

Evaluatie van de ontwerpwaarden voor golfcondities in de Westerschelde

Een evaluatie van de mate van robuustheid op
basis van het narekenen van de stormen van 28
mei 2000, 28 dec. 2001 en 27 okt. 2002

15 december 2003

Colofon

Uitgegeven door:

Rijksinstituut voor Kust en Zee
Kortenaerkade 1
2518 AX 's Gravenhage

Informatie:

Telefoon: 070-3114311
Fax: 070-3114321

Auteur:

Sjaak Jacobse

Status:

Definitief

Datum:

15 december 2003

Inhoudsopgave

Samenvatting 5

1	Inleiding	9
1.1	Veldmetingen i.r.t. golfcondities Westerschelde	9
1.2	Doelstelling	10
1.3	Aanpak	10
1.4	Leeswijzer	11
2	Inventarisatie en validatie meetgegevens	13
2.1	Inleiding	13
2.2	Selectie stormperioden	13
2.3	Validatie van meetgegevens	14
3	Doelstelling en aanpak modelberekeningen	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Wat is SWAN?	15
3.3	Gebruikte versies van SWAN	16
3.4	Doelstelling	16
3.5	Opzet van de studie	17
3.6	Opzet analyse	19
4	Bevindingen van de rekenexercitie	21
4.1	Inleiding	21
4.2	Bevindingen Royal Haskoning	21
4.2.1	Algemeen	21
4.2.2	Opsplitsing in gebieden	22
4.2.3	Typerende situaties	22
4.3	Betrouwbaarheidsparameters	22
5	Nadere analyse modelresultaten Royal Haskoning	23
5.1	Inleiding	23
5.2	Zijn de gebruikte gegevens voldoende betrouwbaar?	24
5.3	Zijn de juiste golfparameters met elkaar vergeleken?	25
5.4	Zijn de gebruikte waterstanden correct?	25
5.5	Stromingscorrectie	26
5.6	Opdeling in gebieden	26
5.7	Gevoeligheid van andere omgevingsfactoren	28
5.8	Gebruik van Default-instellingen	30
5.9	Invloed van de nadere analyse op de betrouwbaarheidsparameters	31
6	Invloed betrouwbaarheid op de golfbelasting	33
6.1	Inleiding	33
6.2	Betrouwbaarheid belastingsfunctie binnen het meetbereik	33

6.3	Effect van toegepaste correctie $T_{gm} + 1$ seconde	34
6.4	Betrouwbaarheid golfcondities buiten het meetbereik	36
6.5	Van gebiedsindeling naar dijkvakken	38
6.6	Verborgens veiligheidsmarges	39
7	Conclusies en aanbevelingen	43
7.1	Inleiding	43
7.2	Algemene conclusies	43
7.3	Conclusies betrouwbaarheid golftabel per deelgebied	44
7.3.1	Westerschelde monding	44
7.3.2	Binnengebied Westerschelde voor dijkvakken aan diep water	44
7.3.3	Binnengebied Westerschelde voor dijkvakken aan ondiep water	45
7.4	Aanbevelingen	45

Referenties 45

Bijlagen 47

Samenvatting

Aanleiding

In 1997 en 1998 heeft het RIKZ golfcondities berekend voor het ontwerpen van nieuwe bekledingen voor dijken aan de Westerschelde [2, 3]. Deze waarden zijn bepaald met het toenmalig relatief nieuwe wiskundige model voor golven op ondiep water: SWAN (Simulating WAves Nearshore). In de beginfase van het verbeteringstraject zijn in de Westerschelde in opdracht van projectbureau Zeeweringen enkele meetlocaties voor golven ingericht. Het doel hiervan was o.a. om met behulp van de meetgegevens de kwaliteit van de ontwerpwaarden te kunnen beoordelen. Dit hield uiteraard ook direct verband met het feit dat het vertrouwen in het golfmodel nog moest groeien.

Momenteel is het projectbureau ver gevorderd met de verbeteringswerken aan de Westerschelde en wordt een start gemaakt met de Oosterschelde. Voorafgaand aan de werkzaamheden voor de Oosterschelde heeft het projectbureau aan het RIKZ gevraagd om de afgegeven ontwerpwaarden voor de Westerschelde te evalueren.

Aanpak

De kwaliteit van de afgegeven golfbelastingen is in deze studie geëvalueerd door middel van een vergelijking van meetgegevens tijdens een drietal opgetreden stormen, met berekeningen met SWAN. De opgetreden stormen belasten de waterkering (uiteraard) niet even zwaar als de belastingen die tijdens *'maatgevende omstandigheden'* zouden kunnen optreden, dus voor een algemeen geldende uitspraak is dit nog niet voldoende. Daarom is er verder nog een analyse uitgevoerd op basis waarvan de resultaten bij opgetreden waarden naar meer extreme waarden kunnen worden geëxtrapoleerd. Hiermee wordt een uitspraak over de kwaliteit van de ontwerpwaarden voor de golfbelastingen mogelijk.

De werkzaamheden hebben bestaan uit verschillende fasen:

- Selectie en validatie van stormmetingen door het RIKZ.
- Uitvoeren van de vergelijking tussen de metingen en SWAN door Royal Haskoning [6].
- Analyse en advisering door het RIKZ.

Resultaten

In tabel 1 is een samenvatting van de resultaten van deze studie weergegeven. Als maat voor de betrouwbaarheid is hier het verschil tussen de gemeten waarden en de met SWAN berekende waarden weergegeven in procenten. Een negatief getal duidt daarmee op een onderschatting van de berekende waarden t.o.v. de werkelijkheid.

Tabel 1 resultaten vergelijking metingen en SWAN

Gebied	Gemiddelde afwijking SWAN t.o.v. de metingen [%]			Marge op $H_s * T_{pm}$ door correctie T_{pm} met +1 sec. [%]
	Golfhoogte H_s	Golfperiode T_{pm}	Hydraulische belasting $H_s * T_{pm}$	
Monding	-4	-14	-22	Ca. +12 (bij $T_{pm} = 8$ seconden)
Westerschelde locaties aan diep water	-15	-4	-21	Ca. +16 (bij $T_{pm} = 6$ seconden)
Westerschelde locaties aan ondiep water	+4	-13	-8	Ca. +20 (bij $T_{pm} = 5$ seconden)

Uitleg tabel

De rijen hebben betrekking op drie onderscheiden gebieden. De kolommen 2, 3 en 4 hebben betrekking op respectievelijk de golfhoogte H_s , de golfperiode T_{pm} , en het produkt van beide: $H_s * T_{pm}$ (dit is een maat voor de hydraulische belasting). In de laatste kolom wordt de marge weergegeven die reeds toegepast is bij de afgegeven ontwerpwaarden door de correctie van de golfperiode met +1 seconde. De waarde die hier weergegeven is, is het aandeel van deze seconde ten opzichte van de representatieve waarde voor het betreffende gebied. De gepresenteerde waarden in de laatste kolom voor deze marge in procenten mogen vergeleken worden met het tekort in procenten van de hydraulische belasting $H_s * T_{pm}$.

Conclusies

De in 1997 en 1998 geleverde ontwerpwaarden voor de golfrandvoorwaarden in de Westerschelde bevatten diverse veiligheidsmarges. Waarnemingen ter plaatse tonen aan dat het golfmodel SWAN de werkelijkheid met name in de monding meer onderschat dan destijds werd verwacht. In mindere mate geldt dit ook voor dijken in de Westerschelde die direct aan diep water liggen. De toegepaste marge op de golfperiode compenseert wel een deel van de onderschatting, maar niet alles. De andere marges zijn nog niet goed te kwantificeren, maar bieden gezamenlijk wel een extra marge. Daarom is er vooralsnog geen concrete aanleiding te veronderstellen dat het totaal van de marges niet volstaat.

Het overgrote gedeelte van de dijken aan de Westerschelde ligt aan relatief ondiep water. Voor deze dijken zijn de reeds afgegeven ontwerpwaarden wel voldoende robuust.

De conclusie is dat als er nu opnieuw ontwerpwaarden zouden moeten worden afgegeven, er een ruimere marge op de berekende waarden zou worden toegepast, omdat hierbij alleen van de kwantificeerbare marges zou worden uitgegaan. Daarnaast wordt geconcludeerd dat er niet direct aan de veiligheid van de reeds aangelegde dijkvakken behoefte te worden

getwijfeld, omdat er naast marges in de ontwerpwaarden nog diverse andere marges in het ontwerpproces zijn opgenomen.

1 Inleiding

1.1 Veldmetingen i.r.t. golfcondities Westerschelde

Vanaf 1998 worden er golfmetingen uitgevoerd in de Westerschelde in opdracht van projectbureau Zeeweringen. Het gaat hierbij om 4 locaties waarbij vlak voor de zeewering golven gemeten worden: Cadzand, Hoofdplaat, Hansweert en Bath. Deze golfmetingen hebben tot doel de adviezen, die RIKZ aan projectbureau Zeeweringen geeft via werkgroep Kennis, te ondersteunen. Daarnaast hebben deze metingen tot doel de kwaliteit en betrouwbaarheid van de in 1997 en 1998 afgeleverde ontwerp- golfcondities [2, 3] aan te geven.

Deze ontwerp-golfcondities zijn in 1997 onder grote tijdsdruk berekend omdat de eerste dijkvakken al in 1997 verbeterd dienden te worden. Er is toen gekozen om snel aan de slag te gaan met alle kennis die toen voorhanden was. Het gebruikte golfmodel SWAN was in 1997 een geheel nieuw golfmodel waarmee het voor het eerst mogelijk zou moeten zijn om, in een complex gebied als de Westerschelde, golven te berekenen gebaseerd op die fysica die in dat gebied relevant is. Met de voorloper van het golfmodel SWAN: HISWA, was het nagenoeg niet mogelijk om op een betrouwbare wijze golven te berekenen in de Westerschelde.

De keuze om voor de Westerschelde en Oosterschelde met SWAN te gaan rekenen is een arbitraire keuze geweest. Alternatieven waren niet voorhanden waren. De vraag hoe goed SWAN eigenlijk is en indirect: "hoe goed de afgeleverde golfrandvoorwaarden zijn" is echter hiermee nog niet beantwoord. In 1997 was het ook niet mogelijk om hierover een uitspraak te doen omdat golfmetingen in het interessegebied vlak voor de dijk niet voorhanden waren.

Nu er enkele stormen beschikbaar zijn, waarbij windsnelheden gemeten zijn van 8 à 9 Beaufort, is het wel mogelijk om de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN en de geleverde randvoorwaarden aan te geven. Hoewel deze stormen niet het kaliber hebben van ontwerpstormen zijn er tijdens deze stormen dermate hoge golven opgetreden dat schade aan reeds afgekeurde dijkbekledingen opgetreden is. Denk hierbij aan de schade bij de Sloedam tijdens de kerststorm van 1999, de storm van 28 december 2001 en 26 februari 2002.

Eenzijds werd, en wordt, door intuïtie verwacht dat de afgegeven ontwerpwaarden aan de veilige kant zijn, omdat er conservatieve aannames gedaan zijn. Denk hierbij aan de toegepaste verlaagde bodem etc. Anderzijds bestonden er ook nog een aantal onzekerheden waarvan de invloed niet bekend was (en) is. Om meer inzicht te krijgen in de

betrouwbaarheid van de ontwerpgetallen voor steenbekledingen heeft het projectbureau Zeeweringen aan het RIKZ gevraagd om de mate van betrouwbaarheid van de golfcondities te onderzoeken op basis van de beschikbare vijf jaar aan veldmetingen.

1.2 Doelstelling

Het onderzoeken van de betrouwbaarheid van zowel het golfmodel SWAN als de aan het projectbureau Zeeweringen afgeleverde golfcondities is verwoord in de onderstaande doelstelling.

Door middel van het maken van een aantal hindcasts, van gemeten stormen, een beeld te geven over de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN en de mate van robuustheid van de, in 1997 en 1998 afgegeven, golfbelastingen.

1.3 Aanpak

De betrouwbaarheid van modelresultaten bepalen is geen eenvoudige zaak. Enerzijds omdat de golfcondities berekend zijn bij "maatgevende" stormcondities en dus moeilijk vergelijkbaar zijn met werkelijk opgetreden stormen. Anderzijds omdat de betrouwbaarheid van de resultaten sterk afhankelijk is van de betrouwbaarheid van de afzonderlijke gegevens die het model gebruikt. Om de betrouwbaarheid van de reeds afgeleverde golfcondities te bepalen is de aanpak gevolgd die in het onderstaande schema beschreven is.

Stap 1

RIKZ, Validatie van metingen

Verzameling metingen:
golven, wind, waterstand
en bodem

Stap 2

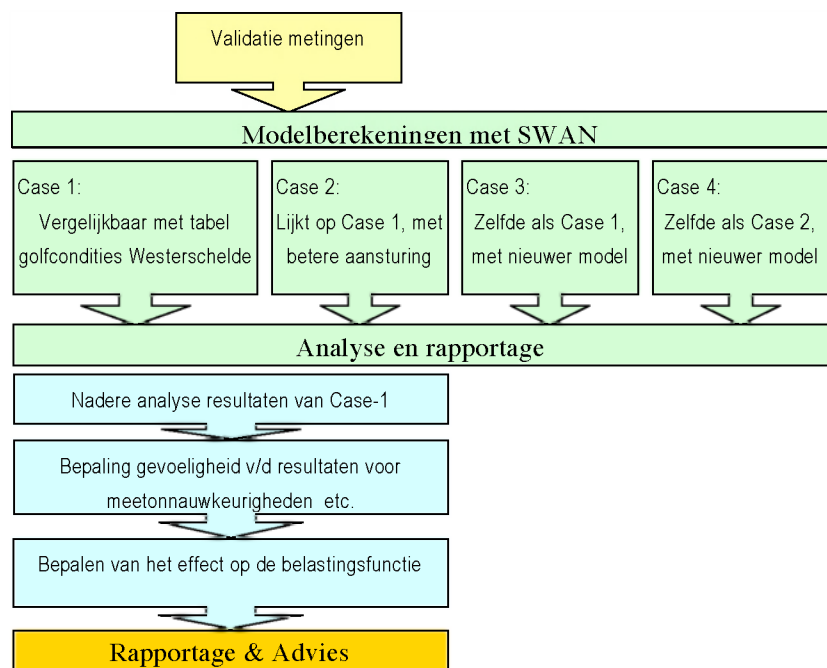
Royal Haskoning,
uitvoeren
modelberekeningen +
eerste analyse

Stap 3

RIKZ, nadere analyse van
resultaten van stap 2

Stap 4

RIKZ, advies



Voor het beantwoorden van de gestelde vraag zijn dus globaal drie stappen nodig alvorens er een advies uitgebracht kan worden. In september en oktober 2002 is stap 1 uitgevoerd door het RIKZ. Daarna is opdracht gegeven aan Royal Haskoning om de berekeningen uit te voeren en een eerste interpretatie te geven van de resultaten. De studie van Royal Haskoning is in juni 2003 afgerond met een rapport. [6] Op basis van dit rapport is het RIKZ in juli 2003 begonnen met een studie naar de gevoeligheid en hardheid van de resultaten van Case-1. Deze gevoeligheidsstudie wordt gerapporteerd in dit adviesrapport.

1.4 Leeswijzer

De beantwoording van de onderzoeksvraag wordt in dit rapport behandeld door eerst de aanleiding te beschrijven. Daarna volgt in hoofdstuk twee een beschrijving van de validatie van meetgegevens door het RIKZ. In hoofdstuk drie worden doelstelling en aanpak van de modelberekeningen door Royal Haskoning besproken. Daarna worden in hoofdstuk 4 de constatering, die Royal Haskoning gedaan heeft op basis van de berekeningen, weergegeven. In hoofdstuk 5 wordt de algemene geldigheid en gevoeligheid van deze constatering verder onderzocht. Het effect van de berekende betrouwbaarheid op de belastingsfunctie wordt beschreven in hoofdstuk 6. Tenslotte worden in hoofdstuk 7 conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Inventarisatie en validatie meetgegevens

2.1 Inleiding

Het bepalen van de betrouwbaarheid van een modeluitkomst wordt gedaan door in het model een gemeten situatie na te bootsen (*Hindcast*), zodat de uitkomsten van het model vergeleken kunnen worden met de metingen. Hiervoor is het noodzakelijk dat de metingen betrouwbaar zijn. De metingen worden immers gebruikt als referentie voor de berekeningen. Gemiddeld genomen zijn golfmetingen tijdens storm vrij nauwkeurig. De onnauwkeurigheid hiervan is afhankelijk van het meetprincipe en de schattingsnauwkeurigheid van de golfparameter.

De nauwkeurigheid van de golfhoogte wordt bepaald met de volgende formule [4]:

$$\sigma_{(H1/3)} = \frac{1}{2 * \sqrt{n}}$$

n = aantal golven waarover de H1/3 wordt berekend

Deze formule ingevuld voor de Westerschelde levert een nauwkeurigheid op van circa 5% voor de golfhoogte. De schattingsnauwkeurigheid van de golfperiode T_{pm} op basis van T_{pb} ligt in dezelfde orde van grootte [14]

2.2 Selectie stormperiodes

Op basis van de windmetingen die door het KNMI gemeten zijn bij de Vlake van de Raan, Hansweert en Terneuzen is een selectie gemaakt van de stormdagen. Daarbij was de windsnelheid bij alle stations gedurende enkele uren hoger dan 15 m/s op 10 meter hoogte (U10). Deze selectie van stormdagen is weergegeven in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Gemeten stormen in de Westerschelde periode 1998 - 2002

Nr	Stormdagen	Aantal uren windsnelheid groter dan 15 m/s [uur]	Gemiddelde Windrichting [gr.]	Gemiddelde windsnelheid [m/s]
1	25 okt. 1998	8	265	17.8
2	3 dec. 1999	8	228	17.7
3	24 dec. 1999 25 dec. 1999	10	202	18.5
4	2 mrt. 2000 3 mrt. 2000	11	233	17.3
5	28 mei 2000	7	240	19.0
6	29 okt. 2000 30 okt. 2000	20	204	18.4
7	28 dec. 2001	6	275	17.1
8	28 jan. 2002	9	242	16.5
9	26 feb. 2002	7	243	17.9
10	27 okt. 2002	16	251	21.7

Niet alleen de windsnelheid is bepalend voor de selectie van een interessante stormperiode, maar ook de gemeten golfhoogte bij de ondiepe locaties van Hansweert, Bath en Hoofdplaat. De hoogste golven worden gemeten bij stormen, waarbij de storm optreedt binnen de vloedperiode en/of waarbij er een significante stormopzet van de waterstand opgetreden is. Hierdoor zijn de stormperiode met overwegend een zuidelijke windrichting niet interessant. Bij deze stormen (24,25 dec. 1999 en 29, 30 oktober 2000) zijn alleen hoge golfhoogtes gemeten bij de diepere locaties en in de monding van de Westerschelde. Vlak bij de dijk waren de golfhoogtes bij deze stormen door afwaaiing van de waterstand echter gering. Bij de stormperiode van 3 december 1999 is er veel uitval van instrumenten opgetreden bij meetlocaties in de monding van de Westerschelde. Hierdoor wordt deze periode minder bruikbaar voor deze studie. De hoogste golven bij Hansweert, Bath en Hoofdplaat zijn gemeten tijdens de hoogwaters van de stormperiodes 5, 7, 8, 9 en 10. Uiteindelijk zijn na overleg met het projectbureau Zeeweringen de stormen van 28 mei 2000, 28 december 2001 en 27 oktober 2002 gekozen voor deze studie.

