

Memo Afleiding correctiewaarden Oosterschelde

Aan: Y. Provoost, R. Bosters, S. Vereeke (PBZ), H. van der Sande (Waterschap Scheldestromen), A. Kieftenburg (Deltares)
Van: P. van de Rest
Gecontroleerd: B. Blik
Datum: 4 september 2012
Referentie: 1668/U12188/B/PvdR
Status: Definitief

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Projectbureau Zeeweringen is verantwoordelijk voor de versterking van de steenbekleding van de Zeeuwse dijken. De dijkverbeteringswerkzaamheden langs de Westerschelde zijn grotendeels afgerond, maar langs de Oosterschelde moeten tot en met 2015 nog verscheidene dijkvakken versterkt worden.

Ten behoeve van het ontwerp van de steenbekledingen langs de Oosterschelde worden golfcondities gehanteerd, welke zijn gebaseerd op SWAN berekeningen uit 1998 [ref. 1], aangevuld met berekeningen uit 2005 [ref. 2].^{1 2}

Om validatie van het SWAN-model mogelijk te maken, zijn er kort na de start van het projectbureau in 1997 vier meetlocaties in de Westerschelde ingericht, complementair aan de bestaande meetlocaties [ref 5]. In een later stadium is met behulp van de meetgegevens van gemeten stormen de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN onderzocht door middel van het maken van een aantal hindcasts [ref 3], [ref 4]. De algemene conclusie van de evaluatiestudie uit 2003 [ref 5] was dat naast een onderschatting van de golfperiode (welke al eerder bekend was), ook de golfhoogte door SWAN wordt onderschat. Vanwege deze studie zijn vanaf eind 2003 t/m mei 2006 de golfcondities in de Oosterschelde gecorrigeerd door middel van een verhoging van de golfperiode T_{pm} met 1 s en op dieper gelegen delen (bodem van het uitvoerpunt lager dan NAP-4m) een verhoging van de golfhoogte H_s met 15%. De berekende golfcondities op de Oosterschelde zijn de dus gecorrigeerd op basis van hindcasts op de Westerschelde.

In 2005 is de modelafwijking van SWAN op basis van een aantal hindcasts geparameteriseerd [ref 6], gebruikmakende van een 3-tal stormmomenten op de Westerschelde en de Noordzee. Hieruit volgde voor elk uitvoerpunt en elke waterstand en windrichting een specifieke correctiewaarde per golfparameter, welke afhankelijk is van een aantal dimensieloze fysische kentallen, te weten de relatieve diepte, de golfsteilheid, de dimensieloze strijklengte en de verhouding golfhoogte/diepte. Vanaf juni 2006 tot augustus 2010 zijn de hieruit volgende correctiewaarden toegepast bij de advisering aan Projectbureau Zeeweringen voor dijkvakken langs beide Scheldes.

In 2008 is door Svašek een additionele studie [ref 7] verricht waarbij de correctiefuncties opnieuw zijn bepaald met een nieuwe uitgebreidere dataset (6 extra stormen). Uit deze

¹ De aanvullende berekeningen uit 2005 zijn uitgevoerd voor westelijke winden naar aanleiding van nieuwe inzichten op het gebied van transmissie van golfenergie door de Oosterscheldekering. Daarnaast is de waterstand NAP+3m aan de berekeningen toegevoegd.

² Deze data is ook verwerkt in de database KustDB2006, waarin de resultaten van de berekeningen t.b.v. de HR2006 zijn opgeslagen. De berekeningen voor Zeeland staan in het onderdeel KustDB2006-Steen.

studie is naar voren gekomen dat de correctiewaarden uit [ref 6] niet reproduceerbaar zijn. Daarom is besloten in [ref 7] om een andere vorm van correctiefuncties te gebruiken [ref 8].

Omdat er bij de juistheid en toepasbaarheid van de correctiewaarden nog vragen waren en er begin 2010 een aantal onvolkomenheden (zie Appendix H, ref 9) naar boven gekomen zijn in de bestanden welke de basis vormen voor de eerder bepaalde correctiewaarden, is een vervolgstudie uitgevoerd door Svašek in 2010 [ref 9]. Deze onvolkomenheden zijn in deze studie gecorrigeerd en er is een eenduidig advies geformuleerd, waarbij gebruik gemaakt is van de correctiefuncties WL2006 [ref 8]. De in 2010 bepaalde correctiewaarden worden de correctiewaarden 'Svašek 2010' genoemd, ofwel aangescherpte correctiewaarden. Deze aangescherpte correctiewaarden worden vanaf augustus 2010 toegepast bij de advisering aan PBZ en vervangen de correctiewaarden uit de studie [ref 7].

In alle voorgaande studies is bij bepaling van correctiewaarden gebruik gemaakt van het verschil tussen metingen en berekeningen op de Westerschelde, in enkele gevallen aangevuld met locaties op de Noordzee. De hieruit volgende correcties zijn vervolgens toegepast op de golfcondities op de Oosterschelde. Dit lijkt plausibel, aangezien de Westerschelde qua fysica vele overeenkomsten heeft met de Oosterschelde. Een hindcaststudie op de Oosterschelde heeft echter de voorkeur, en zal de betrouwbaarheid sterk vergroten. Daarom is recent door Svašek een hindcaststudie op de Oosterschelde uitgevoerd [ref 11], op basis van een vijftal stormen gebruikmakende van een drietal meetlocaties.

In de ontwerp praktijk (Steentoets) is gebleken dat toepassing van de correctiewaarden volgend uit Svašek 2010 [ref 9] op basis van de functie WL2006 [ref 8] leidt tot meer waarschuwingen in Steentoets over hogere golfsteilheden³, dan in het verleden het geval was (bij toepassing van de correctiewaarden volgens WL2005) [ref 7]. Aangezien bij de vaststelling van de correctiewaarden de golfhoogte en de golfperiode onafhankelijk van elkaar zijn bekeken, is het mogelijk dat bij herziene correctiewaarden de golfsteilheden toe of afnemen. Omdat het daarom gewenst is meer inzicht te verkrijgen in de verandering in de golfsteilheden ten gevolge van de toepassing van correctiewaarden, is in 2012 een aanvullende studie uitgevoerd [ref 10]. Uit deze studie is gebleken dat de nieuwe correctiewaarden [ref 9] inderdaad de golfsteilheid verhogen en vooral bij grote golfsteilheden resulteren deze in een verdere toename van de golfsteilheid. De golfsteilheden van de ongecorrigeerde SWAN dataset liggen echter ook regelmatig boven de 0,06, wat te verwachten is, aangezien bekend is dat SWAN systematisch een te lage golfperiode berekend, waardoor de golfsteilheden automatisch te hoog zijn. Ten gevolge van de toegepaste functievorm (e-macht functie) kunnen zowel de correctiewaarden als de hieruit afgeleide golfparameters (zoals golfsteilheid) extreme waarden aannemen. Er wordt dan ook geadviseerd om af te stappen van deze complexe correctiefuncties.

In eerdere studies [ref 7, ref 9] is gebleken dat het toepassen van een set complexe correctiefuncties niet tot een significante verlaging van de onzekerheden leidt. De complexe correctiefuncties suggereren dus een nauwkeurigheid die er niet is. Aanbevolen is om daarom een eenvoudiger correctiefunctie te gebruiken, waardoor de correctie eenduidiger en overzichtelijker wordt bij gelijkblijvende onzekerheidsmarges.

Daarnaast is in de studie [ref 10] geconcludeerd dat bij "afgeleide" golfparameters, zoals de golfsteilheid en andere belastingparameters, het onjuist is om deze impliciet te corrigeren via de "hoofd" parameters H en T. Dit omdat deze laatste in afzonderlijke best-fit analyses zijn vastgesteld, terwijl ze in werkelijkheid onderdeel vormen van hetzelfde berekende golfspectrum en dus gecorreleerd zijn. De impliciete correctie van een afgeleide parameter zoals de golfsteilheid kan daarom leiden tot een afwijking van wat verwacht mag worden op basis van metingen of de fysica. Er is echter toch gekozen eerst een best-fit van de "hoofd" parameters H en T te maken. Vervolgens wordt het effect op een aantal "afgeleide" golfparameters bekeken. De redenen om de best-fit van de "hoofd" parameters te gebruiken zijn, omdat de correctiefunctie eenvoudiger wordt en omdat afleiding via bijvoorbeeld de

³ Steentoets geeft een foutmelding indien de opgegeven diepwater golfsteilheid groter is dan 0,06

golfsteilheid niet tot betere resultaten leidt (zie paragraaf 5). Dit lijkt vooral te komen doordat de correlatie tussen berekening en meting van de afgeleide golfparameters (zoals golfsteilheid) niet groot is in vergelijking met de correlatie van de hoofd parameters (H en T).

1.2 Aanpak

Op basis van de conclusies en aanbevelingen, zoals beschreven in de vorige paragraaf, heeft projectbureau Zeeweringen gevraagd nieuwe correctiewaarden af te leiden, specifiek voor de Oosterschelde. Deze moeten de correctiewaarden uit [ref 9] vervangen en de irrealistische uitkomsten voor o.a. de golfsteilheid elimineren. De basis voor de afleiding van deze correctiewaarden is de uitgevoerde verkennende hindcaststudie op de Oosterschelde [ref 11]. De voorkeur gaat uit naar een relatief eenvoudige correctiefunctie, waardoor de correctie transparanter wordt en beter reproduceerbaar.

Er zijn in voorgaande jaren een aantal hindcasts uitgevoerd op de Westerschelde. Aangezien de Westerschelde qua fysica vele overeenkomsten heeft met de Oosterschelde en de meeste beschikbare kennis ontwikkeld is op basis van studies op de Westerschelde, wordt de kennis van de Westerschelde ook meegenomen bij de afleiding van de nieuwe correctiewaarden.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van deze studie is het bepalen van een eenvoudige correctie van de SWAN-resultaten (correctiewaarden) om te komen tot aannemelijke ontwerpcondities langs de Oosterschelde en het inzichtelijk maken van de effecten van deze correctiewaarden op de maatgevende golfcondities langs de Oosterschelde.

1.4 Aannames

Tijdens de studie was het noodzakelijk een aantal aannames te doen, vanwege beperkte beschikbaarheid van data. Hieronder wordt een aantal aannames genoemd, welke extra toelichting behoeven.

Meetdata

Er zijn slechts 3 meetstations gebruikt bij de hindcasts, waarvan het meetstation Schelphoek slechts bij 1 van de 5 stormen is meegenomen. Helaas zijn er niet meer meetdata beschikbaar gedurende interessante stormperiodes. Aangenomen wordt dat deze 3 meetlocaties representatief zijn voor de afwijking tussen berekening en meting voor de gehele Oosterschelde. Meetlocatie Marollegat ligt achterin de Oosterschelde op ondiep water, Keeten ligt op dieper water in het middendeel van de Oosterschelde en Schelphoek ligt op ondiep water in de noordwestzijde van de Oosterschelde (zie figuur 1). Ondanks deze verschillen in locaties liggen de verschillen tussen meting en berekening op één lijn. Daardoor lijkt de aanname correct dat deze 3 meetlocaties representatief zijn voor de gehele Oosterschelde. Daarnaast geven de resultaten dezelfde trends als de resultaten van eerdere hindcasts op de Westerschelde [ref 3, 4, 5].

Verskil meetstation en ligging uitvoerpunt

De 3 gebruikte meetstations liggen verder van de kust dan de uitvoerpunten welke gebruikt worden voor afleiding van de golfcondities met SWAN. Aangenomen wordt dat de resultaten van de hindcasts (berekend op de meetlocaties) bruikbaar zijn voor correctie van de berekening op de uitvoerpunten. Vanaf het meetstation richting de kust verandert de golfperiode namelijk slechts in geringe mate. Verwacht mag worden dat in SWAN bij de berekening van de golfvoortplanting tussen de meetlocaties en de uitvoerpunten geen extra afwijkingen worden gegenereerd in de golfhoogte, aangezien het model speciaal is ontwikkeld voor de vertaling van golven naar ondiep water.

Zijn de hindcasts representatief voor de maatgevende 1/4000 jaar golfcondities?

De beschikbare stormen hebben zeker niet het kaliber van een ontwerpstorm. Deze stormen hebben een kans van voorkomen van die vele malen hoger ligt dan eens per 4000 jaar⁴. Er zijn echter tijdens deze stormen dermate hoge golven opgetreden dat schade aan dijkbekledingen opgetreden is. Bij de afleiding van de correctiewaarden zal geanalyseerd worden wat het effect is op de golfcondities bij de doorvertaling van een meetstorm naar een ontwerpstorm. Hierdoor moeten grote uitschieters (zoals waargenomen in [ref 10]) voorkomen worden en zal de keuze van een correctiefunctie mede afhangen van deze doorvertaling.

2 Hindcasts Oosterschelde

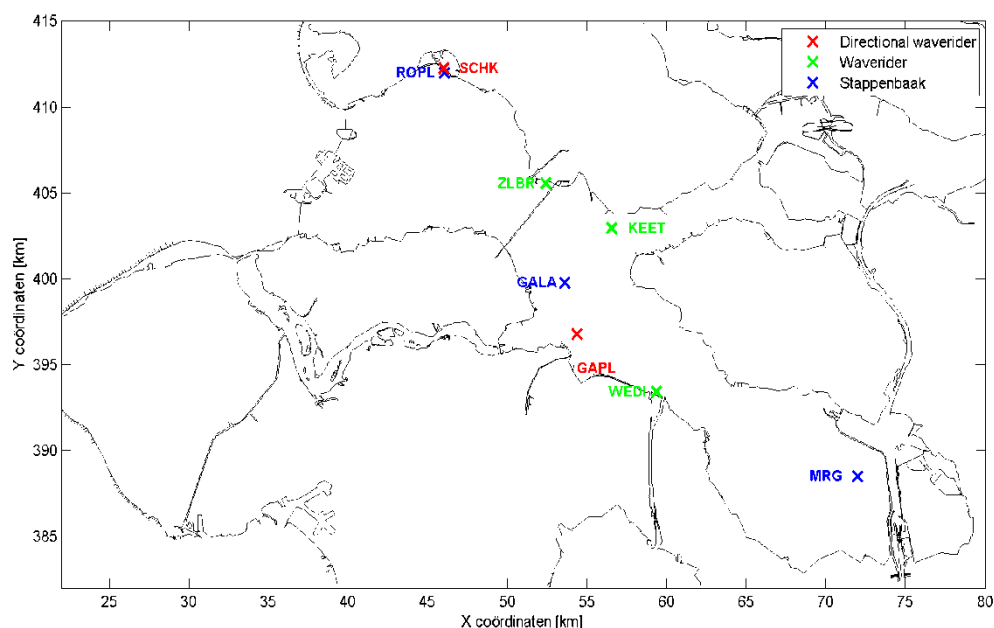
2.1 Inleiding

Ten behoeve van de analyse van de betrouwbaarheid van SWAN op de Oosterschelde en de afleiding van correctiewaarden specifiek voor de Oosterschelde is door Svašek een verkennende hindcaststudie op de Oosterschelde uitgevoerd [ref 11]. In de volgende paragrafen wordt deze studie kort beschreven. De beschrijving van de resultaten volgt in hoofdstuk 3 en deze resultaten zijn ook gevisualiseerd in de figuren van bijlage 1.

2.2 Stormmomenten en meetdata

Op basis van de tijdseries van de wind- en golfgegevens, gemeten in de Oosterschelde voor de periode 1986 t/m januari 2012 zijn in samenspraak met Deltares en PBZ 5 stormen geselecteerd om nader te analyseren en waaruit uiteindelijk stormmomenten zijn gekozen om te hindcasten. Per storm zijn 2 tot 4 stormmomenten geselecteerd. Belangrijke criteria bij de keuze van de stormen zijn de grootte van gemeten wind- en golven, beschikbaarheid van meetdata en in hoeverre de situatie stationair is.

Van 3 meetstations zijn meetdata beschikbaar gedurende interessante stormperiodes, namelijk Keeten, Marollegat en Schelphoek (waarvan bij het meetstation Schelphoek slechts bij 1 van de 5 stormen meetdata beschikbaar zijn). De ligging van deze locaties is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1: Ligging meetstations Oosterschelde, waarbij SCH (=Schelphoek), KEET en MRG (=Marollegat) zijn gebruikt in de hindcasts

⁴ Er zijn 5 stormmomenten geselecteerd uit de meetperiode 1986 t/m januari 2012

In tabel 1 zijn de stormen en stormmomenten weergegeven, waarvan hindcasts zijn uitgevoerd.

STORM			Gemeten Golven				Gemeten Wind		Gemeten Waterstand			SWAN invoer			
			H(keet) [m]	H(gapl) [m]	H(mrg) [m]	H(schk) [m]	U(stav) [m/s]	D(stav) [degN]	Wl(rpbi) [NAP +m]	Wl(stav) [NAP +m]	Wl(mrg) [NAP +m]	Widir (SWAN) [degN]	U (SWAN) [m/s]	WL (SWAN) [NAP +m]	
Oktober 2000	t1	30-okt-2000	5:30	1.1	-	0.92	-	17	196	1.35	1.7	1.89	200	17	1.7
	t2	30-okt-2000	7:30	0.86	-	0.84	-	17.7	195	0.49	0.7	0.75	195	17	0.7
	t3	30-okt-2000	18:30	0.91	-	0.69	-	15.3	211	1.36	1.71	1.97	210	15	2
Oktober 2002	t1	26-okt-2002	10:00	0.99	-	0.54	-	14.8	252	0.3	0.45	0.56	255	15	0.5
	t2	27-okt-2002	10:30	1.31	-	0.69	-	25.2	243	-0.23	-0.07	0.01	240	24	0
	t3	27-okt-2002	15:00	1.8	-	1.01	-	22.8	256	0.67	0.77	0.71	240	24	0.8
	t4	27-okt-2002	19:30	1.81	-	0.89	-	19.8	287	1.03	1.11	1.41	290	23	1.1
Juni 2004	t1	23-jun-2004	18:30	1.22	-	1.14	-	15.5	235	1.55	1.8	2.03	235	15	1.8
	t2	24-jun-2004	9:30	1.14	-	0.68	-	15.9	248	1.08	1.37	1.51	250	16	1.4
Januari 2007	t1	18-jan-2007	12:00	1.27	-	0.75	-	20.9	225	0.75	0.73	0.59	220	21	0.7
	t2	18-jan-2007	15:30	2.43	-	1.18	-	24.7	234	1.99	2.51	2.71	230	25	2.5
	t3	18-jan-2007	19:00	1.44	-	0.76	-	21	250	0.72	0.94	1.08	250	21	1
December 2011	t1	7-dec-2011	11:00	1.11	-	0.99	0.54	17	275	1.6	1.97	2.23	270	17	2
	t2	7-dec-2011	18:00	1.49	-	0.63	0.45	18.1	283	0.01	0.09	0.13	280	18	0
	t3	8-dec-2011	14:30	0.65	-	0.53	0.64	12	200	0.93	1.28	1.6	200	12	1.3

Tabel 1: Kenmerken gehindcaste stormen en stormmomenten

2.3 Model

Voor alle berekeningen in de hindcasts is gebruik gemaakt van de (oude) SWAN versie 30.75. Dit vanwege de wens om een goede vergelijking met eerdere berekeningen mogelijk te maken.

Op advies van Svašek Hydraulics is in overleg met Deltares en Projectbureau Zeeweringen gekozen om de 50 losse SWAN rekenroosters (zie Alkyon 1998 [ref 1]) te vervangen door 1 rekenrooster voor de gehele Oosterschelde. Het ontwerpen en testen van dit nieuwe SWAN-grid en de bijbehorende bathymetrie is beschreven in [ref 12]. Dit nieuwe rooster is bedoeld als vervanging voor het huidige SWAN-Oosterscheldemodel, dat bestaat uit een vijftigtal "geneste" roosters met veelal beperkte resolutie. Belangrijke motieven voor het nieuwe grid zijn: reductie van de totale hoeveelheid SWAN-berekeningen en rekentijd, reductie van de foutgevoeligheid van de uitkomsten uit de geneste modellen en reductie van de benodigde hoeveelheid nabewerking.

Dit nieuwe rooster kon in de hindcasts echter niet gebruikt worden vanwege de keuze om de oude SWAN versie 30.75 te gebruiken. Deze versie heeft beperkingen t.a.v. de grootte van het rooster. Bij de definitieve bepaling van nieuwe randvoorwaarden in de Oosterschelde wordt wel aanbevolen om van het nieuwe verfijnde rooster uit te gaan, in combinatie met een nieuwere SWAN versie (bijvoorbeeld de versie die in WTI is gebruikt op o.a. de Westerschelde).

2.4 Bodem

In de hindcasts is de bodemdata meegenomen van 3 verschillende jaartallen (2001, 2007 en 2010). Voor elke stormperiode is de bodemdata gebruikt waarvan het opnamemoment het dichtst bij het stormmoment ligt. Opgemerkt moet worden dat in de eerdere hindcasts op de Westerschelde [ref 3 en 4] gebruik is gemaakt van een verlaagde bodem, waarbij rekening is gehouden met toekomstige erosie voor de periode tot 2060.

3 Afleiden correctiewaarden

3.1 Aanpak

Voor de afleiding van correctiewaarden specifiek voor de Oosterschelde worden de volgende stappen gevolgd:

1. Vergelijking van gemeten en berekende waarden voor de afzonderlijke golfparameters H_{m0} en $T_{m-1,0}$, welke volgen uit de hindcasts [ref 11];
2. Afleiden van een eenvoudige correctiefunctie per afzonderlijke golfparameter, waarmee de afwijking tussen meting en berekening wordt gecorrigeerd. Daarbij wordt ook de kennis van eerdere studies op de Westerschelde meegenomen;
3. Analyseren van het effect van de correctie op afgeleide golfparameters, zoals belastingwaarde (Z-functies) en golfsteilheid;
4. Analyseren van het effect op de golfcondities bij de doorvertaling van een meetstorm naar een ontwerpstorm.

