
- 1 Het eerder beschreven model is in principe gehandhaafd zoals het was maar het aantal vrijheidsgraden (in de vorm van het aantal aan de hand van de data te schatten modelparameters) is hierin aanzienlijk teruggebracht door voor het Neurale Netwerk de meest eenvoudig mogelijke architectuur te kiezen (namelijk een NN zonder 'hidden layers'). Het model genereert dan in twee stappen, via $\{X_t^{(n)}\}_{n=1}^N \rightarrow Y_t \rightarrow c_t$, de doelvariabele c_t uit de N invoervariabelen $\{X_t^{(n)}\}_{n=1}^N$. In de eerste stap $\{X_t^{(n)}\}_{n=1}^N \rightarrow Y_t$ is dat in de vorm van een volledig lineair systeem. De Y_t is dan een lineaire gewogen som van de invoeren $X_t^{(n)}$. Die som omvat die invoeren van dezelfde tijd t , maar ook een aantal van die invoeren uit het recente verleden. Op deze manier is deze eerste stap dan niets anders dan een lineair regressiemodel. In de tweede stap wordt uit het 'tussenresultaat' Y_t vervolgens via een niet-lineaire functie de doelvariabele c_t berekend volgens $c_t = g(Y_t)$. Met deze tweede stap wordt in rekening gebracht dat de doelvariabelen niet-lineair van de invoer kunnen/zullen afhangen. In ons geval is voor de $g(\cdot)$ de exponentiële functie $g(y) = e^y$ gekozen. Hiermee wordt bewerkstelligd dat de uiteindelijke uitkomsten niet-negatief zijn zoals dat voor concentraties altijd moet gelden. Bovendien kan met deze functie worden geanticipeerd op het gegeven dat zwevendstofconcentraties in het algemeen niet normaal maar meer log-normaal verdeeld zijn. Voor de volledigheid wordt nog genoemd dat dit model in de wiskundige systeemtheorie bekend staat als een Hammerstein-Wiener model.

Voor de invoeren $\{X_t^{(n)}\}_{n=1}^N$ worden per toepassing (OBS, ACDP, oppervlak, bodem) dezelfde grootheden gebruikt, en met dezelfde 'histories' als eerder werd gedaan.

- 2 In de eerste modelopzet was het verspreidingsregiem niet opgenomen als invoer. Het nadeel hiervan was dat (mogelijke) effecten van de verspreidingen werden toegeschreven aan temporele trends in de invoervariabelen. Om dit te voorkomen wordt in de nu gehanteerde modelopzet wel een (extra) invoer meegenomen waarmee het verspreidingsregiem gerepresenteerd wordt. Dat doen we met een tijdreeks $H(\cdot)$ die de waarde 1 heeft tot 16 februari 2012, en de waarde 0 daarna. Zie Figuur 4.4.1 voor een illustratie van deze functie.

Deze invoer kan op (minstens) twee manier geïnterpreteerd worden. Één manier is dat die $H(\cdot)$ een indicatorfunctie is die zegt of er op een tijdstip t wel ($H(t)=1$) of niet ($H(t)=0$) wordt verspreid. Een andere interpretatie is dat die $H(\cdot)$ een invoer voor het model vormt waarin de (voor)kennis is bevat dat tot 16 februari er in de doelvariabelen een ander overall gemiddelde is dan na die tijd, en dat dit verschil geheel of gedeeltelijk te wijten is aan een andere invloedsfactor dan de omgevingscondities. Al dan niet na enig nadenken zal duidelijk zijn dat beide interpretaties feitelijk equivalent zijn, of althans voor het model niet onderscheidbaar.

Bij deze uitbreiding van de invoer had nog overwogen kunnen worden om hiervoor niet het nu met de functie $H(\cdot)$ sterk *geschematiseerde* verspreidingsregiem te gebruiken maar het daadwerkelijke opgetreden verspreidingsregiem. Gegeven de eerder beschreven bevindingen dat effecten van individuele verspreidingen niet in de zwevendstoftijdreeksen worden terug gezien (en dus niet/nauwelijks te identificeren zullen zijn) lijkt die verfijning nauwelijks of geen toegevoegde waarde te bieden. Daarnaast sluit de hier gekozen $H(\cdot)$ -functie veel beter aan op het toetsen op basis van over deelperioden gemiddelde zwevendstofconcentraties dan toetsen op individuele events.



Figuur 4.4.1. Indicatorfunctie $H(\cdot)$ waarmee wordt aangegeven in welk tijdsperiode wel ($H(t)=1$) of niet ($H(t)=0$) verspreidingen hebben plaatsgevonden.

Aanpassingen ten aanzien van de eerste toetsprocedure:

Voor de inzet van het model bij de toetsprocedure en het feitelijke toetsen zelf heeft de enigszins aangepaste modelopzet meer consequenties. Bij het kalibreren van het model worden de modelparameters zodanig ingesteld dat de modeluitkomsten zo goed mogelijk overeenkomen met de doelvariabelen (hier zijn dat de gemeten zwevendstofconcentraties te GSP5). Één van die modelparameters is het gewicht a_H dat aan het geschematiseerde verspreidingsregiem $H(\cdot)$ wordt toegekend. Dit kan dus resulteren in een andere waarde van H tijdens de verspreidingen dan $H = 1$. Bij de kalibratie zal de parameter a_H zodanig worden ingesteld dat zowel over de periode met verspreidingen als over de periode na de verspreidingen het verschil tussen de modelvoorspellingen en de metingen zo klein mogelijk, en feitelijk 0 is. Het is de specifieke vorm van $H(\cdot)$ die dat mogelijk maakt. De constante waarde van $H(\cdot)$ van voor 16 februari wordt namelijk gebruikt om voor die periode het model aan de gemiddelde waarde van de doelvariabelen te tunen, en de andere constante waarde van $H(\cdot)$ van na 16 februari wordt gebruikt voor het tunen aan het gemiddelde van de doelvariabelen in deze tweede periode.

Het resultaat zal zijn dat het gemiddelde residu zowel over de verspreidingsperiode als de periode daarna 0 zal zijn. Deze residuen geven derhalve geen enkele informatie over verschillende achtergrondwaarden van de concentraties, en zijn dus niet bruikbaar voor het identificeren van effecten van verspreidingen. De oplossing voor dit probleem is dat binnen het model de effecten van verspreidingen nu niet aan de achterkant (namelijk bij de modeluitkomsten) maar daarentegen aan de voorkant van het model moeten worden gezocht. In dit geval is die voorkant de invoer, en daarbij specifiek het gewicht a_H dat de kalibratieprocedure aan de $H(\cdot)$ functie heeft toegekend. Dit gewicht a_H geeft aan in welke mate het geschematiseerde verspreidingsregiem moet bijspringen om (additioneel aan de 'echte' inputvariabelen) te bewerkstelligen dat het model "neutraal reageert". Met dat "neutraal reageren" wordt bedoeld dat zowel over de periode tijdens de verspreidingen het gemiddelde van residuen nul is, als dat tegelijkertijd over de periode na de verspreidingen dat gemiddelde nul is. De a_H is dus een soort compensatie voor het niet door alleen de fysische invoervariabelen te verklaren verschil in de gemiddelden van tijdens en na de verspreidingen.

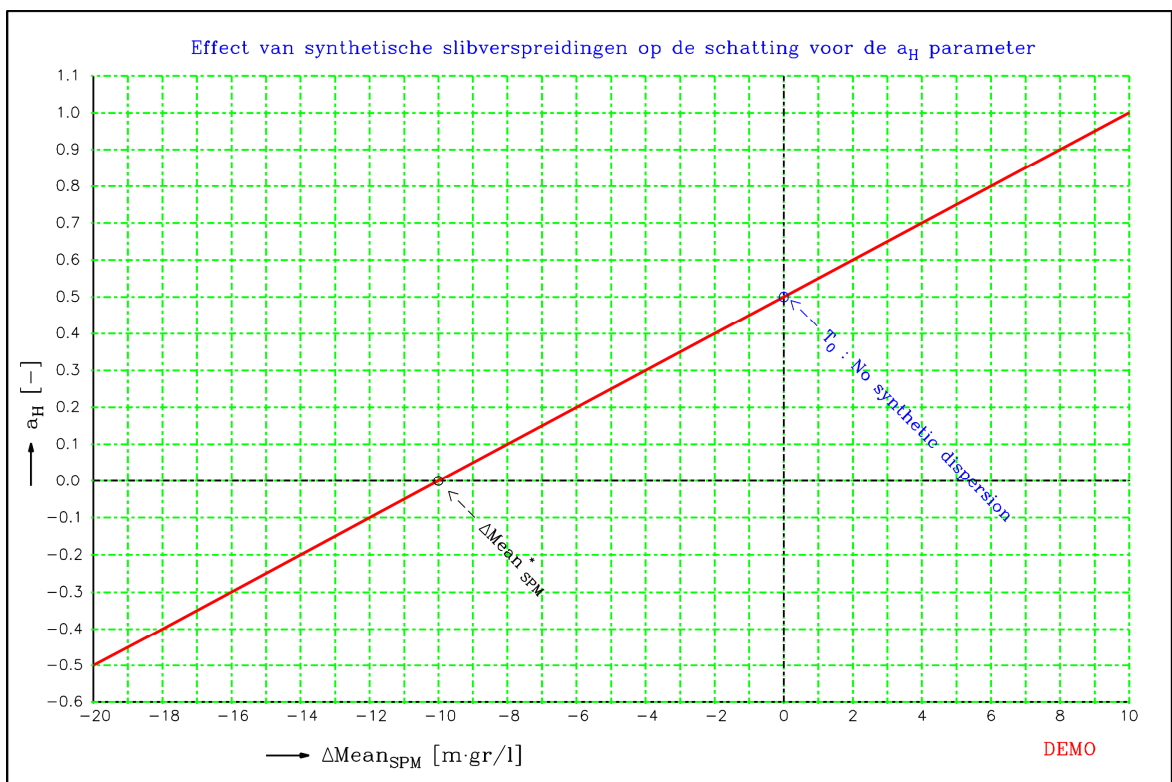
Een $a_H=0$ betekent dat in de kalibratie een gewicht 0 wordt toegekend aan het geschematiseerde verspreidingsregiem. Dat betekent dat voor het model dit regiem niet nodig is om de doelvariabelen te verklaren. Dit representeert dus de situatie dat zo er al verschillen zijn in de gemiddelden tijdens en na de verspreidingen, deze geheel verklaard kunnen worden met de systeemcondities. Anderzijds, een $a_H>0$ geeft aan dat ook met verrekenen van (of anders gezegd corrigeren voor) de effecten van de omgevingsvariabelen de gemiddelde zwevendstofconcentratie in de periode *tijdens* de verspreidingen *groter* is dan het gemiddelde daarna. Een $a_H<0$ geeft daarentegen de omgekeerde situatie, namelijk dat naast de door de omgevingscondities geïnduceerde effecten er een andere bron moet zijn geweest die heeft geleid tot een hogere gemiddelde concentratie in de periode *na* de verspreidingen.

Op deze manier geeft het teken van a_H aan of er naast de omgevingscondities al dan niet een andere bron moet zijn geweest om een verschil in de gemiddelden van tijdens en na te verklaren. Behalve dit teken is echter ook een kwantitatieve maat gewenst die aangeeft hoe groot de bijdrage van die bron dan is. Die kwantitatieve maat is hier in de vorm van de toename in het gemiddelde van de concentratie over de verspreidingsperiode. De relatie van a_H met die gemiddelde toename over de verspreidingsperiode is om meerdere redenen niet rechttoe-rechtaan te bepalen. Een van complicaties die hierbij genoemd kan worden is dat er in de kalibratie een schaling plaatsvindt van de diverse invoeren. Dit wordt om een numerieke reden gedaan, namelijk om een goed gesteld (invers) probleem te verkrijgen. Het is niet evident hoe die schaling doorwerkt op de uitkomst die daarna voor a_H wordt gevonden, en hoe die a_H dan naar een effect op de gemiddelden moet worden omgezet. Een andere complicatie bij het vertalen van een a_H naar een toename van de gemiddelde concentratie is het punt dat het ook in deze opzet van de modellering niet geheel zeker is dat bij de kalibratie zo'n toename geheel aan a_H wordt toegerekend, of ook nog gedeeltelijk aan andere invoergrootheden met een sterke temporele trend.

Om alsnog de a_H waarde te koppelen aan een gemiddelde concentratieverhoging in de verspreidingsperiode wordt de volgende procedure uitgevoerd:

In eerste instantie wordt het model gekalibreerd op basis van de data zoals die zijn. Deze kalibratie wordt herhaald maar nu met een synthetisch aangebrachte verhoging van de gemeten doelvariabele (zwevendstofconcentratie van GSP5) met een constante waarde $\Delta Mean_{SPM}$. Die verhoging wordt alleen voor de periode met verspreidingen aangebracht (die verhoging is overigens een verlaging als voor $\Delta Mean_{SPM}$ een negatieve waarde wordt gekozen). Alle invoervariabelen worden niet aangepast. Deze aangepaste data set is dan hetzelfde als de 'echte' behalve dat door ons een effect van een 'virtuele bron' (bijvoorbeeld een virtuele verspreiding) is aangebracht. Voor deze aangepaste data set wordt de kalibratie herhaald, en zal een andere waarde voor a_H worden gevonden. Dit 'spel' wordt voor een aantal instellingen van $\Delta Mean_{SPM}$ herhaald, en zowel met positieve als negatieve waarden van die $\Delta Mean_{SPM}$ (en dus verhogingen en verlagingen ten gevolge van een virtuele bron). Op deze manier wordt een verzameling van $(\Delta Mean_{SPM}, a_H)$ combinaties verkregen. Via, bijvoorbeeld, een grafische weergave van die combinaties (a_H uitgezet tegen $\Delta Mean_{SPM}$, met eventueel een fit door de losse datapunten) kan dan de relatie tussen een

concentratieverhoging en de bijhorende a_H worden geverifieerd. Voor een (fictief) voorbeeld van zo'n relatie wordt naar Figuur 4.4.2 verwezen. In zo'n grafiek zijn twee punten van eminent belang. Het eerste punt is dat waarbij $\Delta Mean_{SPM} = 0$. Dat vertegenwoordigt namelijk de 'echte' metingen. Het tweede belangrijke punt is dat waar a_H nul zal zijn. De daarbij horende waarde van $\Delta Mean_{SPM}$ geven we aan met $\Delta Mean_{SPM}^*$. Dit punt ($\Delta Mean_{SPM} = \Delta Mean_{SPM}^*$, $a_H = 0$) vertegenwoordigt namelijk de situatie dat verschillen in de gemiddelden tijdens en na de verspreidingen geheel verklaard kunnen worden met de systeemcondities. Gegeven de opzet van de variaties geeft die $\Delta Mean_{SPM}^*$ dan de grootte waarmee de daadwerkelijk gemeten concentraties in de verspreidingsperiode verhoogd of verlaagd moeten worden om die situatie te verkrijgen. Het directe gevolg is dat $-\Delta Mean_{SPM}^*$ de schatting levert voor de mate waarin de gemiddelde concentratie tijdens de verspreidingsperiode hoger is dan daarna, en wat niet verklaard kan worden uit de omgevingscondities.



Figuur 4.4.2. Illustratie van het effect van een synthetische verhoging of verlaging van de achtergrondconcentratie met een waarde $\Delta Mean_{SPM}$ op het gewicht a_H dat bij kalibratie aan het verspreidingsregiem wordt toegekend.

Als samenvatting en een meer concrete toelichting bij bovenstaande wordt verwezen naar Figuur 4.4.2. Hierin is te zien dat $\Delta Mean_{SPM}^* = -10 \text{ mg/l}$. Dat betekent dat ten opzichte van de daadwerkelijk gemeten data (weergegeven met de blauwe stip \circ) de achtergrondconcentratie in de verspreidingsperiode met 10 mg/l *verlaagd* moest worden om te verkrijgen dat op basis van *enkel en alleen de omgevingscondities* een (eventueel) verschillend gemiddelde in de periode tijdens en na de verspreidingen verklaard kan worden. Voor de daadwerkelijke situatie (waar de ‘echte’ metingen vandaan komen) betekent dat dat in de verspreidingsperiode het gemiddelde 10 mg/l hoger is dan daarna, en dat dit te wijten is aan andere factoren dan de in de modellering opgenomen omgevingscondities.

Op deze manier kan dus via variaties van de dataset een schatting van het effect van verspreidingen worden verkregen. Voor het toetsen van deze schatting moet echter ook de onzekerheid worden bepaald om een totaalbeeld te geven.