2.3 Validatie van meetgegevens

Voor de drie geselecteerde stormperiodes zijn een aantal dagen rondom de storm geselecteerd. Voor de meeste stormen gaat het hierbij om vier dagen. Van deze vier dagen is de ruwe data opgehaald uit de database van het HMCZ¹. Deze ruwe data is als volgt gecontroleerd:

1. Controle op uitschieters en tijdfouten.
2. Controle op stagnaties en controle op fysisch onmogelijke verspringingen (deltatest).
3. Op basis van bovenstaande controles worden het aantal valide waarden en andere kwaliteitsparameters bepaald.
4. Voor tijdstippen (blokken van 20 minuten) waarbij de kwaliteit van de data, volgens de controle, goed is (90% valide waarden), wordt het golfspectrum uitgerekend.
5. Op basis van dit golfspectrum worden spectrale golfparameters als golfhoogte en golfperiode uitgerekend.

Een gedetailleerde beschrijving van zowel de inventarisatie van de metingen als de validatie van de metingen, is te vinden in een samenvatting van de door Roskam en Hoekema opgestelde validatieverslagen in bijlage 1.1 tot 1.3

¹ Het Hydro Meteo Centrum Zeeland verzorgt de inwinning van de veldmetingen die in opdracht van het RIKZ door de Meetinformatiedienst van Directie Zeeland gemeten worden. Voor data uit de database zie: www.hmcz.nl

3 Doelstelling en aanpak modelberekeningen

3.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 1.3 aangegeven is, vormt de modelexercitie een belangrijk gedeelte van de totale studie. Bij deze modelberekeningen wordt op verschillende wijzen de storm nagebootst met het golfmodel SWAN. In dit hoofdstuk wordt beschreven wat het doel van deze *hindcaststudie* was en op welke wijze de berekeningen uitgevoerd zijn. Allereerst zal een korte uitleg gegeven worden van het golfmodel SWAN en de gebruikte versies.

3.2 Wat is SWAN?

SWAN is een wiskundig/fysisch rekenmodel en staat voor Simulating WAves Nearshore. Dit golfmodel is ontwikkeld door de Technische Universiteit Delft [5]. Het modelleert op een tweedimensionaal rooster het golfveld. SWAN is in tegenstelling tot zijn voorganger HISWA volledig spectraal in richting en frequentie. Dit maakt het model geschikt om realistische schattingen te maken van golfparameters voor kustgebieden, meren en estuaria bij gegeven wind-, bodem- en stromingcondities. De golfparameters worden berekend in het frequentiedomein. De belangrijkste zijn de significante golfhoogte H_s , de golfperiodes T_p en T_m en de gemiddelde golfrichting T_h .

In het SWAN-model zijn de volgende golf-voortplantingsprocessen opgenomen:

- voortplanting in de geografische ruimte (x,y) ,
- refractie door bodem- en stromingsvariaties,
- shoaling door bodem- en stromingsvariaties,
- blocking en reflectie van golven door stroming.

De volgende effecten van golfgroei en dissipatie zijn opgenomen in het model:

- opwekking van golfenergie door wind,
- dissipatie van golfenergie door whitecapping (het breken van golven in diep water),
- dissipatie van golfenergie door diepte geïnduceerd breken van golven (het breken van golven in ondiep water),
- dissipatie van golfenergie door bodemwrijving.

In SWAN kunnen verschillende fysische formuleringen voor de processen van groei en dissipatie van golven gekozen worden. In deze studie zijn, evenals bij het berekenen van de ontwerpwaarden in 1997-1998, de

berekeningen uitgevoerd volgens de volgende standaard instellingen van SWAN [tabel 3.1].

Tabel 3.1
Fysica in SWAN 30.62 en updates

<i>Proces</i>	<i>Referentie</i>	<i>Instelling</i>
Exponentiele windgroei	Komen et.al. (1984)	Vast
Whitecapping	Komen et.al. (1984)	$C_{ds2} = 2,36 \cdot 10^{-5}$
Quadruplet interactie	Hasselmann et. al. (1985)	$\mu = 0,25$
Triad interactie	Elderberky (1996)	$\alpha_{EB} = 0,25$
Breken in ondiep water	Battjes & Janssen (1978)	$\gamma = 0,73$

3.3 Gebruikte versies van SWAN

In de *hindcaststudie* is gebruik gemaakt van twee verschillende versies van SWAN; 30.62 en 40.16. De eerstgenoemde versie is dezelfde versie die ook gebruikt is om golfcondities voor de Wester- en Oosterschelde af te leiden. De laatstgenoemde versie is een update van de, tijdens de studie, meest recente versie van SWAN (versie 40.11). Deze versie 40.16 is door de TUD aan RIZA aangeleverd, i.v.m. instabiliteiten van versie 40.11 op ondiep water.

Qua fysica is versie 40.16 vrijwel gelijk aan versie 30.62. Vanaf 1998 zijn er een reeks aanpassingen aan SWAN gepleegd die vooral het doel hadden om het model ook voor andere toepassingen te kunnen gebruiken². Zo zijn bijvoorbeeld golf-setup en reflectie geïmplementeerd. Wel zijn er na 30.62 een aantal aanpassingen gedaan aan het wiskundige rekenschema in SWAN. Met 40.16 is het mogelijk om op ondieper water, zoals de Westerschelde, zowel de drie-golfwisselwerkingen (triads) als de vier-golfwisselwerkingen (quadruplets) naast elkaar te laten functioneren, zonder dat het model hierdoor instabiel wordt.

Medio juni 2003 is er door de TUD een nieuwe versie van SWAN uitgebracht (40.20). Deze versie wordt in komende maanden gekalibreerd en afgeregeld voor operationeel gebruik.

3.4 Doelstelling

Met behulp van de verzamelde veldmetingen is de betrouwbaarheid, van zowel het golfmodel SWAN als de wijze waarop het door het RIKZ toegepast is, onderzocht. De doelstelling van de *hindcaststudie* die door Royal Haskoning in opdracht van het RIKZ uitgevoerd is betrof met name de betrouwbaarheid van de toepassing van het golfmodel SWAN bij het berekenen van ontwerp-golfcondities voor dijken aan de Westerschelde op basis van *hindcasts*.

Deze doelstelling is aan Royal Haskoning verwoord in drie vragen:

² Meer informatie over de sinds versie 30.62 doorgevoerde wijzigingen is te vinden op de site van de TUD: <http://fluidmechanics.tudelft.nl/swan/>

-
1. Hoe betrouwbaar zijn de golfbelastingen zoals deze nu gebruikt worden door projectbureau Zeeweringen?
 2. Hoe betrouwbaar is het golfmodel SWAN op zich? (afgezien van de wijze waarop het toegepast wordt).
 3. Levert de modernere versie van SWAN betere resultaten op dan de voor projectbureau Zeeweringen gebruikte versie?

Aangezien het in deze studie gaat om de toepassing van een model bij de berekening van golfcondities t.b.v. het ontwerpen van steenbekledingen en niet om een theoretische exercitie, is het model toegepast volgens de voorschriften van de TUD. Dit betekent dat het model toegepast wordt zoals dat in de handleiding beschreven is en dat er geen gebruik gemaakt wordt van andere instellingen dan de standaardinstellingen. De reden hiervoor is dat bij toepassing van een model voor de Hydraulische Randvoorwaarden (of voor ontwerpcondities) uitgegaan wordt van het feit dat het te gebruiken golfmodel (SWAN) voldoende betrouwbaar is en algemeen geaccepteerd wordt. Bij een valide model levert het gebruik van standaardinstellingen de beste resultaten op. Dat het gebruik van standaardinstellingen leidt tot de beste resultaten is eerder geconstateerd bij de voorbereidingen van de berekening van de ontwerp-golfcondities in 1997 [1]

3.5 Opzet van de studie

Om aan de doelstelling te kunnen beantwoorden was het nodig om meerdere exercities uit te voeren per storm. In 2002 is in opdracht van het RIKZ, door ALKYON & WLIDelft, een generieke methode bedacht voor het hindcasten van gemeten stormen. [16] Op basis van deze methode is ervoor gekozen om alle stormen vier maal door te rekenen, waarbij telkens het golfmodel SWAN anders toegepast wordt. Deze verschillende typen berekeningen met SWAN zijn in deze studie *cases* genoemd. Een vergelijkbare aanpak is ook gevolgd bij het bepalen van de betrouwbaarheid van de golfcondities met SWAN bij de Pettemer zeewering [7]

- In Case 1 zijn de drie stormen doorgerekend op de wijze waarop SWAN ook toegepast is voor het projectbureau Zeeweringen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het onmogelijk is om exact dezelfde toepassing te gebruiken, omdat in deze studie werkelijk opgetreden stormen gebruikt zijn en niet een “maatgevende” voorkomende storm. Zo was het niet mogelijk om de methode van stromingscorrectie na te bootsen in de berekeningen voor Case 1.
- Bij Case 2 wordt ook gebruik gemaakt van de verouderde versie van SWAN (30.62) maar worden omgevingsrandvoorwaarden zoals wind, waterstand, bodem en stroming meer realistisch meegenomen (voor zo ver mogelijk zoals ze in werkelijkheid opgetreden zijn). Hierbij wordt gewerkt met ruimtelijk variabele velden, die berekend zijn met het waterbewegingsmodel WAQUA en het atmosferische model HIRLAM.

- In Case 3 en Case 4 worden Case 1 en Case 2 herhaald met de modernere versie van SWAN: 40.16. Door respectievelijk Case 3 met Case 1 en Case 4 met Case 2 te vergelijken, kan een beeld gevormd worden van de betrouwbaarheid van een modernere versie van SWAN, vergeleken met de voor projectbureau Zeeweringen gebruikte versie.

De exacte verschillen tussen deze vier cases zijn weergegeven in tabel 3.2

Tabel 3.2
Definitie Case1 tot Case4

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
SWAN versie	30.62	30.62	40.16	40.16
Waterstand	gebaseerd op metingen uniform a: minimale waterstand b: maximale waterstand (bij de berekening van golfparameters is WAQUA waterstand gebruikt als referentie)	niet-uniform volgens WAQUA	zie Case 1	zie Case 2
Stroming	geen	niet-uniform: WAQUA	zie Case 1	zie Case 2
Wind	gebaseerd op metingen bij Vlissingen buiten + 0.5 m/s binnen - 0.5 m/s	niet-uniform : HIRLAM resolutie 1000 m	zie Case 1	zie Case 2
Golven op de modelrand	op NW rand, gebaseerd op EUW JONSWAP spectrum zijrand: $H_s = H_{s_0} * \tanh(\pi * (1.05 * S_{max} - s) / S_{max})$	op NW rand, gebaseerd op EUW gemeten spectrum: - energie, - richting, - spreiding zijrand: $H_s = H_{s_0} * \tanh(\pi * (1.05 * S_{max} - s) / S_{max})$	zie Case 1	zie Case 2
Bodem	'aangepaste' bodem inclusief extra toekomstige verdiepingen	'oorspronkelijke' bodem zonder extra toekomstige verdiepingen maar inclusief raailodingen nabij meetpunten	zie Case 1	zie Case 2

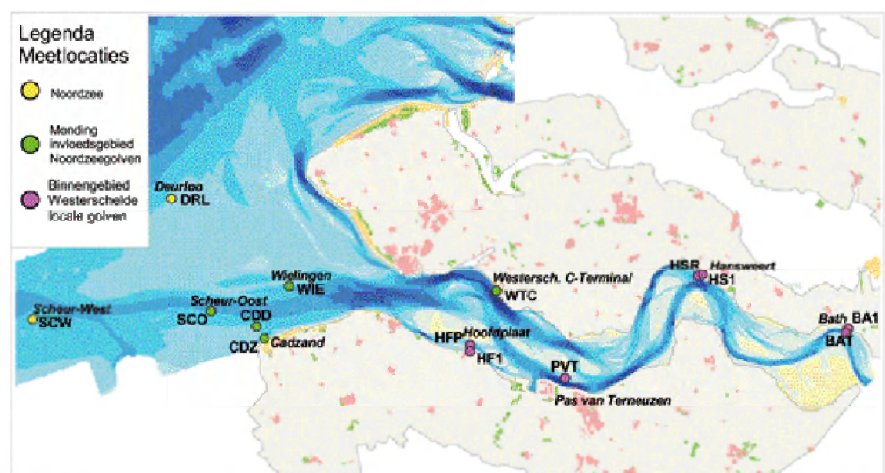
3.6 Opzet analyse

Antwoord geven op de vraag “Hoe betrouwbaar is SWAN?”, is onlosmakelijk verbonden met de vraag “Voor welke gebieden is het model betrouwbaar?”. Voor de advisering aan projectbureau Zeeweringen is het nodig om te weten in welke situaties het model voldoende betrouwbaar is en bij welke situaties de resultaten minder betrouwbaar zijn.

Om niet alleen een algemeen antwoord te geven over de betrouwbaarheid van SWAN, maar ook in specifieke omstandigheden, zijn verschillende typen van analyse uitgevoerd.

- Opsplitsing in drie gebieden. Hierbij wordt impliciet uitgegaan van de veronderstelling dat het SWAN-model vergelijkbaar reageert in fysisch vergelijkbare omstandigheden. Deze aanname maakt het mogelijk om analyse uit te splitsen in geografische gebieden. De locaties per gebied zijn weergegeven in figuur 3.1
1. Noordzee: alle meetlocaties op diep water, waarin de golven nog niet beperkt worden door de diepte. Stations: Europlatform, Lichteiland Goeree, Schouwenbank, Deurloo, Scheur West.
 2. Monding: alle meetlocaties in de Westerschelde Delta en monding. Specifiek aan dit gebied is zowel het voorkomen van zeegolven als lokaal opgewekte golven (meertoppig spectrum). Stations: Wielingen, Cadzand (CDZ en CDD), Scheur Oost, en Westerschelde Container Terminal.
 3. Westerschelde: alle meetlocaties achterin de Westerschelde, waarbij geen directe beïnvloeding optreedt van noodzeegolven. Stations: Pas van Terneuzen, Hoofdplaat (HFP en HF1), Hansweert (HSR en HS1) en Bath (BAT en BA1).

Figuur 3.1
Indeling meetlocaties per gebied



Naast de opsplitsing in geografische gebieden is het nodig om te weten welke processen er in SWAN kunnen leiden tot afwijkende resultaten. Om dit te traceren is de analyse door Royal Haskoning ook opgesplitst naar procesgedrag:

1. Ongebroken golven op basis van H_s / D -verhouding,
2. Gebroken golven op basis van H_s / D -verhouding,
3. Situaties met relatief sterke stroming,
4. Situaties waarbij brede of meertoppige spectra gemeten zijn.

In de nadere analyse door het RIKZ is hier niet verder op ingegaan. Voor de gedetailleerde analyse wordt verwezen naar het rapport "Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde" [6].

4 Bevindingen van de rekenexercitie

4.1 Inleiding

Alle golfberekeningen met SWAN en de analyse van de resultaten zijn uitgevoerd door Royal Haskoning (inmiddels Svasek). De resultaten hiervan zijn gepubliceerd in het rapport “Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde”, rapport 9M5697/1246 [6]. In dit hoofdstuk worden de resultaten en bevindingen, die in dit rapport weergegeven zijn, samengevat. Het gaat hier dus om resultaten op basis van een eerste analyse door Royal Haskoning. Achtereenvolgens zullen besproken worden: de bevindingen van Royal Haskoning en de berekende betrouwbaarheidsparameters.

In dit hoofdstuk worden alleen de hoofdlijnen van de resultaten van het bovengenoemde rapport besproken. Voor meer informatie verwijst ik naar het betreffende rapport.

4.2 Bevindingen Royal Haskoning

De bevindingen van Royal Haskoning zijn onder te verdelen in algemene bevindingen, bevindingen na het opsplitsen in gebieden, en bevindingen bij het analyseren van typerende situaties. In de onderstaande paragrafen is een interpretatie gegeven van de resultaten, zoals verwoord in de conclusies van Royal Haskoning.

4.2.1 Algemeen

- Er is geen uitspraak te doen welke *case* het best de metingen benadert. Wel is het zo dat de voor het projectbureau Zeeweringen gebruikte versie, bij de huidige toepassing, de metingen beter benadert dan de modernere versie van SWAN. Dit betekent dat de golfcondities niet sterk te verbeteren zijn door gebruik van een nieuwere versie van SWAN.
- Het gebruik van een geavanceerdere wijze van modellering levert iets betere resultaten op. Vooral de golfhoogte wordt, met stroming en een nauwkeuriger windveld, significant beter voorspeld. Dit voldoet aan de verwachtingen.
- De gehanteerde correctie op de golfperiode van +1 seconden blijkt terecht geweest te zijn. Gemiddeld genomen wordt de golfperiode in Case 1 onderschat met 0,5 tot 1 seconden.
- Naast de golfperiode wordt ook de golfhoogte door SWAN licht onderschat.
- Het gebruik van een complexere modellering of een nieuwere versie van SWAN leidt, bij huidige toepassing, niet tot andere resultaten.

Voor de Westerschelde voldoet dit aan de verwachtingen omdat de nieuwe versie van SWAN, qua fysica, niet wezenlijk beter is.

4.2.2 Opsplitsing in gebieden

- De golfhoogte op de Noordzee wordt in Case 1 nihil onderschat. In de monding neemt deze onderschatting toe en is het grootst in het binnengebied van de Westerschelde.
- Bij het gebruik van een complexere modellering zoals in Case 2 en Case 4 wordt de golfhoogte op de Noordzee en in de monding vrijwel niet over- of onderschat. Achterin de Westerschelde neemt de onderschatting echter significant toe.
- De golfperiode op de Noordzee wordt in alle cases zeer goed door SWAN berekend. Vanaf de monding van de Westerschelde onderschat SWAN, in alle gevallen, de golfperiode significant.