Indien in stap 3 of 4 vreemde of ongewenste effecten worden waargenomen wordt terug gegaan naar stap 2 en wordt bekeken of door aanpassing van de correctiefunctie verbetering optreedt.

Voor het afleiden van de correctiefunctie is besloten gebruik te maken van de golfperiodemaat $T_{m-1,0}$ in plaats van T_{pm} . De redenen hiervan zijn dat $T_{m-1,0}$ veel minder spreiding laat zien bij de afwijking tussen meting en berekening [ref 10]. Daarnaast is de golfperiodemaat $T_{m-1,0}$ niet gevoelig voor het feit dat door een kleine wijziging van de spectrumvorm de periode naar een andere spectrumtop kan springen, zoals regelmatig voorkomt op de Oosterschelde bij spectra met meerdere pieken (t.g.v. de Noordzee binnenkommende deininggolven en op de Oosterschelde gegenereerde windgolven). De golfperiodemaat T_{pm} wordt vervolgens afgeleid door middel van de verhouding $T_{pm} / T_{m-1,0}$, welke volgt uit SWAN. Hierdoor wordt de beschikbare spectrale informatie meegenomen bij de bepaling van T_{pm} . De gecorrigeerde T_{pm} wordt dus bepaald door middel van:

$$T_{pm_gecorrigeerd} = (T_{pm} / T_{m-1,0}) * T_{m-1,0_gecorrigeerd}$$

3.2 Vergelijking golfhogte

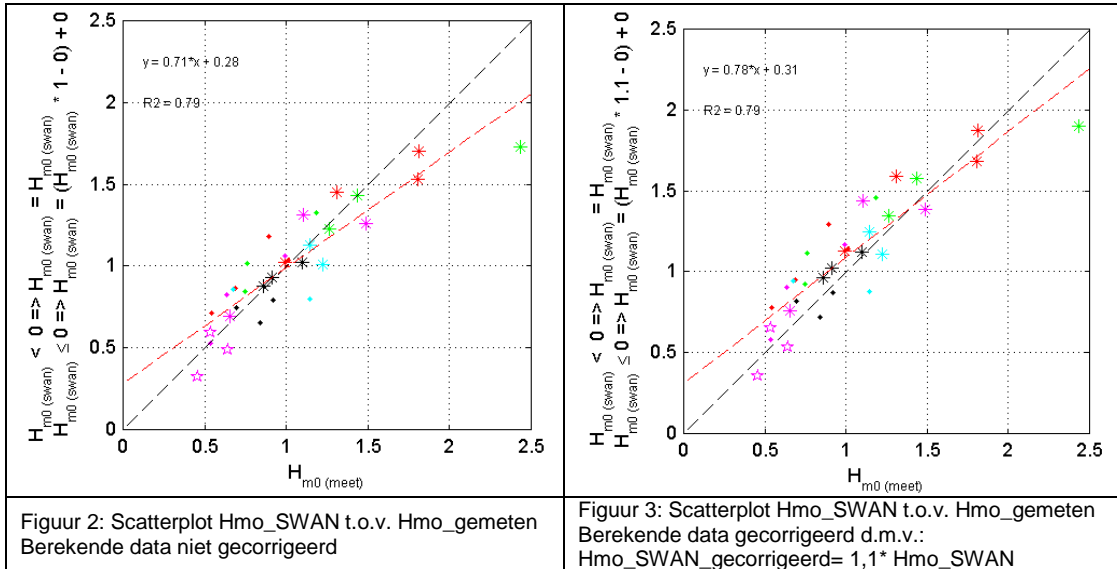
In figuur 2 zijn de resultaten van de hindcasts [ref 11] gevisualiseerd in een scatterplot, waarbij op de horizontale as de gemeten waarde voor H_{m0} is weergegeven en op de verticale as de berekende waarde met SWAN. Met (*) wordt de hindcasts voor locatie Keeten weergegeven, met een punt de locatie Marollegat en met een ster Schelphoek. Indien een waarde onder de zwarte gestippelde lijn ligt, betekent dit dat uit SWAN een lagere waarde volgt dan uit de meting. Hieruit blijkt dat SWAN een onderschatting geeft van de golfhogte H_{m0} voor de hogere waarden van H_{m0} (groter dan ca. 1 m). De relatieve lage waarde van de golfhogte H_{m0} blijken vrij nauwkeurig te worden berekend met SWAN (zie figuur 2).

Deze onderschatting van de golfhogte is eerder waargenomen in de hindcasts op de Westerschelde [ref 3, 4]. In [ref 5] is geconcludeerd dat de golfhogte in de monding door SWAN licht wordt onderschat (4%) en langs de Westerschelde op ondiep water licht wordt overschat (4%). Op diep water (bodem lager dan NAP-4m) is geconcludeerd dat de golfhogte met 15% wordt onderschat.

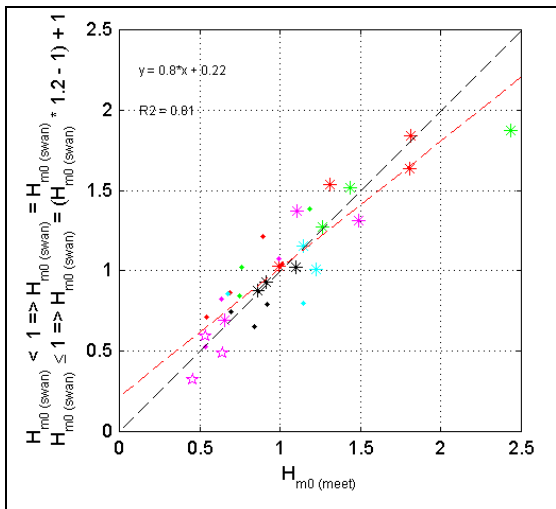
Opvallend in figuur 2 is dat de drie hoogste gemeten waarde van H_{m0} door SWAN aanzienlijk worden onderschat. Daarbij valt vooral het groene punt uit figuur 2 op, met achtereenvolgens een gemeten en berekende waarde voor H_{m0} van 1,73m en 2,43m. Er is met behulp van enkele gevoeligheidsberekeningen in SWAN (bv. iets andere windrichting) geanalyseerd of de gemeten waarde gesimuleerd kan worden. Hieruit volgde een maximaal berekende golfhogte van 2 meter, wat nog steeds een onderschatting van de meting geeft van 20%. Deze onderschatting door SWAN kan vanwege de omvang niet genegeerd worden, temeer

omdat ook de op 1 en 2 na hoogste gemeten golf door SWAN worden onderschat. Derhalve zal de golfhoogte gecorrigeerd moeten worden.

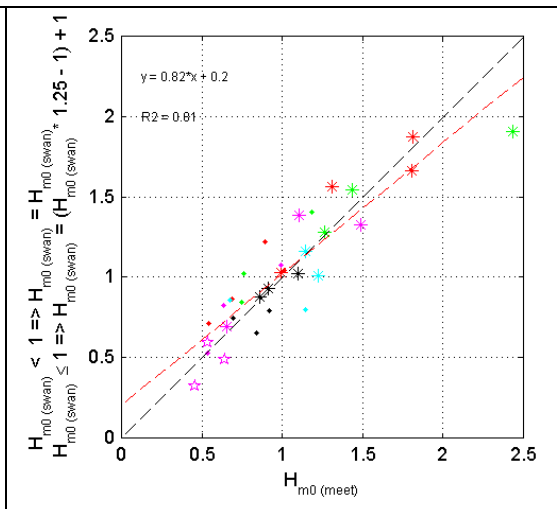
In figuur 3 is als voorbeeld het effect van het toepassen van een lineaire correctie weergegeven (verhoging van de berekende waarden met 10%). Ten gevolge van deze toepassing is te zien dat vrijwel alle gecorrigeerde waarden de meting overschatten, echter 2 van de 3 hoogste gemeten golven blijven onderschat worden. Het toepassen van een lineaire correctie is daarom niet raadzaam, vooral doordat dit geen goede fit geeft.



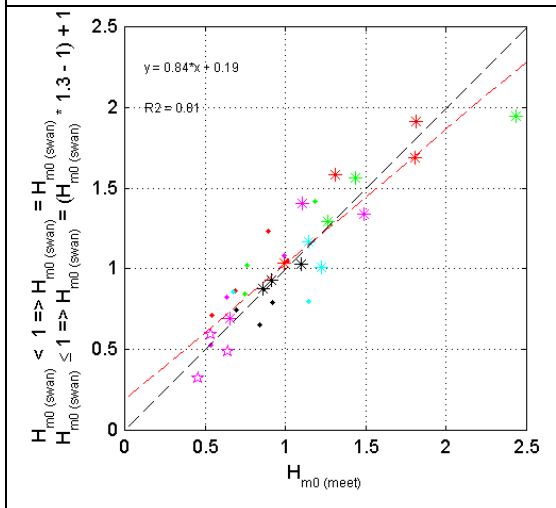
Omdat de relatief lage golven goed door SWAN worden benaderd is besloten een ondergrens voor het gebruik van een correctie toe te passen. De beste fits blijken te zijn bij een ondergrens van 1 m; een lagere ondergrens neigt richting een lineaire correctie (met daardoor een overschatting van de relatief lage golven) en een hogere ondergrens resulteert in een hele hoge benodigde correctiewaarden voor de hoge golven om de scatterplots enigszins te laten fitten. Vooral bij extrapolatie naar 1/4000 jaar condities kan dit mogelijk resulteren in een grote overschatting van de golfhoogte. In figuur 4 t/m 7 zijn de effecten bekeken van het toepassen van een ondergrens van 1 m. De berekende golven die groter dan 1 m zijn worden gecorrigeerd met een bepaalde coëfficiënt, welke achtereenvolgens is verhoogd van 1.20 t/m 1.35. Het toepassen van een coëfficiënt van 1,3 blijkt in de beste fit te resulteren. Afhankelijk van het effect op de totale golfbelastingen (Z-functies) en de maatgevende golfbelastingen tijdens 1/4000 condities, zal bekeken worden of dit inderdaad een geschikte keuze is.



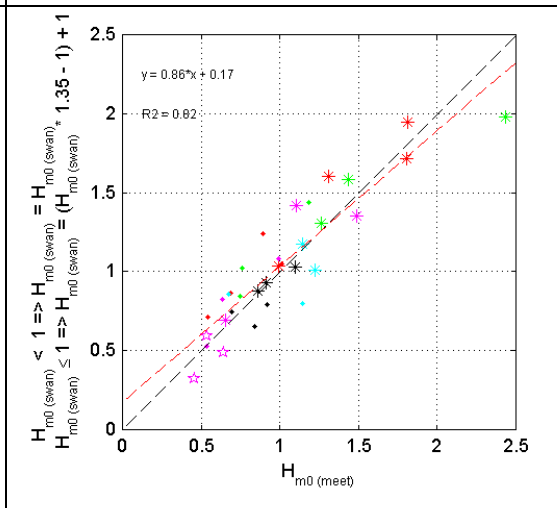
Figuur 4: Scatterplot Hmo_SWAN t.o.v. Hmo_gemeten
Berekende data gecorrigeerd d.m.v.:
Hmo_SWAN < 1m = geen correctie
Hmo_SWAN > 1m = Hmo_SWAN_gecorrigeerd = **1,20***
(Hmo_SWAN-1,0)+1,0



Figuur 5: Scatterplot Hmo_SWAN t.o.v. Hmo_gemeten
Berekende data gecorrigeerd d.m.v.:
Hmo_SWAN < 1m = geen correctie
Hmo_SWAN > 1m = Hmo_SWAN_gecorrigeerd = **1,25***
(Hmo_SWAN-1,0)+1,0



Figuur 6: Scatterplot Hmo_SWAN t.o.v. Hmo_gemeten
Berekende data gecorrigeerd d.m.v.:
Hmo_SWAN < 1m = geen correctie
Hmo_SWAN > 1m = Hmo_SWAN_gecorrigeerd = **1,30***
(Hmo_SWAN-1,0)+1,0

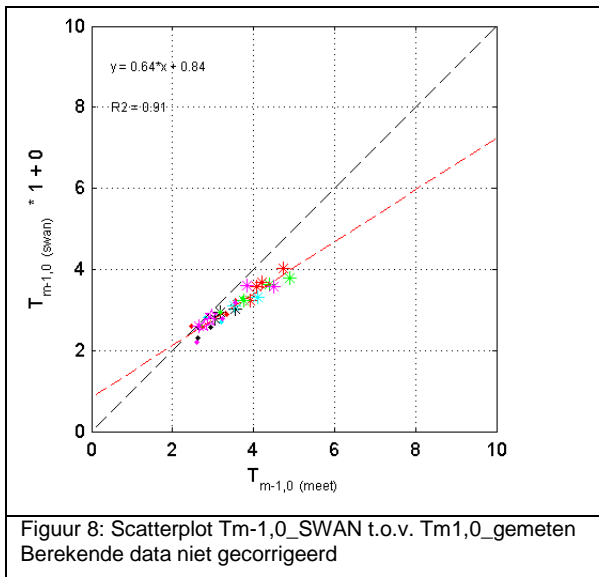


Figuur 7: Scatterplot Hmo_SWAN t.o.v. Hmo_gemeten
Berekende data gecorrigeerd d.m.v.:
Hmo_SWAN < 1m = geen correctie
Hmo_SWAN > 1m = Hmo_SWAN_gecorrigeerd = **1,35***
(Hmo_SWAN-1,0)+1,0

3.3 Vergelijking $T_{m-1,0}$

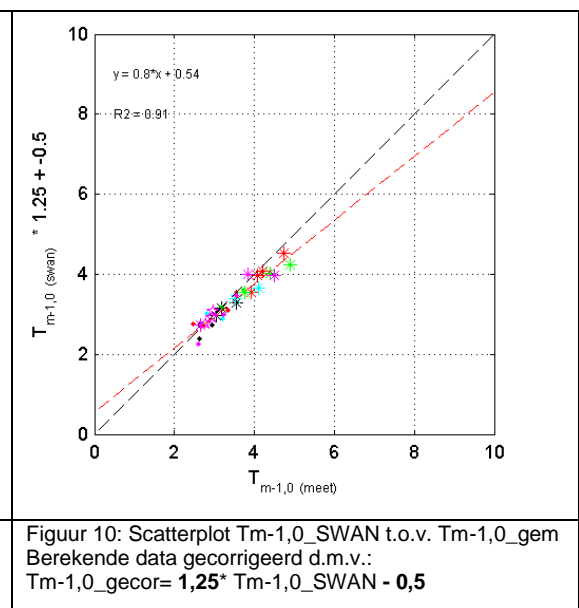
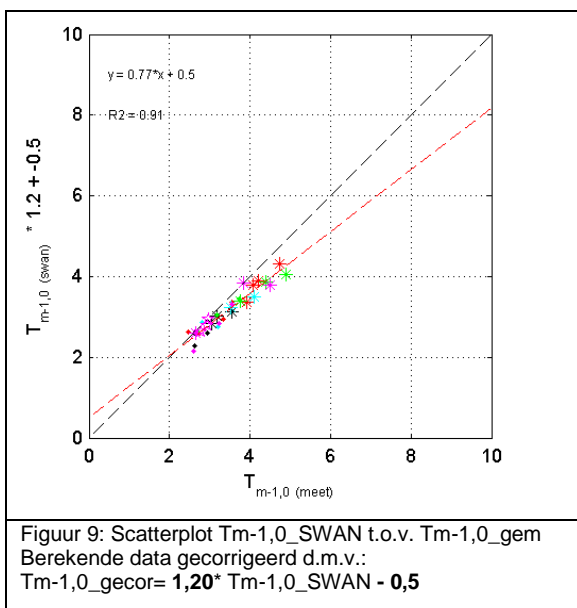
Uit de resultaten van de hindcasts [ref 11] blijkt dat SWAN een structurele onderschatting geeft van de golfperiode $T_{m-1,0}$ op de Oosterschelde, zie visualisatie in figuur 8. De absolute waarde van de onderschatting wordt groter bij langere golfperiodes.

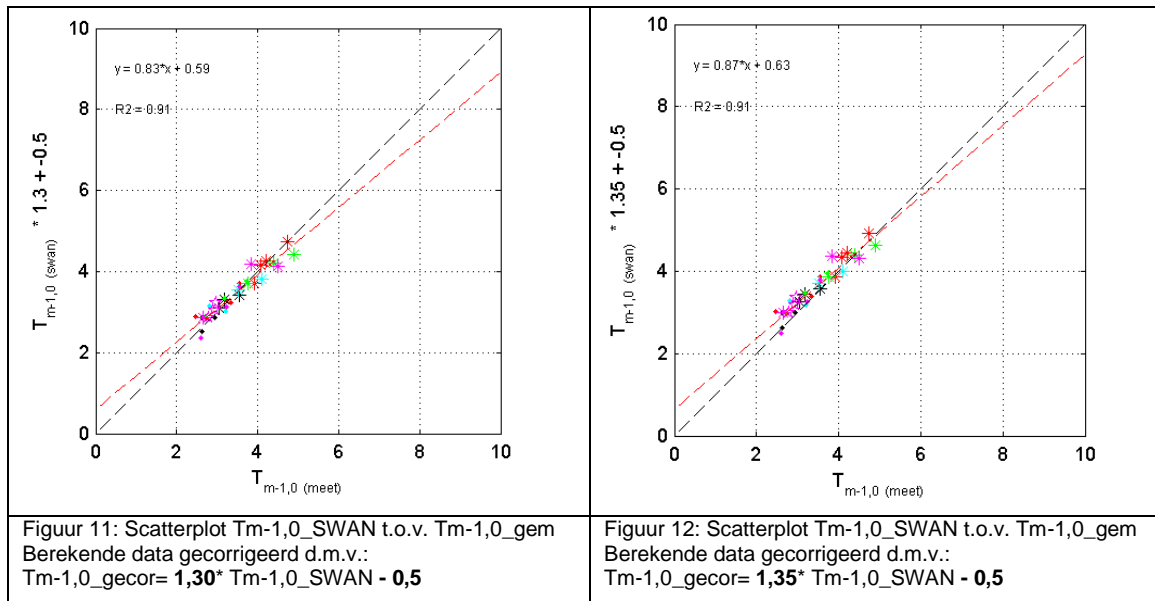
Deze onderschatting van de golfperiode is ook in de hindcasts van de Westerschelde waargenomen [ref 3, 4]. Echter is in deze studies alleen de golfperiode T_{pm} beschouwd. In de evaluatiestudie van deze hindcasts [ref 5] is geconcludeerd dat de onderschatting van de golfperiode in de Westerschelde 14% is in de monding, 4% op de Westerschelde locaties aan diep water en 13% aan ondiep water.



Evenals bij de golfhoogte geeft het toepassen van een lineaire correctie niet het gewenste effect; de relatief korte golven worden hierdoor overschat. Het toepassen van een correctie in de vorm van $T_{m-1,0_SWAN_gecor} = a * T_{m-1,0_SWAN} + b$ blijkt de beste fits te geven (waarbij b een negatieve waarde moet hebben). Het optimum van b blijkt orde -0,5 te zijn. In de figuren 9 t/m 12 is een aantal scatterplots gemaakt uitgaande van $b = -0,5$ en de factor a loopt geleidelijk op van 1,20 tot 1,35. Het toepassen van een coëfficiënt a van 1,3 (tezamen met een waarde b van -0,5) blijkt in de beste fit te resulteren. Indien $T_{m-1,0_SWAN} < 1,66s$ wordt de correctieterm kleiner dan 1. Omdat er geen aanleiding is om deze periodemaat naar beneden bij te stellen wordt er evenals bij de golfhoogte een ondergrens voor het toepassen van een correctie ingesteld. De correctiefunctie komt daarmee op:

- Indien $T_{m-1,0_SWAN} < 1,67s \rightarrow$ Geen correctie $T_{m-1,0_SWAN}$;
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} > 1,67s \rightarrow T_{m-1,0_SWAN_gecor} = 1,30 * T_{m-1,0_SWAN} - 0,5$





3.4 Effect correctie op lokale golfsteilheid en belastingfuncties

In de figuren van bijlage 1 zijn de scatterplots weergegeven voor de ongecorrigeerde berekende data uitgezet tegenover de gemeten data. Daarbij staan in het linker paneel achtereenvolgens H_s , $T_{m-1,0}$ en de lokale golfsteilheid. In het rechter paneel staan achtereenvolgens de waarden behorende bij de belastingfuncties $Z1$, $Z5$ en $Z7^5$ [ref 13], welke behoren bij afzonderlijke bekledingstypen.

Vervolgens zijn in de figuren van bijlage 2 dezelfde plots weergegeven, maar dan met de correcties zoals afgeleid in paragraaf 3.2 en 3.3. Voor alle Z -functies geeft de correctie een verbeterde fit. De Z -waarden worden gemiddeld goed benaderd en de belasting wordt afwisselend onder- en overschat. De lokale golfsteilheid wordt door de correcties aanzienlijk verlaagd en komt veel dichterbij de gemeten waarden, echter blijft de puntenwolk vrij breed.

In bijlage 5 is de lokale golfsteilheid gevisualiseerd voor de ongecorrigeerde data, de data gecorrigeerd met de correctiewaarden Svašek 2010 [ref 9] en gecorrigeerd met de correctiewaarden zoals afgeleid in deze memo. In tegenstelling tot toepassing van de correctiewaarden Svašek 2010 geeft het toepassen van de nieuwe correctiewaarden over het algemeen een verlaging van de lokale golfsteilheid, wat ook de bedoeling is aangezien bekend is dat door SWAN de golfsteilheid wordt overschat. Daarnaast zijn de grote uitschieters verdwenen uit de dataset, zoals bij toepassing van de correctiewaarden Svašek 2010 te zien was. Uit bijlage 5 blijkt dat bij toepassing van de nieuwe correctiewaarden de waarde van 0,06 voor de golfsteilheid veel minder vaak wordt overschreden en daarnaast ligt de gecorrigeerde data van golfsteilheid in dezelfde orde als volgt uit de metingen. De toegepaste correctiewaarden hebben dus het gewenste effect op de lokale golfsteilheid.