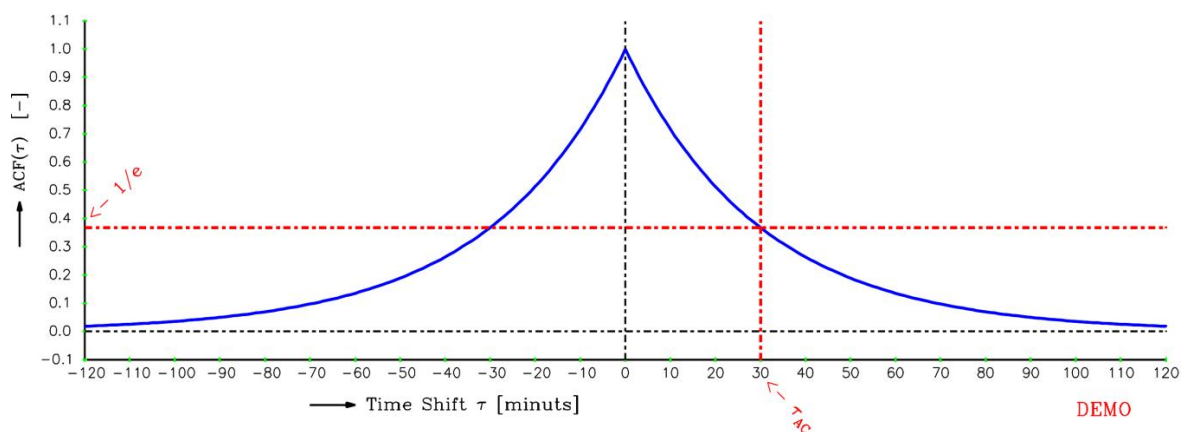
Voor het afleiden van de schatting van de onzekerheid in de grootte $\Delta Mean_{SPM}^*$ kan dezelfde onzekerheid worden genomen als die waarmee op basis van de modeluitkomst een schatting van het gemiddelde van de residuen kan worden afgeleid. Die onzekerheid in $\Delta Mean_{SPM}^*$ wordt hier weergegeven via een spreiding $\sigma_{\Delta M}$. Die $\sigma_{\Delta M}$ is dan de spreiding in de schatter voor $\Delta Mean_{SPM}^*$ (ofwel: de “standard error”). Deze $\sigma_{\Delta M}$ is dan gegeven door $\sigma_{\Delta M} = \sigma_R / \sqrt{N}$. Hierin is σ_R de spreiding van de residuen zoals die na de modelkalibratie ter beschikking staan, en waarvan dan naast het gemiddelde ook de spreiding σ_R moet worden berekend. De N is in eerste instantie het aantal residuen. Hier moet echter worden opgemerkt dat rekening moet worden gehouden met afhankelijkheden in die residuen. De formule $\sigma_{\Delta M} = \sigma_R / \sqrt{N}$ geldt namelijk alleen als al die residuen onderling onafhankelijk zijn. Is dat niet het geval (hetgeen in de praktijk vaak zo zal zijn) dan moet hiervoor in de formule voor $\sigma_{\Delta M}$ een correctie worden aangebracht en deze formule is dan van de vorm $\sigma_{\Delta M} = \sigma_R / \sqrt{N^*}$. Hierin is N^* een “effectief” aantal datapunten dat bij grote correlaties tussen de residuen aanzienlijk lager kan zijn dan de N die we hebben. Met een lager aantal effectieve datapunten wordt $\sigma_{\Delta M}$ groter (en dus ook de onzekerheid in schatting voor $\Delta Mean_{SPM}^*$) dan voor het geval dat de residuen volledig onafhankelijk van elkaar zijn.

Voor het vaststellen van afhankelijkheden in de residuen (en daarna vinden van de waarde van N^*), en over welke tijdschalen die afhankelijkheden zich uitstrekken, kan de zogenaamde autocorrelatiefunctie van die residuen worden gebruikt. Die autocorrelatie functie (ACF) berekent de standaard correlatiecoëfficiënt van een residu van tijd t met dat van een tijd τ later (dus van tijd $t+\tau$). Dat wordt gedaan voor een groot aantal variaties van de tijdsverschuiving τ , namelijk voor $\tau = 0$ tot een voldoende grote waarde die de tijdschalen van alle relevante tijdsvariaties in de reeks omvat (zeer korte tijdschalen zoals *minuten* of *uren*, maar ook de langere tijdschalen zoals die van het getij of zelfs seizoen).

Voor de residuen van modellen heeft de ACF vaak een exponentiële vorm, en kan dan worden weergegeven met $ACF(\tau) = \exp\left(-\frac{|\tau|}{\tau_{AC}}\right)$. Die τ_{AC} is de autocorrelatietijd van het signaal en is een maat voor het temporeel geheugen in die reeks. In Figuur 4.4.3 is een illustratie van een exponentiële autocorrelatiefunctie te vinden, en is daarin tevens

aangegeven hoe hieraan de autocorrelatietijd τ_{AC} te ontlenen. Die autocorrelatietijd is hier extra van belang om de N^* in $\sigma_{\Delta M} = \sigma_R / \sqrt{N^*}$ te berekenen. Er kan worden aangetoond dat $N^* = \frac{1 - \beta}{1 + \beta} \cdot N$ waarbij $\beta = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_{AC}}\right)$, en Δt de tijdstap waarmee de residuen als tijdreeks beschikbaar zijn. Is bijvoorbeeld $\Delta t = 1$ minuut, en is de autocorrelatietijd $\tau_{AC} = 1$ uur, dan is $N^* = 0.019 \cdot N$, en is het effectief aantal datapunten maar 2% van het totale aantal. Voor nadere toelichting bij het op deze manier bepalen de spreiding in de schatting voor het gemiddelde wordt verwezen naar Blaas et al., 2006. Samenvattend kan dan worden gezegd dat voor het berekenen van de spreiding in de schatter voor $\Delta Mean_{SPM}^*$ de autocorrelatiefunctie van de residuen moet worden berekend waaruit de autocorrelatietijd moet worden afgeleid.

Gegeven het grote aantal datapunten dat in de analyse ter beschikking zal staan mag er vanuit worden gegaan dat $\Delta Mean_{SPM}$ Gaussisch verdeeld is, en met gemiddelde $\Delta Mean_{SPM}^*$ en spreiding $\sigma_{\Delta M}$. Deze verdeling kan dan voor allerlei toetsen worden gebruikt. Bijvoorbeeld: is $\Delta Mean_{SPM}$ significant verschillend van nul, en/of wat is de kans dat een waarde van (zeg) 10 mg/l wordt overschreden. Zie hiervoor ook Figuren A.3.1 in Appendix A.



Figuur 4.4.3. Illustratie van een exponentiële autocorrelatiefunctie.

5 Resultaten van de statistische modellering en toetsen op verspreidingseffecten

Conform de in vorige hoofdstukken beschreven aanpak voor het identificeren van eventuele effecten van baggerspecieverspreidingen zijn de statistische modellen ontwikkeld en is op basis van de uitkomsten van die modellen een schatting afgeleid van die effecten. Voor die schattingen is eveneens een onzekerheid afgeleid om hun significantie vast te stellen. In dit hoofdstuk worden de aldus gevonden resultaten gepresenteerd.

In Sectie 5.1 worden de resultaten van de modellering gepresenteerd waar voor het statistische model een Neuraal Netwerk (NN) wordt gebruikt (eerste variant zoals beschreven in Sectie 4.4). In het bijzonder wordt hiermee de kwaliteit getoond waarmee de zwevendstofmetingen van GSP5 überhaupt uit data van de omgevingscondities gemodelleerd/afgeleid/benaderd kunnen worden. In deze NN-modellen wordt het verspreidingsregiem niet als invoer meegenomen. In Sectie 5.2 wordt aangegeven dat ondanks de goede kwaliteit van de NN-modellen, en ondanks een zinvol toetsingscriterium, dit (vanwege temporele trends in een aantal invoergrootheden) niet de verwachte solide basis bleek te bieden voor het toetsen op effecten van verspreidingen. Derhalve is de modellering enigszins aangepast met enerzijds een wat minder complex model, en anderzijds met een extra invoer waarmee nu ook het verspreidingsregiem in geschematiseerde vorm als invoer wordt meegenomen. Dit exponentiële regressiemodel is echter van dezelfde generieke vorm als de NN-modellen (tweede variant uit Sectie 4.4).

Met het meenemen van het verspreidingsregiem als een extra invoer moet nu ook op een andere wijze getoetst worden op effecten van verspreidingen. De uitkomsten van de aangepaste modellering en de uiteindelijke resultaten van het toetsen op effecten van verspreidingen worden in Sectie 5.3 gepresenteerd.

De in dit modelleren en toetsen gevolgde aanpak is geheel conform de uitgebreide beschrijvingen in Hoofdstuk 4 en Appendix A.

Sectie 5.3 bevat de resultaten van deze studie.

5.1 Resultaten van de modellering van de zwevendstoftijdreeksen van GSP5 met een Neutraal Netwerk

Voor elk van de vier zwevendstoftijdreeksen te GSP5 werd een afzonderlijk statistisch model ontwikkeld. De architectuur en invoergrootheden voor die modellen waren grotendeels hetzelfde. Het verschil was feitelijk alleen de wijze waarop in de invoer van de modellen zwevendstofmetingen van de andere locatie GSP2 worden gebruikt. In de modellen voor de OBS-waarnemingen werden van GSP2 alleen de OBS-metingen als invoer gebruikt, terwijl bij het modelleren van de ADCP metingen van GSP5 alleen de ADCP-metingen van GSP2 als invoer werden meegenomen.

Naast deze invoer van zwevendstofmetingen van de andere locatie werden de diverse (andere, en via metingen beschikbare) omgevingscondities als invoer gebruikt. Voor een gedetailleerde beschrijving van hoe dat is gedaan wordt verwezen naar Appendix A.

Afgezien van diverse kleinere en grotere gaten in de reeksen van de doel- en invoervariabelen was de temporele resolutie $\Delta t = 1$ minuut. In een preprocessing zijn via een interpolatietechniek (een Loess filter) alleen kleine gaten (dat wil zeggen niet langer dan 1 à 2 uur) gedicht.

Op basis van deze data is het Neuraal Netwerk gebaseerde regressiemodel (zoals beschreven in Hoofdstuk 4 en meer uitgebreid in Appendix A) gekalibreerd. In een kwantitatieve vorm is het resultaat (en in het bijzonder de kwaliteit) van die kalibraties samengevat in Tabel 5.1.1. In de eerste kolom van die tabel is de doelvariabele te vinden (type zwevendstofmeting en verticale positie). In de tweede kolom is het aantal datapunten (feitelijk het aantal beschikbare reguliere invoer-uitvoer combinaties) te vinden waarmee de kalibratie kon worden uitgevoerd. De spreiding van de zwevendstofmetingen waarop het model aldus gekalibreerd kon worden staat in de derde kolom. Naarmate die spreiding groter is, is de variabiliteit in die meetwaarden ook groter. In de vierde kolom staat de spreiding van de residuen zoals die na de kalibratie worden gevonden. De vijfde kolom geeft de (standaard lineaire) correlatiecoëfficiënt tussen de metingen en de overeenkomstige met het model (na de kalibratie) geproduceerde “voorspellingen”. Naarmate die correlatiecoëfficiënt groter is en dichter bij de waarde 1 ligt, is de overeenkomst tussen metingen en model eveneens groter. Daarom kan de correlatiecoëfficiënt als een kwantitatieve maat voor de kwaliteit van het gekalibreerde model worden gebruikt.

GSP5	Aantal Datapunten	Spreiding vd zwevendstofmetingen [mg/l]	Spreiding vd residuen [mg/l]	Correlatie coëfficiënt
OBS-Frame	101412	75.5	41.8	0.833
OBS-Ketting	120825	37.1	18.5	0.868
ADCP-Bodem	95713	53.4	19.1	0.934
ADCP-Oppervlak	95587	27.5	11.6	0.906

Tabel 5.1.1 Statistische kentallen van de doelvariabelen, en van de residuen na de kalibratie van de statistische modellen (hier Neurale Netwerken) voor de zwevendstofmetingen te GSP5.

De kwaliteit van de modellen is ook nagegaan aan de hand van figuren van tijdreeksen. Hier worden die alleen getoond voor de OBS-Frame variant. Aan de correlatiecoëfficiënten in Tabel 5.1.1 is te zien dat dit van de vier hier gekalibreerde modellen de variant is met de minst goede kwaliteit.

In de hieronder staande Figuren 5.1.1a-d is in de bovenste panelen de tijdreeks met de OBS-Frame zwevendstofmeting van GSP5 in blauw weergegeven. Tegelijkertijd zijn daarin in rood de overeenkomstige “voorspellingen” met het gekalibreerde regressiemodel te zien. Bij het tekenen is eerst de rode reeks getekend en daarna de blauwe. Daar waar die reeksen weinig van elkaar verschillen wordt de rode reeks gemaskeerd door de blauwe. Hierdoor geldt dat “de kwaliteit van het model beter is naarmate er in de figuur minder van de rode grafiek is te zien”. Voor een mogelijk beter zicht op de kwaliteit van het regressiemodel zijn echter additioneel in de onderste panelen van de figuren ook de residuen (meting minus model) getekend. Deze residuen zijn in groen getekend.

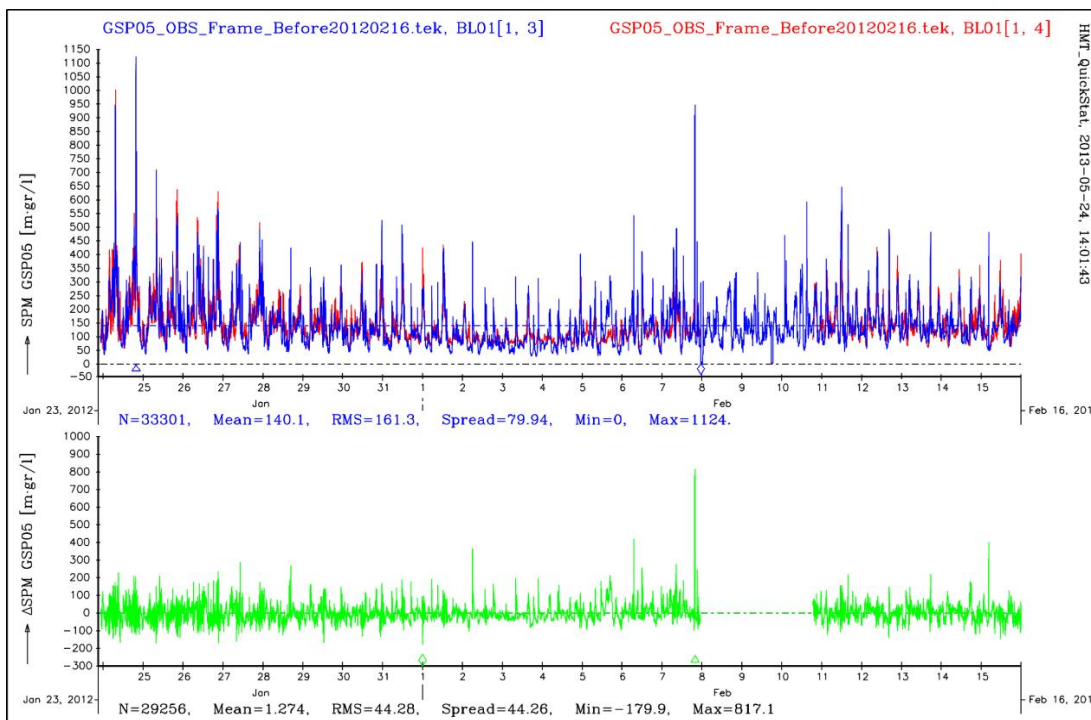
Op deze manier wordt voor OBS-Frame de kwaliteit van het regressiemodel getoond voor vier deelperioden:

- de gehele periode tijdens de verspreidingen en waarbij metingen beschikbaar zijn, zie Figuur 5.1.1a
- een korter deelinterval daarvan voor het tonen van meer detail, zie Figuur 5.1.1b,
- de gehele periode na de verspreidingen, zie Figuur 5.1.1c, en,
- een korter deelinterval daarvan, zie Figuur 5.1.1d.

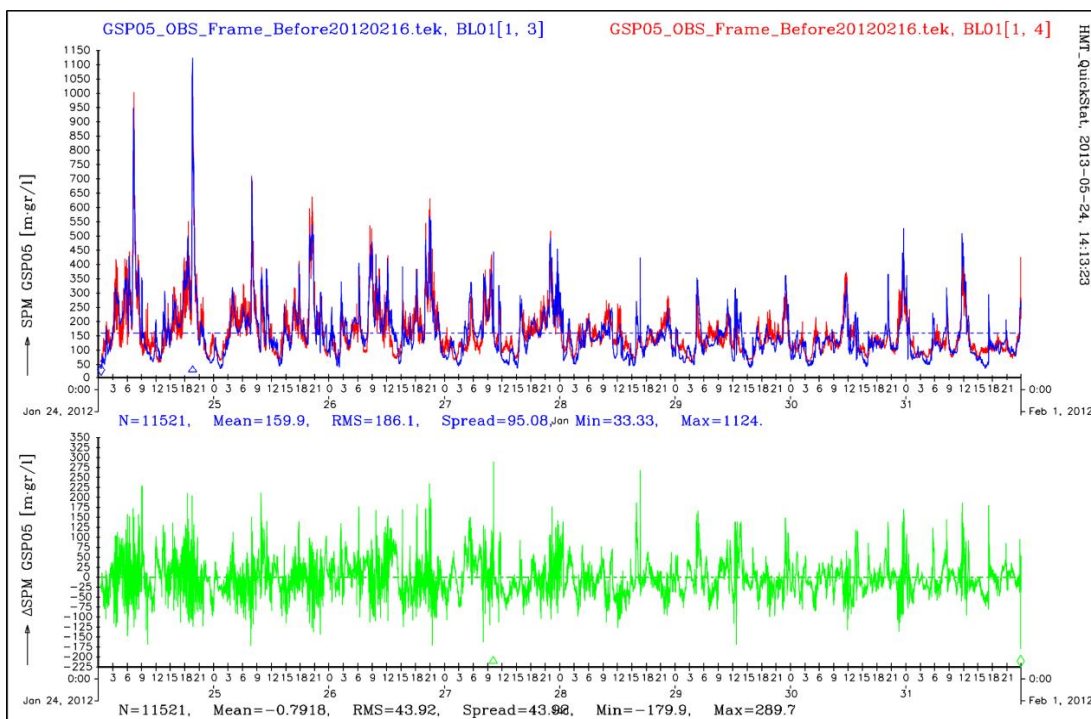
Om inzicht te krijgen in welke mate het model er in slaagt om de diverse tijdschalen in de variaties van de OBS-Frame metingen te GSP5 te omvatten is de autocorrelatiefunctie van de residuen berekend. Deze autocorrelatiefunctie is te zien in Figuur 5.1.2

Op basis van Tabel 5.1.1. en de Figuren 5.1.1a-d en 5.1.2 kan het volgende worden opgemerkt:

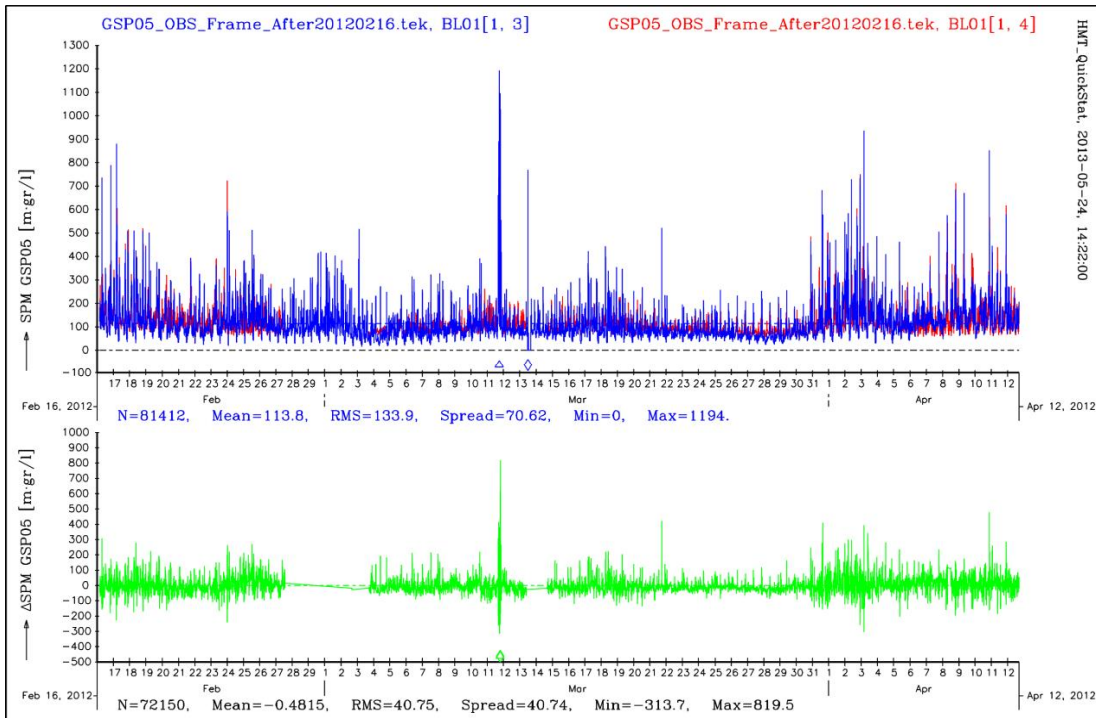
- 1 In alle gevallen reproduceert het regressiemodel in behoorlijke mate de temporele variaties in de metingen. Op de kortere tijdschalen (kleiner dan die van het getij) is dat niet overal het geval. Enerzijds is dat rond sommige events ('pieken') in de zwevendstofmetingen, waar binnen korte tijdschalen grote toenames kunnen optreden gevolgd door weer snelle afnames. Deze pieken worden soms gemist door het model of qua grootte onderschat, of niet op precies het goede tijdstip voorspeld. Dat neemt niet weg dat de meeste pieken wel qua grootte en moment van optreden herkend worden. Anderzijds worden ook bij niet-extreme meetwaarden over tijdschalen tot enkele uren diverse systematische verschillen tussen metingen en het model gevonden (onder of overschattingen van het model). In enkele gevallen strekt zich zo'n systematisch verschil over nog wat langere tijdsduren uit, maar niet langer dan één of een paar dagen.
- 2 De (vorm van de) in Figuur 5.1.2 getoonde autocorrelatiefunctie laat zien dat in de residuen geen systematische componenten aanwezig zijn met tijdschalen langer dan ongeveer een half à 1 uur. In het bijzonder zijn er in de autocorrelatiefunctie geen 'pieken' te zien bij tijdsverschuivingen τ die samenvallen met belangrijke componenten in het getij. Voor het model betekent dit dat getijinvloeden zeer goed worden weergegeven. De 'grootste' fouten in het model zullen optreden bij het weergegeven van de variaties met tijdschalen tot 1 uur. Voor fysische tijdschalen zoals getij en seizoenen (en tijdschalen die in de praktijk van belang zijn voor de dynamiek van zwevendstoftransportprocessen) zijn de fouten in het model dan als "ruis" op te vatten. De grootte van die ruis op die lage temporele schalen kan echter nog aanzienlijk kan zijn. Voor die grootte vormt de spreiding van de residuen, zoals die in Tabel 5.1.1 zijn te vinden een goede maat.
- 3 Aan de correlatiecoëfficiënten in Tabel 5.1.1 is te zien dat de ADCP metingen beter gereproduceerd worden dan de OBS-metingen. De kwaliteit van het model voor de OBS-metingen aan de bodem is, met een correlatiecoëfficiënt van 0.83 nog behoorlijk, maar het minst goed vergeleken met de andere.



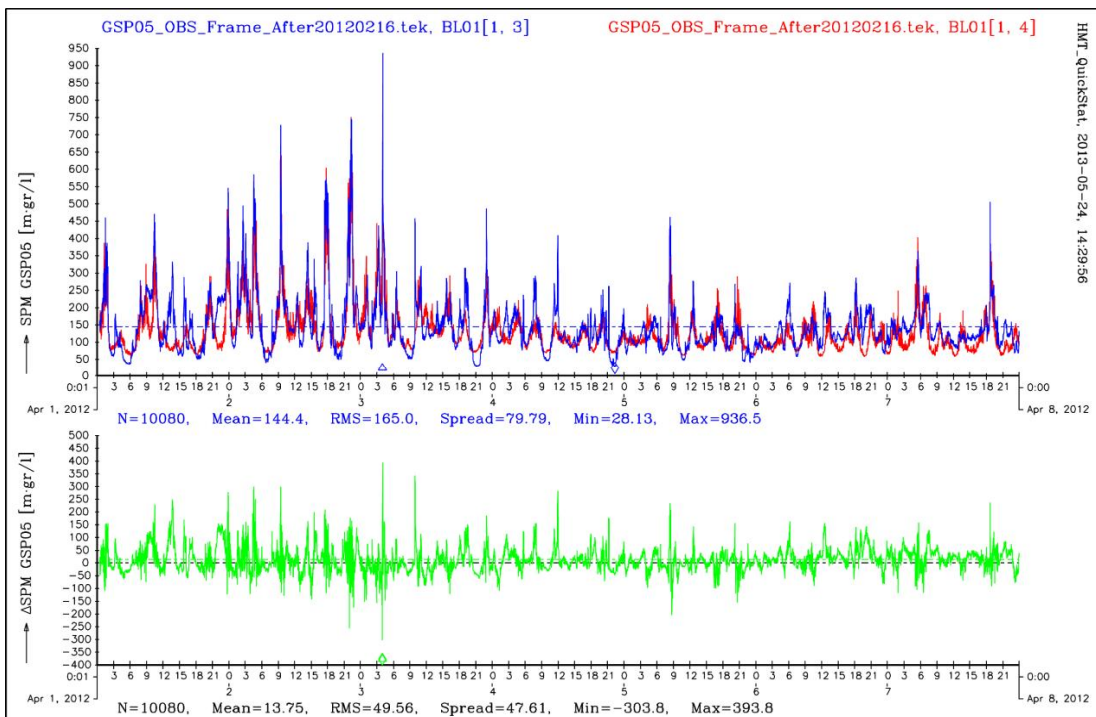
Figuur 5.1.1a. Bovenste paneel: tijdreeks van de met OBS aan de bodem van locatie GSP5 gemeten zwevendstofconcentraties (in blauw) en de overeenkomstige met een NN-gebaseerd regressiemodel gereproduceerde waarden (in rood). In het onderste paneel is het verschil (meting minus model) weergegeven (in groen). Hier is dat voor het gehele deel van de meetperiode waarin verspreidingen hebben plaatsgevonden. Het gat tussen 8 en 11 februari ontstaat vanwege een gat in een invoergrootheid waardoor geen voorspelling van zwevendstofconcentratie gegenereerd kan worden.



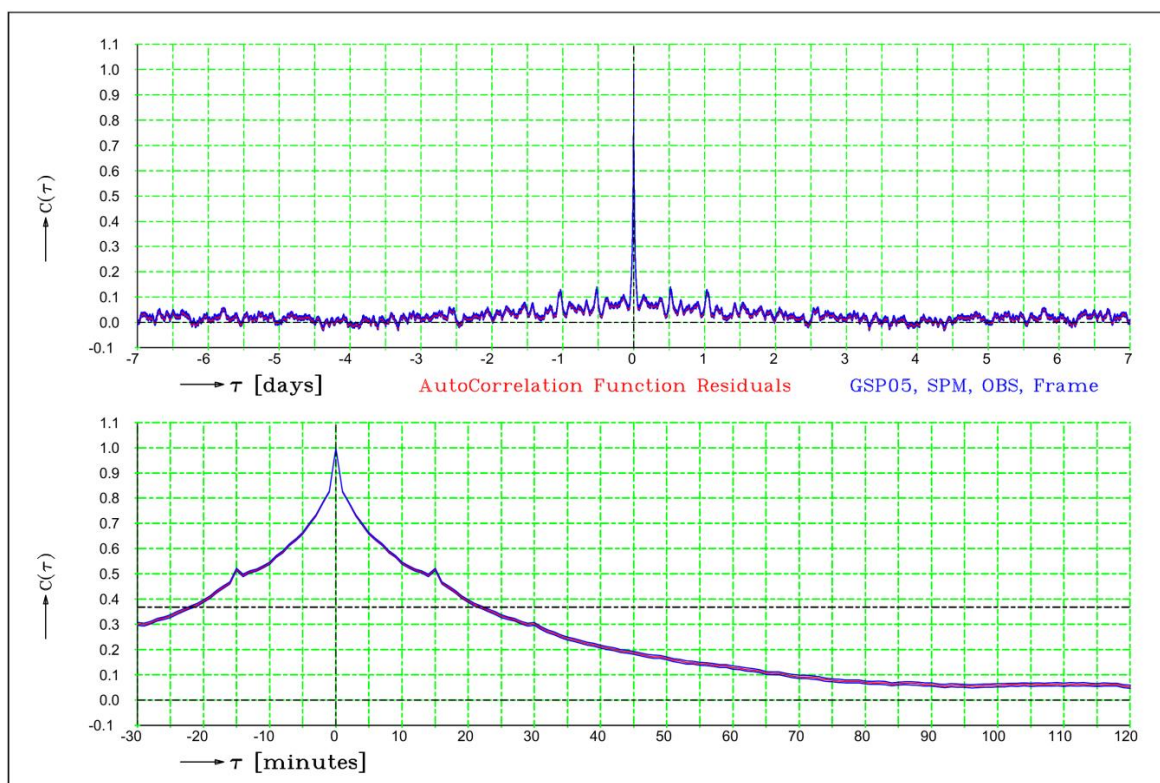
Figuur 5.1.1b. Zoals in Figuur 5.1.1a maar nu ingezoomd op een kortere deelperiode.



Figuur 5.1.1c. Bovenste paneel: tijdreeks van de met OBS aan de bodem van locatie GSP5 gemeten zwevendstofconcentraties (in blauw) en de overeenkomstige met een NN-gebaseerd regressiemodel gereproduceerde waarden (in rood). In het onderste paneel is het verschil (meting minus model) weergegeven (in groen). Hier is dat voor de gehele deel van de meetperiode waarin geen verspreidingen hebben plaatsgevonden.



Figuur 5.1.1d. Zoals in Figuur 5.1.1c, maar nu ingezoomd op een kortere deelperiode.



Figuur 5.1.2. Autocorrelatiefunctie van de residuen van het NN-gebaseerde regressiemodel voor de OBS-Frame zwevendstofconcentraties van GSP5. Deze residuen zijn de in het groen getekende tijdreeksen in de Figuren 5.1.1a-d. In het bovenste paneel is de autocorrelatiefunctie getekend voor verschuivingen τ tussen -7 en +7 dagen. In het onderste paneel is ingezoomd op verschuivingen tot 2 uur.

Samenvattend: in de modellering worden weliswaar nog diverse deficiënties gevonden in het reproduceren van de metingen, maar dat de belangrijkste eigenschappen (events, en de temporele variaties op getijschalen en hoger) van de data worden behoorlijk gereproduceerd. In het bijzonder geldt dat voor het over langere periodes gemiddelde gedrag in de metingen. In die zin lijken de modellen van voldoende kwaliteit om hun uitkomsten te gebruiken bij het toetsen op effecten van zwevendstofverspreidingen. Dit geldt met name voor het geval dat toetscriteria worden gebruikt die op langere termijn gemiddelden zijn gebaseerd. In die zin bieden de uitkomsten van de hier uitgevoerde modellering additionele onderbouwing voor de eerder al in Hoofdstuk 4 gegeven motivatie om in dit kader te toetsen op basis van gemiddelden, en niet op effecten/variaties op heel korte tijdschalen.

5.2 Resultaten van de toetsingsprocedure bij de NN-gebaseerde modellering

In deze sectie worden de resultaten gepresenteerd van het toetsen op effecten van de verspreidingen wanneer hierbij de uitkomsten van het op een NN-gebaseerde model wordt gebruikt. Dat zijn dus de uitkomsten die hierboven in Sectie 5.1 zijn beschreven. In deze modellen werd (onder de nulhypothese dat verspreidingen geen effecten hebben) het verspreidingsregiem niet als invoer voor die modellen meegenomen. Toetsen vindt dan plaats op basis van (het verschil in) de gemiddelde zwevendstofconcentratie over de periode tijdens en na de verspreidingen. Om hierbij te corrigeren voor een verschil in gemiddelden dat door de natuurlijke variabiliteit wordt veroorzaakt moeten die gemiddelden van de modelresiduen worden afgeleid.

Het gemiddelde dat zo wordt gevonden voor de periode tijdens de verspreidingen wordt met het symbool m_B weergegeven, en het gemiddelde over de periode na de verspreidingen wordt met m_A weergegeven.

Voor de OBS-Frame gebaseerde zwevendstofmetingen van GSP5 werden volgende resultaten gevonden:

Voor het gemiddelde van de residuen werd de waarde $m_B=1.27 \text{ mg/l}$ gevonden voor de deelperiode tot 16 februari, en $m_A=-0.48 \text{ mg/l}$ voor de periode daarna. De spreidingen in die schattingen voor de gemiddelden zijn respectievelijk 1.64 en 0.96 $\text{m}\cdot\text{g/l}$. Op basis van deze getallen zou gelden dat het verschil in de gemiddelden $\Delta m := m_B - m_A$ dan 1.75 mg/l bedraagt. Dit is dan de schatting van de mate waarin het gemiddelde van de zwevendstofconcentraties in de verspreidingsperiode groter is dan daarna, en wat additioneel is ten opzichte van het verschil dat door de omgevingscondities kan worden verklaard.

Om een idee te krijgen hoe solide deze schattingen zijn is op dat moment besloten om een modelvalidatie uit te voeren om na te gaan of effecten van verspreidingen inderdaad op deze manier vastgesteld kunnen worden. Ofwel: mag de gevonden $\Delta m=1.75 \text{ mg/l}$ werkelijk als een niet door de omgevingscondities verklaarde verhoging worden opgevat?

In deze modelvalidatie is nagegaan hoe de procedure reageert op situaties waarbij we zeker weten dat in de verspreidingsperiode een verhoging (of verlaging) is opgetreden. Voor de meetdata weten we dat niet, maar deze data kunnen wel gebruiken om zo'n situatie synthetisch te creëren. Hier is dat gedaan door de gemeten zwevendstofmetingen van GSP5 met 10 mg/l te verhogen, echter alleen voor datapunten in de periode tot 16 februari 2012. Voor de periode daarna zijn de zwevendstofmetingen zoals ze waren. De zwevendstofmetingen van GSP2 en alle andere invoeren voor het model zijn ook niet aangepast. Voor deze aangepaste dataset is het model opnieuw gekalibreerd en zijn op basis van de residuen weer de m_B , m_A , en Δm berekend. Er wordt dan verwacht dat deze Δm met 10 mg/l zal zijn toegenomen, en dan (met de in eerste instantie gevonden $\Delta m=1.75 \text{ mg/l}$) ongeveer 11.75 mg/l zal gaan bedragen. Dat was echter niet het geval, en voor de 'nieuwe' Δm werd een waarde van slechts 3.2 mg/l gevonden.

De vermoedelijke oorzaak van deze 'discrepancie' zijn trends in de omgevingscondities. In Hoofdstuk 4 zijn die al aan de orde gesteld. Met name voor de saliniteit (maar in mindere mate ook voor andere fysische omgevingsvariabelen) werd een wezenlijk andere verdelingen voor beide perioden gevonden. Indien voor de doelvariabele de gemiddelde concentraties voor beide perioden eveneens verschillend zijn (al dan niet door ons synthetisch aangebracht) wordt dat verschil dan geheel of gedeeltelijk verklaard uit de trend in die invoergrootheden.

Wat hier voor de OBS-Frame metingen van GSP5 is beschreven werd in vergelijkbare mate eveneens teruggevonden bij de analyse van de modeluitkomsten van de andere metingen (OBS-Ketting, en de ADCP gebaseerde metingen aan de bodem en het oppervlak).

De bevinding was dat in de modellering via de invoer van het model meer houvast moet worden geboden voor het kunnen onderscheiden dat zowel systeemcondities als niet-natuurlijke bronnen (zoals hier met synthetische data gesimuleerd) systematische verschillen

in gemiddelden kunnen veroorzaken. Derhalve is het modelleerconcept en de toetsingsprocedure aangepast, zoals dat al uitvoerig is gemotiveerd en beschreven in Hoofdstuk 4. De uitkomsten van die aanpassingen in modellering en de daarop volgende statistische analyse zijn te vinden in de volgende sectie.