4.2.3 Typerende situaties

- De golfhoogte wordt bij situaties met ebstroming in Case 2 en Case 4 significant beter door een met WAQUA berekend stroomveld mee te nemen in de golfberekening.
- Bij situaties met vloedstroom levert het gebruik van berekende stroomvelden in SWAN geen betere resultaten op. Voor situaties met vloedstroming leveren Case 1 en Case 3 betrouwbaarder resultaten op.
- De golfperiode laat een tegengesteld beeld zien. Juist bij situaties met een vloedstroming, levert het gebruik van stromingsvelden in SWAN (Case 2 en 4) een significante verbetering op van de voorspelling van de golfperiode. Bij ebstroming daarentegen verslechtert het gebruik van stromingsvelden de resultaten.
- De golfhoogte wordt het best gesimuleerd bij locaties waarbij de golven ongebroken zijn. De golfperiode het best bij brekende golven.

4.3 Betrouwbaarheidsparameters

Door Royal Haskoning is een vergelijking gemaakt tussen de berekende golfparameters per case en de gemeten golfparameters, in termen van betrouwbaarheidsparameters als de gemiddelde afwijking (Bias) en standaardafwijking (Stdev). In tabel 4.1 zijn deze betrouwbaarheidsparameters relatief weergegeven³.

Tabel 4.1

Bias en Standaardafwijking voor H_s en T_{pm}

		Alles		Noordzee ¹		Monding ²		Westerschelde ³	
		bias [%]	stdev [%]	bias [%]	stdev [%]	bias [%]	stdev [%]	bias [%]	stdev [%]
H_s	Case 1	-6	18	-5	15	-6	12	-10	25
	Case 2	-1	23	3	15	-1	19	-18	30
	Case 3	-10	18	-8	14	-11	11	-17	25
	Case 4	-6	21	-2	16	-7	19	-24	24
T_{pm}	Case 1	-8	14	1	9	-15	12	-18	14
	Case 2	-9	14	0	8	-15	13	-19	13
	Case 3	-9	14	0	9	-15	13	-20	14
	Case 4	-10	13	-2	9	-16	11	-21	13

³ Case 1 is in deze tabel vet weergegeven. Dit is de case die vooral belangrijk is voor projectbureau Zeeweringen

5 Nadere analyse modelresultaten Royal Haskoning

5.1 Inleiding

Het beantwoorden van een complexe vraag als de betrouwbaarheid of robuustheid van ontwerp-golfcondities bestaat uit een aantal stappen. Nadat de berekeningen uitgevoerd en gerapporteerd zijn, dient de gevoeligheid van deze resultaten onderzocht te worden en een doorvertaling gemaakt te worden naar de tabel met ontwerpcondities. Hierbij gaat het niet alleen om in het kader van kwaliteitsborging eventuele fouten uit het rapport te halen, maar om de geldigheid van de conclusies te onderzoeken. Zoals in hoofdstuk 1 weergegeven is, heeft Royal Haskoning met name gekeken naar de wijze waarop SWAN door het RIKZ toegepast is bij het bepalen van de golfbelastingen. Het doel van de nadere analyse door het RIKZ is vooral de vertaalslag maken naar de afgeleverde tabel met golfcondities voor het projectbureau.

Vanwege de mogelijke consequenties die deze studie kan hebben op de ontwerpcondities, die het projectbureau gebruikt, is een grondige nadere analyse van de resultaten van met name Case 1 uitgevoerd. De onderzoeksvragen waren hierbij als volgt:

- Zijn er alleen betrouwbare golfmetingen meegenomen, die representatief zijn voor de tabel met ontwerp-golfcondities?
☛ **Uitgewerkt in 5.2**
- Zijn de juiste golfparameters gebruikt voor de vergelijking van berekeningen met metingen. Is de T_{pm} wel een geschikte maat om deze vergelijking uit te voeren? In hoeverre bepaalt de T_{pm} de hoogte van de golfperiode? De T_{pm} is namelijk zeer gevoelig voor kleine piekjes (ruis) op het gemeten golfspectrum. Hierdoor kan de golfperiode tijdelijk irreëel hoog worden. ☛ **Uitgewerkt in 5.3**
- In hoeverre beïnvloedt een afwijking van de berekende waterstand het eindresultaat? Omdat SWAN toegepast is met een uniforme waterstand in de gehele Westerschelde was het nodig om per tijdstip twee berekeningen uit te voeren; één met de laagste waterstand in dat gebied en één met de hoogste waterstand. Omdat niet voor alle meetlocaties waterstanden gemeten zijn is bij de interpolatie tussen de hoogste en laagste waterstand op het tijdstip van simulatie de met WAQUA berekende waterstand genomen. Deze berekende waterstand kan echter afwijken van de opgetreden waterstand. ☛ **Uitgewerkt in 5.4**
- Het effect van de stroming op de golven is niet meegenomen in Case 1. Dit was ook niet mogelijk omdat de correctiefactoren voor de getijstroming achteraf op de berekende waarden toegepast dienen te worden. Hierdoor is Case 1 niet één op één vergelijkbaar met de tabel met ontwerp-golfcondities. ☛ **Uitgewerkt in 5.5**

- Bij de *hindcaststudie* is gekozen om voor de analyse een opdeling te maken in drie specifieke gebieden. Is er op basis van deze resultaten een lustering mogelijk die de bevindingen verder specificeert?

☛ **Uitgewerkt in 5.6**

- In hoeverre beïnvloeden aannamen voor andere omgevingsfactoren als wind en bodem de resultaten? ☛ **Uitgewerkt in 5.7**
- In hoeverre beïnvloedt de keus om met de standaardinstellingen te rekenen de resultaten? ☛ **Uitgewerkt in 5.8**

5.2 Zijn de gebruikte gegevens voldoende betrouwbaar?

Alle meetgegevens die aan Royal Haskoning aangeleverd zijn, zijn grondig gevalideerd door het RIKZ (zie hoofdstuk 2). Ondanks deze validatie blijven er echter een aantal vraagtekens over bij bepaalde meetwaarden. Door systematisch alle metingen en berekeningen na te lopen, zijn de volgende zaken naar voren gekomen:

1. Voor zes tijdstippen van simulatie geldt dat de windrichting bij Hoofdplaat aflandig is, zodat de gemeten waarden niet representatief zijn voor de “maatgevende” golfcondities die op kunnen treden bij Hoofdplaat.
2. Ook gemeten golfhoogten lager dan 30 centimeter zijn niet representatief voor ontwerp-golfcondities. De waarden lager dan 30 centimeter zijn in de nadere analyse niet meegenomen.
3. Daarnaast treden op enkele tijdstippen bij BAT en CDZ sterk afwijkende golfhoogten op. Deze hoge golven zijn incidenteel en komen bijvoorbeeld niet voor bij meetlocatie BA1 en zijn ook 20 minuten voor dit tijdstip en na dit tijdstip niet zichtbaar in de metingen. Het is aannemelijk dat hier de meetapparatuur (stappenbaak) niet goed gefunctioneerd heeft.
4. Verder tonen de waarden van zowel PVT als WCT op drie van de vijftien tijdstippen, een sterk afwijkend gedrag. Deze drie tijdstippen hebben het gemeenschappelijk kenmerk dat de stroomsnelheid op dat moment groot is. Dit heeft waarschijnlijk de meting sterk beïnvloed waardoor de meetboeien niet goed functioneerden.

Op basis van bovenstaande argumenten zijn alle tijdstippen die weergegeven zijn in tabel 5.1 niet meegenomen in de nadere analyse (naast de tijdstippen die al eerder afgefallen zijn bij de validatie).

Tabel 5.1
Tijdstippen met dubieuze meetwaarden

	28 mei 2000					28 dec. 2001					27 okt. 2002				
	t1	t2	t3	t4	t5	t1	t2	t3	t4	t5	t1	t2	t3	t4	t5
euw															
leg	x														
swb															
drl															
scw															
sco															
wie															
cdd															
cdz		x	x			x	x			x			x		
hfp	0	0	0			0					0	0	x		
hfl	0	0	0			0		x			0	0	x		
hsr															
hs1						x									
ba1															
bat													x		
pvt				x								x			x
wct				x								x			x
x	sterk afwijkende waarde t.o.v. omgeving / voorliggend en naliggend tijdstip														
0	tijdstip niet representatief voor golfcondities PBZ														

5.3 Zijn de juiste golfparameters met elkaar vergeleken?

De vergelijking van de significante golfhoogte is gedaan door de spectraal bepaalde golfhoogte H_{m0} uit de metingen te vergelijken met de spectraal bepaalde golfhoogte H_{m0} uit het berekende golfspectrum. Deze aanname is correct. De vergelijking van de golfperiode is, zoals gevraagd door het RIKZ, uitgevoerd op basis van de T_{pm} . De T_{pm} en is ontwikkeld om een robuuste schatting te maken van de golfperiode bij meertoppige spectra [15]. Hierbij wordt uitgegaan van golfspectra die berekend zijn met SWAN en een vloeiend verloop hebben. Indien de T_{pm} ook bepaald wordt bij gemeten spectra kunnen kleine piekjes in het spectrum (ruis) een afwijking van de T_{pm} veroorzaken. In de gebruikte meetset traden herhaaldelijk uitschieters in de T_{pm} op, waarbij de gemeten waarde meer dan 50% afweek t.o.v. van de gemeten waarde in het voorliggende en naliggende tijdstip. Omdat de T_{pm} bestaat uit de hoogste waarde van T_{pb} en T_{pbeq} en de afwijkende waarden vooral optraden bij de T_{pbeq} , is in de nadere analyse de betrouwbaarheid bepaald op basis van de definitie $T_{pm} = T_{pb}$. Dit levert een consistentere en geloofwaardiger beeld op.

5.4 Zijn de gebruikte waterstanden correct?

Omdat alle berekeningen in Case 1 uitgevoerd zijn met vlakke waterstanden en er in werkelijkheid een scheefstand van west naar oost in de Westerschelde optreedt, zijn voor elk tijdstip twee berekeningen gemaakt; één voor de laagste waterstand in het totale gebied en één voor de hoogst opgetreden waterstand op dat tijdstip. Daarna zijn de berekende waarden naar de opgetreden waterstand geïnterpoleerd door middel van lineaire interpolatie. Voor niet alle meetlocaties zijn waterstandmetingen beschikbaar. Daarom is bij de uitvoering van het project afgesproken dat overal uitgegaan zou worden van de met WAQUA berekende waterstand.

De waterstand is berekend met WAQUA op het nieuwe KUSTZUID-model. Over de betrouwbaarheid van dit model was bij de aanvang van de studie weinig bekend. Omdat de golfhoogte direct bepaald wordt door de waterkolom, is het belangrijk om de opgetreden waterstand correct te simuleren.

Uit analyse van de gebruikte waterstanden blijkt dat voor de locaties waar ook waterstandmetingen uitgevoerd zijn, voor een aantal tijdstippen, de verschillen tussen de gemeten waterstand en de berekende waterstand dusdanig groot zijn, dat deze de nauwkeurigheid van de golfhoogte sterk kunnen beïnvloeden. In drie tabellen is in bijlage 2 het verschil weergegeven tussen de gemeten waterstanden en de berekende waterstanden volgens WAQUA op het KUSTZUID-rooster. Voor een groot aantal tijdstippen zijn deze verschillen groter dan 30 centimeter.

Alle tijdstippen waarbij het verschil tussen metingen en berekeningen groter is dan 30 centimeter, zijn niet meegenomen in de nadere analyse.

Omdat de berekende waterstand gemiddeld te laag is en het dus mogelijk is dat een gedeelte van de onderschatting van de golfhoogte hierdoor veroorzaakt wordt, zijn alle golfparameters opnieuw afgeleid op basis van de gemeten waterstand. Alleen voor locaties waarbij geen waterstandmetingen beschikbaar zijn, is gebruik gemaakt van de met WAQUA berekende waterstanden.

5.5 Stromingscorrectie

Hoewel Case 1 representatief is voor de aan projectbureau Zeeweringen opgeleverde tabellen, blijft er voor wat betreft stroming een inconsistentie bestaan. Bij de berekening van golfcondities voor projectbureau Zeeweringen in 1998, is stroming niet in de golfberekeningen als zodanig meegenomen, maar is er achteraf een correctie op de golfhoogte en golfperiode toegepast.

Deze correctiefactoren zijn bepaald door één storm na te rekenen voor eb, vloed, en zonder stroming. Op basis van de verschillen tussen de uitkomsten bij deze stromingssituaties, zijn de correctiefactoren bepaald per uitvoerpunt. Deze correctiefactoren zijn vervolgens toegepast voor alle waterstanden en windrichtingen.

De met SWAN berekende waarden voor Case 1 zijn niet gecorrigeerd op stromingseffecten, terwijl de metingen wel beïnvloed worden door de getijstroming. Bij de tabellen die geleverd zijn aan projectbureau Zeeweringen is het effect van stroming gecompenseerd door een correctiefactor op de golfhoogte en golfperiode, afhankelijk van de locatie.

Deze correctiefactoren zijn daarom ook hier toegepast op de door Royal Haskoning berekende resultaten op de meetpunten, zodat de berekende waarden uit Case 1 **echt** representatief zijn voor de getallen zoals afgeleverd aan projectbureau Zeeweringen. Hierdoor veranderen de berekende waarden en wordt de golfhoogte gemiddeld genomen lager en de golfperiode hoger. Deze correctie is alleen achteraf mogelijk nadat de golfcondities berekend zijn en kon daarom door Royal Haskoning niet uitgevoerd worden.

5.6 Opdeling in gebieden

De gekozen indeling in gebieden met vergelijkbare fysica; Noordzee, monding en Westerschelde heeft tot doel de betrouwbaarheid op basis van een fysische classificatie te bepalen voor fysisch verschillende gebieden. Uit nadere analyse van de resultaten blijkt dat de huidige gebiedsindeling representatief is. Het SWAN-model laat in de verschillende deelgebieden een ander gedrag zien. De onderschatting

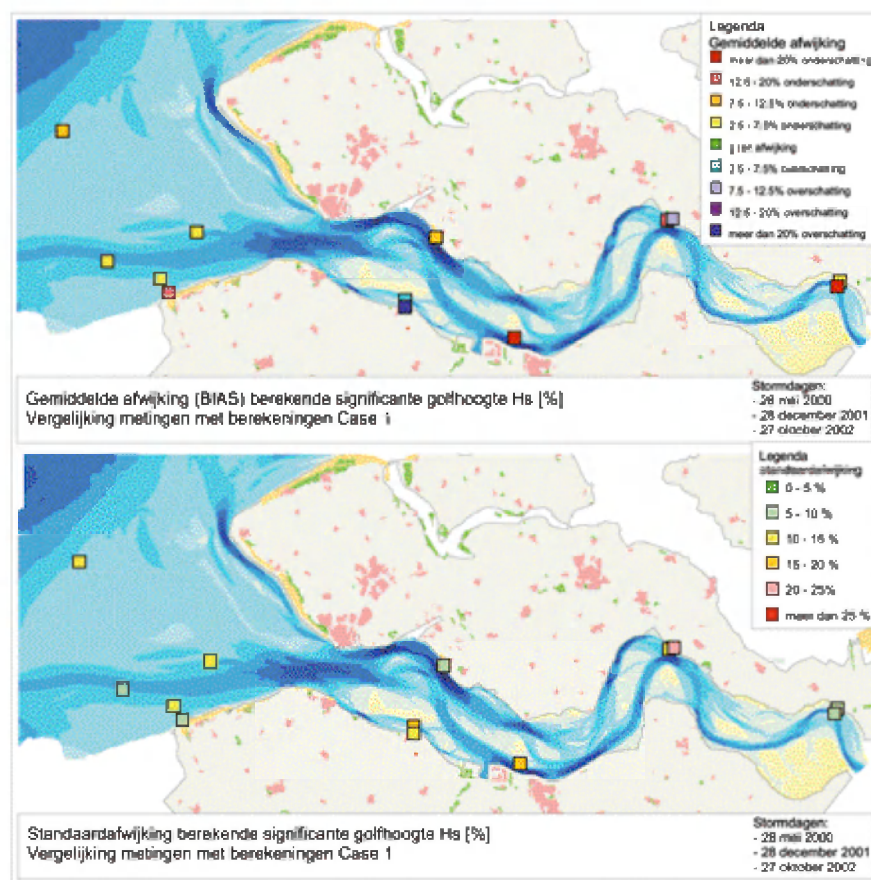
van de golfhoogte neemt toe van west naar oost. Daarnaast blijkt uit de analyse dat er in het gedrag van SWAN in de Westerschelde een duidelijk verschil te zien is tussen de locaties die dichtbij de dijk, dus vaak ondiep, en verder van de dijk af in de geul liggen.

DIEP : HFP, HSW, BAT, PVT, WCT

ONDIEP : HF1, HS1, BA1

Zoals in figuur 5.1 en 5.2, en in tabel 3.1 en 3.2 in de bijlagen duidelijk te zien is, is de gemiddelde afwijking van de golven dichtbij de dijk nagenoeg nul; de golfhoogte dichtbij de dijk wordt dus wel correct berekend. De golfhoogte verder van de dijk af wordt minder goed door SWAN berekend. Hier treedt een significante onderschatting op.

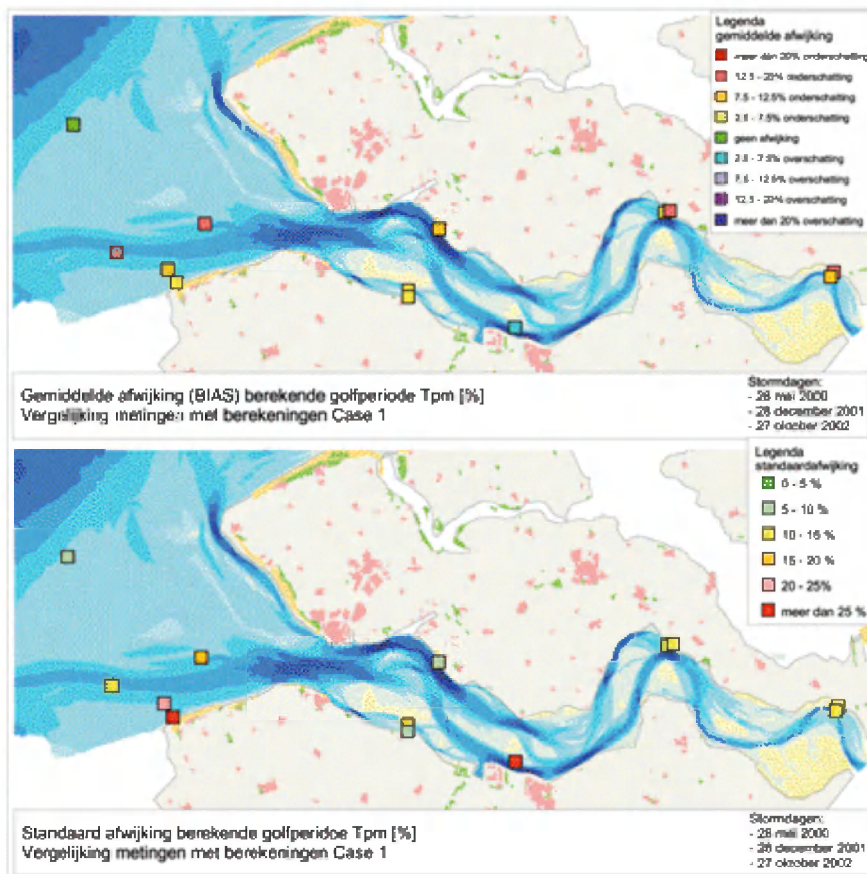
Figuur 5.1
Bias en Standaardafwijking H_s over alle stromen



Bij de golfperiode is er een sterk verband te zien tussen de gebiedsindeling en de onderschatting. De golfperiode op de Noordzee wordt door SWAN zeer accuraat voorspeld, maar met name vanaf de monding treedt de onderschatting op en blijft na de monding significant. Dit fenomeen is ook geconstateerd in eerdere studies naar de betrouwbaarheid van SWAN [9].