3.5 Extrapolatie naar eens per 4000 jaar situatie

In deze paragraaf wordt bekeken wat het effect is van toepassen van de afgeleide correctiemethode indien dit wordt doorvertaald naar de maatgevende golfcondities tijdens een ontwerpstorm langs de Oosterschelde. Daarbij zijn de correcties gebruikt zoals hierboven afgeleid. Samengevat:

⁵ In 2010 zijn per bekledingstypen en/of faalmechanismen afzonderlijke belastingfuncties bepaald [ref 13]. Daarbij betreft $Z1$ (=Z4), de belastingfunctie voor gekantelde betonblokken, $Z5$ voor steenzettingen en $Z7$ voor losse breuksteen.

- Indien $H_{mo_SWAN} < 1,0m \rightarrow$ Geen correctie H_{mo_SWAN} ;
- Indien $H_{mo_SWAN} \geq 1,0 m \rightarrow H_{mo_SWAN_gecor} = 1,30 * H_{mo_SWAN} - 0,3$;
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} < 1,67s \rightarrow$ Geen correctie $T_{m-1,0_SWAN}$;
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} \geq 1,67s \rightarrow T_{m-1,0_SWAN_gecor} = 1,30 * T_{m-1,0_SWAN} - 0,5$
- $T_{pm_gecorrigeerd} = (T_{pm} / T_{m-1,0}) * T_{m-1,0_gecorrigeerd}$

Deze correcties zijn doorgevoerd op de ongecorrigeerde SWAN data volgend uit de berekeningen van Alkyon [ref 1, 2]. Vervolgens is voor alle 959 uitvoerpunten (voor de waterstanden NAP, NAP+2m, NAP+3m en NAP+4m) de maatgevende combinatie van H_s en T_{pm} bepaald op basis van de belastingfunctie Z1 ($=H_s * T_{pm}$).

NB 1: De maatgevende windrichting is bepaald op basis van de ongecorrigeerde SWAN data. Mogelijk wordt na een toegepaste correctie een andere windrichting maatgevend. Er wordt met opzet voor deze werkwijze gekozen, omdat bij vergelijking van dezelfde windrichtingen de onderlinge vergelijking van de golfparameters veel zuiverder is.

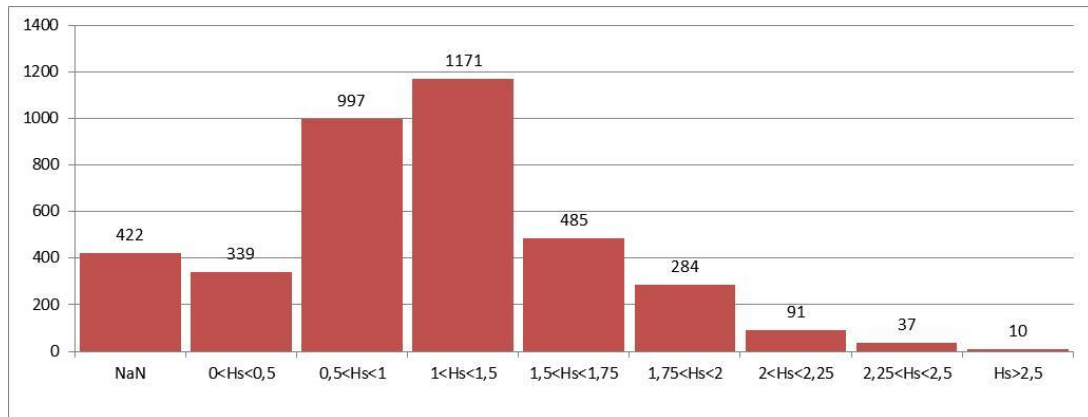
NB 2: NaN staat voor Not a Number, en betekent in dit geval dat SWAN geen uitvoer geeft voor betreffende situatie vanwege droogval.

De toegepaste correctie is direct afhankelijk van de waarde van de afzonderlijke golfparameters. Daarom is eerst bekeken welke correctie volgt uit de hierboven beschreven correctiefunctie voor elke afzonderlijke golfparameters (zie tabel 2). Uit tabel 2 volgt dat de maximale correctie voor achtereenvolgens H_s en $T_{m-1,0}$ gelijk is aan 1.19 en 1.21. De correctieterm voor T_{pm} is altijd gelijk aan de correctie voor $T_{m-1,0}$. De correctieterm voor de golfhoogte loopt geleidelijk op bij golven hoger dan 1 m en de correctie voor de golfperiode is bij relatief lage golfperiode al 1.1 en loopt op tot ruim 1.2.

Klasse	Correctie H_s		Klasse	Correctie $T_{m-1,0}/T_{pm}$	
	van	tot		van	tot
NaN	--	--	NaN	--	--
$0 < H_s < 0,5$	1,00	1,00	$0 < T < 2,5$	1,00	1,10
$0,5 < H_s < 1$	1,00	1,00	$2,5 < T < 3$	1,10	1,13
$1 < H_s < 1,5$	1,00	1,10	$3 < T < 3,5$	1,13	1,16
$1,5 < H_s < 1,75$	1,10	1,13	$3,5 < T < 4$	1,16	1,18
$1,75 < H_s < 2$	1,13	1,15	$4 < T < 4,5$	1,18	1,19
$2 < H_s < 2,25$	1,15	1,17	$4,5 < T < 5$	1,19	1,20
$2,25 < H_s < 2,5$	1,17	1,18	$5 < T < 5,5$	1,20	1,21
Max. correctie	1,19 ($H_s=2,83m$)		Max. correctie	1,21 ($T_{m-1,0}=5,32s$)	

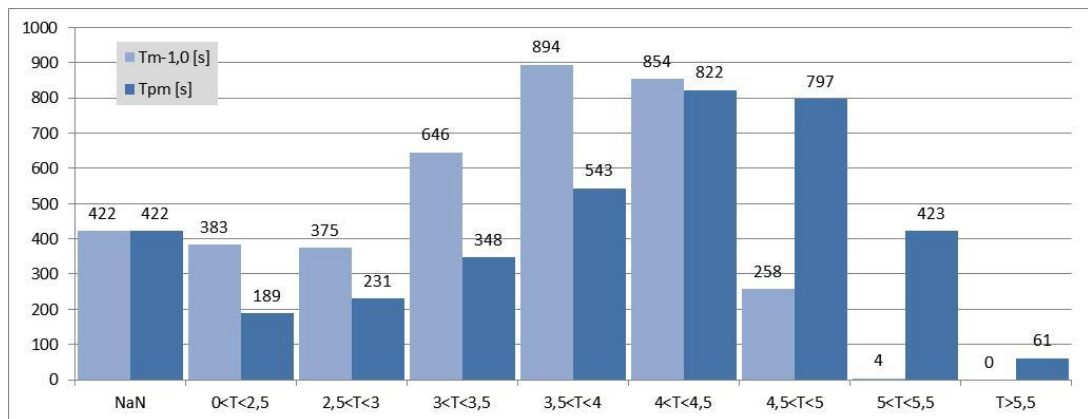
Tabel 2: Correctiefactoren per klasse voor de golfparameters H_s , $T_{m-1,0}$ en T_{pm}

Om een goede indicatie van de impact van deze correctiewaarden te krijgen zijn in figuur 13 (H_s) en 14 ($T_{m-1,0}$ en T_{pm}) het aantal maatgevende situaties weergegeven wanneer deze in een bepaalde klasse per golfparameter vallen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in ca. 46% van de maatgevende situaties de correctie op H_s gelijk is aan 1 (omdat H_s kleiner dan 1m is of NaN) en dat deze in 30% van de gevallen oploopt tot maximaal 1.1. Dit betekent wel dat in 24% van de gevallen de correctie ligt tussen 1.1 en 1.19.



Figuur 13: Verdeling golfhoogte klassen voor maatgevende golfcondities Oosterschelde

Voor de golfperiodes $T_{m-1,0}$ en T_{pm} geldt dat in 88% van de gevallen de correctieterm groter is dan 1 en dat daarnaast in 60% van de gevallen de correctieterm groter is dan 1.15.



Figuur 14: Verdeling golfperiode klassen voor maatgevende golfcondities Oosterschelde

Interessant is hoe de verdeling van deze correctiewaarden is langs de Oosterschelde. In de figuren van bijlage 3 t/m 4 zijn de correcties van achtereenvolgens de golfparameters H_s en de golfperiode weergegeven (correctie $T_{m-1,0}$ is gelijk aan correctie T_{pm}). Duidelijk waarneembaar is dat de correctiefactoren relatief hoog zijn op de locaties alwaar relatief hoge golfparameters optreden. De correctiewaarden nemen toe bij toename van de waterstand, doordat de voorkomende golfcondities dan hoger zijn. Het is opvallend dat het verloop veel minder grillig is dan volgens de correctietermen zoals bepaald in [ref 9], welke momenteel worden toegepast in het ontwerp van projectbureau Zeeweringen. Dit wordt als positief ervaren ten opzichte van de vorige functie.

3.6 Conclusie

Er zijn geen vreemde en/of onverwachte uitschieters waargenomen in de paragrafen 3.4 en 3.5 bij extrapolatie naar maatgevende stormomstandigheden en in het effect van de correctiewaarden op de golfsteilheid en Z-functies. Daarom zijn er geen redenen om de in paragraaf 3.2 en 3.3 beargumenteerde correctiemethode aan te passen en in het vervolg van deze memo wordt daarom uitgegaan van onderstaande correctie:

- Indien $H_{mo_SWAN} < 1,0m \rightarrow$ Geen correctie H_{mo_SWAN} ;
- Indien $H_{mo_SWAN} \geq 1,0 m \rightarrow H_{mo_SWAN_gecor} = 1,30 * H_{mo_SWAN} - 0,3$;
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} < 1,67s \rightarrow$ Geen correctie $T_{m-1,0_SWAN}$;
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} \geq 1,67s \rightarrow T_{m-1,0_SWAN_gecor} = 1,30 * T_{m-1,0_SWAN} - 0,5$;
- $T_{pm_gecorrigeerd} = (T_{pm} / T_{m-1,0}) * T_{m-1,0_gecorrigeerd}$

4 Gevolgen nieuwe correctiewaarden

4.1 Vergelijking correctiewaarden over periode 2003 tot heden

Vanaf de eerste SWAN studie in 1998 tot nu zijn er correcties toegepast op de berekende golfcondities [ref 1, 2]. Globaal gezien zijn de volgende studies te onderscheiden, welke in de volgende periodes zijn toegepast:

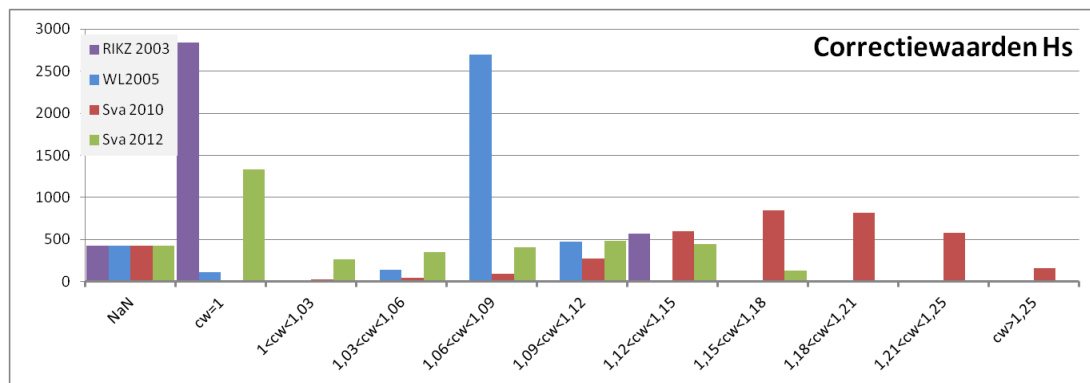
- RIKZ 2003 [ref 5]: toegepast vanaf eind 2003 t/m mei 2006
- WL 2005 [ref 6]: toegepast vanaf juni 2006 t/m augustus 2010
- Svašek 2010 [ref 9]: toegepast vanaf augustus 2010 t/m heden
- Svašek 2012 (deze memo)

In tabel 3 en in de figuren 15, 16 en 17 is weergegeven hoe de uit deze studies volgende correctiewaarden zijn verdeeld. Hieruit kan geconcludeerd worden dat:

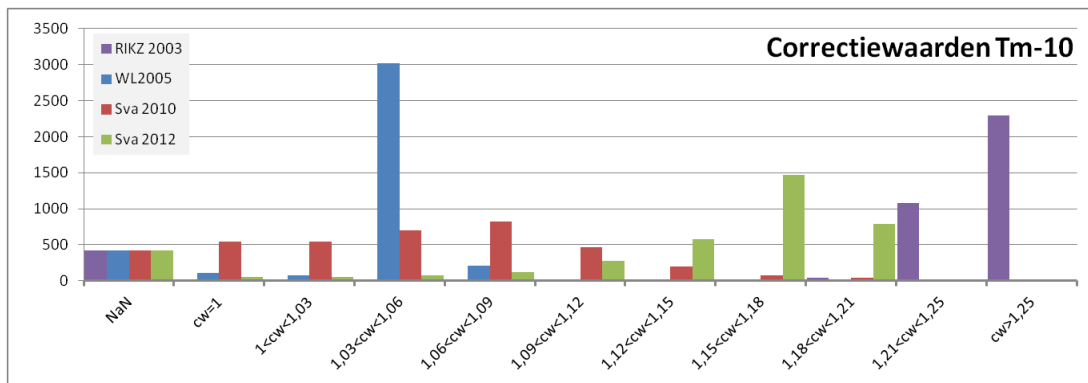
- De correctiewaarden RIKZ 2003 [ref 5] zijn in de meeste gevallen gelijk aan 1 voor H_s en de correctie op de golfperiode is relatief groot ten opzichte van de andere studies;
- De correctiewaarden WL 2005 [ref 6] vallen grotendeels in dezelfde klassen, namelijk 1.06 t/m 1.09 voor H_s , 1.03 t/m 1.06 voor $T_{m-1,0}$ en 1.09 t/m 1.12 voor T_{pm} . Deze correcties zijn gemiddeld te noemen en er zijn opvallend weinig relatief hoge correcties ten opzichte van de andere beschouwde studies;
- De correctiewaarden Svašek 2010 [ref 9] vallen vooral op door de grote aantal relatief hoge aantal correctiewaarden voor H_s . Daarnaast valt voor alle golfparameters een zeer grote spreiding in correctiewaarden op;
- De correctiewaarden Svašek 2012 (deze memo) vallen gemiddeld gezien tussen de andere studies in, al is de correctie op de golfperiode relatief groot te noemen, met uitzondering van de vergelijking met de waarden volgend uit RIKZ 2003 [ref 5]. Ten opzichte van de huidige toegepaste correctiewaarden (Svašek 2010, ref 9) is de correctie op H_s gemiddeld lager en neemt de correctie op de golfperiode T_{pm} licht toe.

	RIKZ 2003	WL2005	Sva 2010	Sva 2012	RIKZ 2003	WL2005	Sva 2010	Sva 2012	RIKZ 2003	WL2005	Sva 2010	Sva 2012
correctie	H_s	H_s	H_s	H_s	T_{m-10}	T_{m-10}	T_{m-10}	T_{m-10}	T_{pm}	T_{pm}	T_{pm}	T_{pm}
NaN	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422
cw=1	2842	108	8	1336	0	108	540	53	0	108	269	53
1<cw<1,03	0	0	19	260	0	77	540	52	0	0	228	52
1,03<cw<1,06	0	140	46	351	0	3021	700	73	0	113	367	73
1,06<cw<1,09	0	2693	94	409	0	208	826	125	0	670	574	125
1,09<cw<1,12	0	469	269	479	0	0	471	275	0	1995	706	275
1,12<cw<1,15	572	4	592	441	0	0	196	575	1	452	582	575
1,15<cw<1,18	0	0	841	128	0	0	80	1470	46	61	352	1470
1,18<cw<1,21	0	0	818	10	38	0	44	791	753	11	173	791
1,21<cw<1,25	0	0	574	0	1081	0	15	0	1303	4	102	0
cw>1,25	0	0	153	0	2295	0	2	0	1311	0	61	0
Totaal	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836	3836

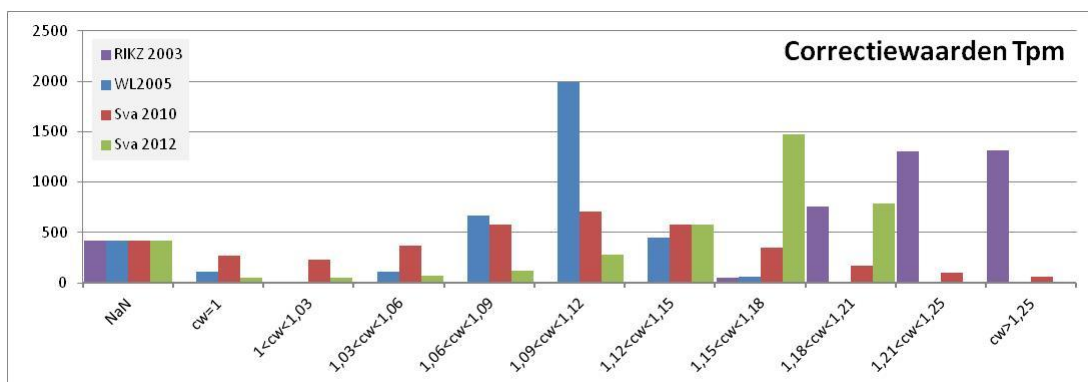
Tabel 3: Verdeling correctiewaarden bij verschillende correctiemethodes



Figuur 15: Verdeling correctiewaarden H_s in klassen voor maatgevende golfcondities Oosterschelde



Figuur 16: Verdeling correctiewaarden Tm-1,0 in klassen voor maatgevende golfcondities Oosterschelde



Figuur 17: Verdeling correctiewaarden Tpm in klassen voor maatgevende golfcondities Oosterschelde

Daarnaast is het interessant om te weten op welke locaties de correcties een verlagend of verhogend effect hebben over de alle periodes waarover golfcondities zijn geadviseerd aan PBZ. In de figuren van de bijlage zijn voor de verschillende correctiemethodes (RIKZ 2003, WL2005, Svašek 2010 en Svašek 2012, zoals afgeleid in deze memo) de correcties van achtereenvolgens H_s (bijlage 6), $T_{m-1,0}$ (bijlage 7) en T_{pm} (bijlage 8) weergegeven bij een waterstand van NAP+3m. Alleen de figuren van waterstand NAP+3m zijn weergegeven omdat de golfcondities bij deze waterstand veelal maatgevend zijn bij het ontwerp en om het aantal figuren te beperken. Vervolgens is voor dezelfde waterstand in bijlage 9 de lokale golfsteilheid (op basis van de golfperiode T_{pm}) weergegeven.

4.2 Effect correctiewaarden bij overstap naar nieuwe correctiefuncties

Voor de reeds uitgevoerde dijkvakken en de nog uit te voeren dijkvakken is het vooral interessant om te weten op welke locaties de correcties een verlagend of verhogend effect hebben bij overstap naar een nieuwe correctiefunctie. In de verschilplots van de bijlage is het verschil weergegeven bij overstap naar de nieuwe correctiefuncties in vergelijking met de momenteel gehanteerde correctiefuncties [ref 9]. Daarbij zijn achtereenvolgens weergegeven H_s (bijlage 10), $T_{m-1,0}$ (bijlage 11), T_{pm} (bijlage 12) en Z_1 (bijlage 13). Positieve waarden geven daarbij een verhoging van de waarden bij overstap naar de nieuwe correctiefuncties. Daarnaast zijn de verschillen weergegeven in tabel 4, waarbij de verschillen zijn ingedeeld in klassen.