5.3 Resultaten van de toetsingsprocedure bij het exponentieel regressiemodel

Het exponentieel regressiemodel

In dit geval (tweede variant zoals beschreven in Sectie 4.4) is in feite opnieuw een Neuraal Netwerk gebruikt voor het modelleren van de zwevendstofmetingen te GSP5. In dit geval echter met een vereenvoudigde structuur. Die vereenvoudiging bestaat eruit dat de uitvoer van het model nu uit één (lineaire) combinatie van de invoervariabelen wordt afgeleid in plaats van de twee of meer (verschillende) combinaties zoals bij het in eerste instantie gebruikte Neuraal Netwerk werd gedaan. Dat aantal combinaties van de invoer is in feite het aantal zogenaamde *lagen* in de algemene structuur van een Neuraal Netwerk (zie Haykin, 1994, voor verdere informatie t.a.v. structuur van – en lagen in een Neuraal Netwerk). Het nu gebruikte model omvat in het genereren van de uitvoer dan ‘slechts’ twee stappen die relatief eenvoudig te beschrijven zijn. In de eerste stap is dat een lineaire regressie waarin een gewogen sommatie van alle invoeren plaatsvindt. Om ook rekening te houden met een niet-lineaire afhankelijkheid tussen de doelvariabele en de invoervariabelen wordt in een tweede stap op de uitkomst van de eerste stap een exponentiële transformatie uitgevoerd. Daarmee wordt bewerkstelligd dat de met het model uiteindelijk gegenereerde concentraties niet-negatief zijn, net zoals dat voor de metingen geldt. Bovendien wordt via de exponentiële transformatie ook rekening gehouden met niet-normale en/of zelfs scheve verdelingen van de gemeten concentraties. Vanwege deze twee stappen (lineaire sommatie gevolgd door exponentiële transformatie) noemen we dit model hier een “exponentieel regressiemodel”.

Vanwege dezelfde generieke vorm is voor het exponentieel regressiemodel de modelopzet identiek met wat hierboven in Sectie 5.1 is beschreven voor de NN-modellen. Dat betekent dat over dezelfde tijdsperioden kan worden gerekend, met dezelfde invoervariabelen, en dezelfde wijze waarop van die invoervariabelen het recente verleden wordt meegenomen. Het enige verschil is dat nu het verspreidingsregiem als een extra invoer is meegenomen, en daarbij in geschematiseerde vorm met een indicatorfunctie $H(\cdot)$ (zie Figuur 4.4.1).

In onderstaande Tabel 5.3.1 zijn op dezelfde wijze als dat eerder is gedaan in Tabel 5.1.1 de resultaten van de kalibratie van die modellen weergegeven (in viervoud, t.a.v. OBS of ADCP, meting aan de bodem of aan het oppervlak).

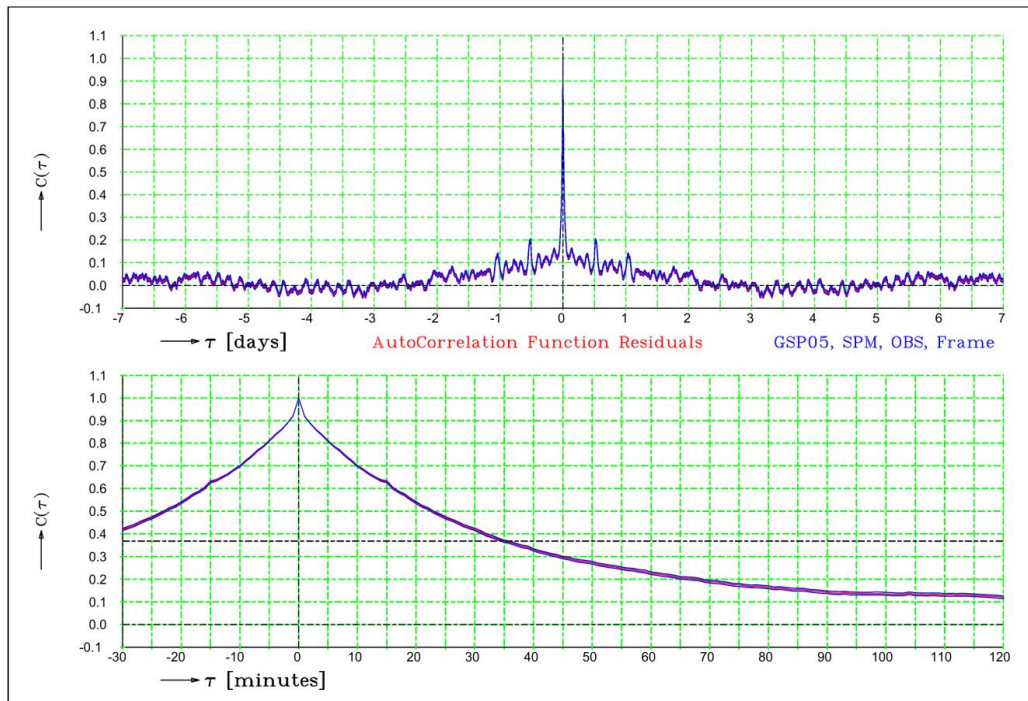
GSP5	#Data-Punten	Spreiding vd zwevendstofmetingen [mg/l]	Spreiding vd residuen [mg/l]	Correlatie coëfficiënt
OBS-Frame	101412	75.5	54.5	0.693
OBS-Ketting	120825	37.1	22.0	0.805
ADCP-Bodem	95713	53.4	22.8	0.904
ADCP-Oppervlak	95587	27.5	13.2	0.878

Tabel 5.3.1 Statistische kentallen van de doelvariabelen, en van de residuen na de kalibratie van de statistische modellen (hier exponentieel regressiemodel) voor de zwevendstofmetingen te GSP5.

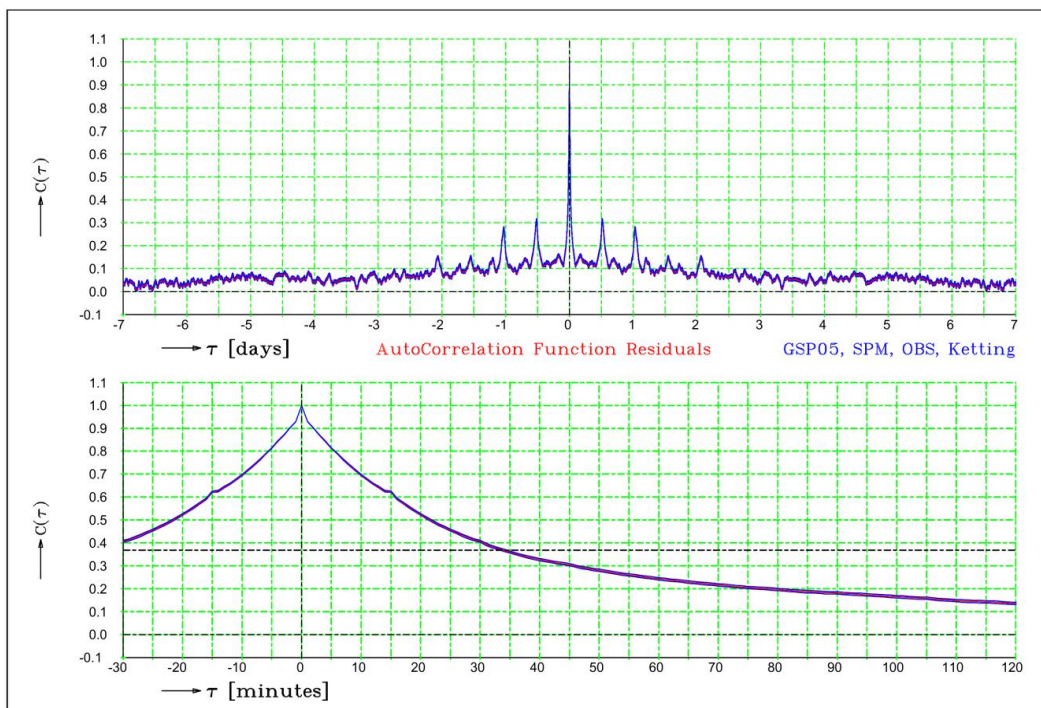
Via de kwaliteitskennallen “Spreiding van de residuen” en “Correlatiecoëfficiënt” kan aan de getallen in de Tabellen 5.1.1 en 5.3.1 worden herkend dat met het nu gebruikte exponentiële regressiemodel de metingen iets minder nauwkeurig gereproduceerd worden. Het sterkst geldt dat voor de OBS-Frame metingen, en dat is dus daar waar in eerste instantie ook voor de modellen de minst goede kwaliteit werd gevonden. Voor de OBS-metingen is het verlies aan kwaliteit iets groter dan voor de ADCP metingen. Dat lijkt in lijn met de eerdere bevindingen dat de ADCP metingen (en daarmee de zwevendstofdeeltjes of fracties die zij representeren) beter met de fysische grootheden correleren.

Voor een verdere inspectie van de kwaliteit van de hier gekalibreerde modellen zijn in de Figuren 5.3.1a-d de autocorrelatiefuncties van de residuen getekend. Net zoals eerder in Figuur 5.1.2 hebben deze functies een exponentiële vorm. Voor tijdsverschuivingen groter dan ongeveer 1 *uur* is de autocorrelatie laag. Dat betekent dat in alle gevallen de variaties in de metingen voor de langere tijdschalen (meer dan enkele *uren*) goed gereproduceerd worden. Vergeleken met Figuur 5.1.2 zijn nu wel kleine pieken te zien bij verschuivingen τ van ongeveer 12 *uur* of een veelvoud daarvan. Bij OBS-Ketting en ADCP-Bodem zijn die met een grootte van ongeveer 0.3 het hoogst. Bij ADCP-Oppervlak zijn die pieken aanzienlijk lager en zijn dan 0.1 of minder. Bij ADCP-Oppervlak valt daarnaast op dat de autocorrelatietijd van de residuen met 17 à 18 *minuten* ongeveer de helft is van de autocorrelatietijd van 35 à 40 *minuten* die voor de residuen van de andere drie wordt gevonden.

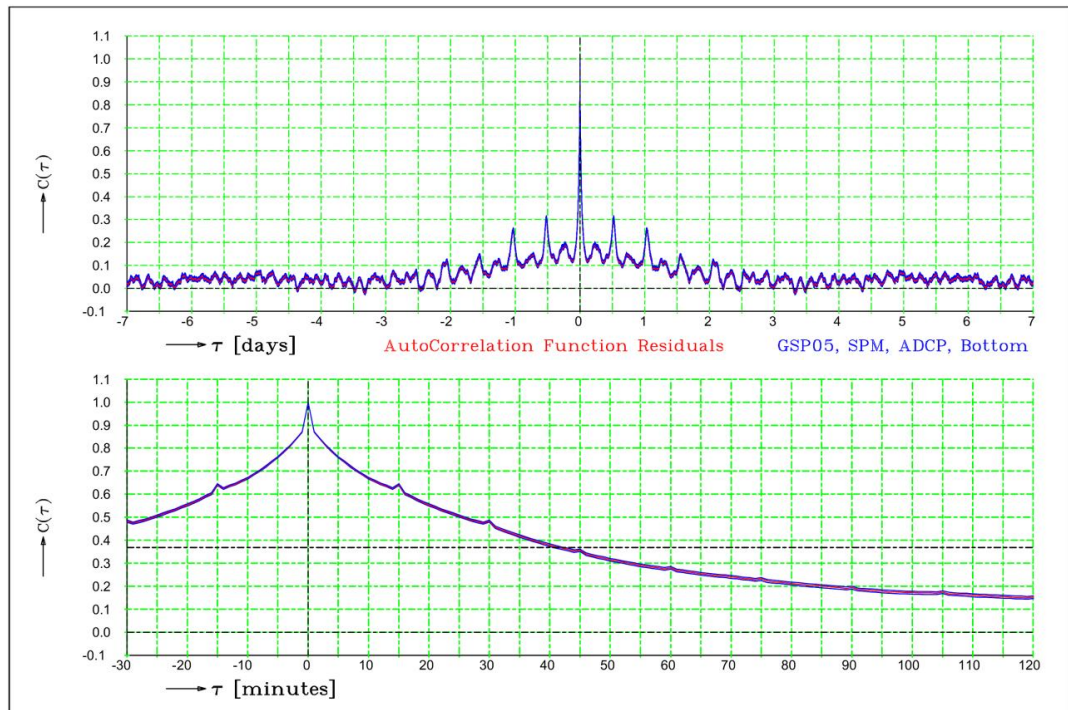
De pieken met een waarde van ongeveer 0.3 in de autocorrelatiefuncties voor OBS-Ketting en ADCP-Bodem duiden erop dat de met het getij samenhangende variaties in de metingen nu wat minder nauwkeurig gereproduceerd worden dan eerder met de NN-gebaseerde modellen. Dit laat tevens zien dat op deze posities de zwevendstofconcentraties niet lineair reageren op het getij. Met de NN is die niet-lineaire interactie goed te modelleren omdat met dergelijke modellen willekeurig complexe relaties kunnen worden geïdentificeerd. Het exponentiële regressiemodel bevat niet voldoende vrijheidsgraden om alle niet-lineaire interacties in grote mate van detail te reproduceren. Desalniettemin is de kwaliteit nog voldoende groot. Immers, correlaties ter grootte van 0.3 zijn in absolute/praktische zin erg klein, en de fouten in het model strekken zich uit over kleinere tijdschalen dan het getij (zie de autocorrelatiefuncties). In die zin worden heel behoorlijk de voornaamste features in de zwevendstofconcentraties gerepresenteerd en bieden zij voldoende kwaliteit om als basis voor de toetsen te fungeren.



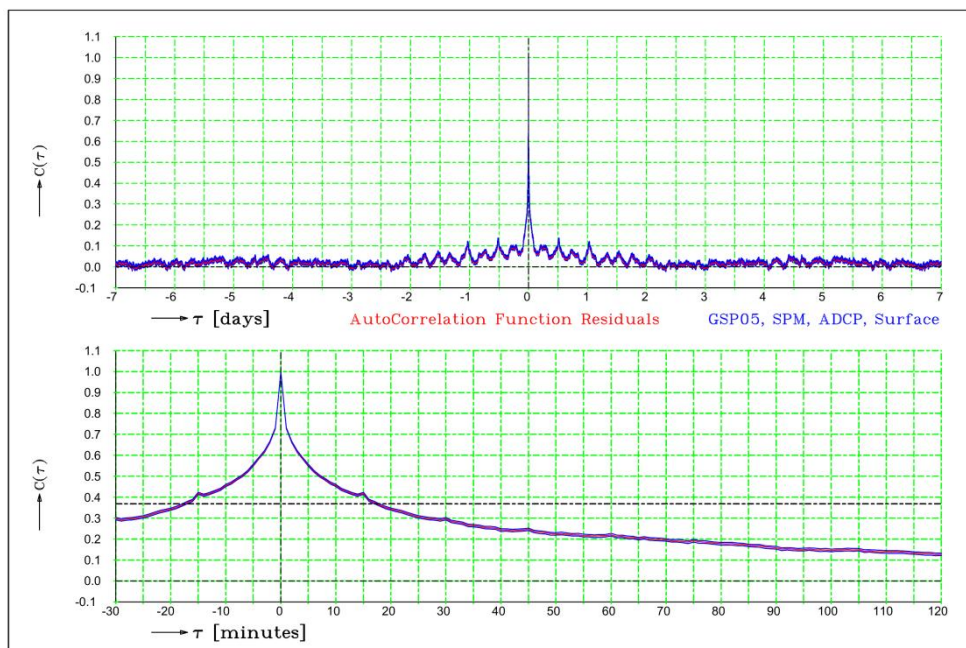
Figuur 5.3.1a. Autocorrelatiefunctie van de residuen van het exponentiele regressiemodel voor de OBS-Frame zwevendstofconcentraties van GSP5.



Figuur 5.3.1b. Autocorrelatiefunctie van de residuen van het exponentiele regressiemodel voor de OBS-Ketting zwevendstofconcentraties van GSP5.



Figuur 5.3.1c. Autocorrelatiefunctie van de residuen van het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-Bodem zwevendstofconcentraties van GSP5.



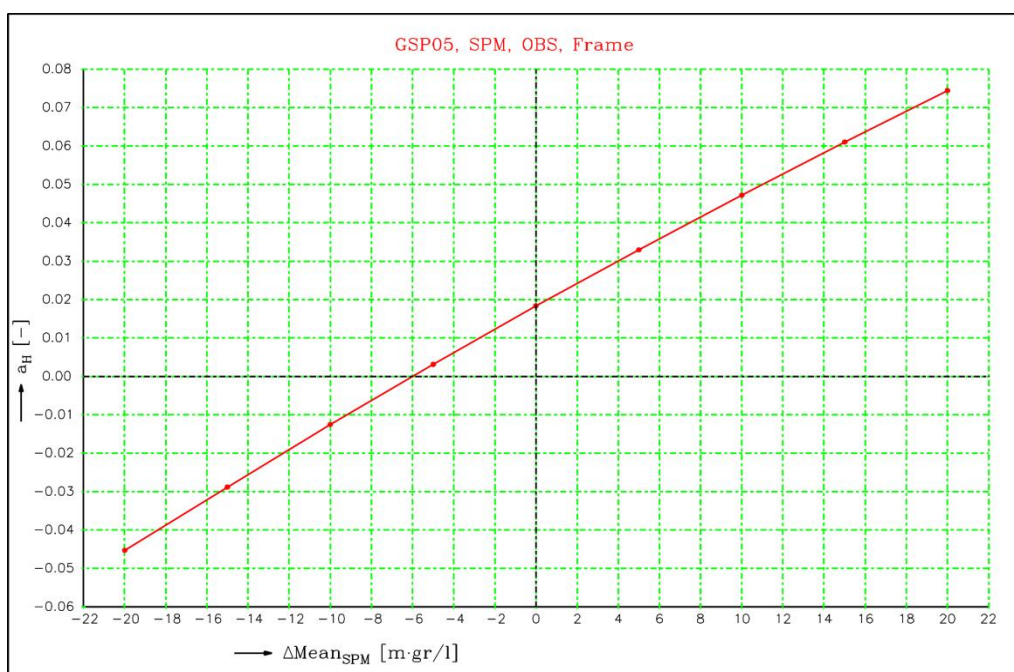
Figuur 5.3.1d. Autocorrelatiefunctie van de residuen van het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-Opervlak zwevendstofconcentraties van GSP5.