Het opsplitsen van de locaties dichtbij de dijk en de locaties die in dieper water liggen, laat een tegengesteld beeld zien wat betreft de golfhoogte. De golfperiode op de diepere locaties, die verder vanaf de dijk liggen, komt het best overeen met de gemeten waarden. De golfperiode bij de teen van de dijk wordt echter significant onderschat. Zowel de gemiddelde afwijking als de standaardafwijking voor de golfperiode zijn weergegeven in figuur 5.2

Figuur 5.2
Bias en Standaardafwijking T_{pm} over alle stormen



5.7 Gevoeligheid van andere omgevingsfactoren

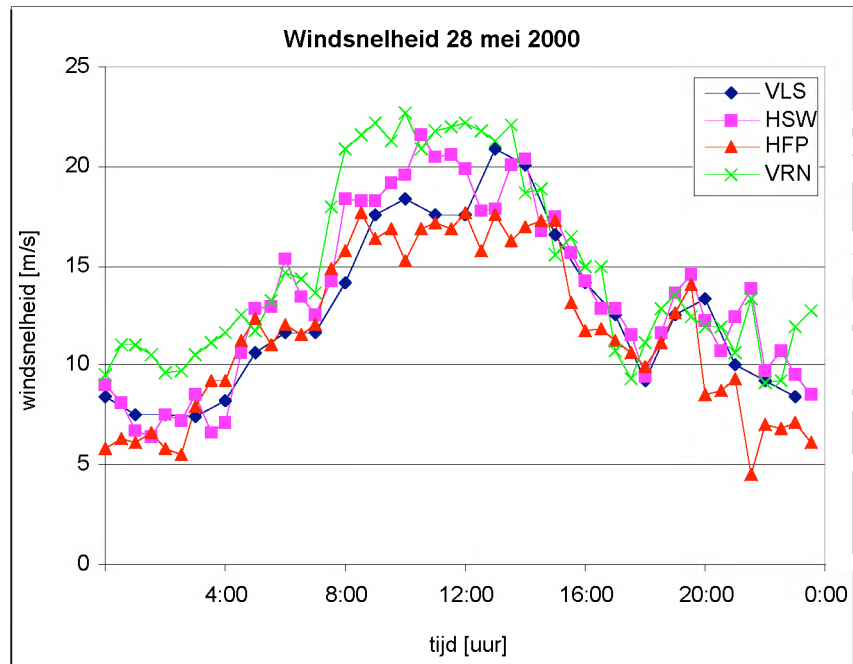
Naast de eerder genoemde invloedsfactoren op de eindresultaten zijn er nog een aantal zaken waarbij de methode, waarop de *hindcast* uitgevoerd is, afwijkend kan zijn t.o.v. de methode, die voor projectbureau Zeeweringen gebruikt is. Voor de berekening van maatgevende golfcondities zijn robuuste aannamen gedaan, gebaseerd op de extreme waarden statistiek. Bij de *hindcast* wordt overwegend uitgegaan van werkelijk gemeten situaties. Dit kan een reden zijn waarom modelresultaten afwijken van de metingen. Het gaat hierbij om de volgende zaken:

- windvelden,
- golfcondities op de modelranden,
- bodem.

Windvelden

De gebruikte windvelden zijn samengesteld conform de methode die gebruikt is om de golfcondities voor het projectbureau Zeeweringen te berekenen en zijn gebaseerd op de windsnelheid te Vlissingen. Oostwaarts van de lijn Vlissingen-Breskens is de windsnelheid verlaagd met 0,5 meter per seconde. Westwaarts is de windsnelheid verhoogd met 0,5 meter per seconde. Per saldo wordt de wind van Vlissingen dus als maatgevend genomen voor het gehele gebied.

Figuur 5.3
Windsnelheid 28 mei 2000



VLS = Vlissingen, HSW = Hansweert, HFP = Hoofdplaat, VRN = Vlakte van de Raan

Zoals in figuur 5.3 te zien is, is deze aanname voor de windsnelheid verdedigbaar. De variatie in windsnelheid, ruimtelijk gezien, is ongeveer 1 meter per seconde voor het binnengebied van de Westerschelde. Wel is duidelijk te zien dat de windsnelheid op de Vlakte van de Raan, in de aanloop van de storm, ruim hoger is dan de windsnelheid bij Vlissingen plus 0,5 meter per seconde. Deze lagere windsnelheid in de monding kan voor een deel, de onderschatting van de golfhoogte in de monding verklaren.

Golven op de modelrand

De golfcondities die gebruikt zijn op de modelranden zijn licht afwijkend van de methode zoals gebruikt voor het projectbureau. De oorzaak hiervan ligt in het gegeven, dat voor de golfbelastingen bij ontwerpcondities uitgegaan wordt van een parametrische extreme waarden statistiek en niet van gemeten waarden. Met andere woorden: bij de ontwerpcondities worden golfhoogte en golfperiode afzonderlijk bepaald op basis van statistiek en wordt de 1/4000 golfhoogte

gecombineerd met de 1/4000 golfperiode. In deze studie zijn golfhoogte en golfperiode uit hetzelfde gemeten spectrum gehaald.

De aanname, die gedaan is voor het berekenen van de golfbelastingen voor projectbureau Zeeweringen, levert meer conservatieve waarden dan de methode zoals hier gebruikt. De breedte van het spectrum is wel conform de methode voor het bepalen van ontwerpcondities. In feite is deze spectrale vorm van het JONSWAP-spectrum ($\gamma = 3,3$) minder realistisch voor deze stormcondities in de zuidelijke Noordzee.

Bodem

De bodem die gebruikt is voor de *hindcast*, is de verlaagde bodem van de Westerschelde. Hierbij is de bodem lokaal verlaagd om rekening te houden met toekomstige erosie. Per saldo zorgt dit er dus voor dat de golfhoogte in de berekening hoger kan worden dan bij gebruik van een gemeten bodem. Ervaringen bij de Oosterschelde leren echter dat deze plaatverlagingen vaak een marginaal verhogend effect hebben op de golfhoogte. In de berekeningen is voor alle stormen uitgegaan van dezelfde bodem, terwijl de bodem in werkelijkheid jaarlijks kan variëren. In tabel 5.2 is de variatie in bodemdiepte weergegeven voor de meetpunten (m.u.v. WCT en PVT) in de periode 2000 tot 2002.

Tabel 5.2
Bodemvariaties meetlocaties Westerschelde

Bodemdiepte meetlocaties Westerschelde [m]					
	1999	Voorjaar2000	Najaar2000	Najaar 2001	zomer 2002
CDZ	6	7	6.5	6.7	
CDD	9.6	9.3	9.3	9.3	
HFP	6	5.1	4.8	4.9	
HF1	0.9	0.8	0.7	0.6	
HSW	7	6.9	6	7.7	
HS1	1	0.9	1	0.9	
BAT	5	6	6.5	6.3	
BA1	0.8	1	1.1	1.1	
WCT					20
PVT					14

5.8 Gebruik van Default-instellingen

Bij de start van het project is gedefinieerd dat er bij de berekeningen zoveel mogelijk conform de handleiding van SWAN gewerkt dient te worden. Het gaat hier om de toepassing voor de berekening van golfcondities voor het ontwerpen van zeeweringen en niet om een theoretische exercitie. Bij berekeningen die grote consequenties kunnen hebben worden alleen valide, gekalibreerde en goed afgeregelde modellen gebruikt. Vanuit dit oogpunt is het dan ook alleen toegestaan om de standaardinstellingen te gebruiken. Het gebruik van de standaardinstellingen bij SWAN 30.62 leverde destijds ook de beste resultaten op.[1]

Resterend blijft de vraag of andere instellingen tot betere resultaten geleid hadden. Alleen voor de toepassing van SWAN 40.16 zijn er

duidelijke aanwijzingen dat het numerieke schema onder SWAN 40.16, de DOLPHIN-solver, meer iteraties nodig heeft dan bij de standaardinstellingen nodig zijn. Naar verwachting levert SWAN 40.16 met een groter aantal iteraties betere resultaten op, zeker voor complexe situaties als met stroming. Dit betekent dus dat de bevindingen uit deze studie, wat betreft SWAN 40.16, alleen gelden voor de toepassing van de standaardinstellingen, zoals weergegeven in de handleiding van SWAN.

5.9 Invloed van de nadere analyse op de betrouwbaarheidsparameters

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven is, is het onderzoeken van de betrouwbaarheid een iteratief proces. Een groot aantal van de bevindingen uit de nadere analyse (5.2 tot 5.8) hebben invloed op de door Royal Haskoning berekende betrouwbaarheidsparameters. Voor wat betreft de zaken die gerapporteerd zijn in 5.2 tot 5.6 zijn deze gecorrigeerd en verwerkt in de analyse. Daarnaast blijven een aantal punten moeilijk kwantificeerbaar. Dit zijn de thema's die in 5.7 en 5.8 weergegeven zijn.

Op basis van correcte metingen, betrouwbaarder waterstanden, het wel meenemen van de stromingscorrectie en uitsplitsen van diepe en ondiepe locaties voor het binnengebied, zijn de betrouwbaarheidsparameters voor Case 1 door het RIKZ opnieuw berekend. Deze zijn weergegeven in tabel 5.3 en 5.4

Tabel 5.3
Betrouwbaarheidsparameters NA nadere
analyse RIKZ; sign. golfhoogte H_s [%]

Gebied	Betrouwbaarheid berekening sign. golfhoogte H_s i.v.m. stormmetingen							
	Gemiddelde afwijking BIAS [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	alles	28-05-00	28-12-01	27-10-02	alles
Noordzee	-5	-9	-4	-5	14	16	10	13
Monding / Delta	-3	-1	-10	-4	11	15	8	12
Binnengebied Westerschelde	-5	-12	-10	-9	19	23	21	22
Westerschelde; diepe locaties	-15	-16	-13	-15	17	21	15	19
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	10	3	-4	4	16	18	23	19

* 1 De bias is de afwijking van de trendlijn door $X, Y = 0$ en de puntenwolk van de scatterplots van berekening t.o.v. meting.

- Positieve Bias = SWAN X procent te hoog,
- Negatieve Bias = SWAN X procent te laag.

Tabel 5.4
Betrouwbaarheidsparameters NA nadere
analyse RIKZ; golfperiode T_{pm} [%]

Gebied	Betrouwbaarheid berekening golfperiode T_{pm} i.v.m. stormmetingen							
	Gemiddelde afwijking BIAS [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	alles	28-05-00	28-12-01	27-10-02	alles
Noordzee	-1	6	0	2	10	9	5	9
Monding / Delta	-15	-10	-19	-14	36	16	8	24
Binnengebied Westerschelde	-9	-11	-4	-8	11	21	13	16
Westerschelde; diepe locaties	-7	-6	3	-4	10	22	10	19
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	-10	-21	-10	-13	11	14	6	12

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat met name in de monding SWAN minder goed functioneert en zowel de golfhoogte (6%) als de golfperiode (12%) onderschat. In het binnengebied van de Westerschelde lijkt op het eerste gezicht deze onderschatting vergelijkbaar te zijn, maar naar uitsplitsing van diepe en ondiepe locaties blijkt dat deze onderschatting met name optreedt bij diepere locaties. Vlak bij de dijk wordt, bij ondiepe locaties, alleen de golfperiode door SWAN onderschat.

Naast deze tabellen is de mate van betrouwbaarheid ook weergegeven per meetlocatie in bijlage 3.1 en 3.2. In de bijlagen 3.3 tot 3.7 zijn de scatterplots per deelgebied voor de golfhoogte weergegeven, in bijlage 3.8 – 3.12 zijn de scatterplots per deelgebied weergegeven voor de golfperiode.

6 Invloed betrouwbaarheid op de golfbelasting

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 5 zijn betrouwbaarheidsparameters weergegeven voor golfhoogte en golfperiode bij de verschillende deelgebieden zonder een directe relatie te leggen tussen de golfhoogte en golfperiode. De belasting bestaat uit een combinatie van golfhoogte en golfperiode. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar het totaalplaatje; de combinatie van golfhoogte en golfperiode. Op basis van de beschikbare metingen en de gebiedsindeling, zoals weergegeven in hoofdstuk 5, zal de invloed van de bepaalde betrouwbaarheidsparameters op de totale belastingsfunctie weergegeven worden.

Hoewel in deze studie gekeken wordt naar de betrouwbaarheid van golfbelastingen bij ontwerpcondities, is de betrouwbaarheid van de golfhoogte en golfperiode alleen te bepalen binnen het meetbereik. De beschouwde stormcondities hebben een frequentie van voorkomen van eens per jaar tot eens per 5 jaar, en zijn dus niet geheel representatief voor ontwerpcondities. Daarom zal eerst ingegaan worden op de totale belastingsfunctie binnen het meetbereik. Daarna zal een doorvertaling gemaakt worden naar de golfbelastingen, zoals afgegeven aan projectbureau Zeeweringen, door het effect van de reeds toegepaste correctie van +1 seconde af te zetten tegen de geconstateerde onderschattingen.

6.2 Betrouwbaarheid belastingsfunctie binnen het meetbereik

Eerder in dit rapport is al opgemerkt dat een onderschatting van een individuele golfparameter niet hoeft te betekenen dat de afgegeven golfcondities onvoldoende zijn. Het gaat immers om de combinatie van golfhoogte en golfperiode. De mate van betrouwbaarheid waarin het golfmodel SWAN de totale golfbelasting kan voorspellen is bepaald op basis van de belastingsfunctie $Z1$, waarbij $Z1$ het product is van H_s en T_{pm} . Door per deelgebied de belastingsfunctie uit de gemeten H_s en T_{pm} af te zetten tegen de met SWAN bepaalde belastingsfunctie, ontstaan scatterplots waaruit de mate van betrouwbaarheid bepaald kan worden d.m.v. een regressielijn door de oorsprong. Deze scatterplots zijn opgenomen in bijlage 4.1 tot 4.4. Nu in deze figuren de combinatie van H_s en T_{pm} weergegeven is als $H_s * T_{pm}$, is duidelijk te zien dat in gebieden waar zowel de golfhoogte als de golfperiode door SWAN onderschat wordt, de modelresultaten sterk afwijken van de metingen. In tabel 6.1 is voor alle deelgebieden de betrouwbaarheid van de modelberekening weergegeven, uitgedrukt in een gemiddelde afwijking en een standaardafwijking.

Tabel 6.1

Betrouwbaarheidsparameters belastingsfunctie

$$Z1 = H_s * T_{pm}$$

Gebied	Betrouwbaarheid berekende belastingsfunctie $H_s^* T_{pm}$ i.v.m. stommelingen							
	Gemiddelde afwijking BIAS*1 [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	<i>totaal</i>	28-05-00	28-12-01	27-10-02	<i>totaal</i>
Monding / Delta	-22%	-12%	-33%	<u>-22%</u>	30%	31%	11%	<u>27%</u>
Binnengebied Westerschelde	-12%	-23%	-18%	<u>-17%</u>	22%	28%	21%	<u>25%</u>
Westerschelde; diepe locaties	-22%	-24%	-18%	<u>-21%</u>	17%	28%	18%	<u>24%</u>
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	3%	-17%	-16%	<u>-8%</u>	24%	28%	24%	<u>26%</u>

MONDING

De grootste *mismatch* tussen model en meting treedt op in de monding van de Westerschelde. Dat juist hier het SWAN-model het laat afweten is niet nieuw, maar bevestigt eerdere voorzichtige conclusies [9]. Het SWAN-model functioneert gemiddeld genomen goed in diepere gebieden, waar nog geen traject van dissipatie aan vooraf gegaan is, en begint te disfunctioneren in gebieden waarbij zowel Noordzeegolven als lokaal opgewekte golven aanwezig zijn. Hier worden zowel golfhoogte als golfperiode door SWAN onderschat en zijn de modelresultaten voor de belastingsfunctie gemiddeld 22% lager dan de metingen.

BINNENGEBOED WESTERSCHELDE

In het binnengebied van de Westerschelde, waar de invloed van de Noordzee marginaal is, wordt de belastingsfunctie door SWAN iets minder onderschat. Deze onderschatting van 17% is echter niet representatief voor alle dijkvakken aan de Westerschelde omdat hier zowel diepe als ondiepe locaties meegenomen zijn. Door diepe en ondiepe locaties apart weer te geven ontstaat een specifiek beeld van de betrouwbaarheid van SWAN.

WESTERSCHELDE: DIEPE LOCATIES

Bij de diepe locaties van de Westerschelde wordt de golfbelasting met gemiddeld 21% onderschat. De grootste bijdrage in deze gemiddelde afwijking wordt veroorzaakt door de 15% onderschatting van de golfhoogte in SWAN. De golfperiode wordt in tegenstelling tot de golfhoogte slechts 4% onderschat.

WESTERSCHELDE: ONDIEPE LOCATIES

De ondiepere locaties, die dichtbij de dijk liggen, laten een tegengesteld beeld zien in vergelijking met de diepe locaties. Bij deze locaties dichtbij de dijken wordt de golfhoogte door SWAN goed voorspeld, of zelfs licht overschat, en wordt de golfperiode 13% onderschat. De combinatie van golfhoogte en golfperiode dichtbij de dijk, wordt door SWAN 8% lager berekend dan uit de metingen blijkt.