Klassen	ΔH_s	Klassen	$\Delta T_{m-1,0}$	Klassen	ΔT_{pm}	Klassen	ΔZ_1
NaN	422	NaN	422	NaN	422	NaN	422
$-0,3 \leq \Delta H_s$	3	$-0,3 \leq \Delta T_{m-1,0}$	17	$-0,3 \leq \Delta T_{pm}$	189	$-1,5 \leq \Delta Z_1$	3
$-0,3 < \Delta H_s \leq -0,25$	27	$-0,3 < \Delta T_{m-1,0} \leq -0,15$	62	$-0,3 < \Delta T_{pm} \leq -0,15$	159	$-1,5 < \Delta Z_1 \leq -1$	19
$-0,25 < \Delta H_s \leq -0,2$	216	$-0,15 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0$	211	$-0,15 < \Delta T_{pm} \leq 0$	298	$-1 < \Delta Z_1 \leq -0,5$	789
$-0,2 < \Delta H_s \leq -0,15$	771	$0 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,15$	324	$0 < \Delta T_{pm} \leq 0,15$	630	$-0,5 < \Delta Z_1 \leq 0$	1589
$-0,15 < \Delta H_s \leq -0,1$	1162	$0,15 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,3$	687	$0,15 < \Delta T_{pm} \leq 0,3$	757	$0 < \Delta Z_1 \leq 0,5$	589
$-0,1 < \Delta H_s \leq -0,05$	715	$0,3 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,45$	893	$0,3 < \Delta T_{pm} \leq 0,45$	728	$0,5 < \Delta Z_1 \leq 1$	231
$-0,05 < \Delta H_s \leq 0$	371	$0,45 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,6$	752	$0,45 < \Delta T_{pm} \leq 0,6$	427	$1 < \Delta Z_1 \leq 1,5$	95
$0 < \Delta H_s \leq 0,05$	94	$0,6 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,75$	370	$0,6 < \Delta T_{pm} \leq 0,75$	165	$1,5 < \Delta Z_1 \leq 2$	50
$0,05 < \Delta H_s \leq 0,1$	43	$0,75 < \Delta T_{m-1,0} \leq 0,9$	91	$0,75 < \Delta T_{pm} \leq 0,9$	51	$2 < \Delta Z_1 \leq 2,5$	27
$0,1 < \Delta H_s$	12	$0,9 < \Delta T_{m-1,0}$	7	$0,9 < \Delta T_{pm}$	10	$2,5 < \Delta Z_1$	22
Totaal	3836		3836		3836		3836

Tabel 4: Verdeling verschil golfparameters H_s , $T_{m-1,0}$, T_{pm} en belastingwaarde Z_1 bij toepassing correctiewaarden Svašek 2012 i.v.m Svašek 2010 (positieve waarden geven een verhoging aan met de nieuwe correctiewaarden)

Uit de figuren van bijlage 10 t/m 13 en tabel 4 kan worden geconcludeerd dat voor de maatgevende golfcondities overstap naar de nieuwe correctiefuncties (Svašek 2012) in vergelijking met de momenteel gehanteerde correctiefuncties Svašek 2010 resulteert in:

- Over het algemeen een verlaging van de golfhoogte H_s en in slechts in 4% van de gevallen in een verhoging;
- In de meeste gevallen een verhoging van de golfperiode (81% bij $T_{m-1,0}$ en 72% bij T_{pm}). In achtereenvolgens 17% ($T_{m-1,0}$) en 21% (T_{pm}) van de gevallen is een verlaging van de golfperiode waarneembaar.
- In 63% van de gevallen resulteert overstap naar de nieuwe correctiefuncties in een verlaging van de Z_1 -waarde en in 26% van de gevallen in een verhoging (11% is NaN).

5 Bepaling correctie op basis van relatie golfsteilheid

In de studie [ref 10] is geconcludeerd dat bij "afgeleide" golfparameters, zoals de golfsteilheid en andere belastingparameters, het beter is deze direct te corrigeren en niet impliciet te corrigeren via de "hoofd" parameters H en T . Dit omdat deze laatste in afzonderlijke best-fit analyses zijn vastgesteld, terwijl ze in werkelijkheid onderdeel vormen van hetzelfde berekende golfspectrum en dus gecorreleerd zijn.

In deze paragraaf wordt daarom bekeken wat het effect is van een correctie op de lokale golfsteilheid. De scatterplot van de lokale golfsteilheid laat een vrij brede puntenwolk zien. Daardoor is het onmogelijk een hele goed fit van de puntenwolk te maken. De Z -waardes laten een kleinere spreiding zien, waardoor deze parameter mogelijk beter geschikt is om te gebruiken voor het bepalen van correctiewaarden. Dit is echter in deze memo niet in beschouwing genomen.

Er zijn 2 verschillende methodes beschouwd om de uiteindelijke correctie van de golfparameters te bepalen:

1. **Methode 1:** Best-fit van lokale golfsteilheid en de golfhoogte is gelijk aan gecorrigeerde golfhoogte, zoals bepaald door middel van de in deze memo bepaalde correctiefunctie voor H_s . De golfperiode $T_{m-1,0}$ volgt uit de relatie tussen de gecorrigeerde lokale golfsteilheid en de gecorrigeerde golfhoogte;
2. **Methode 2:** Best-fit van lokale golfsteilheid en de golfperiode ($T_{m-1,0}$) is gelijk aan gecorrigeerde golfperiode, zoals bepaald door middel van de in deze memo bepaalde correctiefunctie voor $T_{m-1,0}$. De golfhoogte H_s volgt uit de relatie tussen de gecorrigeerde lokale golfsteilheid en de gecorrigeerde golfperiode.

In bijlage 14 en 15 zijn voorbeelden gegeven van het effect van methode 1 en in bijlage 16 en 17 van methode 2. Daarbij zijn de volgende correcties op de lokale golfsteilheid doorgevoerd, welke zijn gekozen omdat dat de beste fits geven op de data:

- Correctie 1: zoals toegepast in bijlage 14 en 16: $s_{m-1,0_gecorrigeerd} = 1,20 * s_{m-1,0_SWAN} - 0,03$;
- Correctie 2: zoals toegepast in bijlage 15 en 17: $s_{m-1,0_gecorrigeerd} = 1,35 * s_{m-1,0_SWAN} - 0,04$

Uit de figuren in de bijlage 14 t/m 16 (en vergelijkende met bijlage 2) kan het volgende worden geconcludeerd:

- Beide methodes geven geen aanwijsbare verbetering op de fits van de afzonderlijke golfparameters (H_s en $T_{m-1,0}$) en op fits van de Z-waarden
- Vooral bij methode 1 ($T_{m-1,0}$ wordt afgeleid uit fits van H_s en $s_{m-1,0}$) kunnen er grote uitschieters ontstaan in de correcties van de golfparameter $T_{m-1,0}$. De golfperiode kan daardoor extreem hoge waarden aannemen. Bij methode 2 (H_s wordt afgeleid uit fits van $T_{m-1,0}$ en $s_{m-1,0}$) kunnen er ook uitschieters ontstaan maar geeft dit relatief lage waarden voor H_s .
- De waarden van station Schelphoek liggen niet in lijn met de stations Keeten en Marollegat. Het verwijderen van dit station uit de data resulteert in verbetering van correlatie in de scatterplots. Echter wordt geadviseerd eerst te analyseren worden deze niet in lijn liggen met de andere meetstations.
- Vanwege de mogelijkheid tot het ontstaan van uitschieters dient bij toepassing van deze correctiemethode het geldigheidsbereik van de methode nader geanalyseerd te worden.

6 Conclusies

In deze memo zijn nieuwe correctiefuncties afgeleid, waarmee de SWAN-resultaten welke toegepast worden bij het ontwerp van het projectbureau Zeeweringen, gecorrigeerd kunnen worden. De nieuwe correctiefuncties zijn veel eenvoudiger dan de momenteel gehanteerde correctiefuncties [ref. 9]. Daardoor zijn de correcties veel makkelijker te reproduceren, overzichtelijker en is op voorhand de grootte van de correctieterm per situatie eenvoudig in te schatten.

Het gebruik van e-machten in de correctiefuncties, zoals in de momenteel gehanteerde correctiefuncties [ref. 9] resulteert in een erg grillig verloop van de correctiewaarden langs de kust. Daarnaast zijn deze functies erg gevoelig voor relatief hoge waarden van één of meer van de dimensieloze parameters. In de nieuw afgeleide correctiefuncties is zowel het grillige verloop als gevoeligheid voor wijzigingen in dimensieloze parameters sterk afgenomen. Dit wordt als een grote verbetering ten opzichte van de bestaande functie gezien. Daarnaast wordt het als groot pluspunt gezien dat er geen extreme uitschieters in de correctiewaarden waarneembaar zijn.

De onzekerheidsmarges van de afzonderlijke golfparameters (H en T) volgend uit de huidige correctiefuncties [ref 9] en de nieuwe correctiefuncties (deze memo) verschillen niet veel indien meting en berekeningen met elkaar worden vergeleken. De onzekerheidsmarges van de afgeleide golfparameters (zoals de golfsteilheid) nemen echter sterk toe met de nieuwe functies. Bekend is dat SWAN over het algemeen de golfsteilheid overschat [ref 11], terwijl de correctiewaarden Svašek 2010 [ref 9] de golfsteilheid juist veelal verhogen (vooral bij relatief hoge ongecorrigeerde golfsteilheden neemt de golfsteilheid na correctie toe). De nieuwe correctiefuncties resulteren gemiddeld gezien in een lagere golfsteilheid, zoals verwacht mag worden, aangezien SWAN de golfsteilheid gemiddeld gezien overschat.

De nieuw afgeleide correctiefuncties, zoals hieronder samengevat, blijkt een verbetering van de bestaande functies [ref 9], vooral doordat de eerder waargenomen ongewenste effecten van de functies (zoals hierboven beschreven) wegvallen. Daarnaast is deze functie specifiek afgeleid op hindcasts resultaten van de Oosterschelde, waarbij er bij de vorige functies vanuit werd gegaan dat de resultaten van de hindcasts van de Westerschelde direct toepasbaar zijn voor correctie van de golfparameters op de Oosterschelde. Er wordt daarom

geadviseerd onderstaande correcties in de toekomst te hanteren bij de bepaling van de maatgevende golfcondities voor het ontwerp van PBZ:

Correctiefuncties samengevat:

- Indien $H_{mo_SWAN} < 1,0m \rightarrow$ Geen correctie H_{mo_SWAN}
- Indien $H_{mo_SWAN} \geq 1,0 m \rightarrow H_{mo_SWAN_gecor} = 1,30 * H_{mo_SWAN} - 0,3$
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} < 1,67s \rightarrow$ Geen correctie $T_{m-1,0_SWAN}$
- Indien $T_{m-1,0_SWAN} \geq 1,67s \rightarrow T_{m-1,0_SWAN_gecor} = 1,30 * T_{m-1,0_SWAN} - 0,5$
- $T_{pm_gecorrigeerd} = (T_{pm} / T_{m-1,0}) * T_{m-1,0_gecorrigeerd}$

De nieuwe afgeleide correctiefuncties in deze memo resulteert voor de ongecorrigeerde SWAN data [ref 1, 2] voor de maatgevende golfcondities in:

- 46% van de gevallen in een correctie op H_s gelijk is aan 1 en in 30% van de gevallen van 1 tot 1.1. In 24% van de gevallen ligt de correctie tussen 1.1 en 1.19.
- Voor de golfperiodes $T_{m-1,0}$ en T_{pm} geldt dat in 88% van de gevallen de correctieterm groter is dan 1 en dat daarnaast in 60% van de gevallen de correctieterm groter is dan 1.15.
- De lokale golfsteilheid neemt over het algemeen af (zie bijlage 5).

Indien wordt gekozen gebruik te maken van de nieuwe correctiefuncties (Svašek 2012) in vergelijking met de momenteel gehanteerde correctiefuncties Svašek 2010 resulteert dat in:

- Over het algemeen een verlaging van de golfhoogte H_s en in slechts in 4% van de gevallen in een verhoging;
- In de meeste gevallen een verhoging van de golfperiode (81% bij $T_{m-1,0}$ en 72% bij T_{pm}). In achtereenvolgens 17% ($T_{m-1,0}$) en 21% (T_{pm}) is een verlaging van de golfperiode waarneembaar.
- In 63% van de gevallen resulteert overstap naar de nieuwe correctiefuncties in een verlaging van de Z1-waarde en in 26% van de gevallen in een verhoging (11% is NaN)

In de studie [ref 10] is geconcludeerd dat bij "afgeleide" golfparameters, zoals de golfsteilheid en andere belastingparameters, het beter is deze direct te corrigeren en niet impliciet te corrigeren via de "hoofd" parameters H en T . Dit omdat deze laatste in afzonderlijke best-fit analyses zijn vastgesteld, terwijl ze in werkelijkheid onderdeel vormen van hetzelfde berekende golfspectrum en dus gecorreleerd zijn. De impliciete correctie van een afgeleide parameter zoals de golfsteilheid kan daarom leiden tot een afwijking van wat verwacht mag worden op basis van metingen of de fysica. Er is echter toch gekozen in deze memo de correctiewaarden af te leiden via een best-fit van de "hoofd" parameters H en T . Vervolgens wordt het effect op een aantal "afgeleide" golfparameters bekeken. De redenen om de best-fit van de "hoofd" parameters te gebruiken zijn, omdat de correctiefunctie eenvoudiger wordt en omdat afleiding via de golfsteilheid niet tot betere resultaten leidt (zie paragraaf 5). Dit lijkt vooral te komen doordat de scatterplot van de lokale golfsteilheid een vrij brede puntenwolk laat (dus weinig correlatie tussen berekening en meting). Mogelijk geeft correctie van een ander "afgeleide" golfparameter (via de fysica) dan de lokale golfsteilheid, of het op een andere manier corrigeren (bijvoorbeeld correctie na opdeling van het spectrum) wel een grotere verbetering. Opgemerkt moet worden dat bij correctie via "afgeleide" golfparameters eenvoudig uitschieters ontstaan en dat het geldigheidsbereik van de methode altijd nader geanalyseerd moet worden.

De nieuwe afgeleide correctiefuncties worden als een sterke verbetering ten opzichte van de momenteel gehanteerde correcties [ref 9] gezien. Er moeten echter een aantal kanttekeningen bij de nieuwe correctiefuncties worden gemaakt.

- De nieuwe correctiefuncties zijn gebaseerd op een zeer gering aantal meetdata. Er was slechts meetdata beschikbaar gedurende interessante stormperiodes van slechts 3 meetstations, waarvan het meetstation Schelphoek slechts bij 1 van de 5 stormen is meegenomen. Daarnaast betreft het verkennende hindcasts.
- Er is aangenomen dat de resultaten van de 3 hindcast locaties geldig zijn voor correctie van de golfparameters langs de gehele Oosterschelde. Daarnaast liggen de gebruikte meetstations verder van de kust dan de uitvoerpunten welke gebruikt worden voor afleiding van de golfcondities met SWAN.
- De gehindcaste stormen hebben zeker niet het kaliber van een ontwerpstorm. Omdat er geen meetdata beschikbaar is van zwaardere stormen moet er vanuit gegaan worden de resultaten van de hindcasts ook geldig zijn om de golfcondities van een ontwerpstorm te corrigeren.

Daarnaast moet opgemerkt worden dat de afgeleide correctiefuncties slechts geldig zijn voor de Oosterschelde! Deze functies zijn namelijk gebaseerd op resultaten van hindcasts op alleen de Oosterschelde (met kennis van de Westerschelde). Toepassing van deze resultaten op bijvoorbeeld de Noordzee kan tot grote afwijkingen leiden met de werkelijkheid, enerzijds omdat het een ander gebied betreft, anderzijds door de toegepaste correctievorm, welke bij extrapolatie in zeer grote correcties resulteert.

Eveneens zijn de afgeleide correctiefuncties slechts geldig is voor de SWAN-versie 30.75 en toegepaste rekenroosters. Nieuwe rekenroosters of een andere SWAN-versie of andere instellingen leiden logischerwijs tot andere correcties.

7

Aanbevelingen

Bij het afleiden van de correctiefuncties door middel van de hindcasts is gebruik gemaakt van de (oude) SWAN versie 30.75 (uit 1998). Dit vanwege de wens om een goede vergelijking met eerdere berekeningen [ref 1, 2] mogelijk te maken, welke ook met deze SWAN-versie zijn uitgevoerd. Na 1998 is er erg veel onderzoek gedaan naar de prestaties van SWAN en zijn er de nodige verbeteringen doorgevoerd. Uit een calibratiestudie van Deltares uit 2010 [ref 14] blijkt dat bij toepassing van een recente SWAN-versie er niet of nauwelijks gecorrigeerd hoeft te worden, mits goed gecalibreerd. Aanbevolen wordt mede omdat de toegepaste SWAN-versie zeer verouderd is, de golfcondities tijdens ontwerpstormen uit te voeren met een recente SWAN-versie (bijvoorbeeld de versie die in WTI is gebruikt op o.a. de Westerschelde). Daarnaast wordt aanbevolen om met deze versie hindcasts uit te voeren op de Oosterschelde, om te bekijken of correctie al dan niet benodigd is.

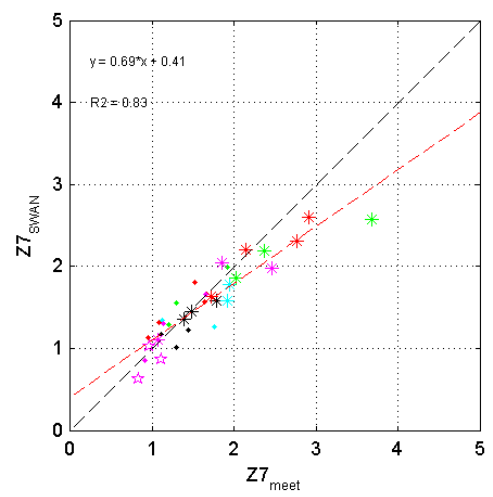
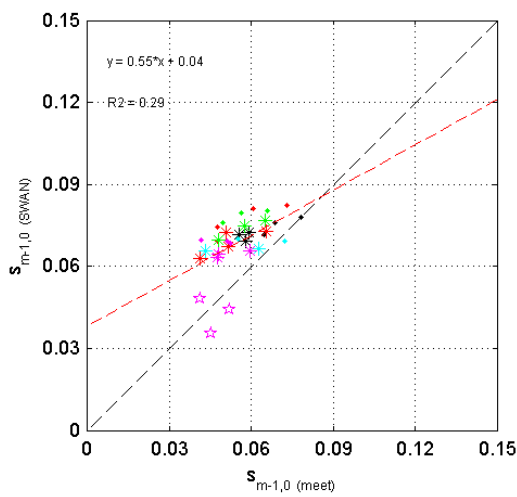
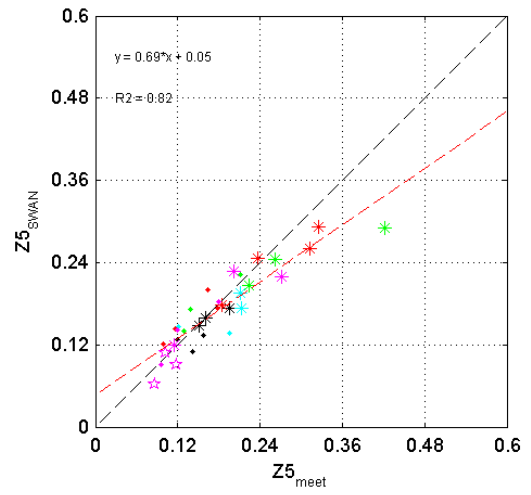
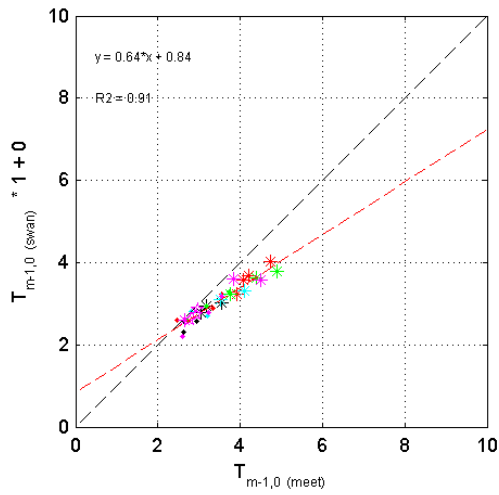
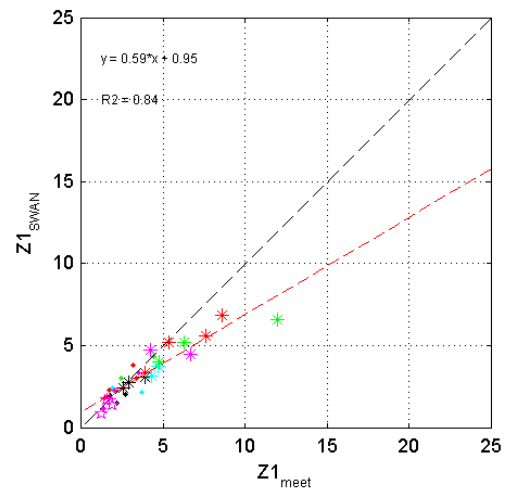
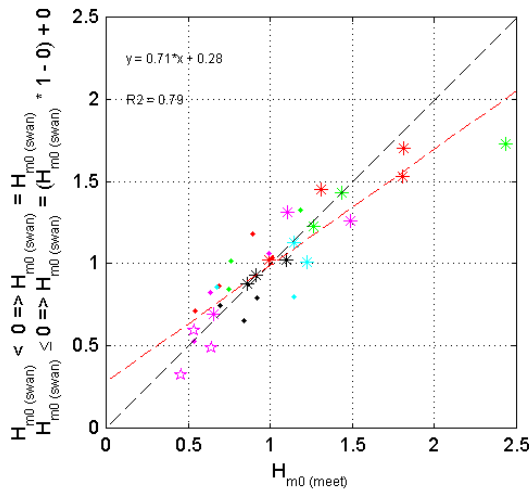
Bij het uitvoeren van nieuwe SWAN-berekeningen wordt aanbevolen om de 50 losse SWAN rekenroosters (zie Alkyon 1998 [ref 1]) te vervangen door 1 rekenrooster voor de gehele Oosterschelde. Er is recent een nieuw grid ontworpen en getest wat direct gebruik zou kunnen worden [ref 12]. Dit nieuwe rooster kon in de hindcasts echter niet gebruikt worden vanwege de keuze om de oude SWAN versie 30.75 te gebruiken. Deze versie heeft beperkingen t.a.v. de grootte van het rooster. Belangrijke motieven voor het nieuwe grid zijn: reductie van de totale hoeveelheid SWAN-berekeningen en rekentijd, reductie van de foutgevoeligheid van de uitkomsten uit de geneste modellen en reductie van de benodigde hoeveelheid nabewerking.