Uitkomsten van het toetsen op effecten van verspreidingen

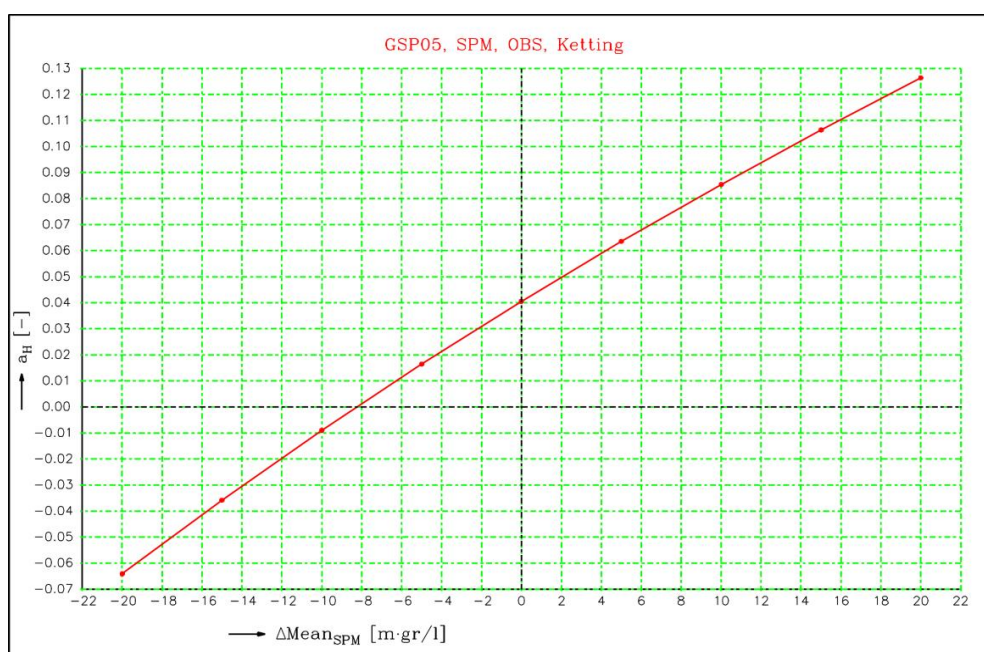
Zoals uitvoerig is beschreven in Hoofdstuk 4 worden voor het vinden van een verschil tussen de gemiddelde concentraties (van tijdens en na de verspreidingen) de te GSP5 gemeten concentraties in de eerste periode met een constante waarde $\Delta Mean_{SPM}$ verhoogd (of verlaagd). Voor elke aldus aangepaste dataset wordt met het exponentiële regressiemodel de kalibratie herhaald. Op deze manier wordt de relatie verkregen tussen de a_H parameter en een door een (fictieve) bron veroorzaakte niet-natuurlijke verhoging van de gemiddelde waarde over de verspreidingsperiode. De a_H parameter is het gewicht dat volgens het model aan die bron moet worden toegekend om in combinatie met effecten van de natuurlijke variabiliteit een verschil in gemiddeldes te verklaren. Op basis van de $\Delta Mean_{SPM}$ die hoort bij $a_H=0$ wordt dan een schatting verkregen van de mate waarin in de verspreidingsperiode een andere bron dan alleen de omgevingscondities aanleiding heeft gegeven tot een hogere gemiddelde concentratie in die periode.

In deze 'exercities' zijn negen variaties van $\Delta Mean_{SPM}$ aangebracht met voor die $\Delta Mean_{SPM}$ waarden tussen -20 en 20 mg/l. Voor de diverse zwevendstofconcentraties is het dan via herhaalde modelkalibraties gevonden verband tussen a_H en $\Delta Mean_{SPM}$ grafisch weergegeven in de Figuren 5.3.2a-d. Hieruit zijn de $\Delta Mean_{SPM}^*$ afgeleid waarvoor $a_H=0$. Van deze schattingen is tevens de onzekerheid afgeleid conform het in Hoofdstuk 4 beschreven recept. Die onzekerheid is berekend in vorm van de spreiding $\sigma_{\Delta M}$ in die $\Delta Mean_{SPM}^*$. De zo uiteindelijk gevonden Gaussische verdelingen voor de $\Delta Mean_{SPM}$ zijn grafisch weergegeven in de bovenste panelen van de Figuren 5.3.3a-d. In de onderste panelen van die figuren zijn bijhorende overschrijdingskansen getekend.

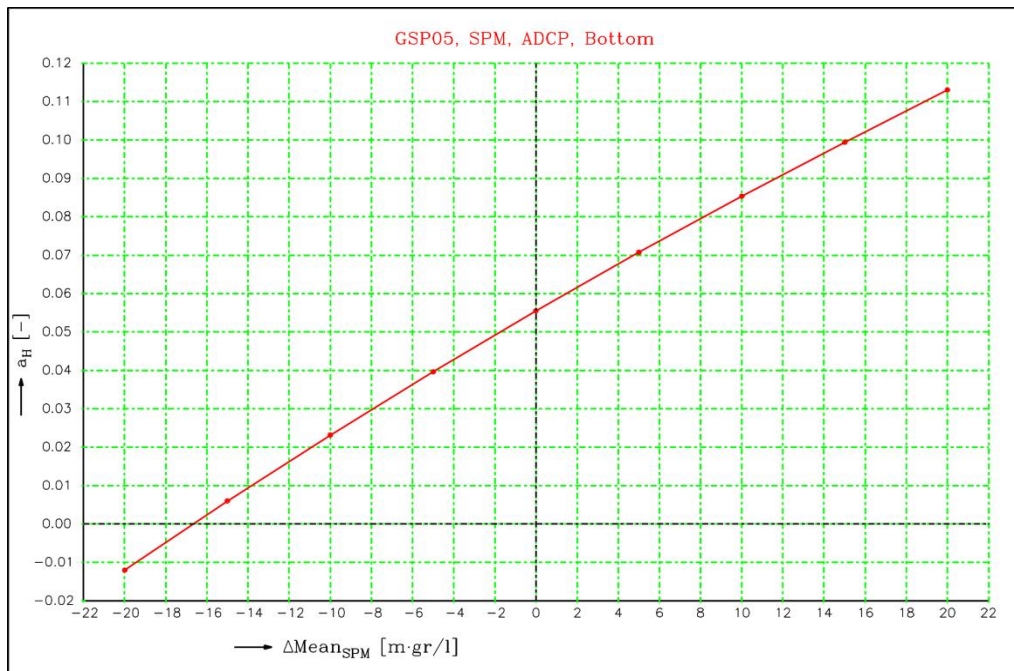
Bij een aldus gevonden $\Delta Mean_{SPM}^*$ is $-\Delta Mean_{SPM}^*$ dan de schatting voor de waarde waarin de gemiddelde concentratie *in de verspreidingsperiode groter is dan in de periode daarna*, en waarbij is gecorrigeerd voor verschillen die door de omgevingscondities zijn geïnduceerd



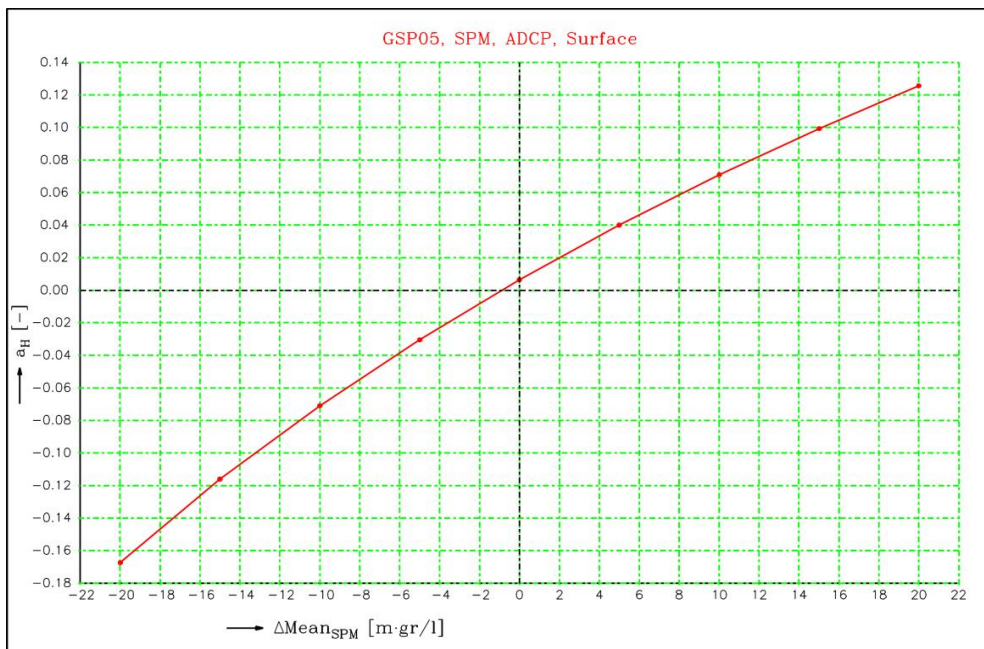
Figuur 5.3.2a. Verband tussen (i) het gewicht a_H van het verspreidingsregiem $H(\cdot)$ en (ii) een gemiddelde concentratieverhoging $\Delta Mean_{SPM}$ tijdens de verspreidingsperiode, zoals dat met het exponentiele regressiemodel voor de OBS-Frame zwevendstofconcentraties van GSP5 wordt gevonden.



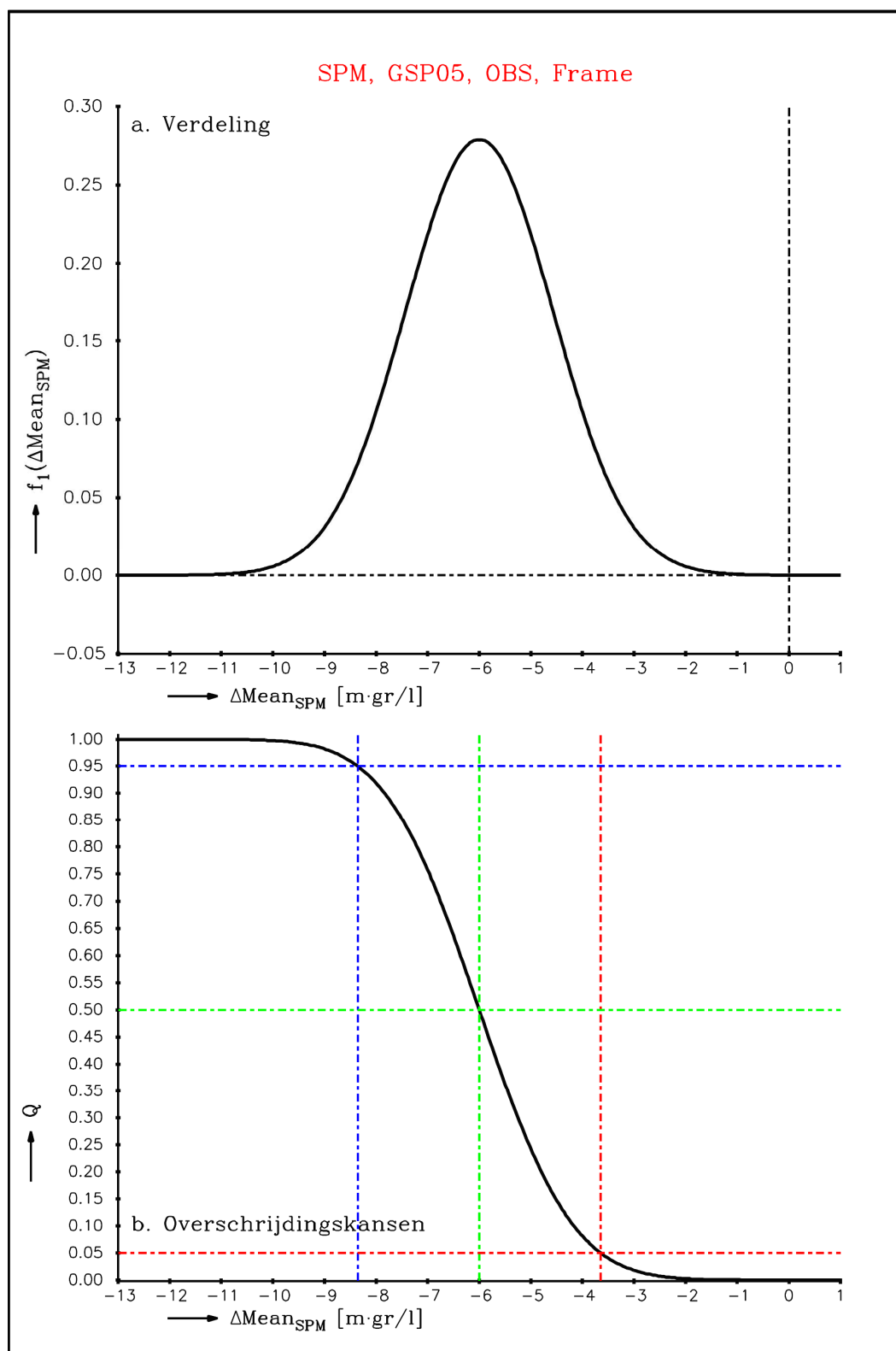
Figuur 5.3.2b. Verband tussen (i) het gewicht a_H van het verspreidingsregiem $H(\cdot)$ en (ii) een gemiddelde concentratieverhoging $\Delta Mean_{SPM}$ tijdens de verspreidingsperiode, zoals dat met het exponentiele regressiemodel voor de OBS-Ketting zwevendstofconcentraties van GSP5 wordt gevonden.



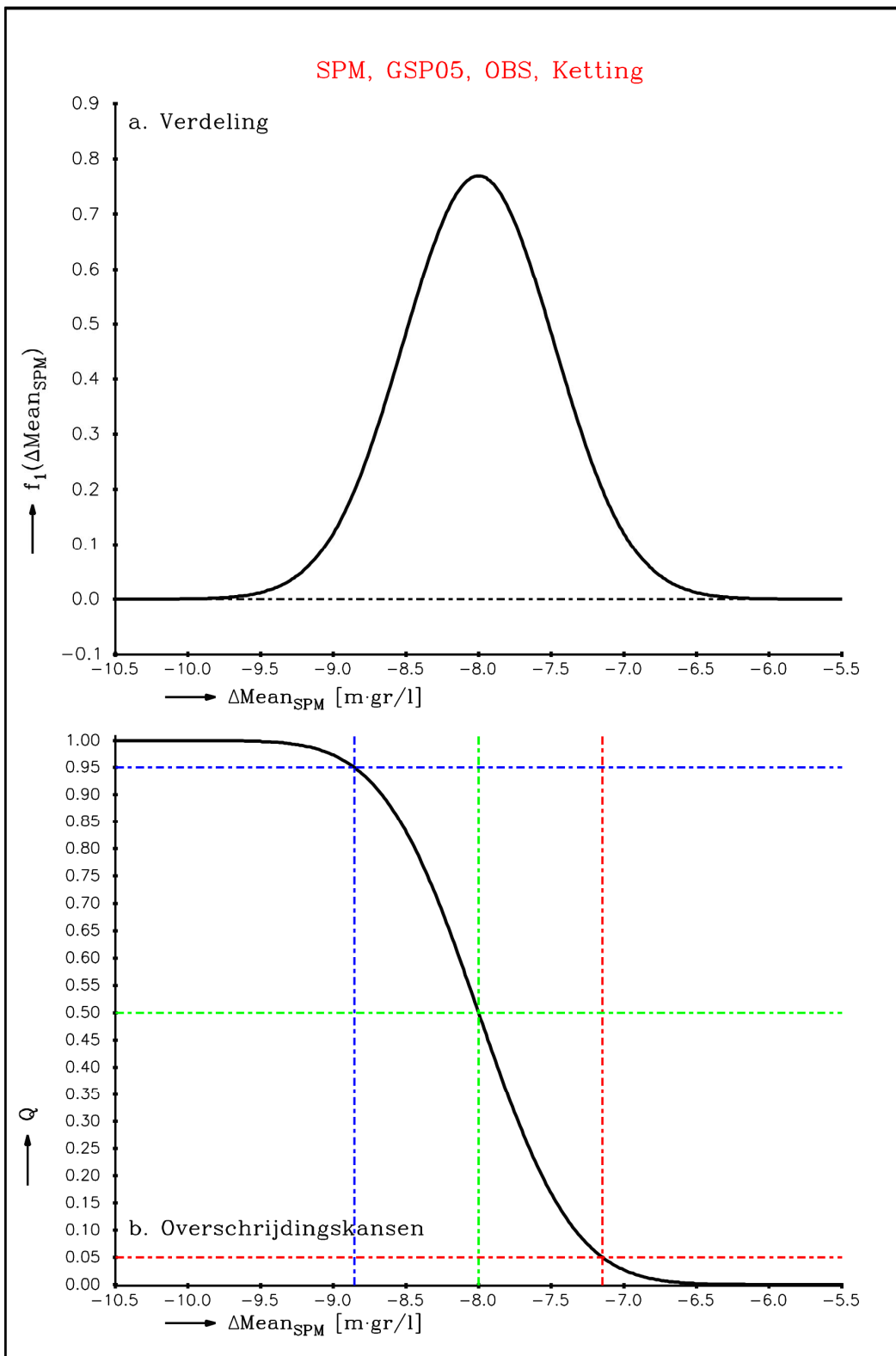
Figuur 5.3.2c. Verband tussen (i) het gewicht a_H van het verspreidingsregiem $H(\cdot)$ en (ii) een gemiddelde concentratieverhoging $\Delta Mean_{SPM}$ tijdens de verspreidingsperiode, zoals dat met het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-bodem zwevendstofconcentraties van GSP5 wordt gevonden.