6.3 Effect van toegepaste correctie $T_{pm} + 1$ seconde

In 1998 was het golfmodel SWAN het enige model dat golven in ondiep water kon voorspellen in een complex gebied als de Westerschelde. Al

vrijwel direct na toepassing bleek het golfmodel niet perfect te zijn en bleek de periode door SWAN in ondiep water onderschat te worden [2]. Deze constatering hebben ertoe geleid dat het RIKZ de met SWAN berekende golfperiode met 1 seconde heeft verhoogd. Deze correctie is toegepast voor alle windrichtingen en waterstanden.

Uit deze studie blijkt dat SWAN niet alleen de golfperiode, maar soms ook de golfhoogte, onderschat. Aan de andere kant blijkt echter dat in veel gevallen de golfperiode met minder dan 1 seconde onderschat wordt. Er zit dus nog marge in de toegepaste correctie van +1 seconde. In tabel 6.2 is de gemiddelde onderschatting van H_s en T_{pm} weergegeven voor alle deelgebieden. In de rechterkolommen van de tabel is echter ook weergegeven hoe groot de marge is, in procenten, die in het betreffende gebied aanwezig is door de correctie van $T_{pm} + 1$ seconde.

Tabel 6.2
Betrouwbaarheidsparameters H_s en T_{pm} in
vergelijking met correctie $T_{pm} + 1$ seconde

Gebied	Gemiddelde afwijking [%]			Marge op $H_s \cdot T_{pm}$ [%] door correctie $T_{pm} + 1$ sec							
				per voorkomende golfperiode							
	H_s	T_{pm}	$H_s \cdot T_{pm}$	4	5	6	7	8	9	10	11
Monding	-4	-14	-22				14	12.5	11.1	10	8.3
Westerschelde	-9	-8	-17	25	20	16.7	14.3	12.5			
Ws diep	-15	-4	-21		20	16.7	14.3	12.5			
Ws ondiep	4	-13	-8	25	20	16.7	14.3				

Uit deze tabel blijkt dat de geconstateerde onderschattingen van SWAN voor vrijwel alle gevallen gecompenseerd worden door de toegepaste correctie van $T_{pm} + 1$ seconde. Een uitzondering hierop vormt de monding van de Westerschelde. Doordat, met name in de monding, hoge golfperiodes op kunnen treden (maximaal 12 seconden) is de toegepaste correctie op de golfperiode relatief klein (minimaal 8,3%). Dit compenseert onvoldoende de geconstateerde onderschatting van de golfhoogte met 4% en de golfperiode met 14%.

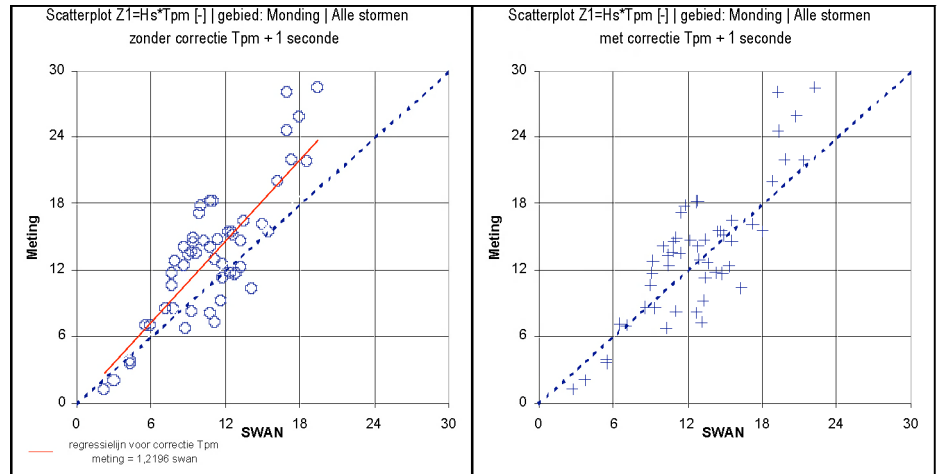
Bij de diepe locaties van de Westerschelde komen ook hogere golfperiodes voor. Deze variëren tussen 6 en 9 seconden. De toegepaste correctie van +1 seconde is hierbij procentueel respectievelijk 17% tot 11%. Voor het merendeel van de diepe locaties aan de Westerschelde, waarbij lagere golfperiodes voorkomen, is de toegepaste correctie op de golfperiode niet genoeg om de onderschatting van golfhoogte en golfperiode te compenseren. Voor een aantal diepe locaties aan de Westerschelde, waarbij hogere golfperiodes optreden is de toegepaste correctie aan de krappe kant. Er kan dus gesteld worden dat de golfcondities, bij dijken in de Westerschelde die gelijk aan diep water liggen, dus globaal door SWAN onderschat worden.

Bij de ondiepe locaties aan de Westerschelde komen over het algemeen lage golfperiodes voor. De golfperiodes in de tabel met ontwerp-golfcondities zijn voor het gehele binnengebied in de range van 4 tot 9 seconden. De toegepaste correctie van $T_{pm} + 1$ seconde is hierbij relatief gezien groot, respectievelijk 25% tot 11%. In vergelijking met de

geconstateerde onderschatting van 8% kan gesteld worden dat de golfcondities bij ondiepe locaties voldoende robuust zijn.

Omdat de golfperioden door het RIKZ voor alle waterstanden en windrichtingen consequent met 1 seconde verhoogd zijn, kan deze correctie ook toegepast worden in de *hindcast*. In figuur 6.1 en bijlage 4.5 tot 4.8 is het effect van de correctie van T_{pm} met 1 seconde weergegeven in de scatterplots van de belastingsfunctie.

Figuur 6.1
Scatterplots belastingsfunctie $Z1 = H_s \cdot T_{pm}$
Invloed correctie $T_{pm} + 1$ seconde | gehele
binnengebied Westerschelde



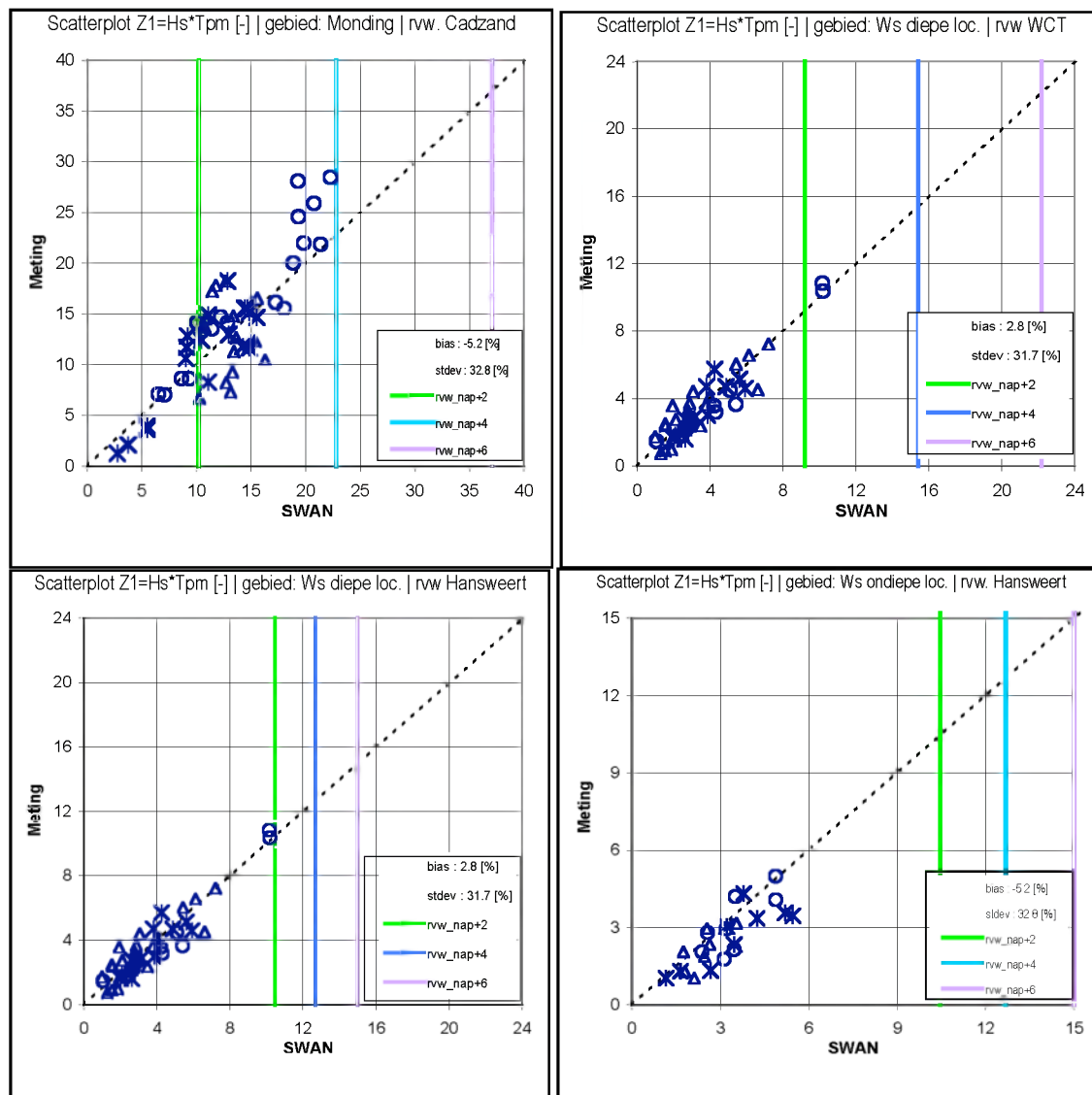
In het linkerfiguur is de ongecorrigeerde belastingsfunctie weergegeven voor alle meetlocaties in de monding van de Westerschelde. De trendlijn maakt hier duidelijk dat er sprake is van een significante onderschatting (22%). In het rechterfiguur is de golfperiode met 1 seconde gecorrigeerd, waardoor de puntenwolk naar rechts schuift en beter de lijn $X=Y$ benadert. Omdat het effect van de toegepaste correctie van 1 seconde afhankelijk is van de waarde van de golfperiode, is het niet toegestaan in deze figuur een trendlijn aan te geven. Duidelijk is de invloed van de correctie te zien in het rechterfiguur. Een trendlijn in het rechterfiguur zou suggereren dat ook voor de hogere waarden dezelfde conclusie zou gelden. Dat is niet het geval. In het figuur is dit aan de puntenwolk rechtsboven duidelijk te zien. Deze punten zijn verhoudingsgewijs minder gecorrigeerd dan de punten linksonder.

6.4 Betrouwbaarheid golfcondities buiten het meetbereik

In bijlage 4.1 tot 4.4. is door de scatterplots van de belastingsfunctie een trendlijn getekend die door de grafiekoorsprong loopt. Deze wijze van visualisatie suggereert een lineaire trend in het modelgedrag waarbij geëxtrapoleerd mag worden naar hogere waarden voor de belastingsfunctie. Hoewel er in deze *hindcaststudie* enkele stormen met hoge windsnelheden meegenomen zijn (ca. 25 m/s), is de opgetreden belastingsfunctie op de meetpunten (combinatie van H_s en T_{pm}) nog veel lager dan de belastingsfunctie in de tabellen van projectbureau Zeeweringen. Om een indruk te geven van het verschil tussen het meetbereik en de belastingsfuncties bij de dijken in de omgeving van de meetpunten, bij een overschrijdingsfrequentie van eens per 4000 jaar,

zijn in figuur 6.2 zowel de metingen als de ontwerpwaarden weergegeven, voor enkele meetlocaties.

Figuur 6.2
Scatterplots $H_s \cdot T_{pm}$ (na correctie) in vergelijking
met $H_s \cdot T_{pm}$ uit ontwerpcondities



Uit figuur 6.2 blijkt dat de in deze studie beschouwde stormen niet vergelijkbaar zijn met de berekende ontwerp-golfcondities. Alleen voor de monding van de Westerschelde, bij Cadzand benaderen de metingen de waarden die voor kunnen komen bij ontwerpstormen bij waterstanden van NAP+4 meter. Voor de overige situaties is er een groot verschil tussen de gemeten waarden en de ontwerpcondities. Hoewel de waterstand bij diverse tijdstippen in deze studie hoger was dan NAP +2 meter, is de belastingsfunctie bij deze stormen dus niet direct vergelijkbaar met ontwerpcondities.

De vraag of de trendlijnen in bijlage 4.1 tot 4.4 doorgetrokken mogen worden naar ontwerpcondities, is op grond van bovenstaande

constateringen niet eenvoudig te beantwoorden. In de figuren is zichtbaar dat de trendlijn in het merendeel van de figuren de puntenwolk goed beschrijft en dat de hoogst gemeten waarden niet sterk afwijkend zijn. Dit argument zou kunnen betekenen dat de in deze studie bepaalde betrouwbaarheidsparameters ook gebruikt mogen worden voor ontwerpcondities. Aan de andere kant is aan de lage waarde van de belastingsfuncties binnen het meetbereik te zien dat de gemeten situaties over het algemeen zuidwest- tot westerstormen zijn. Stormen die significant hogere belastingsfuncties veroorzaken zullen uit het west tot noordwesten komen en vooral hogere golfperioden veroorzaken. Bij noordwestelijke stormen kan eenzelfde modelgedrag van SWAN optreden, maar dit hoeft echter niet. Dit maakt een extrapolatie van de meetwaarden van het meetbereik naar ontwerpcondities, via een lineair verband, minder goed te onderbouwen. Toch is deze methode hier toegepast omdat een betere methode niet voorhanden is. Resumerend is in tabel 6.3 de betrouwbaarheid van de afgegeven golfbelastingen weergegeven.

Tabel 6.3
Betrouwbaarheidsparameters H_s en T_{pm} in
vergelijking met correctie $T_{pm} + 1$ seconde

Gebied	Gemiddelde afwijking			Marge in golfcondities door T_{pm} + 1 seconde
	H_s [%]	T_{pm} [%]	$H_s * T_{pm}$ [%]	[%]
Monding	-4	-14	-22	ca. +12 (bij $T_{pm} = 8$ sec)
Westerschelde dieper dan NAP -4 meter	-15	-4	-21	ca. +16 (bij $T_{pm} = 6$ sec)
Westerschelde ondieper dan NAP-4 meter	+4	-13	-8	ca. +20 (bij $T_{pm} = 5$ sec)

6.5 Van gebiedsindeling naar dijkvakken

Omdat het golfmodel SWAN niet overal gelijk functioneert, is de analyse gesplitst. Deelgebieden die naar verwachting eenzelfde gedrag vertonen zijn apart geanalyseerd. Op basis van deze gebiedsindeling is de nadere analyse uitgevoerd en zijn betrouwbaarheidsparameters berekend. Als gebied is de monding duidelijk te onderscheiden. Lastiger wordt het echter bij diepe- of ondiepe locaties in de Westerschelde.

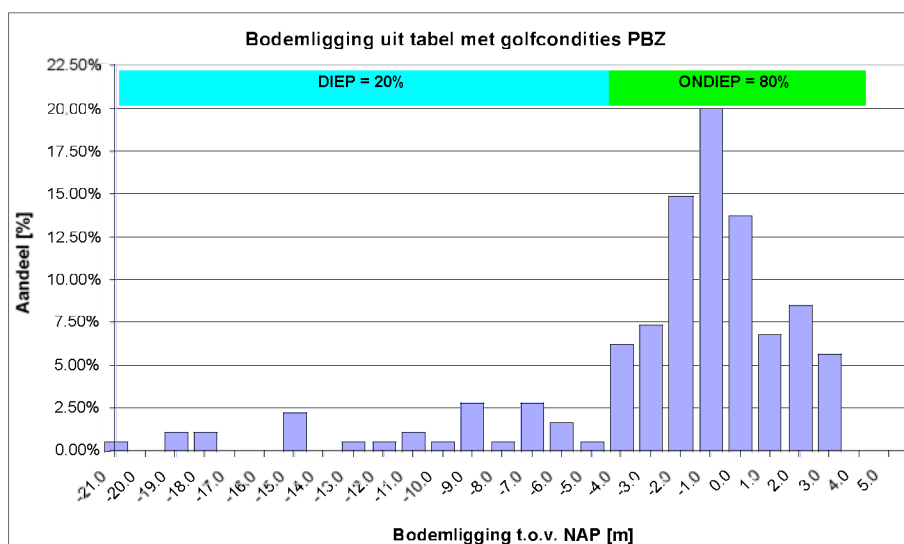
De meetlocaties die benoemd zijn als diepe locaties liggen over het algemeen meer dan 100 meter uit de teen van de dijk, en liggen in de buurt van de getijgeul. De ondiep water meetlocaties zijn meetpunten op het voorland voor de dijk en liggen over het algemeen op 30 tot 50 meter uit de teen van de dijk. In tabel 6.3 zijn de gemeten bodemdieptes weergegeven voor alle meetlocaties die dichtbij een dijk liggen.

Tabel 6.3
Bodemdiepte op meetlocaties Westerschelde

Bodemdiepte meetlocaties Westerschelde [m]					
	1999	Voorjaar2000	Najaar2000	Najaar 2001	zomer 2002
CDZ	6	7	6.5	6.7	
CDD	9.6	9.3	9.3	9.3	
HFP	6	5.1	4.8	4.9	
HF1	0.9	0.8	0.7	0.6	
HSW	7	6.9	6	7.7	
HS1	1	0.9	1	0.9	
BAT	5	6	6.5	6.3	
BA1	0.8	1	1.1	1.1	
WCT					20
PVT					14
Monding Westerschelde					
Diepe locaties binnengebied Ws Ondiepe locaties binnengebied Ws					

De conclusies m.b.t ondiepe locaties gelden dus in het gebied rond NAP. Bij diep water gaat het om waterdiepten vanaf NAP –4 tot NAP –20 meter. Om een indruk te geven bij hoeveel van de dijkvakken er sprake is van diep water en ondiep water, is in figuur 6.3 een histogram weergegeven van de bodemligging op 50 meter uit de teen van de dijk.

Figuur 6.3
Histogram bodemligging op berekening
uitvoerpunten t.b.v. tabel met golfcondities PBZ



Voor het binnengebied van de Westerschelde valt 80% van de randvoorwaardenvakken binnen de categorie “ondiep” en 20% binnen de categorie “diep”. Deze diepe locaties zijn veelal gebieden bij havenmondingen etc, waarbij de uitvoerpunten op 50 meter uit de teen van de dijk in een havenmonding liggen.