Literatuur

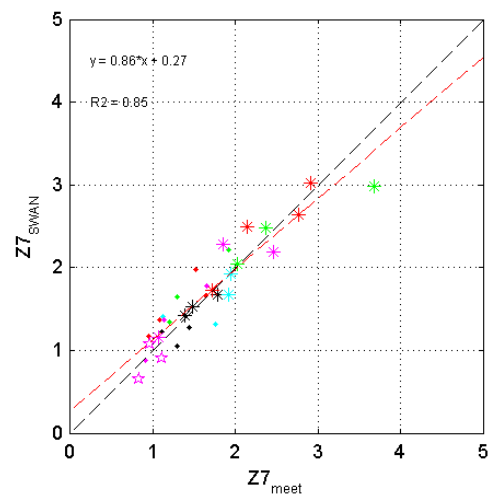
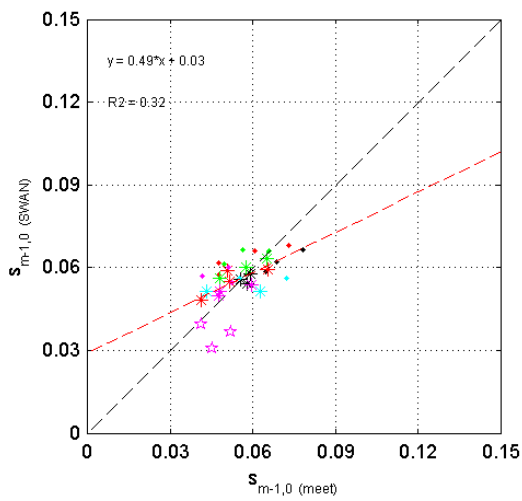
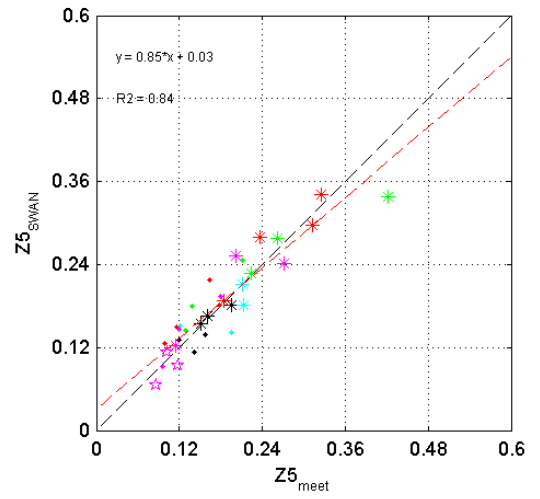
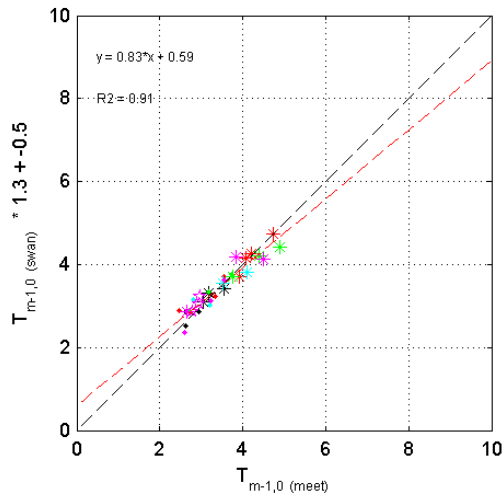
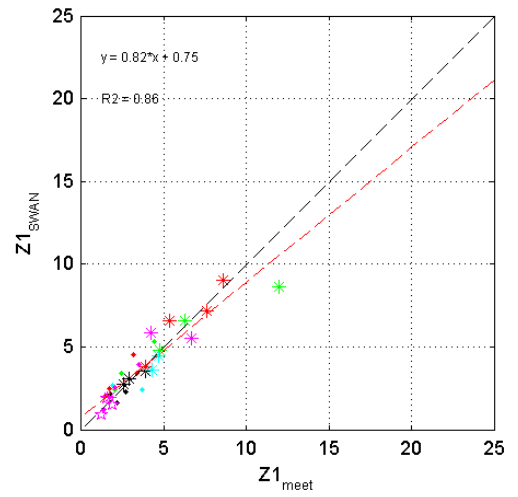
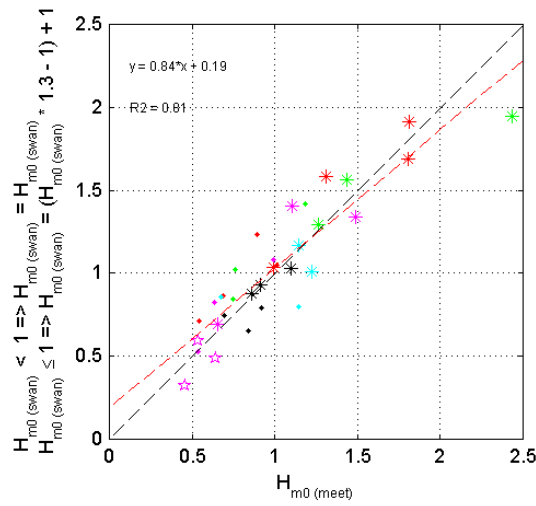
- [1] Alkyon 1998 “Golfberekeningen Oosterschelde”, G. van Vledder, G. Hartsuiker, Rapport A246, A246R0r0, juli 1998
- [2] Alkyon 2005 “Golftransmissie Oosterscheldekering, analyse meetgegevens”, Rapport A1348, januari 2005
- [3] RIKZ, 2002 “Betrouwbaarheid golfcondities met SWAN”, J. Jacobse, A. Kieftenburg, RIKZ/OS-2002.116x, november 2002
- [4] Royal Haskoning, 2003 “Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde – vergelijking golfberekeningen en metingen”, C. Gautier, B. Les, Projectnummer 9M5697, juni 2003
- [5] RIKZ 2003 “Evaluatie ontwerpwaarden voor golfcondities in de Westerschelde”, J. Jacobse, december 2003.
- [6] WL|Delft Hydraulics 2005 “Correctiewaarden Zeeland - Fase 1: Bepaling correctiefunctie voor ontwerp”, J. Groeneweg, N. Doorn, Projectnummer H4576, augustus 2005.
- [7] Svašek Hydraulics 2008 “Evaluatie betrouwbaarheid correctiewaarden Zeeland”, M. van den Boomgaard, ref MB/1487/08307/F, september 2008
- [8] WL|Delft Hydraulics 2006 “Correctiewaarden Zeeland - Fase 3A: Herberekening met nieuwe randvoorwaarden”, J. Groeneweg, N. Doorn, Projectnummer H4576, april 2006.
- [9] Svašek Hydraulics 2010a “Update correctiewaarden Zeeland, Vervangend rapport voor Advisering toepassing correctiewaarden Zeeland”. P van de Rest, M. van den Boomgaard. Ref: 1585/U10250/D/PvdR, 1 november 2010.
- [10] Svašek Hydraulics 2012a “Update correctiewaarden Zeeland, Addendum: Effect correctiewaarden op golfsteilheden”. M. van den Boomgaard. Ref: 1661/U12053/C/MB, 29 februari 2012.
- [11] Svašek Hydraulics 2012b “Hindcast Oosterschelde”. M. van den Boomgaard. Ref: 1665/ U12186/MB/B, 29 februari 2012.
- [12] Svašek Hydraulics 2012c “Gridontwerp voor SWAN-berekeningen Oosterschelde; Genereren, testen en optimaliseren van SWAN-grid en bathymetrie”. H. Talstra. Ref: 1668/U12086/A/HTAL, juni 2012.
- [13] Svašek Hydraulics 2010b “Memo nieuwe belastingfuncties steenbekledingen”, P. van de Rest, referentie: PvdR/09358/1573/D, 18 januari 2010
- [14] Deltares 2010 “SWAN calibration and validation for HBC 2011 – WTI HR Zout”, C. Gautier, referentie: 1200103-020-HYE-0002, mei 2010

Bijlagen

- Bijlage 1: Scatterplots ongecorrigeerde data
- Bijlage 2: Scatterplots op basis van gecorrigeerde data
- Bijlage 3: Correctieterm Hs bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m bij correctiefunctie Svašek 2012
- Bijlage 4: Correctieterm Tm-1,0 en Tpm bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m bij correctiefunctie Svašek 2012
- Bijlage 5: Verloop langs de kust lokale golfsteilheid Spm voor ongecorrigeerde data en gecorrigeerde data (correctiefunctie Svašek 2012) bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m
- Bijlage 6: Correctieterm Hs voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m
- Bijlage 7: Correctieterm Tm-1,0 voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m
- Bijlage 8: Correctieterm Tpm voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m
- Bijlage 9: Lokale golfsteilheid Spm voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m
- Bijlage 10: Verschilplots Hs (Svašek 2012 - Svašek 2010) bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m
- Bijlage 11: Verschilplots Tm-1,0 (Svašek 2012 - Svašek 2010) bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m
- Bijlage 12: Verschilplots Tpm (Svašek 2012 - Svašek 2010) bij waterstanden NAP+0m, +2m,+3m en +4m
- Bijlage 13: Verschilplots Z1 (Svašek 2012 - Svašek 2010) bij waterstanden NAP+0m, +2m, +3m en +4m
- Bijlage 14: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 1, methode 1
- Bijlage 15: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 2, methode 1
- Bijlage 16: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 1, methode 2
- Bijlage 17: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 2, methode 2

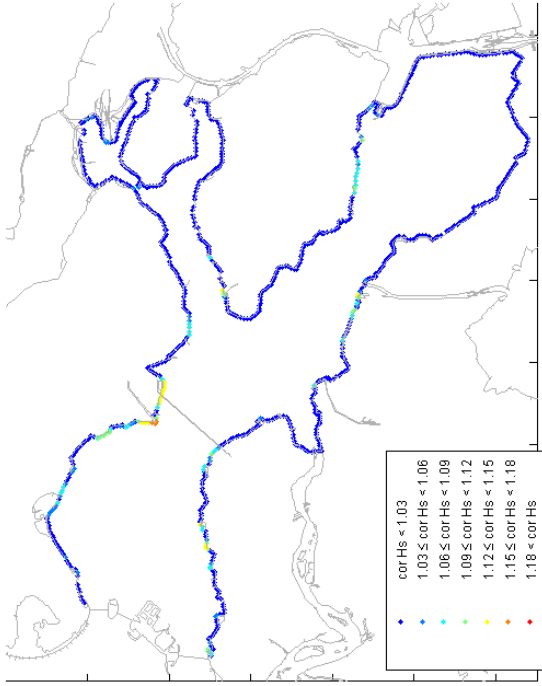


Bijlage 1: Scatterplots ongecorrigeerde data

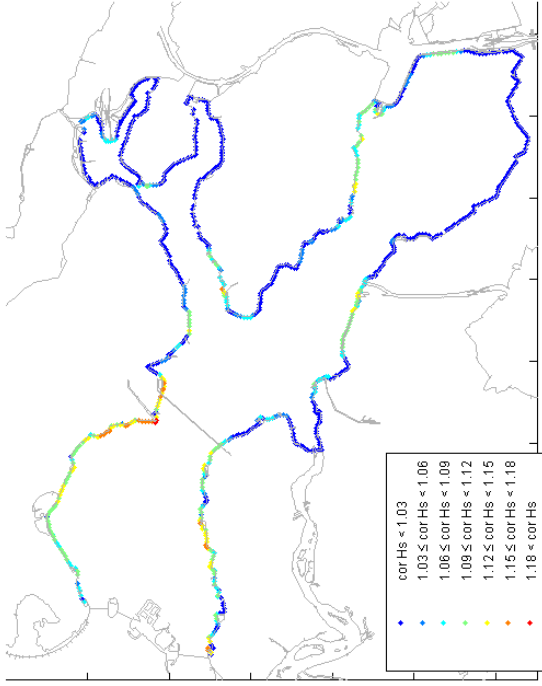


Bijlage 2: Scatterplots op basis van gecorrigeerde data

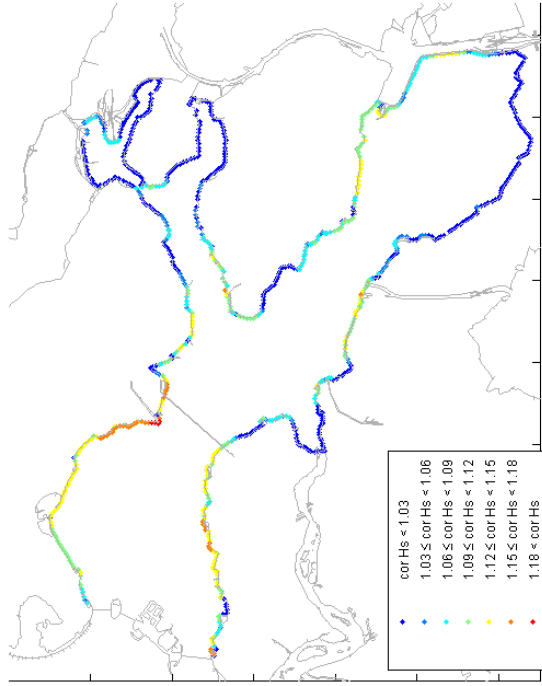
cor Hs
Waterstand:0+NAP



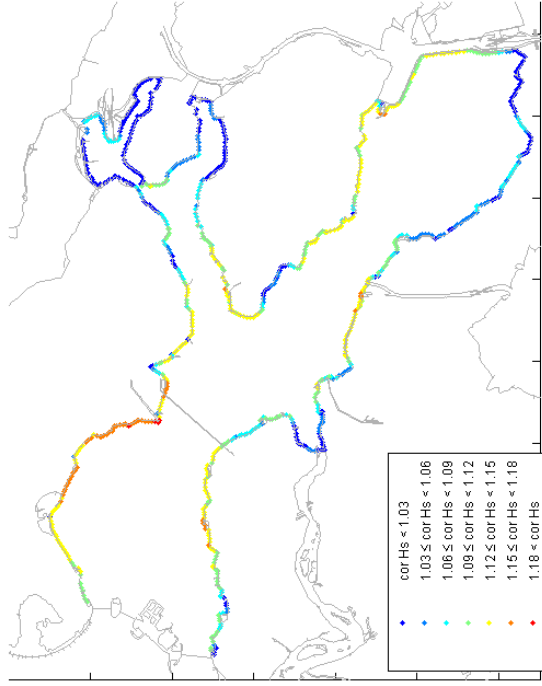
cor Hs
Waterstand:2+NAP



cor Hs
Waterstand:3+NAP

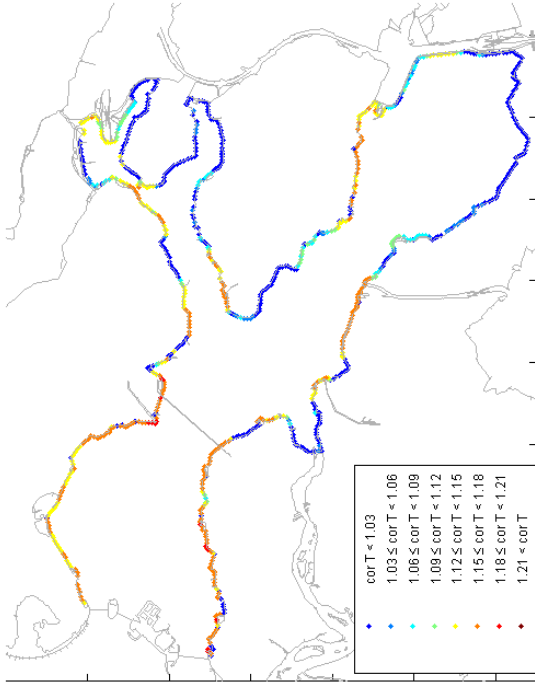


cor Hs
Waterstand:4+NAP

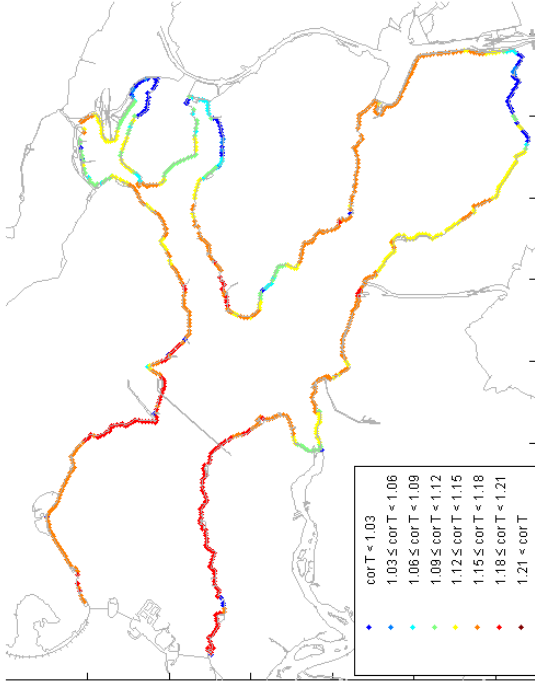


Bijlage 3: Correctie Hs methode Svasek 2012 bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m

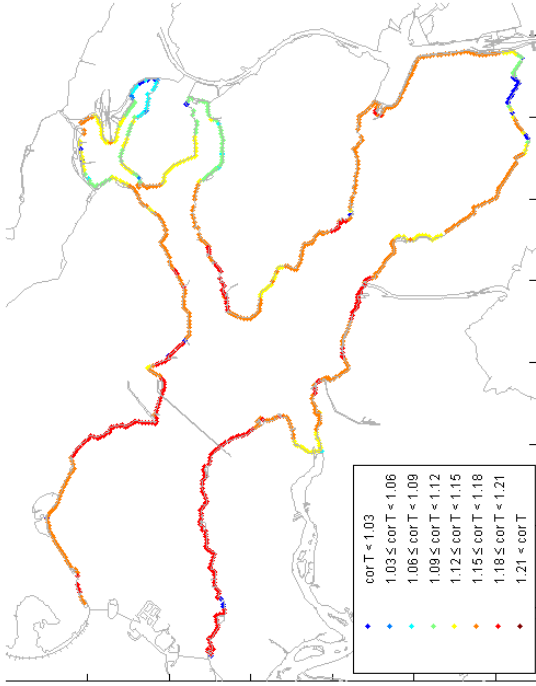
cor T
Waterstand: 0+NAP



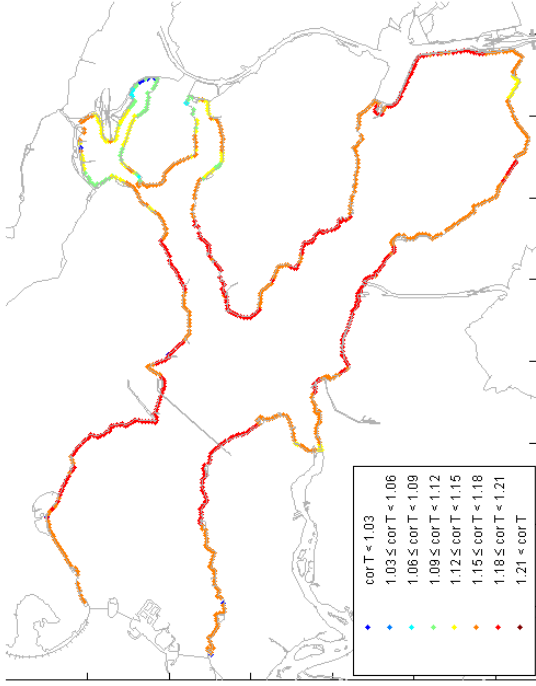
cor T
Waterstand: 2+NAP



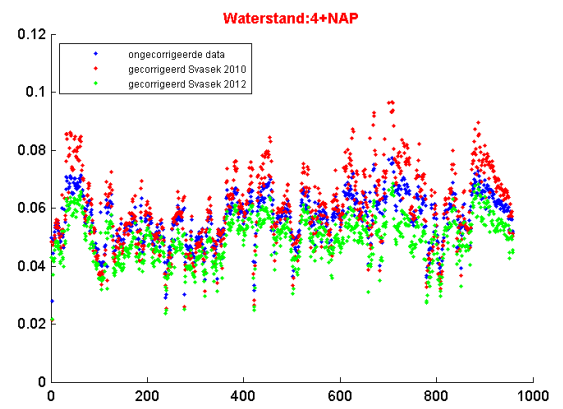
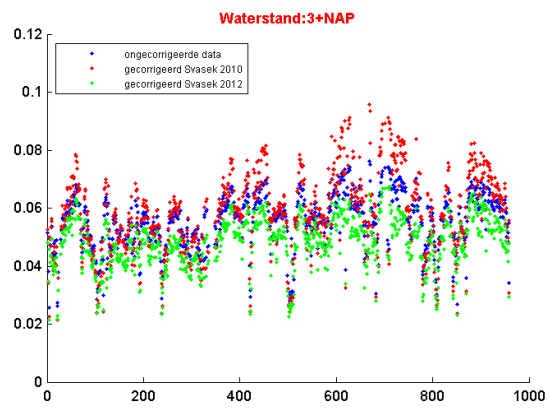
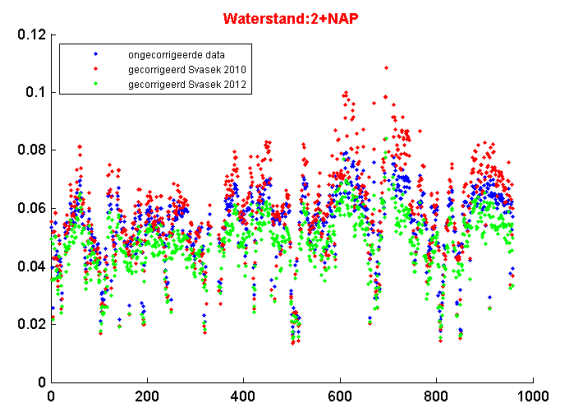
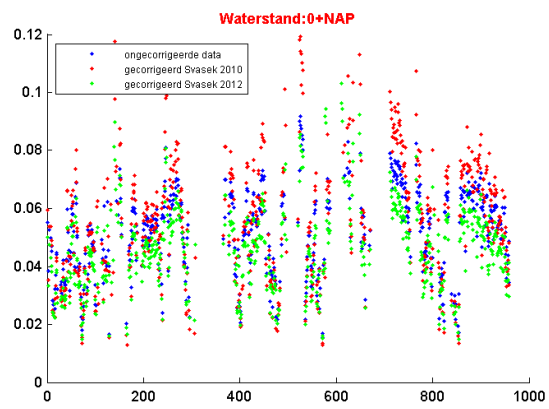
cor T
Waterstand: 3+NAP



cor T
Waterstand: 4+NAP

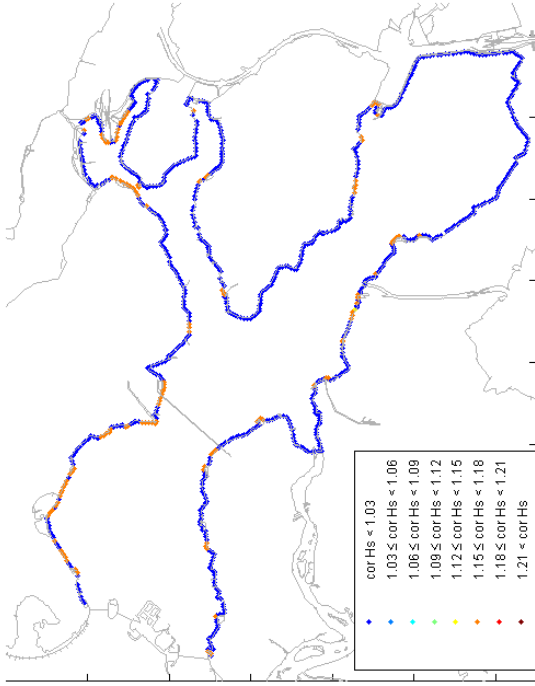


Bijlage 4: Correctie Tm-10 en Tpm methode Svasek 2012 bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m