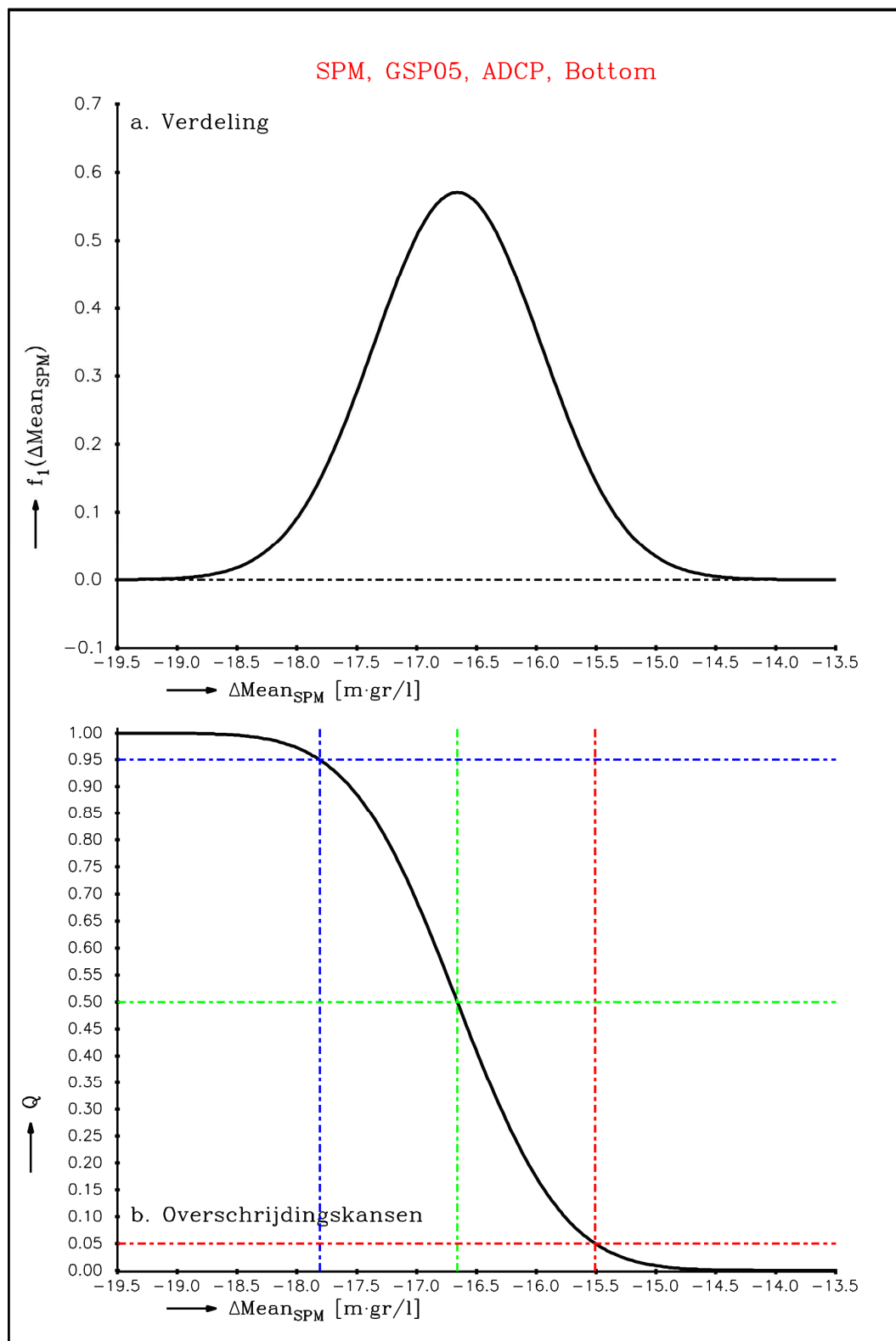
Figuur 5.3.2d. Verband tussen (i) het gewicht a_H van het verspreidingsregiem $H(\cdot)$ en (ii) een gemiddelde concentratieverhoging $\Delta Mean_{SPM}$ tijdens de verspreidingsperiode, zoals dat met het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-Oppervlak zwevendstofconcentraties van GSP5 wordt gevonden.



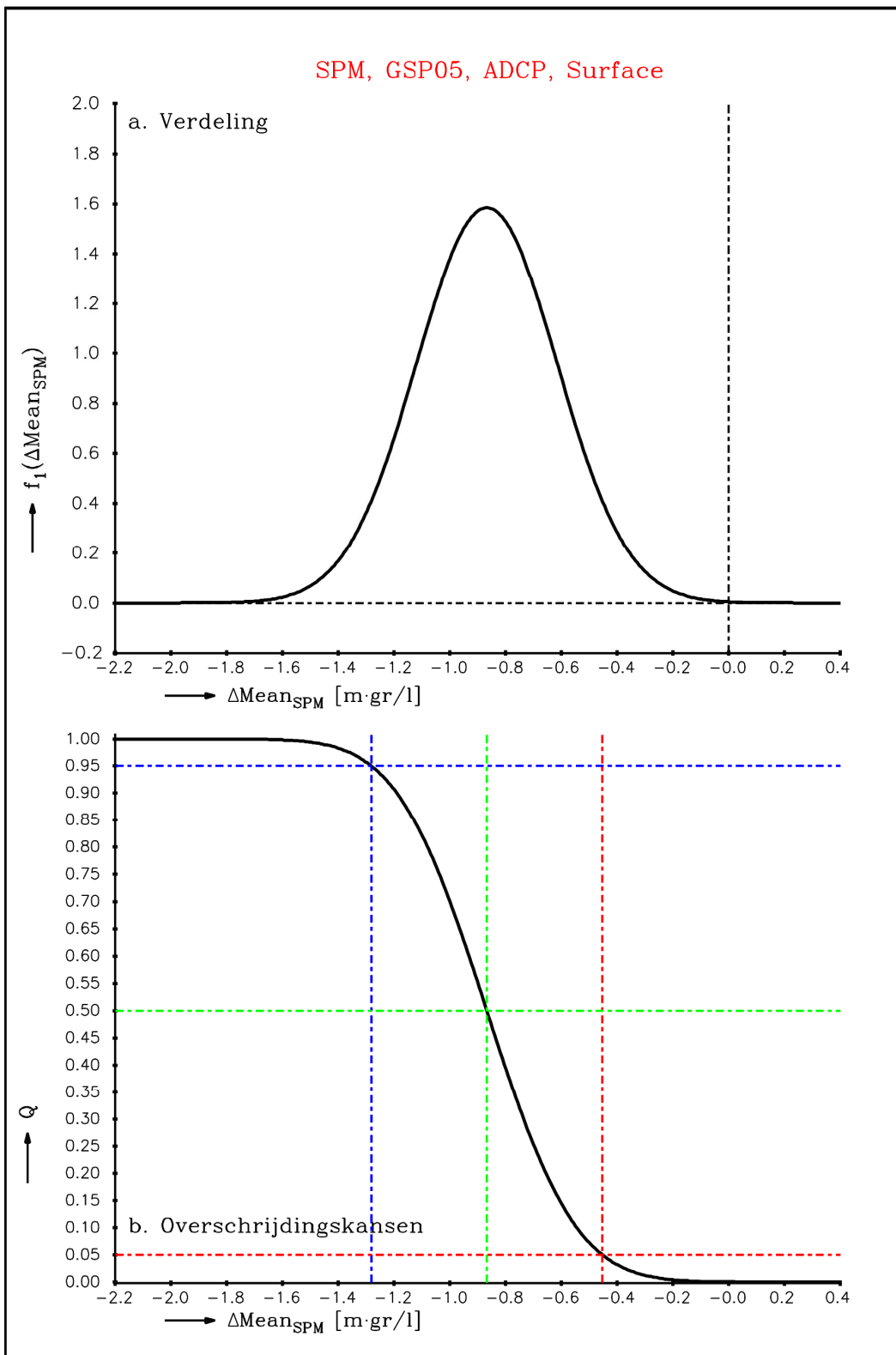
Figuur 5.3.3a. Kansverdeling (bovenste paneel) en overschrijdingskansen (onderste paneel) van $\Delta\text{Mean}_{\text{SPM}}^*$ die met het exponentiële regressiemodel voor de OBS-Frame zwevendstofconcentraties van GSP5 worden gevonden.



Figuur 5.3.3b. Kansverdeling (bovenste paneel) en overschrijdingskansen (onderste paneel) van $\Delta\text{Mean}_{\text{SPM}}^*$ die met het exponentiele regressiemodel voor de OBS-Ketting zwevendstofconcentraties van GSP5 worden gevonden.



Figuur 5.3.3c. Kansverdeling (bovenste paneel) en overschrijdingskansen (onderste paneel) van $\Delta\text{Mean}_{\text{SPM}}^*$ die met het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-bodem zwevendstofconcentraties van GSP5 worden gevonden.



Figuur 5.3.3d. Kansverdeling (bovenste paneel) en overschrijdingskansen (onderste paneel) van $\Delta\text{Mean}_{\text{SPM}}^*$ die met het exponentiele regressiemodel voor de ADCP-Oppervlak zwevendstofconcentraties van GSP5 worden gevonden.

In Tabel 5.3.2 zijn deze verschillen in gemiddelden van tijdens en na verspreidingen in kwantitatieve vorm te vinden in Kolom 4a onder de koptekst "Na Correctie". Een *positieve* waarde in deze kolom duidt erop dat het gemiddelde over de verspreidingsperiode *groter* is dan het gemiddelde daarna. Ter vergelijking zijn in de 3^e kolom die verschillen in gemiddelden weergegeven zoals die rechtstreeks van de 'originele' metingen zijn afgeleid, namelijk het standaard gemiddelde van alle zwevendstofmetingen tot 16 februari minus dat gemiddelde van de metingen over de periode daarna (zie Tabel 4.1.1 voor de gemiddelden over die twee periodes). Dat is dus het verschil in gemiddelde zonder enigerlei correctie voor door de omgevingscondities geïnduceerde verschillen. In de laatste drie kolommen 5-7 staan kentallen die de onzekerheid in de $-\Delta Mean_{SPM}^*$ van Kolom 4a weergeven. Dat is hier in de vorm van de spreiding en de 2.5% en 97.5% kwantielpunten. Die twee kwantielpunten geven in feite de onder en bovengrens van een 95% betrouwbaarheidsinterval voor $-\Delta Mean_{SPM}^*$.

In Kolom 2 van Tabel 5.3.2 zijn tenslotte de gemiddelde concentraties over de gehele meetperiode te vinden. Dat zijn dezelfde waarden als die eerder in Tabel 4.1.1 al zijn gepresenteerd. Zij worden hier nogmaals getoond als referentie voor de grootheden in de andere kolommen. Op deze wijze kan worden nagegaan in welke mate de hier afgeleide verschillen in gemiddeldes zich verhouden tot de overall gemiddeldes. Dat is in de tabel in Kolom 4b met een percentage weergegeven. Dat percentage geeft de verhouding van de $\Delta Mean_{SPM}^*$ van Kolom 4a en het overall gemiddelde van Kolom 2.

GSP5 Waarden in [mg/l]	Gemiddelde concentratie over de hele meet periode	Verschil in gemiddelde over de periodes voor en na 16.02.2012			Spreiding in de schatting voor $-\Delta Mean_{SPM}^*$	Kwantielen van de kansverdeling van $-\Delta Mean_{SPM}^*$	
		Metingen	Na Correctie			2.5%	97.5%
1	2	3	4a	4b	5	6	7
OBS- Frame	127.9	42.3	6.0	5%	1.4	3.2	8.8
OBS- Ketting	65.0	35.5	8.0	12%	0.5	7.0	9.0
ADCP- Bodem	116.2	-12.2	16.7	14%	0.7	15.3	18.0
ADCP- Oppervlak	58.7	-11.8	0.9	2%	0.3	0.4	1.4

Tabel 5.3.2. Verschil van de gemiddelde zwevendstofconcentraties te GSP5 over de periode tijdens de verspreidingen (tot 16 februari 2012) en de periode daarna. In de 2^e kolom is dat de waarde die wordt gevonden wanneer dat verschil rechtstreeks van de metingen wordt afgeleid (gemiddelde over de eerste periode minus het gemiddelde over de tweede periode). In de 3^e kolom is dat dezelfde grootheid, maar nadat er is gecorrigeerd voor het deel dat (via een statisch model) uit de omgevingscondities kan worden verklaard. Kentallen voor de onzekerheid in de schatting voor dat gecorrigeerde verschil staan in de laatste 3 kolommen.

Bij de bovenstaande uitkomsten kan het volgende worden opgemerkt:

1. *Na correctie voor de omgevingscondities* wordt voor alle vier gevallen gevonden dat de gemiddelde sedimentconcentratie over de periode met verspreidingen groter is dan het gemiddelde over de periode daarna.
Dit blijft onverminderd gelden als met de onzekerheden in de schattingen rekening wordt gehouden: die onzekerheden (zoals weergegeven met de spreiding in de 5^e kolom) zijn vrij klein vergeleken met de grootte van de verschillen 'an sich' (zoals die in de 4^e kolom zijn weergegeven).
2. Voor de ADCP metingen is bovenstaande bevinding in zekere mate bijzonder. Immers indien de gemiddelden rechtstreeks van de metingen worden afgeleid is het gemiddelde *tijdens de verspreidingsperiode* juist *aanzienlijk lager* dan daarna. De correctie voor systeemcondities heeft dus een 'inversie' teweeggebracht.
3. Voor de OBS-gebaseerde zwevendstofmetingen (die vooral de concentraties van fijnere zwevendstofdeeltjes representeren) wordt aan de bodem en het oppervlak ongeveer dezelfde waarde gevonden voor dat verschil in het gemiddelde, namelijk 6 en 8 *mg/l*. Dit is aanzienlijk minder dan de (ongeveer) 40 *mg/l* die rechtstreeks op basis van de metingen wordt gevonden. Dat veel grotere verschil van 40 *mg/l* lijkt dus in overmaat (hier ruim 80%) door de omgevingscondities te zijn bepaald.
4. Voor de ADCP-gebaseerde zwevendstofmetingen (die vooral concentraties van grove zwevendstofdeeltjes representeren) wordt aan het oppervlak met 0.9 *mg/l* voor de perioden tijdens en na de verspreidingen slechts een zeer laag verschil in de gemiddelde waarden gevonden. Het (veel grotere) verschil van ongeveer -12 *mg/l* zoals dat 'rechtstreeks' van de data is afgeleid, is dus vrijwel helemaal uit de omgevingscondities te verklaren.
5. Voor de ADCP-gebaseerde zwevendstofmetingen wordt aan de bodem met 16.7 *mg/l* het grootste verschil in gemiddelde gevonden. In absolute zin is dat verschil zelfs groter dan het verschil in gemiddelde (-12.2 uit de 3^e kolom) dat in eerste instantie rechtstreeks van de metingen is afgeleid. In die zin heeft het corrigeren voor de omgevingscondities in dit geval een groot effect.
In *relatieve* zin is het verschil van de gemiddelden over de twee deelperioden hier ongeveer 14% van de over de hele meetperiode gemiddelde concentratie (zie Kolom 4*b*). Dat is over de vier meetseries gezien weer de hoogste waarde, maar lijkt minder extreem af te wijken van de andere relatieve verschillen in Kolom 4*b*, dan dat die verschillen in absolute zin conform Kolom 4*a* lijken te doen. Immers ook voor OBS-Ketting wordt met 12% een relatief hoge waarde gevonden.

6 Samenvatting, conclusies, opmerkingen en discussie

Samenvatting

In de wintermaanden van de jaren 2009-2012 is de Eemshaven verdiept en verruimd. De baggerspecie die daarbij vrijkomt, is op een aantal 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.

Tussen medio januari 2012 en juni/juli 2012 zijn met hoge temporele dichtheid op twee punten (GSP2 en GSP5) in de buurt van het verspreidingsgebied zwevendstofconcentraties gemeten. In beide punten werd op twee posities in de waterkolom gemeten, namelijk aan de bodem en nabij het wateroppervlak. Bovendien waren voor al deze 4 meetposities zowel van OBS (Optical BackScatter) als van ADCP afgeleide zwevendstofmetingen beschikbaar. Behalve zwevend stof werden aldaar ook diverse andere grootheden gemeten zoals stroomsnelheden, saliniteit, en temperatuur. Via andere meetbronnen konden voor die periode ook waterstanden (Eemshaven) en wind (Lauwersoog) worden verkregen.

In dit kader zijn de metingen van de periode januari-juni/juli 2012 (ofwel Fase 3 waarin de baggerperiode loopt van november 2011 tot en met medio februari 2012) gebruikt in statistische analyses om te onderzoeken of er door de zwevendstofverspreidingen een extra vertroebeling te GSP5 heeft plaatsgevonden. Hierin werd verondersteld dat de zwevendstofverspreidingen weinig of geen effect hebben te GSP2 en de zwevendstofconcentratie van deze locatie in de analyses voor GSP5 als referentie voor een onverstoorde achtergrond kan worden gebruikt. De statistische analyses voor GSP5 zijn daarna in viervoud uitgevoerd, namelijk voor elke combinatie van (i) meettechniek (OBS of ADCP) en (ii) verticale positie in de waterkolom (bodem of wateroppervlak).

In deze statistische analyses zijn telkens twee stappen onderscheiden (voor beide varianten). De eerste stap omvat het opstellen en kalibreren van een 'statistisch' model (feitelijk: niet-lineair regressiemodel) voor het identificeren van het deel van de GSP5 zwevendstofmetingen dat uit de gemeten fysische omgevingscondities (stroming, waterstand, wind, saliniteit, etc.) kan worden verklaard. In de tweede stap wordt op basis van de uitkomsten van deze modellen een schatting afgeleid voor de (eventuele) effecten van andere actoren of bronnen dan de omgevingscondities.

Die effecten van andere actoren dan de omgevingscondities zijn hier geëvalueerd met één kental. Dat kental is het getal waarmee (*na* "correctie" voor de fysische omgevingscondities) *de over de verspreidingsperiode gemiddelde zwevendstofconcentratie te GSP5 hoger is dan het gemiddelde over de periode na de verspreidingen.*

In alle vier gevallen werd aldus voor de verspreidingsperiode een verhoging van de gemiddelde zwevendstofconcentraties gevonden. Voor de OBS-Frame (bodem) zwevendstofconcentraties is dat 6 mg/l, voor OBS-Ketting (oppervlak) 8 mg/l, voor ADCP-Bodem 17 mg/l, en voor ADCP-Oppervlak bedraagt die verhoging 1 mg/l.

De spreidingen in deze schattingen zijn van de orde 1 à 2 mg/l . In relatieve zin (t.o.v. het over de gehele Fase 3 berekende standaard gemiddelde van de gemeten GSP5-zwevendstofconcentraties) zijn deze verhogingen in het gemiddelde het grootst voor de ADCP-Bodem (14%) en OBS-Ketting (12%), terwijl die voor de andere twee meetseries hoogstens 5% blijken te zijn.