6.6 Verborgene veiligheidsmarges

De tabel met golfcondities zoals afgeleverd aan projectbureau Zeeweringen is samengesteld voor het ontwerpen van dijkbekledingen. Omdat het om het ontwerpen gaat en niet om toetsen, zijn er een aantal aannamen gedaan die robuust of zelfs conservatief zijn. Dit betekent dat

er naast de correctie van $T_{pm} + 1$ seconde ook nog andere veiligheidsmarges in de tabellen aanwezig zijn. In tabel 6.4 worden deze veiligheidsmarges opgesomd samen met de geconstateerde onzekerheden. Voor de kwantificeerbare zaken zijn de waarden van de marges weergegeven. Voor minder kwantificeerbare zaken is alleen weergegeven of dit verhogend of verlagend zal doorwerken op de belasting

Tabel 6.4
Veiligheidsmarges in tabel met golfcondities PBZ

Verlagende invloed	Verhogende invloed
+ Veiligheidsmarge $T_{pm} + 1$ seconde blijkt voor ondiepe locaties aan de Westerschelde ruim voldoende te zijn om zowel de onderschatting van T_{pm} als H_s te compenseren.	- De in deze studie geconstateerde onderschatting van de golfcondities (na correctie $T_{pm} + 1$ seconde) in de monding van de Westerschelde, en bij diepe locaties in de Westerschelde
+ Golfhoogte en golfperiode zijn naar boven afgerond op 0,1 m. en 0,1 s. Dit betekent dat er gemiddeld genomen een marge op de berekende waarden gezet is van 0,05 m. en 0,05 s. Het effect van deze afronding op de belastingsfunctie bedraagt gemiddeld 3% bij NAP +6 meter, 4% bij NAP +4 meter en 5% bij NAP +2 meter.	- In deze studie is gebruik gemaakt van een verlaagde bodem, zoals ook toegepast voor projectbureau Zeeweringen. (geprobeerd wordt om de afgegeven tabel zo dicht mogelijk de benaderen). Door deze verlaagde bodem kunnen de golven marginaal hoger worden in de berekening dan in werkelijkheid opgetreden tijdens de stromen. Hierdoor kan de onderschatting van de golfhoogte licht toenemen.
+ De gebruikte windsnelheden in het binnengebied van de Westerschelde zijn relatief hoog. Er wordt namelijk bij de overgang van zee naar land een reductie toegepast van 1 m/s. Dit is robuust. [17]	-
+ De huidige golftabel is samengesteld op basis van deterministische berekeningen, waarbij uitgegaan wordt van een overschrijdingskans van 1/4000 jaar per parameter. Dit is een robuuste aanname omdat de gezamenlijke kans van optreden veel kleiner is van 1/4000 jaar. Toekomstige randvoorwaarden zullen probabilistisch berekend worden, waarbij gekeken wordt naar de gezamenlijke kans van optreden. Dit zal resulteren in een lager rekenpeil en een lagere golfhoogte en golfperiode	-
+ De golfcondities zijn bepaald met SWAN op uitvoerpunten die ongeveer 50 meter uit de teen van de dijk liggen. De reden hiervoor is dat modelinstabiliteit kan optreden in de laatste rekenpunten, en berekeningswaarden direct bij de dijk	-

minder betrouwbaar zijn. In werkelijk zullen golven in veel gevallen deze laatste 50 meter nog dissiperen op de vooroever of teenbestorting, zodat de golfbelasting op de dijk minder zal zijn dan de afgegeven golfbelastingen.	
+ Bij de berekening van golfbelastingen per dijkvak wordt uitgegaan van de hoogst optredende golfbelasting voor een geheel dijkvak. In de praktijk zal de golfbelasting over een dijkvak niet uniform verdeeld, maar variabel zijn. Het uitgaan van de hoogst optredende golfbelasting is dus voor het grootste gedeelte van een dijkvak een robuuste aanname.	

Samengevat is de algemene verwachting dat toekomstige golfrandvoorwaarden op een aantal punten lager uit zullen vallen dan de huidige tabel met golfcondities. De in deze studie geconstateerde onderschatting van SWAN in de monding en op diep water, dient daarom afgewogen te worden tegen de verborgen veiligheidsfactoren die in de berekening van ontwerpwaarden voor golfcondities en in het ontwerpproces opgenomen zijn.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Inleiding

Het is voor de eerste keer dat een dergelijke geavanceerde *hindcaststudie* uitgevoerd is, waarin direct geprobeerd is een directe relatie te leggen tussen gemeten condities en reeds afgegeven ontwerpcondities. Eerdere *hindcasts* [12, 13] beperkten zich meestal tot een validatie van SWAN bij relatief stationaire situaties waarbij alleen berekeningen uitgevoerd werden bij hoog water. Vernieuwend aan deze studie is dat de berekeningen uitgevoerd zijn voor verschillende fasen van de stormen. Er zijn dus met het stationaire golfmodel SWAN situaties nagebootst waarbij het gedrag van de storm erg instationair was. Dit levert een realistischer en evenwichtiger beeld op van de betrouwbaarheid van de ontwerpwaarden. Voor de dijkbekledingen is het immers niet alleen relevant om te weten hoe goed het model functioneert bij extreem hoog water (vaak kentering, dus stationair), maar ook bij lagere waterstanden (veelal instationaire omstandigheden).

In dit hoofdstuk worden de conclusies weergegeven met betrekking tot de robuustheid van de tabel met ontwerpwaarden, die projectbureau Zeeweringen gebruikt, voor het ontwerpen van golfcondities in de Westerschelde. Eerst worden algemene conclusies weergegeven m.b.t. deze *hindcaststudie*. Daarna worden per deelgebied de betrouwbaarheid van golfhoogte, golfperiode, en de combinatie van beide, afgezet tegen de reeds toegepaste correctie van $T_{pm} + 1$ seconde. Als laatste worden een aantal aanbevelingen gedaan.

7.2 Algemene conclusies

- Naast de golfperiode wordt ook de golfhoogte door SWAN licht onderschat.
- De in 1997 en 1998 afgegeven golfcondities voor het ontwerp van dijkbekledingen zijn terecht gecorrigeerd met één seconde voor de golfperiode. Voor het merendeel van de dijkvakken is de toegepaste correctie van één seconde ruim voldoende als correctie voor de golfperiode.
- De afgeleverde golfcondities zijn voor dijkvakken langs ondiep water voldoende robuust. Een uitzondering vormen hierop de golfcondities bij dijkvakken aan de Westerscheldemonding en dijkvakken langs diep water (tot NAP -4 meter). Voor deze twee categorieën geldt dat correctie van $T_{pm} + 1$ seconde te weinig marge biedt om de geconstateerde onderschatting te compenseren.
- Naast de correctie van $T_{pm} + 1$ seconde zijn er diverse andere veiligheidsmarges toegepast bij de berekeningen voor de tabel met

golfcondities. Als de marge van $T_{pm} + 1$ seconde onvoldoende is om de onderschatting door SWAN op te heffen, zijn de geleverde ontwerpwaarden dus nog niet direct onvoldoende. Ze zijn echter wel minder robuust dan verondersteld werd.

7.3 Conclusies betrouwbaarheid golftabel per deelgebied

In de onderstaande subparagrafen is de betrouwbaarheid van golfhoogte, golfperiode en de combinatie van beide, per deelgebied uitgedrukt als een gemiddelde afwijking van de berekende waarden ten opzichte van de gemeten waarden.

7.3.1 Westerschelde monding

Voor de dijkvakken in de monding van de Westerschelde, waarbij de invloed van de Noordzee nog significant is, gelden de volgende conclusies:

- De spectrale golfhoogte H_s wordt door SWAN met gemiddeld 4% onderschat.
- De piekperiode T_{pm} wordt door SWAN met gemiddeld 14% onderschat.
- De combinatie van H_s en T_{pm} wordt door SWAN met gemiddeld 22% onderschat.
- De correctie van $T_{pm} + 1$ seconde compenseert in de monding slechts voor een deel de geconstateerde onderschatting van 22%, en bedraagt bij een piekperiode van 8 seconden 13%, bij 10 seconden 10%.
- Samenvattend kan gesteld worden dat de golfcondities in de monding van de Westerschelde ongeveer 10% te laag zijn.

7.3.2 Binnengebied Westerschelde voor dijkvakken aan diep water

20% van de dijkvakken aan de Westerschelde ligt aan relatief diep water (dieper dan NAP -4 meter). Voor deze dijkvakken gelden de volgende conclusies:

- De spectrale golfhoogte H_s wordt door SWAN gemiddeld 15% onderschat. De oorzaak van deze onderschatting is nog niet duidelijk. Mogelijkerwijs is het effect van stroming en whitecapping op de golfhoogte in de meting sterker dan in SWAN, waardoor in het SWAN-model de golven te laag blijven.
- De piekperiode T_{pm} wordt door SWAN vrijwel correct berekend. De onderschatting bedraagt hierbij 4%.
- De combinatie van H_s en T_{pm} wordt door SWAN met gemiddeld 21% onderschat.
- De correctie van $T_{pm} + 1$ seconde compenseert bij de diepe locaties van de Westerschelde voor een groot gedeelte de geconstateerde onderschatting. De compensatie door de correctie van $T_{pm} + 1$ seconde is bij golfperiodes van 5 seconden 20% en bij 8 seconden 13%. Voor de dijkvakken langs de Westerschelde met relatief diepe vooroevers waarbij hogere golfperiodes op kunnen treden is de correctie op de golfperiode aan de krappe kant tot onvoldoende.
- Samenvattend kan gesteld worden dat de golfcondities in de Westerschelde voor dijkvakken aan diep water niet robuust zijn. Voor

locaties waarbij hogere golfperioden optreden (> 6 seconden) worden de golfcondities licht onderschat (met circa 5%).

7.3.3 Binnengebied Westerschelde voor dijkvakken aan ondiep water

80% van de dijkvakken aan de Westerschelde ligt aan relatief ondiep water (ondieper dan NAP -4 meter). Voor deze dijkvakken gelden de volgende conclusies:

- De spectrale golfhoogte H_s wordt gemiddeld door SWAN correct berekend. SWAN heeft bij deze berekeningen zelfs een lichte neiging tot overschatting (met 4%).
- De piekperiode T_{pm} wordt door SWAN gemiddeld met ongeveer 13% onderschat.
- De combinatie van H_s en T_{pm} wordt door SWAN met gemiddeld 8% onderschat.
- De correctie van $T_{pm} + 1$ seconde is voor deze dijkvakken ruim voldoende om de geconstateerde onderschatting van zowel H_s als T_{pm} te compenseren. De compensatie door de correctie van $+1$ seconde bedraagt bij een piekperiode van 5 seconden 20%.
- Samenvattend kan geconcludeerd worden dat golfcondities in de Westerschelde voor dijkvakken aan ondieper water voldoende robuust zijn.

7.4 Aanbevelingen

- Deze studie werpt een ander licht op de bestaande ontwerpwaarden. De robuustheid van de ontwerpgetallen voor met name de Westerschelde-monding, en voor een klein gedeelte de dijkvakken die aan diep water liggen, is minder groot dan gedacht. Vanwege de onzekerheden met betrekking tot de nauwkeurigheid van de metingen en het aantal gemeten stormen, zijn de in dit rapport genoemde getallen voor betrouwbaarheid slechts indicatief. Toch is het raadzaam om voor toekomstige ontwerpen in de monding van de Westerschelde en wellicht ook voor ontwerpen direct aan diep water, rekening te houden met de geconstateerde onderschatting. Een mogelijkheid hiervoor is het gebruiken van een ontwerp toeslag.
- Voor het merendeel van de dijkvakken is aangetoond dat de in 1997 en 1998 afgegeven golfcondities veilig zijn. Toch blijkt uit deze exercitie dat de filosofie niet in alle gevallen heeft geleid tot voldoende robuuste ontwerpwaarden. Met andere woorden is de marge tussen toetsing en ontwerp erg klein geworden. In dit licht is het noodzakelijk de toets- en ontwerpfilosofie te herbezien.
- Met behulp van deze geavanceerde *hindcaststudie* was het mogelijk om een realistisch beeld te geven van de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN. Ondanks de geavanceerde *hindcast* en de uitgebreide analyse blijkt het doorvertalen, van de conclusies van de *hindcast* van gemeten stormen, naar ontwerpcondities erg lastig te zijn. Een van de oorzaken hierbij is de beperkte dataset aan metingen in vergelijking met de ontwerpcondities. In deze studie zijn alleen westerstormen meegenomen. Om werkelijk een gefundeerd oordeel te geven over de betrouwbaarheid van de ontwerpcondities zijn

gemeten stormen nodig bij verschillende windsnelheden, waterstanden en windrichtingen. Daarom wordt aanbevolen, op basis van dit rapport, de *hindcast* methode verder te verfijnen en een dergelijke studie ook uit te voeren voor een uitgebreidere dataset. Hiervoor is het noodzakelijk dat de huidige meetcampagne gehandhaafd wordt.

- Het grote verschil in de geconstateerde betrouwbaarheid van SWAN op diep water in vergelijking met die op ondiep water is opvallend. Dit kan impliceren dat het model qua fysica niet geheel in orde is. De bevindingen uit deze studie zullen daarom ook meegenomen worden in het recent opgestarte project Sterkte en Belasting Waterkeringen (SBW), wat zich richt op de verbetering van Hydraulische Randvoorwaarden voor de toetsing van waterkeringen.
- In deze studie is volstaan met het geven van indicatieve betrouwbaarheidsparameters per deelgebied en per meetlocatie. Het is echter noodzakelijk om een doorvertaling te maken naar dijkvakken. Aanbevolen wordt om voor de ontwerpen die in voorbereiding zijn, na te gaan in hoeverre de huidige set met ontwerp-golfcondities gehandhaafd kan blijven.

Referenties

Voor het samenstellen van dit adviesrapport is gebruik gemaakt van onderstaande literatuur:

Referentie	Literatuur
1	Andorka Gál, J.H. Betrouwbaarheid golfmodellen Hiswa en SWAN in de Westerschelde RIKZ/OS-97.112 1997
2	Andorka Gál, J.H., J.C.M. de Jong, A.T. Kamsteeg, J.G. de Ronde Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde, gegeven een 1/4000 windsnelheid RIKZ/97.046 1997
3	Andorka Gál, J.H., J.C.M. de Jong, A.T. Kamsteeg, J.G. de Ronde Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde, gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel 2) RIKZ/98.018 1998
4	Battjes, J.A. Statistische eigenschappen van stationaire Gaussische processen "De ingenieur", jaargang 84, nr 27 Juli 1972
5	Booij, N., I.J.G. Haagsma, L.H. Holthuijsen, R. Padilla-Hernandez, R.C. Ris User Manual SWAN Cycle 2 version 30.62 Technische Universiteit Delft 1997
6	Gautier, C. Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde Royal Haskoning, 9M5697 juni 2003
7	Groeneweg, J. et al. Reliability of SWAN at the Petten Sea Defence WLIDelft & ALKYON, H4197 juni 2003
8	Jacobse, J.J. Validatie toepassing van SWAN in de Waddenzee RIKZ/OS-99.167 Augustus 1999

-
- | | |
|-----------|--|
| 9 | Jacobse, J.J.
Validatie van het SWAN-model voor de Pettemer zeewering
RIKZ/OS-2000.150
December 2000 |
| 10 | Jacobse, J.J.
Betrouwbaarheid SWAN
RIKZ/OS-2002.116x
November 2002 |
| 11 | Gent, M. van
Physical model investigations on coastal structures with shallow foreshores
WL H3129
July 1999 |
| 12 | Kamsteeg, A.T., J.H. Andorka Gál, J.G. de Ronde, J.J. Jacobse
Golfberekeningen Oosterschelde
RIKZ/2001.006
2001 |
| 13 | Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen
ISBN-90-3693-718-3
September 1996 |
| 14 | Ronde, J.G. de, J.G.A. van Marle, A.P. Roskam, J.H. Andorka Gál
Golfrandvoorwaarden langs de Nederlandse kust op relatief diep water
RIKZ/95.024
1995 |
| 15 | Roskam, A.P., J. Hoekema
Randvoorwaarden voor golfperioden langs de Nederlandse kust
RIKZ/96.019
1996 |
| 16 | Roskam, A.P.
Piekperioden van brede of meertoppige spectra
RIKZ/OS-97.130
1997 |
| 17 | Vledder, G. Ph. van, et al.
Generieke methode voor het hindcasten van gemeten stormen
ALKYON & WLIDelft, A1002
september 2002 |
| 18 | Wieringa, J, Rijkoort, P.J.
Windklimaat van Nederland
KNMI, Staatsuitgeverij, Den Haag
1983 |

Bijlagen

In dit rapport zijn de onderstaande figuren en tabellen als bijlage opgenomen:

Bijlage	Omschrijving	Pagina
1.1	Validatieverslag stormperiode 28 mei 2000	46
1.2	Validatieverslag stormperiode 28 dec. 2001	50
1.3	Validatieverslag stormperiode 27 okt. 2002	54
2	Vergelijking berekende waterstanden met gemeten waterstanden	58
3.1 tot 3.12	Betrouwbaarheid en standaardafwijking H_s en T_{pm} bij nadere analyse RIKZ	60
4.1 tot 4.9	Invloed betrouwbaarheid H_s en T_{pm} op de belastingsfunctie	71

Bijlage 1.1 Validatie stormperiode 28 mei 2000

In dit memo wordt een overzicht gegeven van de golfgegevens, die verzameld zijn voor de SWAN-hindcast van de golfsituatie in de Westerschelde tijdens de storm van 28 mei 2000. De gegevens hebben alle betrekking op de periode 27 t/m 28 mei 2000. Behalve golfgegevens zijn ook wind- en waterstandsmetingen opgenomen.

Golf- en windgegevens van de Westerschelde en het Zeeuwse kustgebied zijn afkomstig uit de database van de Directie Zeeland, welwillend verstrekt door de afdeling VCZ of daaruit zelf opgehaald met behulp van de internet applicatie WTZINTRA.

Golf- en windgegevens van de Noordzee locaties (EUR, K13 e.d.) komen uit bestanden van het HMR (Directie Noordzee), die in de periode 1999-2001 dagelijks ter beschikking werden gesteld en waarvan voor stormdagen kopieën zijn bewaard.

Waterstandsgegevens van alle locaties komen uit DONAR.

Bij de Zeeuwse locaties is de tijdstap tussen de golf-, wind- en waterstandsmetingen 30 minuten (uitgezonderd windmetingen bij Vlissingen : 60 minuten) en bij de Noordzee locaties is de tijdstap 20 minuten. Elke golfmeting kent een meetduur van 20 minuten, waarover parameters en spectra worden berekend.

Windgegevens bestaan uit gemiddelden over metingen van 10 minuten op de meethoogte, dus niet gecorrigeerd naar U10. De meethoogte verschilt bij de Zeeuwse locaties meestal niet veel van 10 meter. Bij de Noordzee locaties kan de meethoogte wel aanzienlijk hoger zijn dan 10 meter.