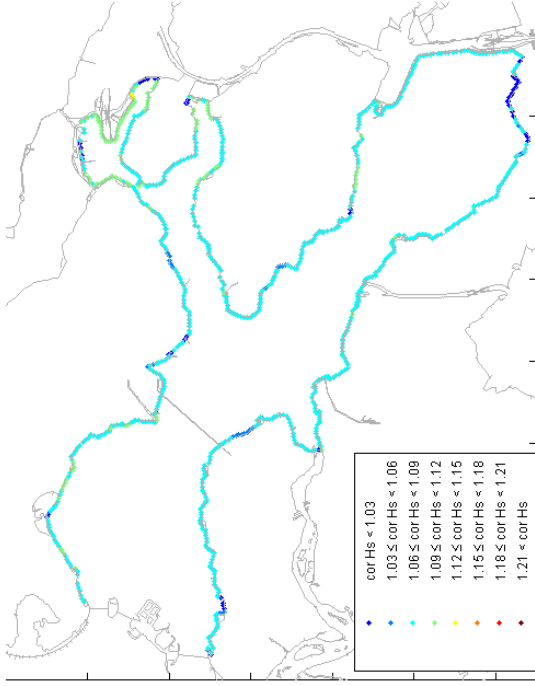


Bijlage 5: Lokale golfsteilheid bij waterstanden NAP +0,+2,+3,+4m

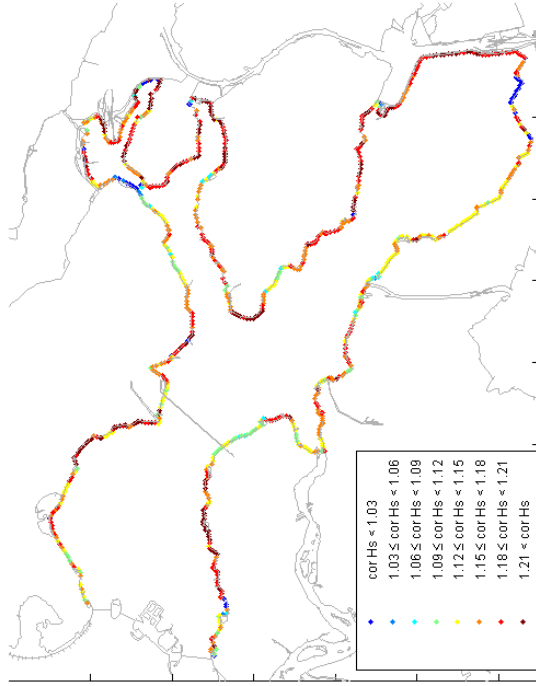
RIKZ 2003
Waterstand: 3+NAP



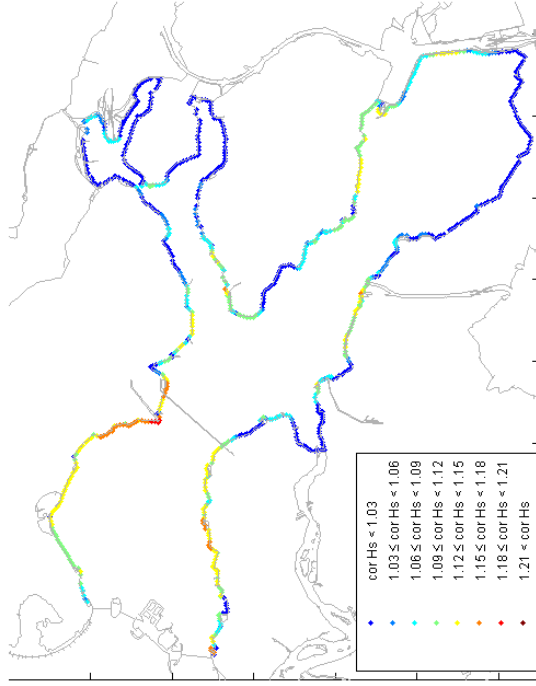
WL 2005
Waterstand: 3+NAP



Svasek 2010
Waterstand: 3+NAP

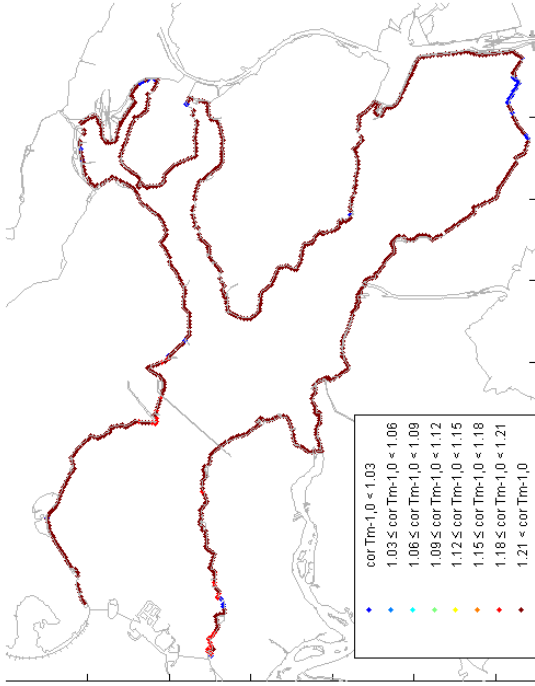


Svasek 2012
Waterstand: 3+NAP

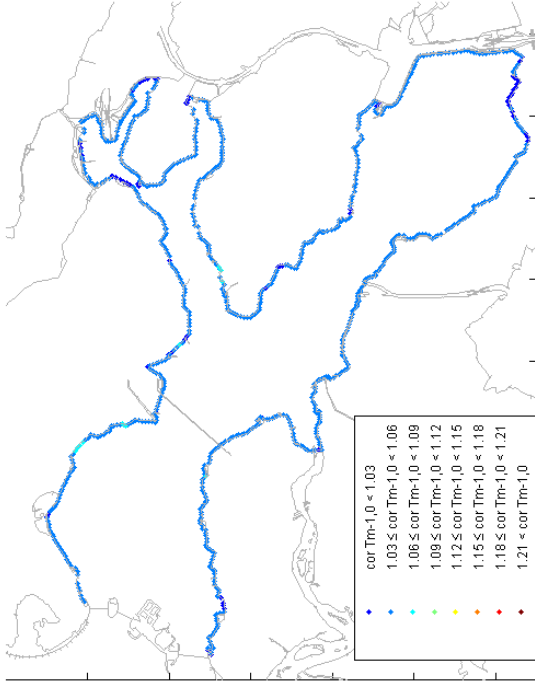


Bijlage 6: Correctiewaarden Hs voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m

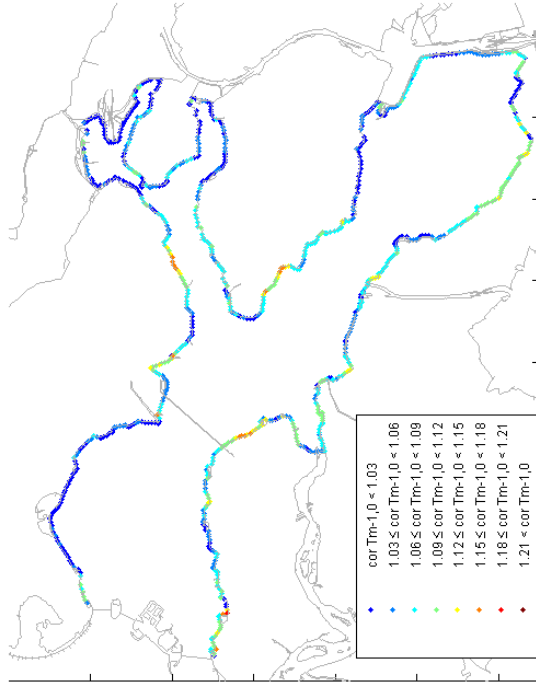
RIKZ 2003
Waterstand:3+NAP



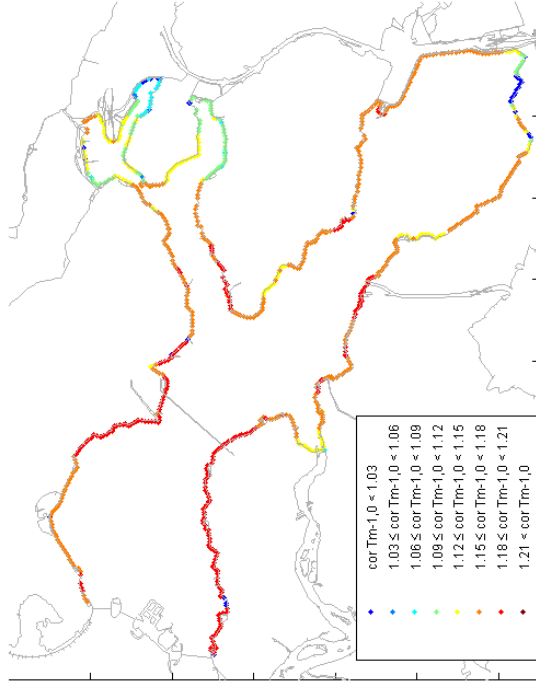
WL 2005
Waterstand:3+NAP



Svasek 2010
Waterstand:3+NAP

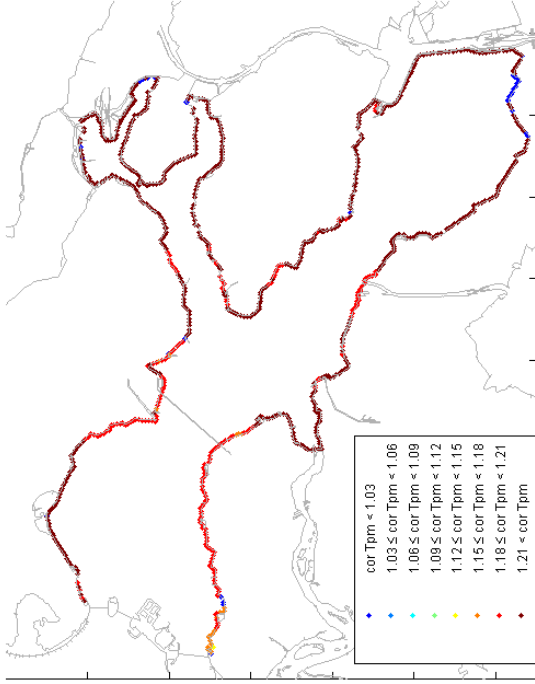


Svasek 2012
Waterstand:3+NAP

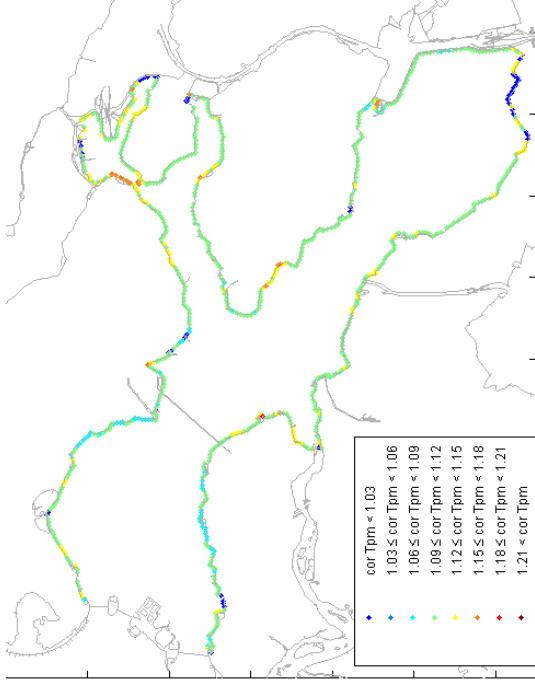


Bijlage 7: Correctiewaarden Tm-1,0 voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m

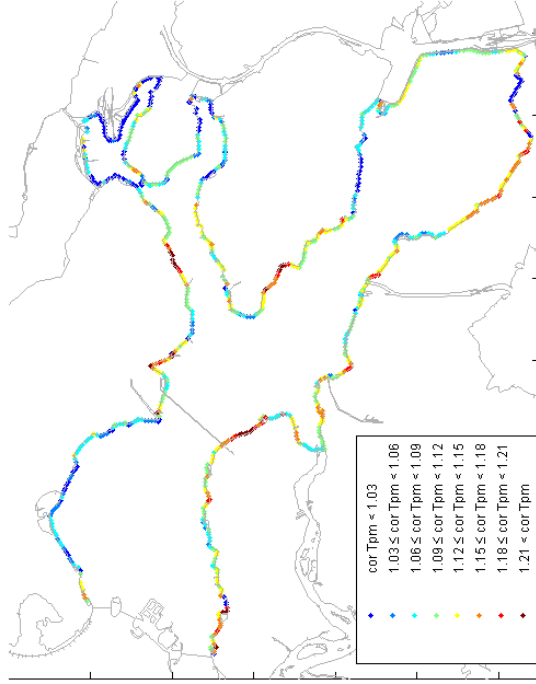
RIKZ 2003
Waterstand:3+NAP



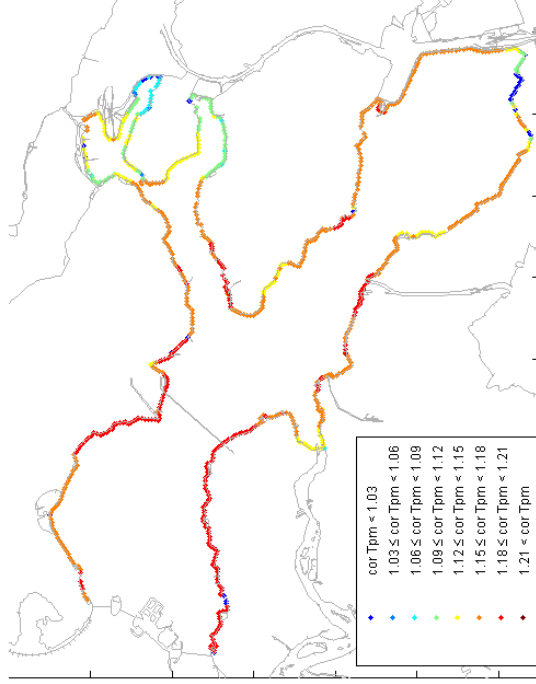
WL 2005
Waterstand:3+NAP



Svasek 2010
Waterstand:3+NAP

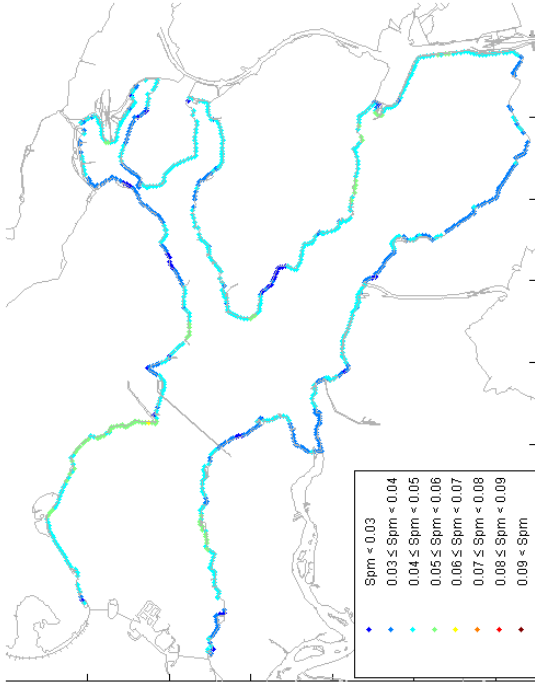


Svasek 2012
Waterstand:3+NAP

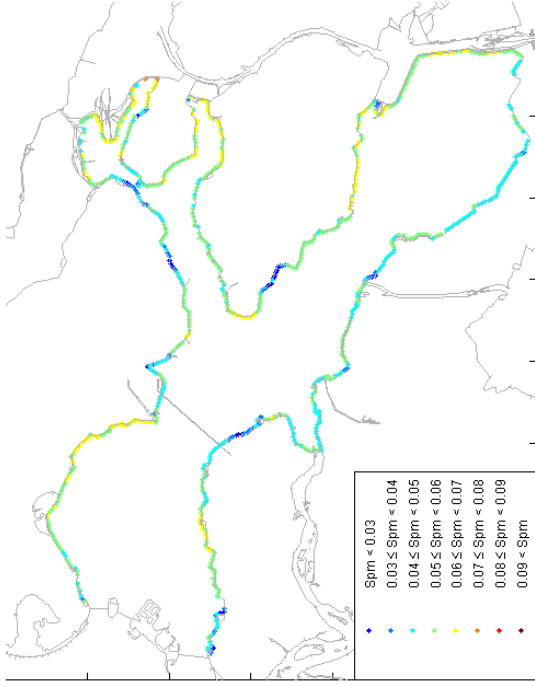


Bijlage 8: Correctiewaarden Tpm voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m

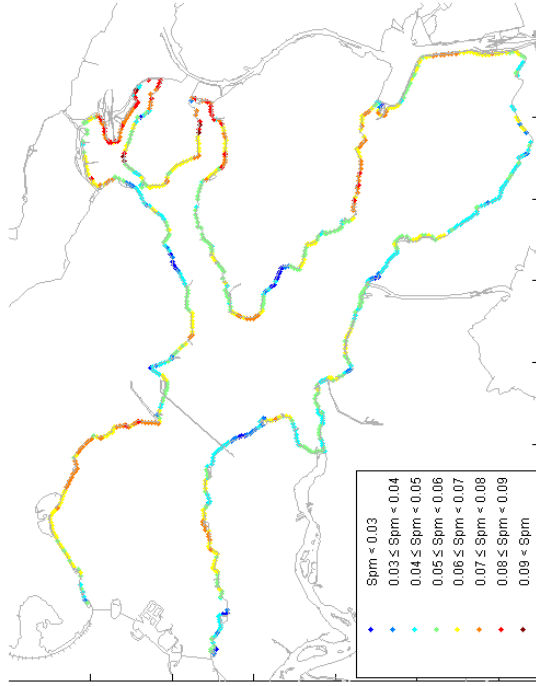
RIKZ 2003
Waterstand:3+NAP



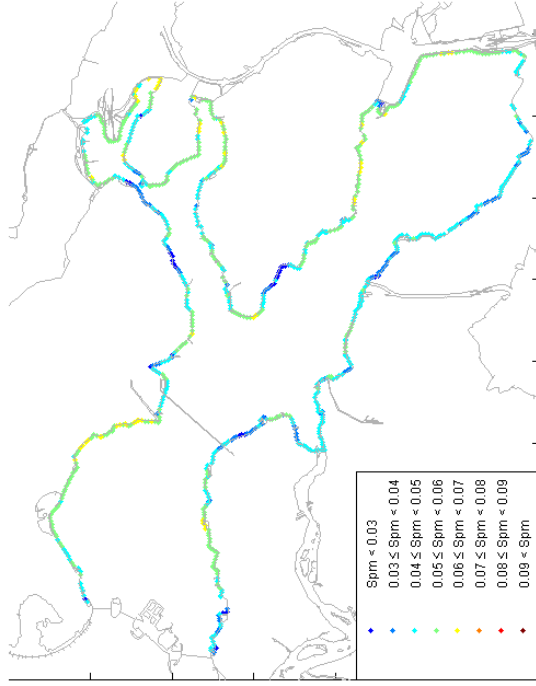
WL 2005
Waterstand:3+NAP



Svasek 2010
Waterstand:3+NAP

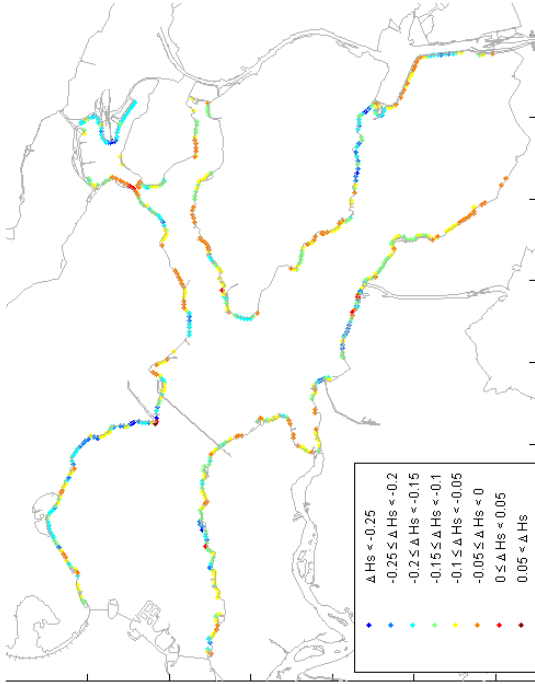


Svasek 2012
Waterstand:3+NAP

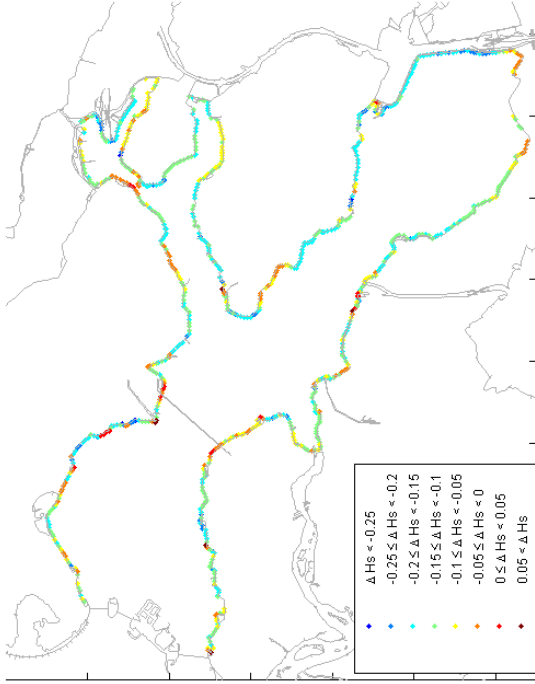


Bijlage 9: Lokale golfsteilheid Spm voor verschillende correctiemethode bij waterstand NAP+3m