Conclusies

1. Met de hier gebruikte (data georiënteerde) modellen is het mogelijk om de zwevendstofmetingen van GSP5 met voldoende kwaliteit te reproduceren uit de gemeten omgevingscondities. Dat “met voldoende kwaliteit” moet worden gerelateerd aan het toetscriterium dat hier is geformuleerd in gemiddelde zwevendstofconcentraties over de verspreidingsperiode (“tijdens”) en de periode daarna (“na”).
Het door de modellen goed weergeven van de zwevendstofconcentraties geldt met name voor de temporele variaties van langere tijdschalen (langer dan enkele uren). In bijzonder worden getijafhankelijkheden nauwkeurig afgebeeld. In de zwevendstoffluctuaties op korte(re) tijdschalen kunnen echter nog grote verschillen tussen model en metingen optreden. Vermoedelijk betreft dat in ruimtelijke zin zeer lokale variaties in de GSP5 zwevendstofconcentraties die niet voorkomen in – en/of gecorrigeerd zijn met – kortschalige fluctuaties in de grootheden (waterstanden, stromingen, wind, etc., alsmede zwevendstof van GSP2) van de andere locaties waaraan de invoer van de modellen werd ontleend. Of aan meetfouten in zwevendstofconcentraties. De hoogfrequente waarden tonen vaak ook een onrealistisch grillig verloop (de ene minuut 50mg/l en de volgende minuut 120mg/l). Ook dit kan een deel van de kortschalige variaties verklaren.
Op deze manier ondersteunen de modeluitkomsten de eerder (in een visuele inspectie en validatie van de data) gemaakte keuze om de evaluatie van effecten van verspreidingen te baseren op lange termijn gemiddelden, en niet op effecten van individuele events in het verspreidingsregiem.
2. Op basis van de onzekerheden die zijn afgeleid in de hierboven genoemde schattingen voor de toename van de gemiddelde zwevendstofconcentraties zijn (statistisch gezien) die verhogingen voor alle varianten (behalve ADCP-Oppervlak) significant groter dan 0. Dat suggereert dat met hoge mate van waarschijnlijkheid een andere bron(nen) dan de omgevingscondities tijdens de verspreidingen tot verhoogde zwevendstofconcentraties heeft geleid.
3. Voor alle vier hier onderzochte gemeten zwevendstofconcentratietijdreeksen (OBS en ADCP, aan de bodem en aan het wateroppervlak) op de locatie in het verspreidingsgebied werd voor de verspreidingsperiode een verhoogd gemiddelde gevonden, variërend van 1 tot 17 mg/l .
4. Voor de OBS-metingen is de gevonden verhoging in het gemiddelde ongeveer hetzelfde voor de bodem als aan het oppervlak (respectievelijk 8 en 6 mg/l). Voor de ADCP-metingen zijn die waarden voor de bodem en oppervlak met respectievelijk 17 en 1 mg/l aanzienlijk verschillend, zowel t.o.v. elkaar als t.o.v. wat voor de OBS-metingen is gevonden. Omdat de ADCP-gebaseerde concentratiemetingen de grotere zwevendstofdeeltjes representeren, en daarmee ook de deeltjes met de grootste valsnelheden, is bij dit type metingen te verwachten dat de grootste effecten van verspreidingen (of andere actoren) aan de bodem zullen optreden. Op dit moment is echter onduidelijk of in meer kwantitatieve vorm kan worden verklaard waarom die waarde aan de bodem in dit geval zoveel groter is dan die aan het oppervlak.

5. Op basis van deze uitkomsten kan niet worden geconcludeerd dat de gevonden verhogingen geheel (of zelfs maar gedeeltelijk) aan de verspreidingen moeten worden toegekend. Zie hiervoor de onderstaande opmerkingen waarin beperkingen, omissies, en additionele onzekerheden in de hier beschikbare data worden besproken. Op die basis moeten de hier gevonden verhogingen van de gemiddelde waarden over de verspreidingsperiode meer worden geïnterpreteerd als een schatting voor het *maximale* dan het netto effect dat door de verspreidingen wordt veroorzaakt.

Opmerkingen en discussie

De in dit kader gevonden uitkomsten zijn geheel afgeleid van meetdata van zowel de zwevendstofconcentraties als grootheden die omgevingscondities representeren. Bij de kwantiteit en kwaliteit van deze data gelden echter een aantal beperkingen die bij een evaluatie en/of validatie van de hier berekende verhogingen van de gemiddelde zwevendstofconcentraties “tijdens” de verspreidingen ten opzichte van “na” de verspreidingen in overweging moeten worden genomen.

1. De lengte van de tijdsperioden waarvoor data beschikbaar is, bedraagt ongeveer 1 maand voorafgaand aan de aanvang van de verspreidingen, en (maximaal) 4 maanden na de verspreidingen. Deze tijdspannes zijn kort vergeleken met de grote temporele variabiliteit die in zwevendstofconcentraties en omgevingscondities kan optreden, zowel binnen of over meerdere seizoenen en jaren.
2. Die temporele variabiliteit is hier getoond aan de hand van de (kans)verdelingen van de diverse grootheden (zwevendstofconcentraties, wind, stromingen, etc.) die in de modellen als invoer en doelvariabele werden gebruikt. Voor sommige van die grootheden is de verdeling voor de periode met verspreidingen wezenlijk anders dan de verdeling voor de periode daarna. Als gevolg kunnen in de hier gebruikte data georiënteerde modellering trends in de doelvariabele (hier zwevendstofconcentraties, en trends door verspreidingen of andere actoren) ten onrechte aan een trend in een invoervariabele worden gekoppeld, zelfs al zou die invoervariabele fysisch gezien geen effect mogen hebben. In die zin moet voor het goed (of althans beter dan nu) kunnen onderscheiden van relevante en niet-relevante invoeren de tijdspanne met data aanzienlijk langer zijn dan de enkele maanden die hier beschikbaar zijn (met bovendien diverse gaten in de meetreeksen). In het bijzonder moeten dan een groot aantal variaties in de omgevingscondities zowel in de verspreidingsperiode als in de periode daarna zijn opgetreden. Op dat moment kunnen door niet-natuurlijke actoren veroorzaakte verschillen in de zwevendstofconcentraties door het model veel beter worden herkend, en tevens worden onderscheiden van de “natuurlijke” variabiliteit.
3. Een andere mogelijke beperking in het modelleren en het schatten van het netto effect van de verspreidingen op de slibconcentraties van GSP5 is het ontbreken van metingen van andere (dan de nu beschikbare en/of gebruikte) potentiële modelinvoeren. In het bijzonder moet hierbij aan golven worden gedacht. Nu is wind als proxy voor golven gebruikt. Voor lokaal opgewekte golven is dat te rechtvaardigen. Voor “oude”, en elders opgewekte golven echter niet omdat de correlatie tussen die golven en de lokale en recente wind verloren is gegaan. Dit zou een deel van het signaal kunnen verklaren. Dit geldt met name voor de temporele variabiliteit in sub-getij tijdschalen waar nu nog de grootste fouten in de modellering optreden.
Het kan dan zijn dat met golven als extra modelinvoer een aanzienlijk groter deel van de variabiliteit van de zwevendstofconcentraties kan worden verklaard, met als gevolg kleinere residuen, en dan eveneens lagere (of in ieder geval andere) schattingen voor de toenames van de gemiddelde concentratie over de verspreidingsperiode

4. Bij het evalueren van de hier gevonden verhogingen van de gemiddelde zwevendstofconcentratie tijdens de verspreidingsperiode moet worden bedacht dat dit de beste schatting is die op basis van de beschikbare (kwaliteit en kwantiteit van) de meetdata kan worden afgeleid. Op dit moment kunnen de zo gevonden verhoogde gemiddeldes alleen en alleen op het conto van de verspreidingen worden geschreven voor het geval dat:
- (i) de meetdata perfect zijn, en
 - (ii) de modellen voldoende nauwkeurig zijn, en
 - (iii) de veronderstelling juist is dat er naast de fysische systeemcondities en de verspreidingen, er geen andere actoren actief zijn geweest in de periode tijdens de verspreidingen en toen de zwevendstofconcentraties van GSP5 in sterke mate en op systematische wijze hebben beïnvloed (met minstens enkele *mg/l*).

Bij het als eerste genoemde punt (i) moet dat perfect zijn enerzijds worden gerelateerd aan de volledigheid van die data om aan de zwevendstofmetingen het door de omgevingscondities geïnduceerde deel te onttrekken. Dat betreft o.a. het in punt (3) genoemde issue of met het ook hebben van golfdata betere schattingen dan nu verkregen zouden worden. Anderzijds is er het punt of de diverse metingen voldoende nauwkeurig zijn en/of systematische fouten bevatten. Met name voor de zwevendstofmetingen kunnen dergelijke onnauwkeurigheden of fouten optreden omdat zwevendstofconcentraties niet in directe vorm worden gemeten maar via een kalibratie worden afgeleid van optisch en/of akoestisch gemeten signalen. De hoogfrequente metingen van zwevend stof laten vaak een onrealistisch grillig verloop zien waarin waarden in korte tijdspannen springen van 50 mg/l naar 100mg/l. Dit genereert extra ruis.

Dit grillige verloop kan in de analyse ten onrechte aan een verspreiding of een omgevingsgrootte kan worden toegekend.

Bij het tweede punt (ii) kan worden opgemerkt dat eventuele tekortkomingen in de statistische modellen niet zozeer aan het gehanteerde modelconcept (hier: neurale netwerken en een exponentieel regressiemodel) zijn te wijten maar eerder aan het ontbreken van relevante invoer voor die modellen (zie weer het bovenstaande aandachtspunt (3)), en/of zeer lokaal geïnduceerde effecten op doelvariabele (zie hieronder).

Het laatste punt (iii) is het meest kritisch. Immers de zwevendstofconcentraties van GSP5 kunnen tijdens de verspreidingsperiode beïnvloed zijn door 'actoren' waarvan we hier geen metingen of zelfs weet hebben. Als een voorbeeld van een actor die zich in deze analyse aan ons zicht zou kunnen hebben onttrokken kunnen sedimentpatches worden genoemd. Zo'n bewegende vlek met relatief hoge concentratiedichtheden kan wel bij GSP5 zijn langsgelopen maar niet bij GSP2. In de modellering en statistische analyse kunnen dan de door zo'n patch geïnduceerde concentratieverhogingen ten onrechte aan de verspreidingen worden toegekend. Naast deze patches zijn nog diverse andere lokale (en bij de gegeven metingen voor ons nu onzichtbare) processen denkbaar die de zwevendstofconcentraties van GSP5 gedurende enige tijd hebben verhoogd, en waarvan de verspreidingen weer de schuld krijgen.

Dit alles in acht nemende dienen de in dit onderzoek gevonden verhoogde gemiddeldes tijdens de verspreidingsperiode (t.o.v. de periode na die verspreidingen) eerder als een *maximaal effect* van de verspreidingen te worden opgevat als dat de gegeven getallen het netto effect van die verspreidingen representeren.

T.a.v. de vraag of dit *maximaal effect* verhoogd gemiddelde beschouwd kan worden als een significante bijdrage kan het volgende worden gezegd.

Gegeven de definitie van significant (in statistische zin, zie hoofdstuk 2) en ervan uitgaande dat de modellen perfect zijn en ook de gebruikte data volledig, foutloos, en met voldoende temporele dekking dan zijn deze uitkomsten als significant te beschouwen. Hierbij ligt de knip tussen de twee beschouwde periodes van voor en na 15 februari 2012. Het significant zijn kan dan worden ontleend aan de kleine onzekerheden die in de geschatte verhogingen van de gemiddelden werden gevonden. Daaruit volgt dat de kans dat de toename groter dan 0 is vrijwel 1 is en daardoor niet aan toeval zou kunnen worden toegeschreven.

Echter, dit dient genuanceerd te worden aangezien vooral de data niet perfect zijn. Hierbij moet gedacht worden aan het ontbreken van golfmetingen, de vrij korte meetperiode die maar een beperkt deel van alle mogelijke omgevingscondities omvat, en trends in de invoeren die veranderingen in zwevendstofconcentraties voor een deel kunnen verklaren. Daarnaast kunnen in de gemeten zwevend stof concentraties effecten zitten die noch door de nu beschikbare (metingen van de) omgevingscondities en noch door de verspreidingen verklaard kunnen worden zoals bijvoorbeeld lokale effecten zoals langskomende patches. Om al deze redenen dienen de geschatte verhogingen als maximale effecten beschouwd te worden. En het best haalbare wat van de beschikbare data (en intrinsieke beperkingen) kan worden afgeleid.

Eindconclusie op basis van expert judgment

Voorgaande conclusies, opmerkingen en discussie komen veelal voort vanuit de statistische analyse zelf. Wat betekent dit allemaal nu voor de beantwoording van de hoofdvraag uit de doelstelling?

Is er na 15 maart een significante extra vertroebeling te verwachten als gevolg van de verspreidingen van baggerspecie door GSP? In beide statistische toetsen is de periodegrens op 15 februari (de laatste dag van de verspreidingen) in plaats van op 15 maart gelegd. Hoofdrede hiervoor is om het model te testen en behapbaar te houden. Wat betekent dit voor de bijdrage van de baggersverspreiding als niet 15 februari maar 15 maart als periodegrens wordt gebruikt? Op basis van expert judgment mag verwacht worden dat na 15 maart geen substantiële verhoging van de zwevendstofconcentratie optreedt als gevolg van de baggerspecieverspreiding door GSP. Deze verwachting is gebaseerd op het te verwachten fysisch gedrag van de baggerspecieverspreiding onder de hier geldende condities. Na het stoppen van de verspreidingen worden de slibdeeltjes van die verspreidingen, en die zich dan nog in de buurt van de verspreidingslocaties bevinden door de stroming geleidelijk getransporteerd over het gehele estuarium. Effecten van de verspreidingen op de slibconcentraties in het systeem zullen dus na het stoppen van de verspreidingen geleidelijk verdwijnen. De hiermee gemoeide tijdschalen hangen af van de deeltjesgrootte, en van de intensiteit van stromingen en golven. Er mag echter worden verwacht dat bij de hier geldende condities de najleffecten van de verspreidingen al na één of een paar weken, (maar zeker na een maand) verdwenen zullen zijn.

7 Referenties

Blaas, M., Van den Boogaard, H.F.P.: Statistical methods to assess the impact of MV2 on SPM along the Dutch Coast. Results of WP 3 & 5, Report Z4046, Delft Hydraulics, November 2006.

Chatfield, C.: The Analysis of Time Series: An Introduction. Chapman and Hall, London, 1984.

Chatelain en Nolte, Oktober 2013. Monitoring baggerverspreiding Eemshaven: Data-analyse vaste en langdurige meetopstelling. Fase 3: baggerperiode november 2011 – februari 2012. Definitief rapport.

Haykin, S.: Neural Networks: A Comprehensive Foundation. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 1994

A Eerste variant in de opzet van de statistische modellering en opvolgende toetsing van effecten van de verspreiding

A.1 Beschrijving van de statistische modellering

De algemene vorm voor het statistisch (of feitelijk via regressie) modelleren van de zwevendstofconcentraties van GSP5 uit de invloedsfactoren luidt als volgt:

$$c_t = f\left(X_t^{(1)}, X_t^{(2)}, \dots, X_t^{(N)}\right) \quad (\text{A1})$$

Hierin is c_t de zwevendstofconcentratie van tijd t , en zijn de $X_t^{(n)}$ de omgevingsvariabelen die als invoer (ofwel verklarende variabelen) van een model $f(\cdot)$ worden gekozen om voor het hele tijdsdomein de concentraties c_t te “voorspellen”. $X_t^{(1)}$ zou bijvoorbeeld een waterstand in de buurt van GSP5 kunnen zijn, $X_t^{(2)}$ een stroomsnelheid, $X_t^{(3)}$ de wind, etc. Hierbij moet worden aangetekend dat (vanwege fysische eigenschappen van stroming- en transportverschijnselen) voor het modelleren van c_t niet alleen de waterstand van hetzelfde tijdstip t voldoende is, maar dat de concentratie c_t veelmeer wordt bepaald door een of ander (lopend, en niet uniform) gemiddelde van de waterstanden. De concentratie op tijdstip t wordt namelijk ook beïnvloedt door de waterstand op voorgaande tijdstippen (geheugeneffecten in het fysische systeem). In die zin moeten een aantal waterstanden uit het recente verleden als invoer moeten worden gebruikt en niet alleen die van de “actuele” tijd t . Dat meenemen van de recente historie van een invoer geldt niet alleen voor de waterstanden maar ook voor de andere hydro/meteogrootheden die als invoer worden gebruikt. In die zin moet een invoer $X_t^{(n)}$ in bovenstaande vergelijking worden gelezen als de waarde op tijd t zelf, maar ook een aantal uit het recente verleden.

In alle vier gevallen (OBS of ADCP, oppervlak of bodem) is de waterstand van de Eemshaven als modelinvoer meegenomen. Naast de waterstand van een “actuele” tijd t , zijn in die invoer ook de waterstanden van de daaraan voorafgaande 12 uur (en dus een historie van een M_2 getijperiode) meegenomen. Dat meenemen is in stappen van 15 minuten terug vanaf tijdstip t , zodat 49 voorafgaande waterstandsmetingen als invoer worden gebruikt. Op eenzelfde manier is in alle gevallen de wind te Lauwersoog een invoer in het model. Voor de wind wordt een historie van 2 dagen meegenomen, ook weer in stappen van 15 minuten. Van de wind zijn zowel de snelheid als de richting een onderdeel van de invoer.

Als derde invoer fungeert in alle gevallen de diepte-gemiddelde stroming (net zoals de wind in tweevoudige vorm, namelijk stroomsterkte en richting) te GSP5 met een historie van 1 dag, en ook hier in stappen van 15 minuten terug vanaf een actuele tijd t .

De te GSP5 gemeten saliniteit fungeert als een vierde invoer, en met een historie van 24 uur en tijdstap van 15 minuten.