De locaties worden aangegeven met een 3-letterige code. De volgende locaties zijn gebruikt :

code	naam locatie	golfmeetinstrument
EUR	Euro platform	radar
EUW	boei nabij Euro platform	directional waverider
LEG	Lichteiland Goeree	radar
SWB	Schouwenbank	waverider
BG2	Brouwershavense Gat 2	stappenbaak
DRL	Deurlb	waverider
SCW	Scheur West	waverider
SCO	Scheur Oost	waverider
WIE	Wielingen	waverider
CDD	Cadzand (diep)	directional waverider
CDZ	Cadzand (kust)	stappenbaak
HFP	Hoofdplaat (diep)	stappenbaak
HF1	Hoofdplaat (ondiep)	stappenbaak (defect tijdens deze storm)
HSW	Hansweert (diep)	stappenbaak
HSR	Hansweert (diep)	radar
HS1	Hansweert (ondiep)	stappenbaak
BAT	Bath (diep)	stappenbaak
BA1	Bath (ondiep)	stappenbaak
VRN	Vlakte van de Raan	alleen wind
VLS	Vlissingen	wind en waterstand
HVH	Hoek van Holland	alleen wind
YMS	Ijmuiden (semafoor)	alleen wind

Golf-, wind- en waterstandsgegevens zijn opgeslagen in 6 verschillende soorten files. Onderstaand een beknopte beschrijving. Een gedetailleerde beschrijving van inhoud en layout van deze files wordt gegeven in memo :

"Opslag van golfgegevens van bijzondere metingen of bijzondere perioden"

RIKZ-Memo ; 29 februari 2000 ; A.P. Roskam en J. Hoekema.

De naam van deze files bestaat uit de type aanduiding (GP of zo), gevolgd door de begindatum van de betreffende periode (jjmmdd : hier 000527) en afgesloten met een extensie met de drie-letterige locatie code (bijv. GH000527.BG2).

- GP - beknopt bestand met de belangrijkste golfparameters (5, bij richtingen 8)
- GS - uitgebreid bestand met veel golfparameters en het spectrum (100 frequenties)
- GZ - bestand met 5/8 golfparameters en het 48 frequenties spectrum uit DONAR
- GR - bestand met de drie golfrichtingspectra met 48 frequenties uit DONAR
- GH - waterstanden (gemeten, astronomisch en opzet)
- GW- wind (snelheid en richting)

GP-, GH- en GW zijn equidistant, hiaten zijn opgevuld met dummywaarden (-999). In de overige files komen wel hiaten voor.

Onderstaande tabel geeft aan hoeveel meetgegevens er in de oorspronkelijke datareeksen aanwezig waren en hoeveel reeksen er na controle en validatie in de respectievelijke standaard-files aanwezig zijn.

locatie code	aantal golfmeet- reeksen	aantal reeksen na validatie :						bijzonderheden bij golfreeksen
		GP	GS	GZ	GR	GH	GW	
SWB	92	92	92					-
BG2	91	91	91				96	veel hiaten, 5 reeksen afgekeurd
DRL	93	93	93					-
SCW	93	93	93					-
SCO	93	93	93					-
WIE	93	93	93					-
CDD	93	92	92		92			11 reeksen afgekeurd
CDZ	93	93	93			96	95	-
HFP	93	93	93				95	1 reeks afgekeurd
HSW	93	93	93			96	95	4 reeksen afgekeurd
HSR	93	93	93					kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 1 reeks afgekeurd
HS1	70	69	69					2 reeksen afgekeurd
BAT	78	78	78			96		kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 8 reeksen afgekeurd
BA1	71	67	67					kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 15 reeksen afgekeurd
EUW	144	142		142	142			2 reeksen afgekeurd
EUR	144	143		143		96	144	1 reeks afgekeurd
LEG	144	142		142			144	2 reeksen afgekeurd
VLS	144					96	48	alleen wind en waterstand (wind uurlijks)
VRN	144						96	alleen windgegevens
HVH	144						144	alleen windgegevens
YMS	144						144	alleen windgegevens

Opmerkingen bij de validatie :

1. Bij de beide meetlocaties nabij Bath (BAT en BA1) is de kwaliteit van de golfmetingen slecht. Dit uit zich vooral in de golfperiode parameters. Met name TH1/3 (in de GP-files) en Tmax, Thmax en T1/3 (in de GS-files) zijn vaak veel te hoog. In de GP-files zijn bij beide locaties 10-15 tijdstippen aanwezig waarop de waarde van TH1/3 te hoog of veel te hoog is en in de GS-files is bij minstens de helft van de reeksen Tmax en/of Thmax veel te hoog. Het lijkt er op dat het golfsignaal soms lange tijd op enige afstand onder of boven de middenstand blijft hangen. Dit is meestal niet ver boven of onder de middenstand, zoals blijkt uit het feit dat Hmax bijna altijd ongeveer normaal is. Registraties met lage golfhoogten worden relatief het zwaarst beïnvloed door deze fout.
De golfhoogte parameters zullen waarschijnlijk wel tamelijke goede schatters zijn van de werkelijk opgetreden golfhoogte, maar minder nauwkeurig dan mag worden verwacht. De golfperiode parameters (vooral tijddomein, soms ook spectraal) zullen een (zeer) grote overschatting te zien geven, over het algemeen sterker naarmate de golfhoogte lager is.
Bij lage golfhoogten (ca. $H_{m0} < 50$ cm) moeten reeksen, waarbij TH1/3 in de GP-file groter of veel groter is dan tweemaal de waarde van Tm02 als fout en onbruikbaar worden beschouwd.
Bij grotere golfhoogten zijn de spectra en de spectrale parameters meestal niet heel erg fout (hoe groter de golfhoogte, hoe kleiner de invloed van dit type fout). In de spectra komt veel laagfrequente energie (lager dan 0,1 Hz) voor. Waarschijnlijk zullen de spectra voor het hoogfrequente deel goed zijn en wellicht, na correctie van het laagfrequente deel, nog wel bruikbaar in de *hindcast* studie.
Om deze reden zijn de metingen van BAT en BA1 niet alle afgekeurd, zoals eigenlijk zou hebben gemoeten, maar zijn ze in de bestanden opgenomen, maar wel met het advies ze niet dan met grote voorzichtigheid te gebruiken.
2. Bij erg lage golfhoogten (lager dan 10-15 cm), zijn meet-, reken- en data_opslag-nauwkeurigheid onvoldoende. De waarden van de golfhoogte parameters geven wel een goede indicatie van de werkelijke golfbeweging, maar golfperiode parameters zijn meestal veel te hoog en het spectrum is heel onnauwkeurig en vreemd van vorm (tot aan een volledig vlak spectrum).
3. Bij de bij het vorige punt genoemde lage golfhoogten kan het voorkomen dat de parameter Tpb niet kan worden berekend (dit gebeurt als de piek van het spectrum te dicht bij de boven- of ondergrens ligt). Tpb staat in zo'n geval op dummy (-999).
4. De ondiep water locaties HS1 en BA1 vallen bij lage waterstanden droog. De GP-bestanden van deze locaties bevatten dus met de regelmaat van het getij reeksen dummy waarden.
5. Van de meetlocatie Hoofdplaat ondiep (HF1) zijn geen gegevens aanwezig, de stappenbaal was defect..

-
6. Bij deze metingen zijn windgegevens per 20 of 30 minuten gegeven van een aantal Noordzee- en kustlocaties. Dit zijn ongecontroleerde en ongecorrigeerde gemiddelden over 10 minuten. Voor gecontroleerde en naar U10 geschaalde windgegevens wordt verwezen naar de KNMI_HYDRA-site

Alle files staan op de projectschijf DIJKBEKL op de directory storm\00s3\ . Het betreft:

25 GP-files	(GP000527.<loc> : <loc> = locatie code van 3 letters)
14 GS-files	(GS000527.<loc>)
11 GZ-files	(GZ000527.<loc>)
5 GR-files	(GR000527.<loc>)
5 GH-files	(GH000527.<loc>)
12 GW-files	(GW000527.<loc>)
1 plotfile	(PLOTS000527.PS : plaatjes met verloop van golfhoogte etc.)
25 plotfiles	(SPE_<loc>_000527.PS : plaatjes met spectra)
1 document	(dit document : GEGEVENSOVERZICHT_00S3.DOC)

Deze bestanden beslaan tezamen bijna 11 Mbyte.

Bijlage 1.2 Validatie stormperiode 28 december 2001

In dit memo wordt een overzicht gegeven van de golfgegevens, die verzameld zijn voor de SWAN-hindcast van de golfsituatie in de Westerschelde tijdens de storm van 28 december 2001. De gegevens hebben alle betrekking op de periode 27 t/m 29 december 2001. Behalve golfgegevens zijn ook wind- en waterstandsmetingen opgenomen.

Golf- en windgegevens van de Westerschelde en het Zeeuwse kustgebied zijn afkomstig uit de database van de Directie Zeeland, welwillend verstrekt door de afdeling VCZ of daaruit zelf opgehaald met behulp van de internet applicatie WTZINTRA.

Golfgegevens van de Noordzeelocaties (EUR, K13 e.d.) komen uit DONAR en uit een speciaal bestand dat door het HMR voor deze storm is samengesteld. Dit bestand bevat waarden per 20 minuten voor de 5 standaard golfparameters. (Hm0, H1/3, HE3, Tm02 en TH1/3), dus geen spectra en geen richtingsparameters. Tijdens deze stormperiode waren, vanwege veranderingen in de overhaalprocedure tussen HMR en RIKZ geen schaduwbestanden van alle door het HMR ingewonnen gegevens beschikbaar.

Met bovengenoemd bestand is deze leemte gedeeltelijk opgevuld. Waterstandsgegevens van alle locaties komen uit DONAR.

Bij de Zeeuwse locaties is de tijdstap tussen de golf-, wind- en waterstandsmetingen 30 minuten (uitgezonderd windmetingen bij Vlissingen: 60 minuten) en bij de Noordzee locaties is de tijdstap 20 minuten voor de golfhoogte en golfperiode parameters, 60 minuten voor de richting parameters en 3 uur voor de spectra.

Elke golfmeting kent een meetduur van 20 minuten, waarover parameters en spectra worden berekend.

Windgegevens bestaan uit gemiddelden over metingen van 10 minuten op de meethoogte, dus niet gecorrigeerd naar U10. De meethoogte verschilt bij de Zeeuwse locaties meestal niet veel van 10 meter.

De locaties worden aangegeven met een 3-letterige code. De volgende locaties zijn gebruikt :

code	naam locatie	golfmeetinstrument
EUR	Euro platform	radar
EUW	boei nabij Euro platform	directional waverider
LEG	Lichteiland Goeree	radar
SWB	Schouwenbank	waverider
BG2	Brouwershavense Gat 2	stappenbaak
DRL	Deurlo	waverider
SCW	Scheur West	waverider
SCO	Scheur Oost	waverider
WIE	Wielingen	waverider
CDD	Cadzand (diep)	directional waverider
CDZ	Cadzand (kust)	stappenbaak
WCT	Westerschelde Container Terminal	waverider
PVT	Pas van Terneuzen	waverider
HFP	Hoofdplaat (diep)	stappenbaak
HF1	Hoofdplaat (ondiep)	stappenbaak
HSW	Hansweert (diep)	stappenbaak
HSR	Hansweert (diep)	radar
HS1	Hansweert (ondiep)	stappenbaak
BAT	Bath (diep)	stappenbaak
BA1	Bath (ondiep)	stappenbaak
VRN	Vlakte van de Raan	alleen wind
VLS	Vlissingen	wind en watersland

Golf-, wind- en waterstandsgegevens zijn opgeslagen in 6 verschillende soorten files. Onderstaand een beknopte beschrijving. Een gedetailleerde beschrijving van inhoud en layout van deze files wordt gegeven in memo :

"Opslag van golfgegevens van bijzondere metingen of bijzondere perioden"

RIKZ-Memo ; 29 februari 2000 ; A.P. Roskam en J. Hoekema.

De naam van deze files bestaat uit de type aanduiding (GP of zo), gevolgd door de begindatum van de betreffende periode (jjmmdd : hier 011227) en afgesloten met een extensie met de drie-letterige locatie code (bijv. GH011227.BG2).

- GP - beknopt bestand met de belangrijkste golfparameters (5, bij richtingen 8)
- GS - uitgebreid bestand met veel golfparameters en het spectrum (100 frequenties)
- GZ - bestand met 5/8 golfparameters en het 48 frequenties spectrum uit DONAR
- GR - bestand met de drie golfrichtingspectra met 48 frequenties uit DONAR
- GH - waterstanden (gemeten, astronomisch en opzet)
- GW- wind (snelheid en richting)

GP-, GH- en GW zijn equidistant, hiaten zijn opgevuld met dummywaarden (-999). In de overige files komen wel hiaten voor.

Onderstaande tabel geeft aan hoeveel meetgegevens er in de oorspronkelijke datareeksen aanwezig waren en hoeveel reeksen er na controle en validatie in de respectievelijke standaard-files aanwezig zijn.

locatie code	aantal golfmeet- reeksen	aantal reeksen na validatie :						bijzonderheden bij golfreeksen
		GP	GS	GZ	GR	GH	GW	
SWB	144	144	144					-
BQ2	74	69	69				144	veel hiaten, 5 reeksen afgekeurd
DRL	144	144	144					-
SCW	144	144	144					-
SCO	144	144	144					-
WIE	144	144	144					-
CDD	144	133	133		133			11 reeksen afgekeurd
CDZ	144	144	144			144	144	-
WCT	144	144	144					-
PVT	144	144	144					-
HFP	144	143	143				144	1 reeks afgekeurd
HF1	83	79	79					4 reeksen afgekeurd
HSW	88	84	84			144	144	4 reeksen afgekeurd
HSR	143	142	142					kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 1 reeks afgekeurd
HS1	107	105	105					2 reeksen afgekeurd
BAT	143	135	135			144		kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 8 reeksen afgekeurd
BA1	107	92	92					kwaliteit slecht, zie opmerking 1 ; 15 reeksen afgekeurd
EUW	216	216		24	24			-
EUR	216	216		24		144		-
LEG	216	216		24				-
VLS	144					144	72	alleen wind en waterstand (wind uurlijks)
VRN	144						144	alleen windgegevens

Opmerkingen bij de validatie :

1. Bij de beide meetlocaties nabij Bath (BAT en BA1) en bij de radarmetingen bij Hansweert is de kwaliteit van de golfmetingen slecht. Dit uit zich vooral in de golfperiode parameters. Met name TH1/3 (in de GP-files) en Tmax, Thmax en T1/3 (in de GS-files) zijn vaak veel te hoog. In de GP-files zijn bij alle drie de locaties 10-15 tijdstippen aanwezig waarop de waarde van TH1/3 te hoog of veel te hoog is en in de GS-files is bij minstens de helft van de reeksen Tmax en/of Thmax veel te hoog. Het lijkt er op dat het golfsignaal soms lange tijd op enige afstand onder of boven de middenstand blijft hangen. Dit is meestal niet ver boven of onder de middenstand, zoals blijkt uit het feit dat Hmax bijna altijd ongeveer normaal is. Registraties met lage golfhoogten worden relatief het zwaarst beïnvloed door deze fout.
2. De golfhoogte parameters zullen waarschijnlijk wel tamelijke goede schatters zijn van de werkelijk opgetreden golfhoogte, maar minder nauwkeurig dan mag worden verwacht. De golfperiode parameters (vooral tijddomein, soms ook spectraal) zullen een (zeer) grote overschatting te zien geven, over het algemeen sterker naarmate de golfhoogte lager is.
3. Bij lage golfhoogten (ca. $H_{m0} < 50$ cm) moeten reeksen, waarbij TH1/3 in de GP-file groter of veel groter is dan tweemaal de waarde van Tm02 als fout en onbruikbaar worden beschouwd.
4. Bij grotere golfhoogten zijn de spectra en de spectrale parameters meestal niet heel erg fout (hoe groter de golfhoogte, hoe kleiner de invloed van dit type fout). In de spectra komt veel laagfrequente energie (lager dan 0.1 Hz) voor. Waarschijnlijk zullen de spectra voor

-
- het hoogfrequente deel goed zijn en wellicht, na correctie van het laagfrequente deel, nog wel bruikbaar in de *hindcast* studie.
5. Om deze reden zijn de metingen van BAT , BA1 en HSR niet alle afgekeurd, zoals eigenlijk zou hebben moeten, maar zijn ze in de bestanden opgenomen, maar wel met het advies ze niet dan met grote voorzichtigheid te gebruiken.
 6. Bij erg lage golfhoogten (lager dan 10-15 cm), zijn meet-, reken- en data_opslag-nauwkeurigheid onvoldoende. De waarden van de golfhoogte parameters geven wel een goede indicatie van de werkelijke golfbeweging, maar golfperiode parameters zijn meestal veel te hoog en het spectrum is heel onnauwkeurig en vreemd van vorm (tot aan een volledig vlak spectrum).
 7. Bij de bij het vorige punt genoemde lage golfhoogten kan het voorkomen dat de parameter Tpb niet kan worden berekend (dit gebeurt als de piek van het spectrum te dicht bij de boven- of ondergrens ligt). Tpb staat in zo'n geval op dummy (-999).
 8. De ondiep water locaties HS1, HF1 en BA1 vallen bij lage waterstanden droog. De GP-bestanden van deze locaties bevatten dus met de regelmaat van het getij reeksen dummy waarden.
 9. Bij de validatie van deze metingen bleek dat de parameters SPGH en SPGT al geruime tijd fout worden berekend bij de inwinning en verwerking. De foute waarden uit de oorspronkelijke bestanden zijn in de GS-files vervangen door dummy waarden. De afdeling VCZ van de Directie Zeeland werkt aan verbetering van de fout.
 10. Van alle meetlocaties van het meetnet ZEGE van de Directie Zeeland zijn de ruwe data aanwezig voor de periode 28 december 08:33 t/m 29 december 07:00. Met behulp van bijvoorbeeld Waves2002 zou uit deze data nog gedetailleerder informatie kunnen worden berekend dan al in bijv. de GS-files wordt gegeven. Wellicht kan Waves2002, dat is uitgerust met zeer specifieke validatie-routines, nog wel bruikbare gegevens halen uit de ruwe data van BAT / BA1 / HSR (zie opm. 1).
 11. Bij de locatie PVT (Pas van Terneuzen) is de maximale golfhoogte binnen een registratie (Hmax), bij niet al te grote Hm0, vaak veel hoger dan mag worden verwacht. Zoiets is meestal een gevolg van (onvoldoende weggefilterde) uitschieters in het meetsignaal, maar bij deze locatie aan de zeer drukke scheepvaartroute, zijn het

Alle files staan op de projectschijf DIJKEKL op de directory storm\01s4\.