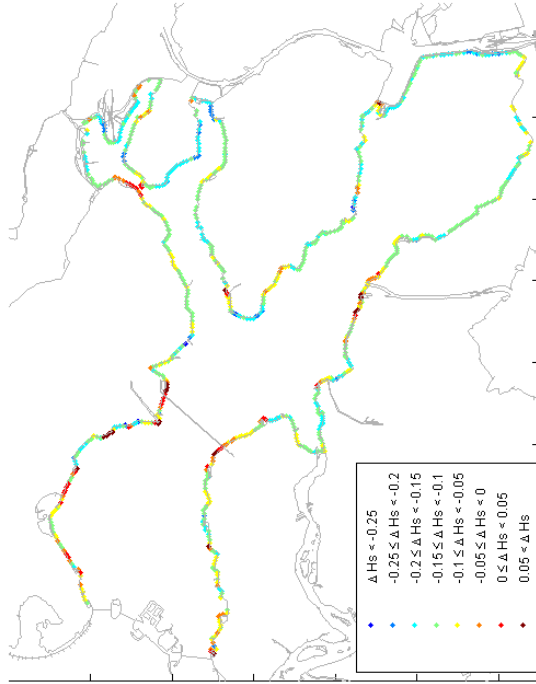
ΔH_s
Waterstand: 0→NAP



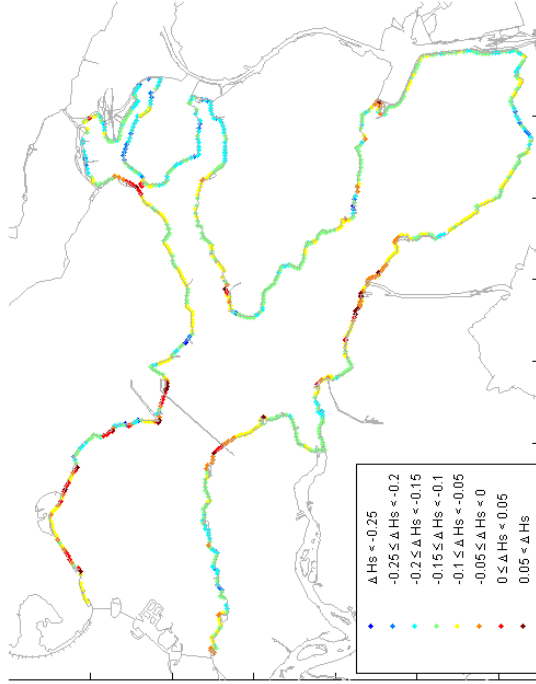
ΔH_s
Waterstand: 2→NAP



ΔH_s
Waterstand: 3→NAP

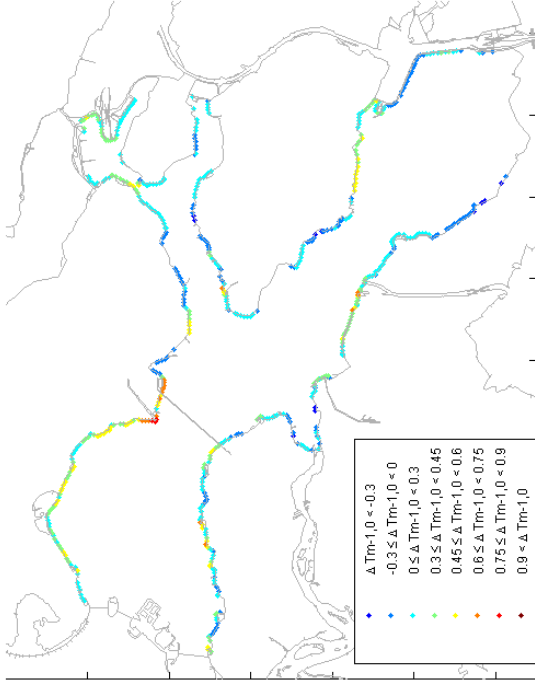


ΔH_s
Waterstand: 4→NAP

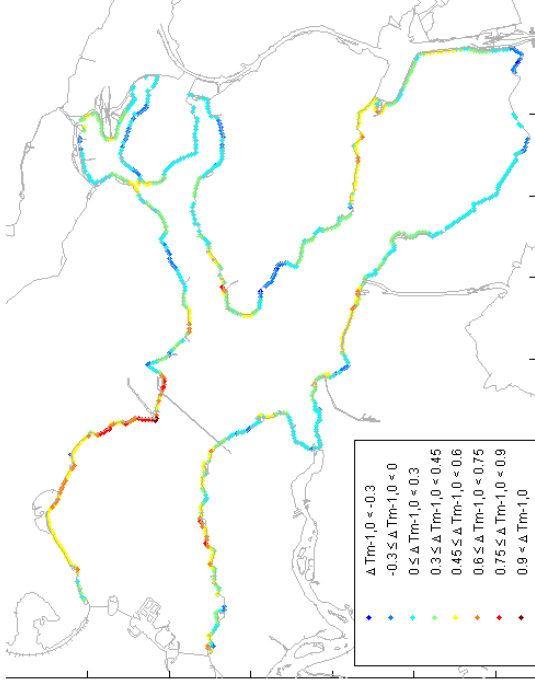


Bijlage 10: Verschiplots Hs (Sva 2012- Sva 2010) bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m

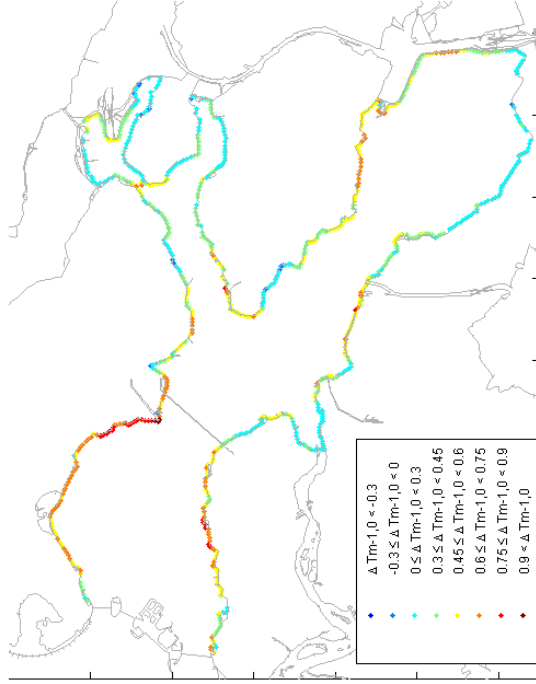
$\Delta Tm-1,0$
Waterstand: 0→NAP



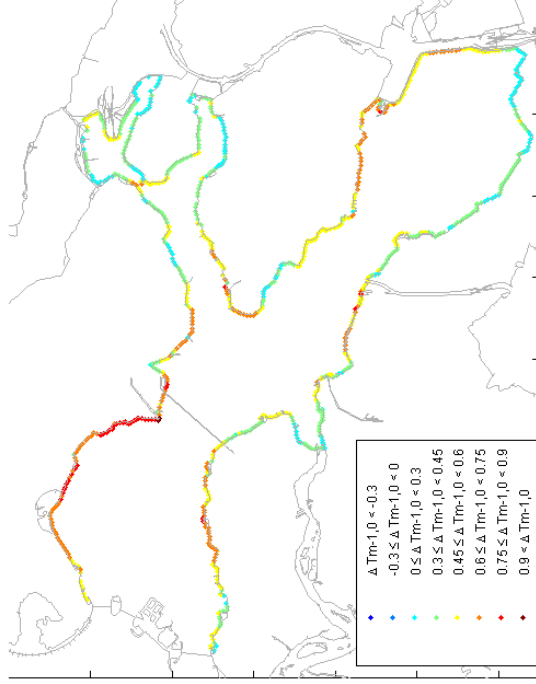
$\Delta Tm-1,0$
Waterstand: 2→NAP



$\Delta Tm-1,0$
Waterstand: 3→NAP

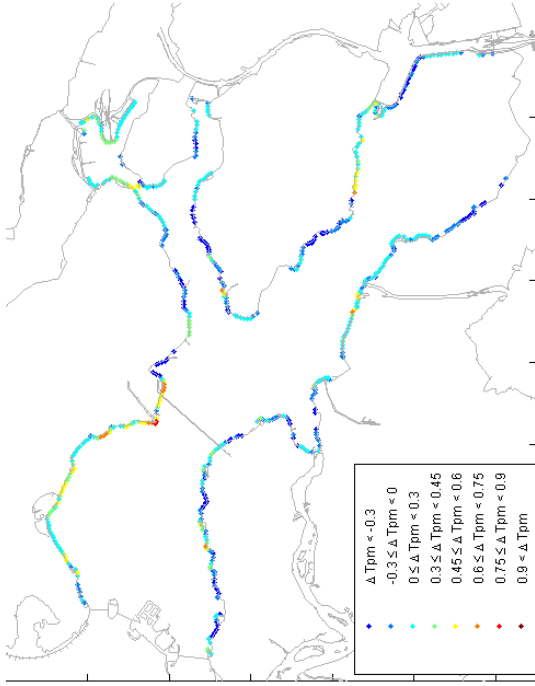


$\Delta Tm-1,0$
Waterstand: 4→NAP

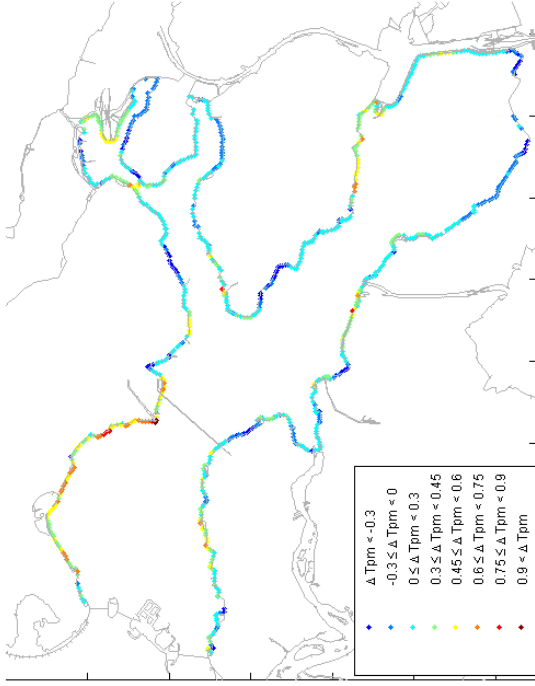


Bijlage 11: Verschiplots $Tm-1,0$ (Sva 2012- Sva 2010) bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m

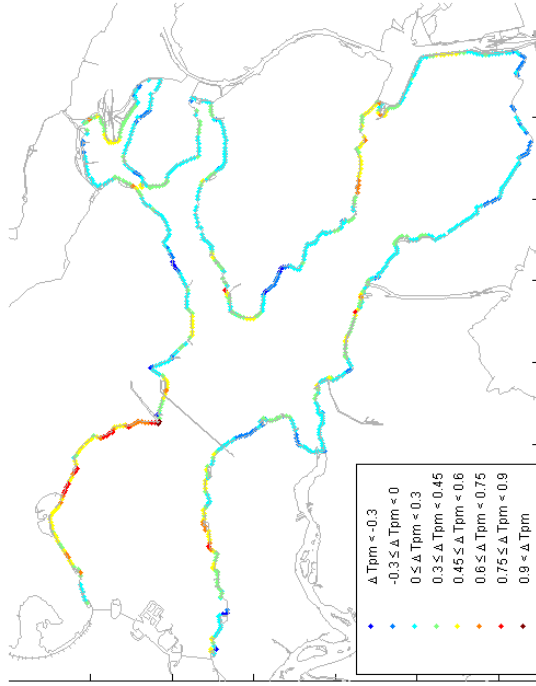
Δ Tpm
Waterstand: 0→NAP



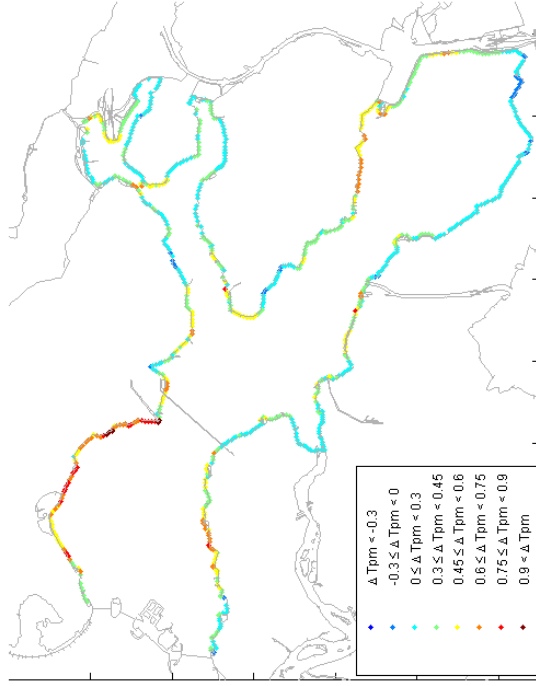
Δ Tpm
Waterstand: 2→NAP



Δ Tpm
Waterstand: 3→NAP

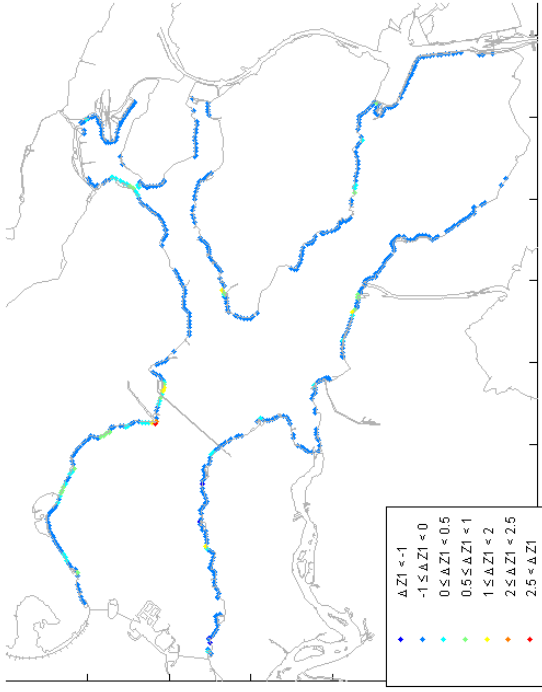


Δ Tpm
Waterstand: 4→NAP

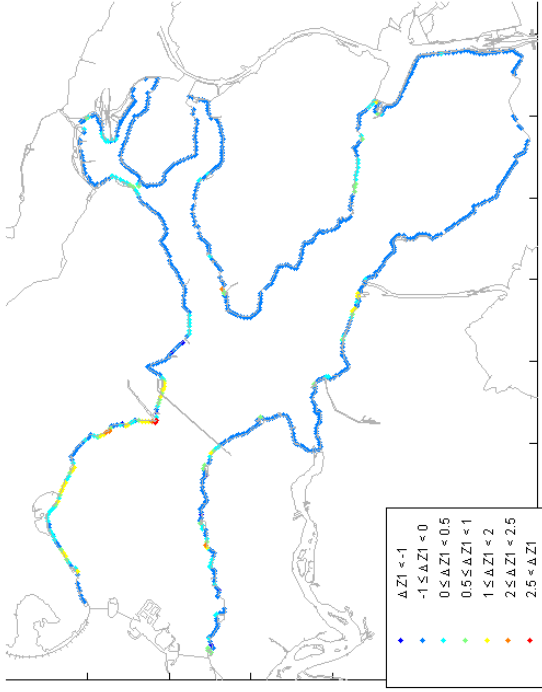


Bijlage 12: Verschiplots Tpm (Sva 2012- Sva 2010) bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m