De vijfde invoer bestaat uit de per geval overeenkomstige zwevendstofconcentratie te GSP2. “Overeenkomstig” betekent dat bij het modelleren van de OBS-Oppervlak (“ketting”) variant van de c_t te GSP5 eveneens de met OBS aan het oppervlak gemeten zwevend stof te GSP2 als een verklarende variabele wordt meegenomen. De andere drie zwevendstofmetingen van

GSP2 worden dan niet meegenomen. Bij het modelleren van de andere c_i varianten van GSP5 (OBS/ADCP, Oppervlak/Bodem) wordt dan dezelfde variant van GSP2 als invoer gebruikt.

Het idee/motivatie om bij het modelleren van GSP5 ook de zwevendstofconcentraties van GSP2 mee te nemen is om model ook te voeden met informatie t.a.v. de langere termijn variaties in de zwevendstofconcentraties (ofwel: variaties in het achtergrondniveau). Het uitgangspunt is hierbij dat die achtergrondconcentratie in GSP2 niet is beïnvloed door de verspreidingen, en kan dienen als referentie voor het identificeren van de niet verstoorde achtergrond in GSP5.

Aan het voorafgaande moet nog worden toegevoegd dat er onvoldoende meetdata van golven was om deze grootheid ook als invoer in de modellering op te nemen. De door golven veroorzaakte effecten in de zwevendstofconcentraties moeten nu aan de wind ontleend worden.

Ook de metingen van temperatuur worden niet als invoer gebruikt. De temperatuur heeft namelijk een stijgende trend over de hier door de metingen omvatte tijdsperiode. In de modellering zou deze trend kunnen worden “misbruikt” om (ten onrechte) een trend in de zwevendstofconcentraties te verklaren. Om dit te voorkomen is de temperatuur uitgesloten als potentiële verklarende variabele.

Bij de zo gedefinieerde invoeren moet vervolgens een model $f(\cdot)$ worden afgeleid voor het modelleren van de zwevendstofconcentraties te GSP5. A priori is het niet duidelijk van welke vorm dat model $f(\cdot)$ zou moeten zijn. Als meest eenvoudige model kan (in eerste instantie) voor een lineair regressiemodel worden gekozen. Het is echter de vraag of dat afdoende is omdat de zwevendstofconcentratie ook wezenlijk door niet-lineaire interacties met de omgevingsvariabelen wordt bepaald. Om hiermee rekening te kunnen houden is voor het model $f(\cdot)$ een Neuraal Netwerk van type MLP (Multi Layer Perceptron) ontwikkeld. Dit type model is een *gegeneraliseerde regressietechniek* waarmee willekeurige (lineaire of niet-lineaire) relaties tussen invoeren en uitvoeren kunnen worden afgeleid. Deze relatie wordt afgeleid van data (mits in voldoende mate beschikbaar), zonder dat van te voren moet worden opgegeven van welke vorm dat verband is.

Samenvattend:

Modellering van de GSP5 zwevendstofconcentraties

Voor het vinden van het deel in de zwevendstofconcentraties c_i van GSP5 dat verklaard kan worden uit de hydro/meteocondities wordt een gegeneraliseerd regressiemodel gebruikt. De invoeren van dat model bestaan op elk tijdstip t uit een recente historie van de beschikbare metingen van een waterstand, stroming, saliniteit, wind, en de “overeenkomstige” gemeten zwevendstofconcentratie van GSP2.

NB. Uitgaande van de hier gehanteerde nulhypothese dat de verspreidingen geen meetbaar effect hebben op de gemeten zwevendstofconcentraties te GSP5 zijn de verspreidingen niet opgenomen als modelinvoer.

A.2 Residuen na kalibratie van het regressiemodel

Aan de hand van de data wordt het hierboven beschreven regressiemodel gekalibreerd. Bij Neurale Netwerken wordt dat kaliberen vaak het “trainen” van het model genoemd. De na dat trainen gevonden “voorspellingen” kunnen worden opgevat als het deel van de zwevendstofconcentraties dat uit de omgevingscondities kan worden verklaard. Het restant, ofwel de residuen, is dan het deel van de zwevendstofconcentraties dat door andere factoren wordt veroorzaakt. De verspreidingen van gebaggerd materiaal zouden zo’n factor kunnen zijn, en er hierop moet dan moet dan worden getoetst. Hoe dat te doen wordt in de volgende sectie aangegeven.

A.3 Uitwerking/beschrijving van de toets

In Sectie 4.3 is aangegeven dat vanwege de grote temporele variabiliteit er gekozen wordt voor het toetsen op basis van over langere periodes gemiddelde zwevendstofconcentraties. Onder de hier gehanteerde nulhypothese van geen effecten van de verspreidingen zou het gemiddelde over de verspreidingsperiode niet mogen afwijken van het gemiddelde over de periode daarna. Als toetsingscriterium fungeert dan het verschil van de gemiddelde zwevendstofconcentraties over de perioden tijdens en na de verspreidingsperiode. Voor het “corrigeren” voor mogelijk verschillende systeemcondities moet dat gemiddelde niet berekend worden voor de feitelijk meetwaarden, maar voor de concentraties nadat hiervan het door de omgevingscondities verklaarde deel is afgetrokken. Dat zijn de residuen zoals die hierboven zijn beschreven. Samenvattend:

Toetsingsgrootheid

Als toetsingsgrootheid geldt de gemiddelde zwevendstofconcentratie *tijdens* de verspreidingen (hier vanaf ongeveer 18 januari tot en met 15 februari 2012) en de gemiddelde zwevendstofconcentratie *na* de verspreidingen (vanaf 16 februari). De nulhypothese is dat deze niet verschillen.

In die zin is de toetsingsgrootheid het verschil van de gemiddelde concentraties tijdens en na de verspreidingen.

Om te corrigeren voor effecten van de omgevingscondities moeten gemiddelde zwevendstofconcentraties hierbij niet van de feitelijke metingen moeten worden afgeleid maar van de residuen van een statistisch model.

Bij een verschil in het gemiddelde residu van tijdens en na de verspreidingen kan nog niet zonder meer gezegd worden dat er daadwerkelijk effecten zijn van de verspreidingen of veroorzaakt door andere factoren die niet in de meetdata omvat zijn. Het punt is dat ook de onzekerheid in de schatting voor het gemiddelde verschil moet worden meegenomen in de analyse. De onzekerheid wordt statistisch weergegeven met een spreiding die van de residuen kan worden afgeleid.

In kwantitatieve vorm is de toetsprocedure dan als volgt:

Van de residuen wordt van de periode tijdens de verspreiding het gemiddelde berekend. Dat gemiddelde wordt hier weergegeven met m_b . Van deze schatting voor het gemiddelde wordt eveneens de spreiding s_b bepaald. Het gemiddelde residu van de tijdsperiode tijdens de verspreidingen kan dan statistisch worden gerepresenteerd met een stochastische variabele

met een Gaussische kansverdeling. De verwachtingswaarde van die verdeling is m_B en de spreiding is s_B .

Op eenzelfde manier wordt voor de residuen van na de verspreidingsperiode een gemiddelde m_A en een spreiding s_A afgeleid. Voor deze periode is het gemiddelde residu dan weer een stochastische variabele met een Gaussische verdeling maar nu met verwachtingswaarde m_A en spreiding s_A .

Het verschil in het gemiddelde van tijdens en na de periode van verspreidingen heeft dan eveneens een Gaussische verdeling. In dit geval is de verwachtingswaarde $m_B - m_A$ en de spreiding is $\sqrt{s_B^2 + s_A^2}$.

Het getal $m_B - m_A$ vormt dan de uiteindelijke schatting voor het verschil van de gemiddelde concentratie van tijdens en na de verspreidingen. De gecombineerde spreiding $\sqrt{s_B^2 + s_A^2}$ is een maat voor de "foutenmarge" in die schatting. Naarmate die foutenmarge kleiner is zijn we zekerder dat er daadwerkelijk een verschil is en dat die niet door "toeval" is bepaald.

Op dit moment hebben we (via de kansverdeling van het gemiddelde verschil) de benodigde middelen in handen voor het uitvoeren van toetsen. Dat toetsen is feitelijk het berekenen van de kans (maar ook vaak *overschrijdingskans*) dat een bepaald effect is opgetreden.

In dit geval is dat effect het al dan niet door de verspreidingen veroorzaken van extra vertroebeling nabij de verspreidingslocaties en kan dat toetsen plaatsvinden aan de hand van criteria zoals bijvoorbeeld:

- Wat is de kans dat de gemiddelde zwevendstofconcentratie (althans het deel van de concentratie dat niet met de omgevingscondities kan worden verklaard) tijdens de verspreidingen groter is dan dat gemiddelde over de periode na afloop en dus afwezigheid van de verspreidingen. Naarmate die kans kleiner is is het onwaarschijnlijker dat de verspreidingen een "impact" hebben gehad. Als die kans heel groot is kunnen de verspreidingen wel tot een verhoging van de achtergrondwaarde hebben geleid, er daarbij van uitgaande dat er geen andere factoren (d.w.z. niet bevat in de hier beschikbare data) dat veroorzaakt zouden kunnen hebben.
- Als bij de hiervoor beschreven toets een grote kans wordt gevonden dat er tijdens de verspreidingen een toename van de achtergrondconcentratie is opgetreden zal vanzelf de vraag rijzen hoe *groot* die toename dan is. Voor de mate van die toename kan alleen weer iets in de vorm van kansen (waarschijnlijkheden) worden gezegd, en niet één getal met absolute zekerheid. In dit geval kan dan het toetscriterium bestaan uit:
 1. Wat is de kans dat tijdens de verspreidingen de achtergrondconcentratie met minstens 2 *m·g/l* is verhoogd? Of met maximaal 10 *m·g/l* is verhoogd?
 2. In de praktijk zal (omgekeerd zoals in (1) is geformuleerd) meestal een kans worden opgegeven en wil men weten welk (overschrijdings)niveau daar dan bij hoort. Dat leidt dan bijvoorbeeld tot een criterium zoals: Welke toename in het gemiddelde wordt met een kans van 5% overschreden (ofwel welke toename wordt met kans 95% *niet* overschreden).

Via onderstaande illustraties wordt dit toetsen via overschrijdingskansen en/of overschrijdingsniveaus nader toegelicht met een “synthetisch” voorbeeld. Synthetisch wil zeggen dat de hier gegeven waarden fictief zijn. Stel dat na het toepassen van het regressiemodel wordt gevonden dat:

- $m_B = 3 \text{ m}\cdot\text{g/l}$ (het gemiddelde van de residuen tijdens de verspreidingen),
- $s_B = 2 \text{ m}\cdot\text{g/l}$ (de spreiding die de onzekerheid geeft in die schatting voor m_B),
- $m_A = -2 \text{ m}\cdot\text{g/l}$ (het gemiddelde van de residuen over een periode na de verspreidingen),
- $s_A = 2.5 \text{ m}\cdot\text{g/l}$ (de spreiding die de onzekerheid geeft in de schatting voor m_A)

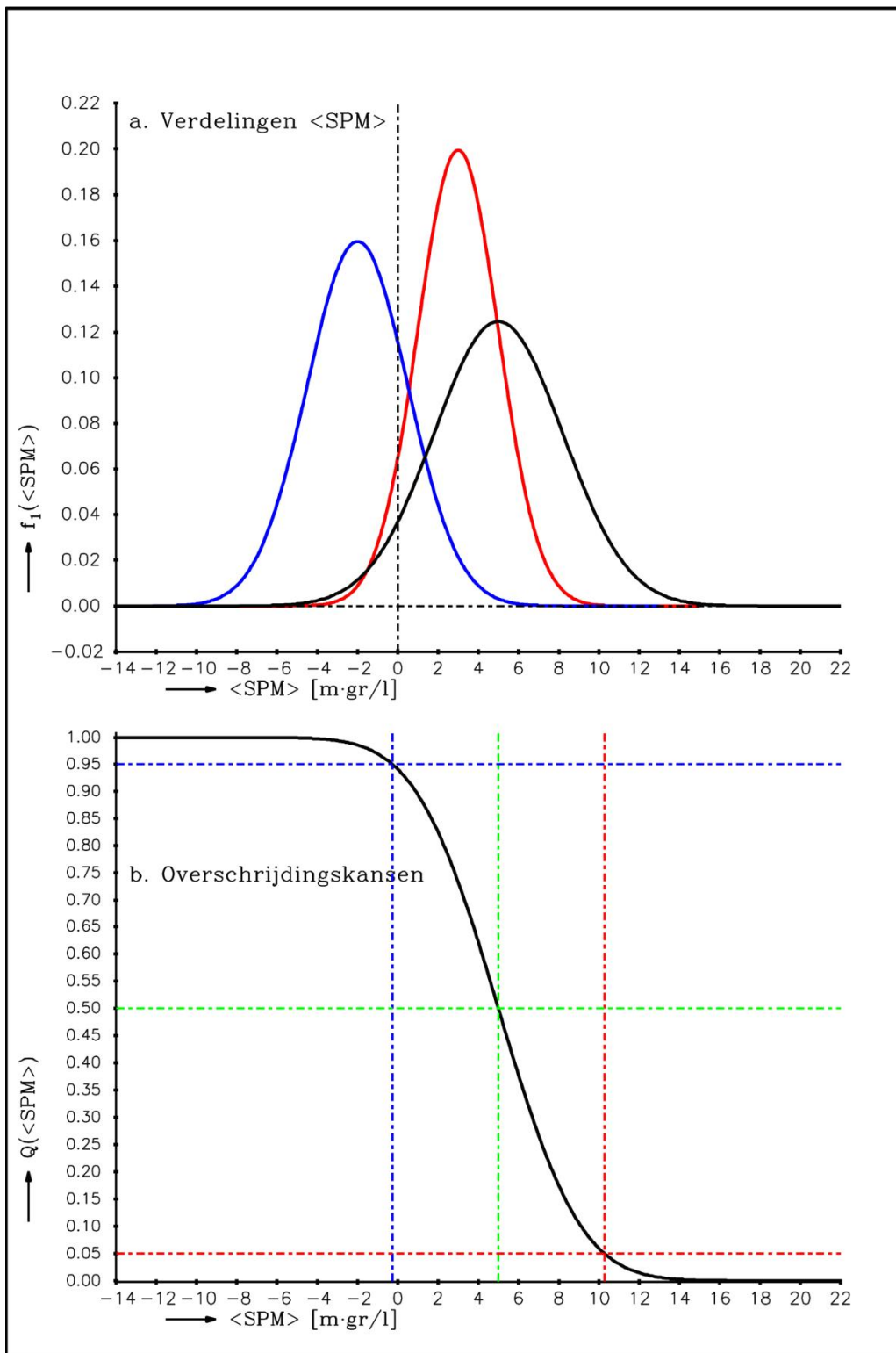
Bij deze uitkomsten geeft de **rode** grafiek in het bovenste paneel van onderstaande Figuur A.3.1 de verdeling van de gemiddelde zwevendstofconcentratie in de periode tijdens de verspreidingen, en de **blauwe** die van na de verspreidingen. De breedte van de grafieken geeft een maat voor de precisie (foutenmarge) waarmee we die gemiddelden kennen. De **zwarte** grafiek geeft de verdeling van het verschil van het gemiddelde tijdens en na de verspreidingen. Bij deze verdeling hoort een verwachtingswaarde $m_B - m_A = 5 \text{ m}\cdot\text{g/l}$ en de

foutenmarge in deze schatter is gegeven door de spreiding $\sqrt{s_B^2 + s_A^2} = 3.2 \text{ m}\cdot\text{g/l}$. De zwarte grafiek in het bovenste paneel van Figuur A.3.1 vormt de basis van het toetsen. Dat is verbeeld in het onderste paneel van de figuur. De **zwarte** kromme geeft hier overschrijdingskansen (langs de verticale as) bij elke mogelijke waarde van het verschil tussen de gemiddelde achtergrondconcentratie tijdens en na de verspreidingen (die <SPM> is langs de horizontale as uitgezet). Feitelijk is dat verschil dan een toename van de gemiddelde achtergrondconcentratie (toename van *tijdens* t.o.v. *na* de verspreidingen; die toename kan ook negatief zijn). Via de gestippelde lijnen zijn enkele combinaties van overschrijdingskans en bijhorende niveau gemarkeerd. Daaraan valt dan “af te lezen” dat bijvoorbeeld:

- Met kans 95% is de toename van de gemiddelde achtergrondconcentratie groter dan $-0.27 \text{ m}\cdot\text{g/l}$. (en dus met kans 95% kleiner dan die waarde). Zie hiervoor de combinatie van de twee in **blauw** getekende gestippelde lijnen.
- Met kans 50% is de toename van de gemiddelde achtergrondconcentratie groter dan $5.0 \text{ m}\cdot\text{g/l}$. (en dus met kans 50% kleiner dan die waarde). Zie hiervoor de combinatie van de twee in **groen** getekende gestippelde lijnen.
- Met kans 5% is de toename van de gemiddelde achtergrondconcentratie groter dan $10.27 \text{ m}\cdot\text{g/l}$. (en dus met kans 95% kleiner dan die waarde). Zie hiervoor de combinatie van de twee in **rood** getekende gestippelde lijnen.
- Aan de grafiek valt ook af te lezen dat de kans op überhaupt een toename van de gemiddelde achtergrondconcentratie (d.w.z. de kans dat <SPM> groter dan 0 is) gelijk is aan 95%.

Aan de hand van dergelijke combinaties over niveaus en overschrijdingskansen kan worden vastgesteld met welke mate van (on)zekerheid effecten zijn opgetreden. Het bepalen “hoe erg dat is” volgt hier niet uit, en hangt af van de (beheers of beleidsmatige) normen waaraan die effecten al dan niet moeten voldoen.

Er wordt benadrukt dat het bovenstaande voorbeeld uitsluitend als toelichting op de hier gevolgde statistische procedure fungeert. De hierin genoemde getallen en getoonde uitkomsten zijn niet ontleend aan de zwevendstofmetingen te GSP2 en GSP5.



Figuur A.3.1 Boven: Verdelingsfuncties van zwevendstofgemiddeldes over de periode tijdens het verspreiden (rood) en de periode na het verspreiden (blauw), en de verdeling van het verschil (zwart). Onder: Overschrijdingskansen van het verschil van de gemiddelden tijdens en na verspreiden. Hier zijn deze figuren voor een synthetisch voorbeeld ten behoeve van het illustreren van de toetsprocedure.