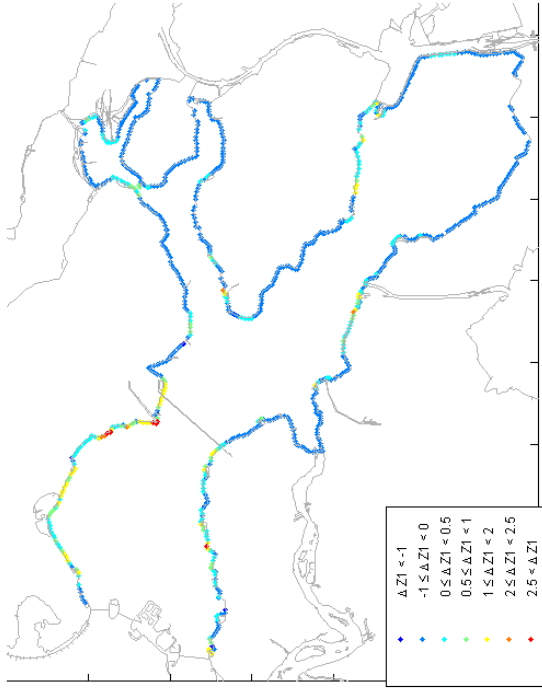
Δ Z1
Waterstand: 0→NAP



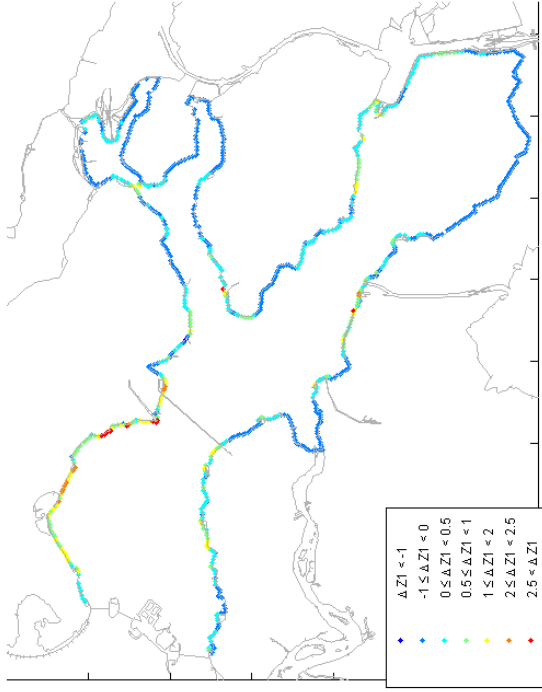
Δ Z1
Waterstand: 2→NAP



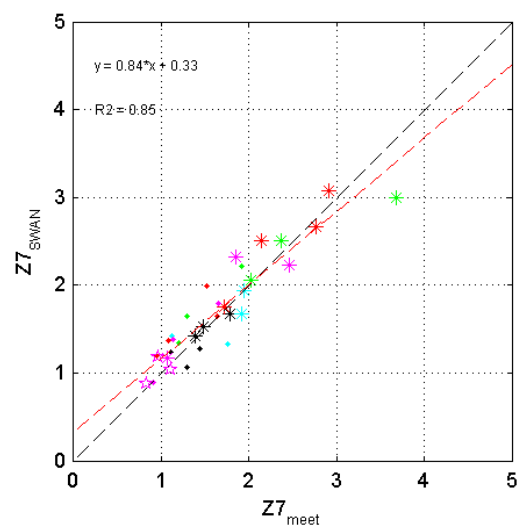
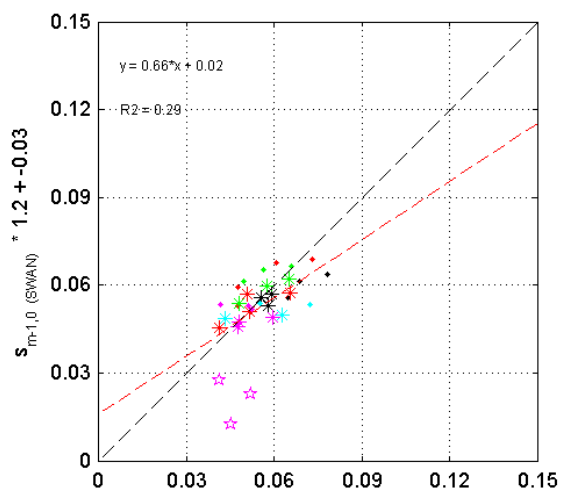
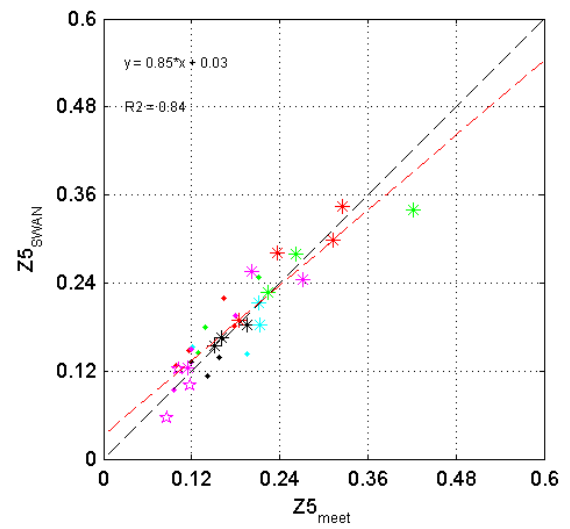
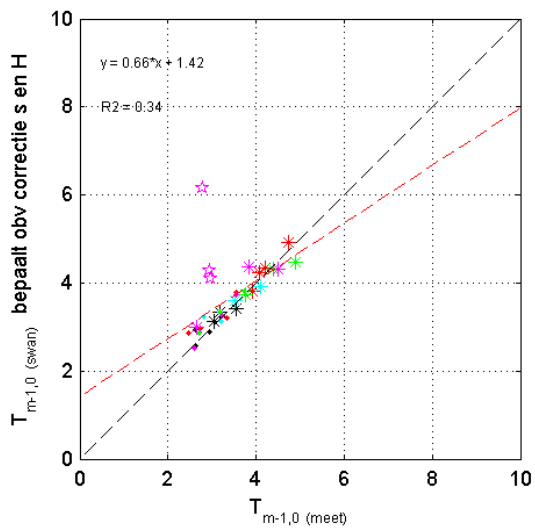
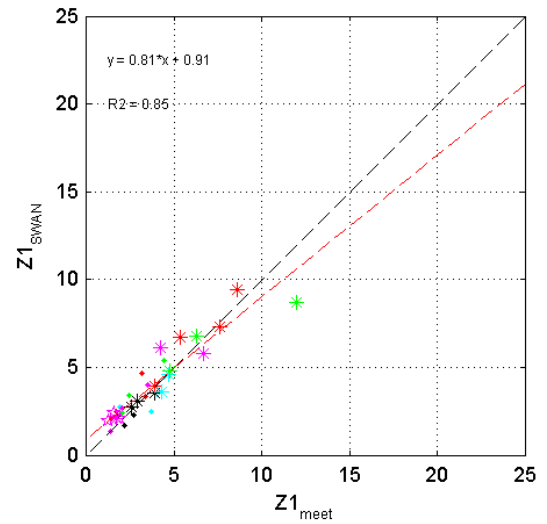
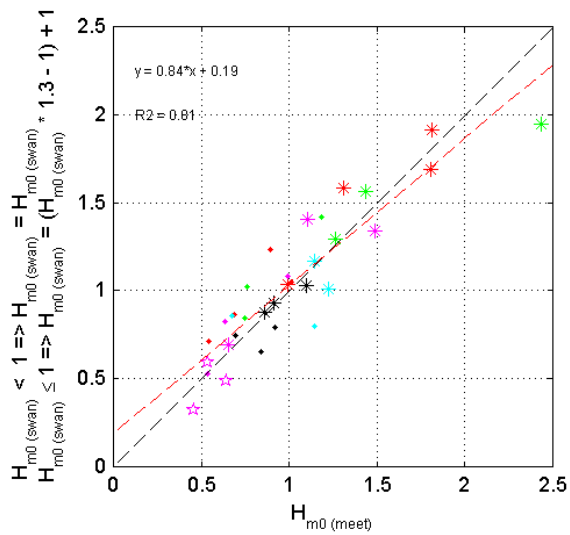
Δ Z1
Waterstand: 3→NAP



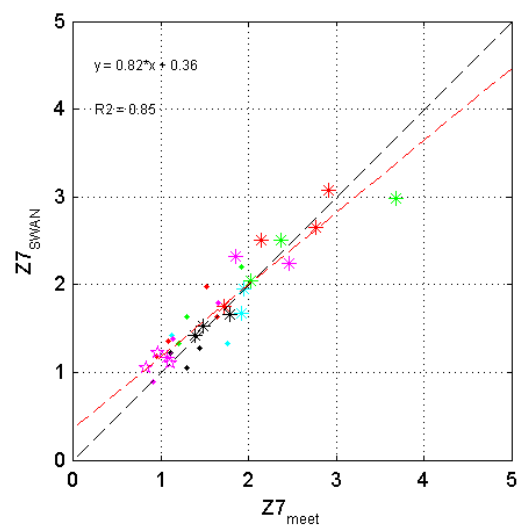
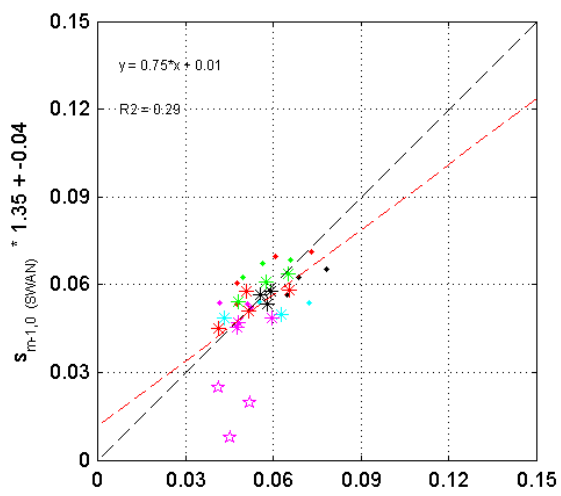
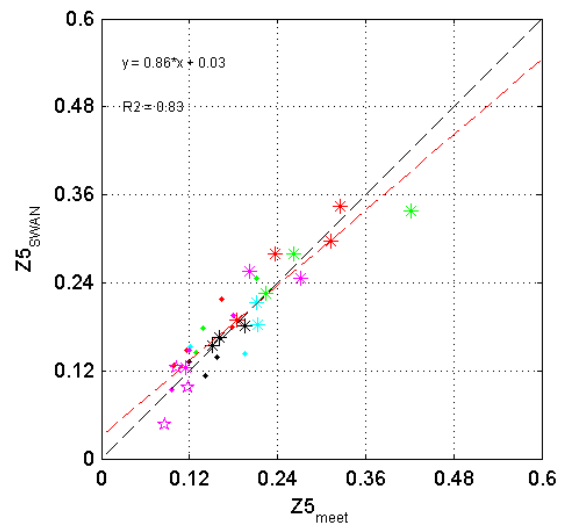
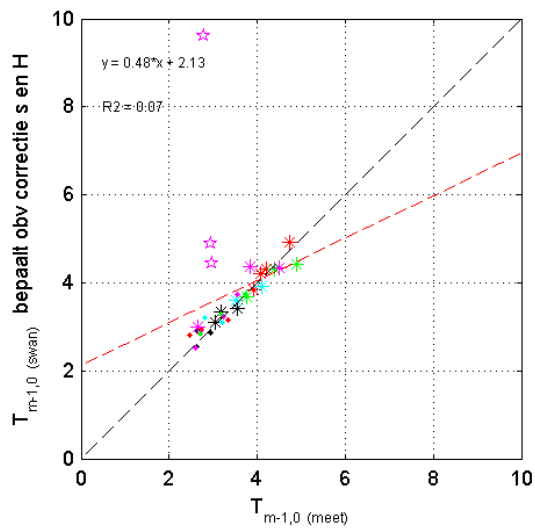
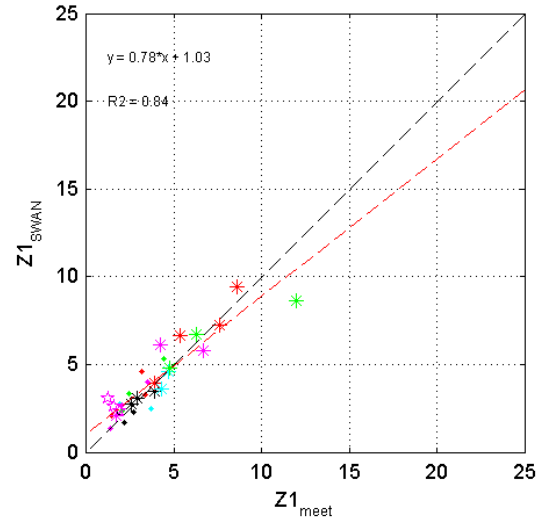
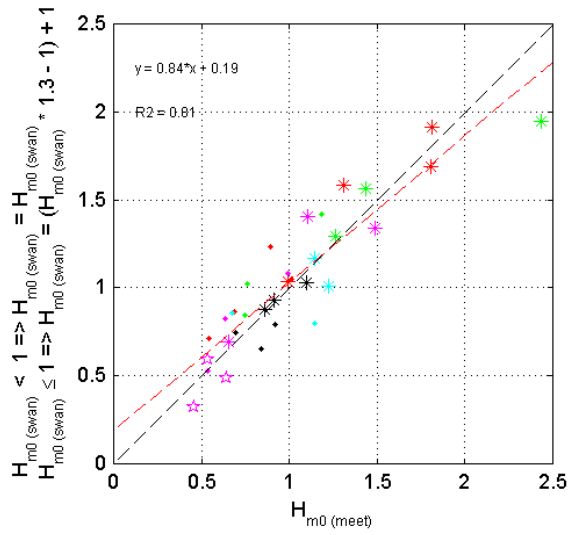
Δ Z1
Waterstand: 4→NAP



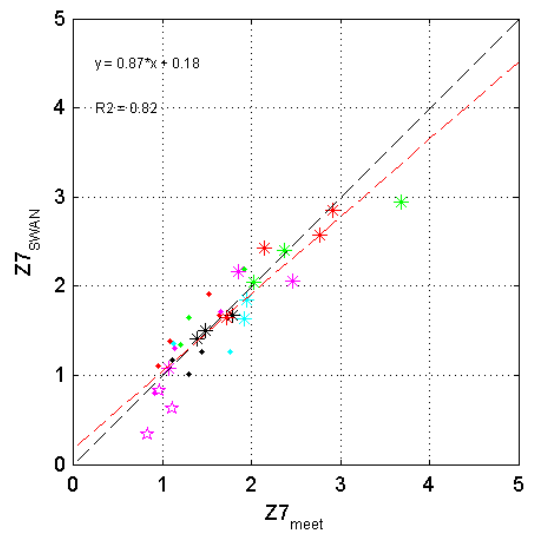
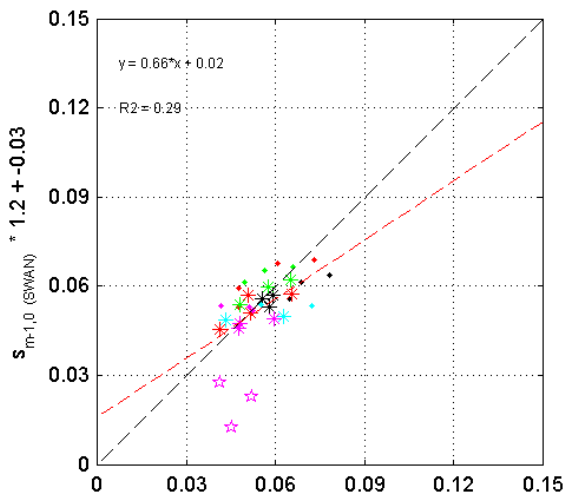
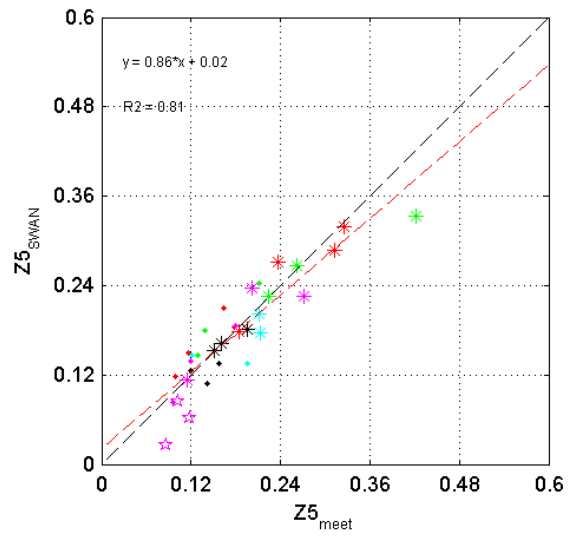
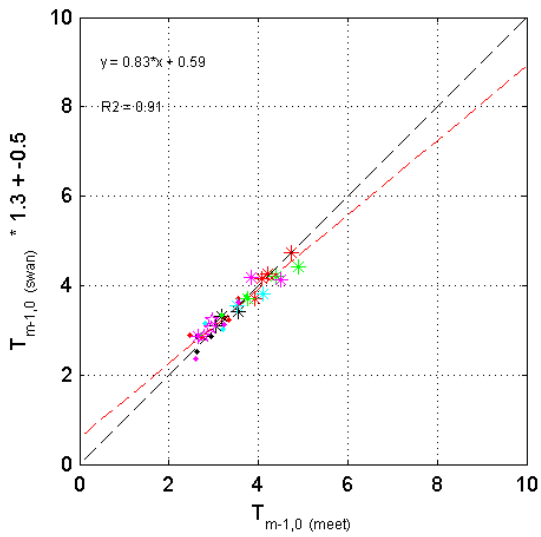
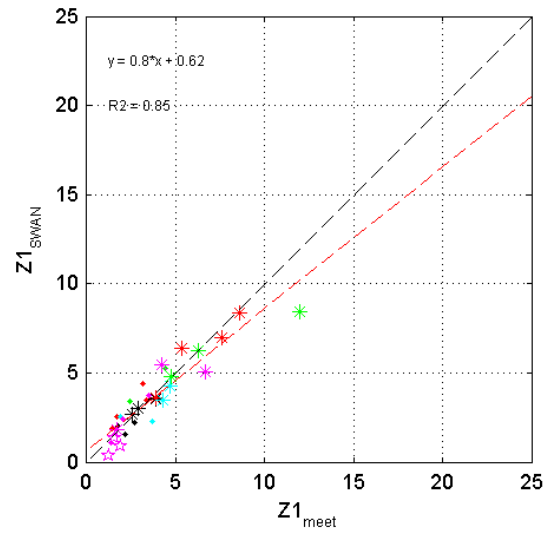
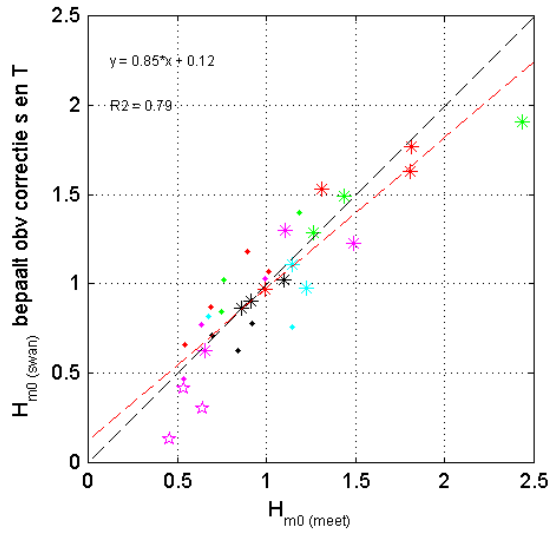
Bijlage 13: Verschiplots Z1 (Sva 2012- Sva 2010) bij waterstanden NAP +0, +2, +3, +4m



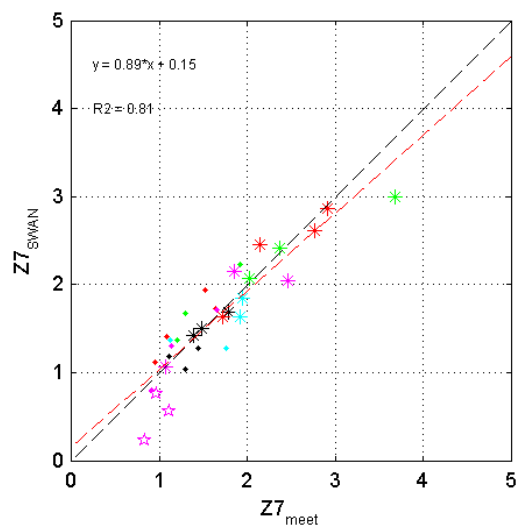
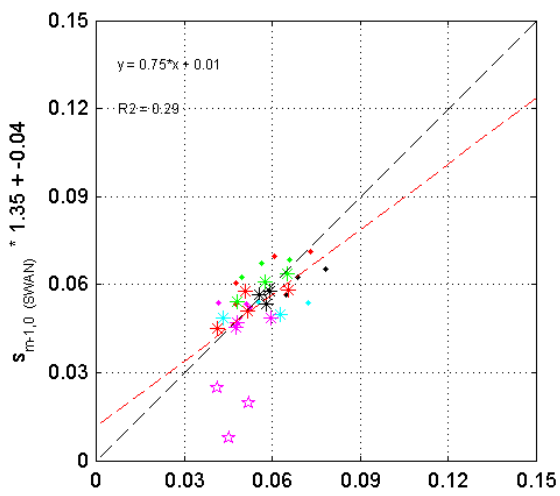
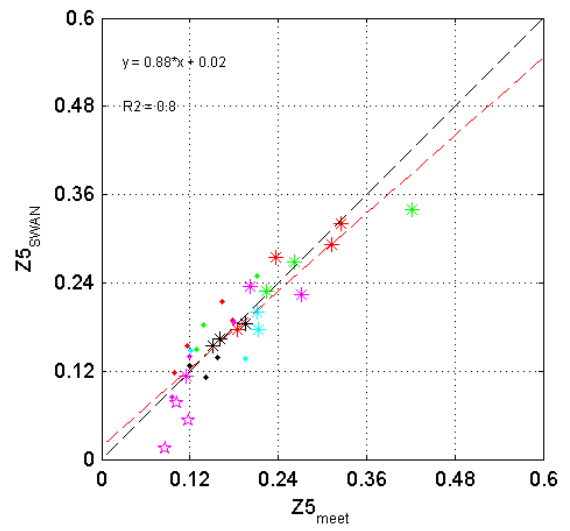
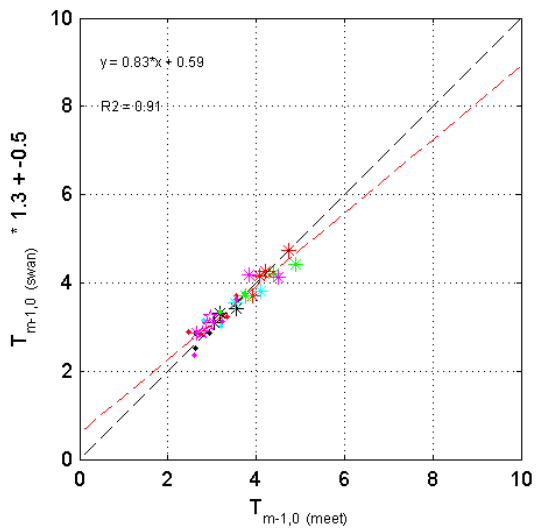
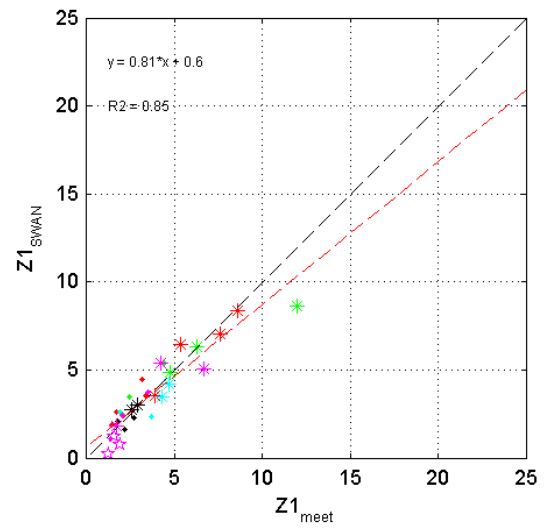
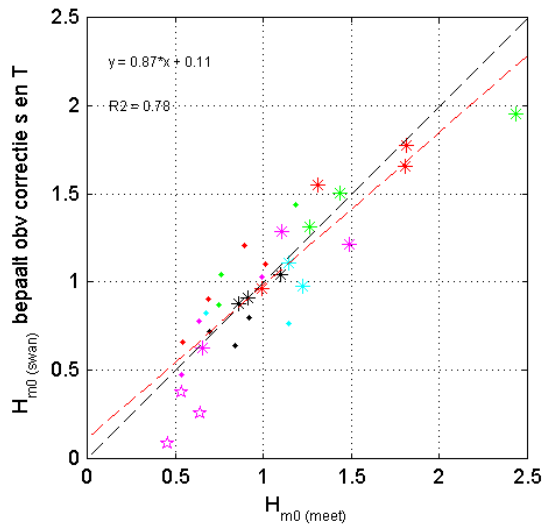
Bijlage 14: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 1, methode 1



Bijlage 15: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 2, methode 1



Bijlage 16: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 1, methode 2



Bijlage 17: Scatterplots correctie op lokale golfsteilheid, correctie 2, methode 2