Het betreft :

26 GP-files	(GP011227.<loc> : <loc> = locatie code van 3 letters)
17 GS-files	(GS011227.<loc>)
8 GZ-files	(GZ011227.<loc>)
5 GR-files	(GR011227.<loc>)
5 GH-files	(GH011227.<loc>)
6 GW-files	(GW011227.<loc>)
1 plotfile	(PLOTS011227.PS : plaatjes met verloop van golfhoogte etc.)
25 plotfiles	(SPE_<loc>_011227.PS : plaatjes met spectra)
1 document	(dit document : GEGEVENS OVERZICHT_01S4.DOC)

Deze bestanden beslaan tezamen bijna 10 Mbyte.

Bijlage 1.3 Validatie stormperiode 27 oktober 2002

In dit memo wordt een overzicht gegeven van de golfgegevens, die verzameld zijn voor de SWAN-hindcast van de golfsituatie in de Westerschelde tijdens de storm van 27 oktober 2002.

De gegevens hebben alle betrekking op de periode 25 t/m 28 oktober 2002. Behalve golfgegevens zijn ook wind- en waterstandsmetingen opgenomen.

Golf- en windgegevens van de Westerschelde en het Zeeuwse kustgebied zijn afkomstig uit de database van de Directie Zeeland, welwillend verstrekt door de afdeling VCZ of daaruit zelf opgehaald met behulp van de internet applicatie WTZINTRA. Waterstandsgegevens komen uit DONAR.

Golfgegevens van de noordelijke diep water locaties (EUR en LEG) komen uit door de directie Noordzee beschikbaar gestelde bestanden met 10-minuten gegevens (parameters en spectra) van de 4 stormdagen. Deze golfgegevens staan met een tijdstap van 20 minuten in de betreffende bestanden.

Bij de Zeeuwse locaties is de tijdstap tussen de metingen 30 minuten. Windgegevens bestaan uit gemiddelden over metingen van 10 minuten op de meethoogte, dus niet gecorrigeerd naar U10 (de meethoogte verschilt meestal niet veel van 10 meter).

De locaties worden aangegeven met een 3-letterige code. De volgende locaties zijn gebruikt :

code	naam locatie	golfmeetinstrument
----	-----	-----
EUR	Euro platform	radar
EUW	boei nabij Euro platform	directional waverider
LEG	Lichteiland Goeree	radar
SWB	Schouwenbank	waverider
BG2	Brouwershavense Gat 2	stappenbaak
DRL	Deurlo	directional waverider
SCW	Scheur West	waverider
SCO	Scheur Oost	waverider
WIE	Wielingen	waverider
CDD	Cadzand (diep)	directional waverider
CDZ	Cadzand (kust)	stappenbaak
WCT	W'schelde Container Terminal	waverider
HFP	Hoofdplaat (diep)	stappenbaak
HF1	Hoofdplaat (ondiep)	stappenbaak
PVT	Pas van Terneuzen	waverider
HSW	Hansweert (diep)	stappenbaak
HS1	Hansweert (ondiep)	stappenbaak
BAT	Bath (diep)	stappenbaak
BA1	Bath (ondiep)	stappenbaak
VRN	Vlakte van de Raan	alleen wind
VLS	Vlissingen	alleen waterstanden

Coördinaten en diepten van de golfmeetlocaties zijn :

locatie	x (RDM)	y (RDM)	diepte (m NAP)
-----	-----	-----	-----
EUR	9.963	447.601	32
LEG	36.779	438.793	21
SWB	11.244	419.519	20
BG2	32.824	421.369	11
DRL	6.071	392.601	11
SCW	-7.797	380.645	15
SCO	9.915	381.366	15
WIE	17.667	383.867	10
CDD	14.426	379.549	9,4
CDZ	15.210	378.670	6,4
WCT	38.268	383.383	20
HFP	35.636	377.877	3,2
HF1	35.641	377.534	0,6
PVT	45.040	374.771	14
HSW	58.395	384.989	6,3
HS1	58.659	384.982	0,8
BAT	73.098	379.510	6,1
BA1	73.084	379.591	1,2

Golf-, wind- en waterstandsgegevens zijn opgeslagen in 6 verschillende soorten files. Onderstaand een beknopte beschrijving. Een gedetailleerde beschrijving van inhoud en layout van deze files wordt gegeven in memo :

"Opslag van golfgegevens van bijzondere metingen of bijzondere perioden"

RIKZ-Memo ; 29 februari 2000 ; A.P. Roskam en J. Hoekema.

De naam van deze files bestaat uit de type aanduiding (GP of zo), gevolgd door de begindatum van de betreffende periode (jjmmdd : hier 021025) en afgesloten met een extensie met de drie-letterige locatie code (bijv. GH021025.BG2).

- GP - beknopt bestand met de belangrijkste golfparameters (5, bij richtingen 8)
- GS - uitgebreid bestand met veel golfparameters en het spectrum (100 frequenties)
- GZ - bestand met 5/8 golfparameters en het 48 frequenties spectrum uit DONAR
- GR - bestand met de drie golfrichtingspectra met 48 frequenties uit DONAR
- GH - waterstanden (gemeten, astronomisch en opzet)
- GW- wind (snelheid en richting)

Onderstaande tabel geeft aan hoeveel meetgegevens er in de oorspronkelijke datareeksen aanwezig waren en hoeveel reeksen er na controle en validatie in de respectievelijke standaard-files aanwezig zijn.

locatie code	aantal meet- reeksen	aantal meetreeksen na validatie :						bijzonderheden bij golfreeksen
		GP	GS	GZ	GR	GH	GW	
SWB	192	192	192					-
BGZ	192	192	192				192	-
DRL	192	181	181		181			11 reeksen afgekeurd
SCW	191	188	188					3 reeksen afgekeurd
SCO	192	192	192					-
WIE	192	192	192					-
CDD	192	182	182		182			10 reeksen afgekeurd
CDZ	131	130	130			192	192	stopt op 27/10 17:00 ; 1 reeks afgekeurd
WCT	192	191	191					1 reeks afgekeurd
HFP	192	191	191				192	1 reeks afgekeurd
HF1	126	119	119					7 reeksen afgekeurd
PVT	192	190	190					2 reeksen afgekeurd, zie opmerking 3
HSW	192	192	192			192	192	-
HS1	149	148	148					1 reeks afgekeurd
BAT	132	132	132			192		kwaliteit slecht, zie opmerking 1
BA1	36	36	36					kwaliteit matig, zie opmerking 2
ELUW	288	269		269	269			-
EUR	288	278		278		192		-
LEG	288	288		288				-
VLS						192		alleen waterstandsgegevens
VRN							192	alleen windgegevens

Opmerkingen bij de validatie :

1. Bij de diep water meetlocatie nabij Bath (BAT) is de kwaliteit van de golfmetingen slecht. Dit uit zich vooral in de golfperiode parameters. Met name T1/3 en TH1/3 zijn vaak veel te hoog. Het lijkt er op dat het golfsignaal soms lange tijd op enige afstand onder of boven de middenstand blijft hangen. Dit is meestal niet ver boven of onder de middenstand, zoals blijkt uit het feit dat Hmax bijna altijd ongeveer normaal is. Registraties met lage golfhoogten worden relatief het zwaarst beïnvloed door deze fout.
2. De golfhoogte parameters zullen waarschijnlijk wel tamelijke goede schatters zijn van de werkelijk opgetreden golfhoogte, maar minder nauwkeurig dan mag worden verwacht. De golfperiode parameters (zowel tijddomein als spectraal) zullen een (zeer) grote overschatting te zien geven, over het algemeen sterker naarmate de golfhoogte lager is.
3. Bij lage golfhoogten (ca. $H_{m0} < 50$ cm) moeten reeksen, waarbij TH1/3 in de GP-file groter of veel groter is dan tweemaal de waarde van Tm02 als fout en onbruikbaar worden beschouwd.
4. Bij grotere golfhoogten zijn de spectra en de spectrale parameters meestal niet heel erg fout (hoe groter de golfhoogte, hoe kleiner de invloed van dit type fout). In de spectra komt veel laagfrequente energie (lager dan 0.1 Hz). Waarschijnlijk zullen de spectra voor het hoogfrequente deel goed zijn en wellicht, na correctie van het laagfrequente deel, nog wel bruikbaar in de *hindcast* studie.
5. Om deze reden zijn de metingen van BAT niet alle afgekeurd, zoals eigenlijk zou hebben gemoeten, maar zijn ze in de bestanden opgenomen, maar wel met het advies ze niet dan met grote voorzichtigheid te gebruiken.
6. Bij de ondiep water locatie BA1 treden in veel lichtere mate dezelfde problemen op als bij BAT. Hier komen (veel) te grote golfperioden voor op de tijdstippen kort voor dat de locatie droogvalt en aan het

- begin van de tijdvak dat de waterstand weer voldoende hoog is voor golfmetingen. Ook hier zijn deze reeksen niet afgekeurd, omdat de golfhoogte vermoedelijk wel ongeveer goed is.
7. Bij de locatie PVT (Pas van Terneuzen) is de maximale golfhoogte binnen een registratie (Hmax), bij niet al te grote Hm0, vaak veel hoger dan mag worden verwacht. Zoiets is meestal een gevolg van (onvoldoende weggefilterde) uitschieters in het meetsignaal, maar bij deze locatie aan de zeer drukke scheepvaartroute, zijn het waarschijnlijk hoge golven, veroorzaakt door scheepvaart.
 8. Bij erg lage golfhoogten (lager dan 10-15 cm), zijn meet-, reken- en data_opslag-nauwkeurigheid onvoldoende. De waarden van de golfhoogte parameters geven wel een goede indicatie van de werkelijke golfbeweging, maar golfperiode parameters zijn meestal veel te hoog en het spectrum is heel onnauwkeurig en vreemd van vorm (tot aan een volledig vlak spectrum).
 9. Bij de bij het vorige punt genoemde lage golfhoogten kan het voorkomen dat de parameter Tpb niet kan worden berekend (dit gebeurt als de piek van het spectrum te dicht bij de boven- of ondergrens ligt). Tpb staat in zo'n geval op dummy (-999).
 10. De ondiep water locaties HF1, HS1 en BA1 vallen bij lage waterstanden droog. De GP-bestanden van deze locaties bevatten dus met de regelmaat van het getij reeksen dummy waarden.
 11. Bij de validatie van deze metingen bleek dat de parameters SPGH en SPGT al geruime tijd fout worden berekend bij de inwinning en verwerking. De foute waarden uit de oorspronkelijke bestanden zijn in de GS-files vervangen door dummy waarden. De afdeling VCZ van de Directie Zeeland werkt aan verbetering van de fout.
 12. Van alle meetlocaties van het meetnet ZEGE van de Directie Zeeland zijn de ruwe data aanwezig voor de periode 25 oktober 15:50 t/m 27 oktober 22:40. Met behulp van bijvoorbeeld Waves2002 zou uit deze data nog gedetailleerder informatie kunnen worden berekend dan al in bijv. de GS-files wordt gegeven. Wellicht kan Waves2002, dat is uitgerust met zeer specifieke validatie-routines, nog wel bruikbare gegevens halen uit de ruwe data van BAT (zie opm. 1).

Alle files staan op de projectschijf DIJKBEL op de directory storm\02s3\ . Het betreft :

26 GP-files	(GP021025.<loc> : <loc> = locatie code van 3 letters)
16 GS-files	(GS021025.<loc>)
9 GZ-files	(GZ021025.<loc>)
6 GR-files	(GR021025.<loc>)
5 GH-files	(GH021025.<loc>)
5 GW-files	(GW021025.<loc>)
1 plotfile	(PLOTS021025.PS : plaatjes met verloop van golfhoogte etc.)
25 plotfiles	(SPE_<loc>_021025.PS : plaatjes met spectra)
1 document	(dit document : GEGEVENS OVERZICHT_0253.DOC)

Deze bestanden beslaan tezamen ruim 20 Mbyte.

Bijlage 2 Vergelijking van gemeten waterstanden met berekende waterstanden

In tabel 2.1, 2.2 en 2.3 is de Delta H weergegeven, t.o.v. de gemeten waterstanden. Een positieve waarden voor Delta H, is een te hoge waarde voor de berekende waterstand. Een negatieve waarde voor Delta H is een te lage waterstand.

Bijlage 2.1
Delta H [m], 28 mei 2000

Storn A: 28 mei 2000					
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	0.121	-0.081	-0.084	-0.14	-0.03
leg	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
swb	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
drl	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
scw	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
sco	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
wie	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
cdd	0.197	-0.189	-0.218	-0.299	0.222
cdz	0.203	-0.187	-0.218	-0.307	0.222
hfp	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hf1	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hsr	0.226	-0.05	-0.258	-0.371	-0.041
hs1	0.226	-0.05	-0.258	-0.371	-0.041
ba1	0.174	0.067	-0.277	-0.296	-0.243
bat	0.174	0.067	-0.277	-0.296	-0.243
pvt	0.318	-0.236	-0.351	-0.466	0.122
wct	0.233	-0.313	-0.367	-0.436	0.129

20 - 30 cm
30 - 50 cm
> 50 cm

Bijlage 2.2
Delta H [m], 28 december 2001

Storm B: 28 december 2001					
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	0.113	0.14	-0.006	0.029	0.114
leg	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
swb	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
drl	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
scw	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
sco	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
wie	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
cdd	0.505	-0.083	0.006	-0.025	0.103
cdz	0.52	-0.072	0.009	-0.027	0.102
hfp	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hf1	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hsr	0.257	0.043	-0.013	-0.201	-0.151
hs1	0.257	0.043	-0.013	-0.201	-0.151
ba1	-0.009	-0.156	0.043	-0.11	0.013
bat	-0.009	-0.156	0.043	-0.11	0.013
pvt	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
wct	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting

20 - 30 cm
30 - 50 cm
> 50 cm

Bijlage 2.3
Delta H [m], 27 oktober 2002

Storm C: 27 oktober 2002					
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	-0.047	-0.068	-0.031	0.081	-0.231
leg	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
swb	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
drl	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
scw	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
sco	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
wie	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
cdd	-0.059	-0.168	0.029	0.198	-0.369
cdz	-0.064	-0.171	0.044	0.215	-0.368
hfp	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hf1	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting	geen meting
hsr	0.198	-0.784	-0.269	0.043	-0.313
hs1	0.198	-0.784	-0.269	0.043	-0.313
ba1	0.328	-0.885	-0.579	-0.243	-0.143
bat	0.328	-0.885	-0.579	-0.243	-0.143
pvt	-0.054	-0.529	-0.33	0.146	-0.456
wct	-0.18	-0.474	-0.219	0.128	-0.485

20 - 30 cm
30 - 50 cm
> 50 cm

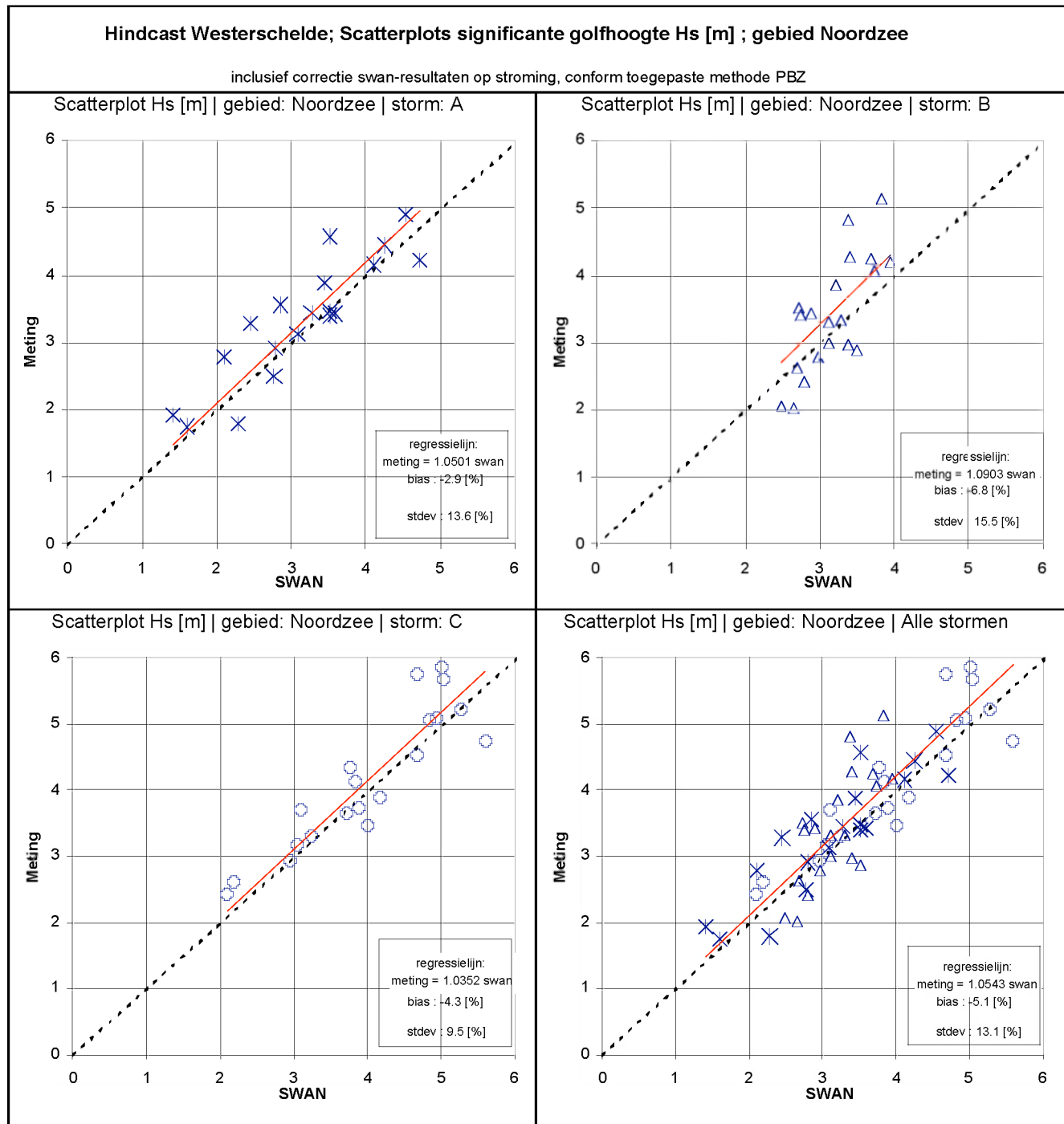
Bijlage 3 Betrouwbaarheid en standaardafwijking Hs en Tp bij nadere analyse RIKZ

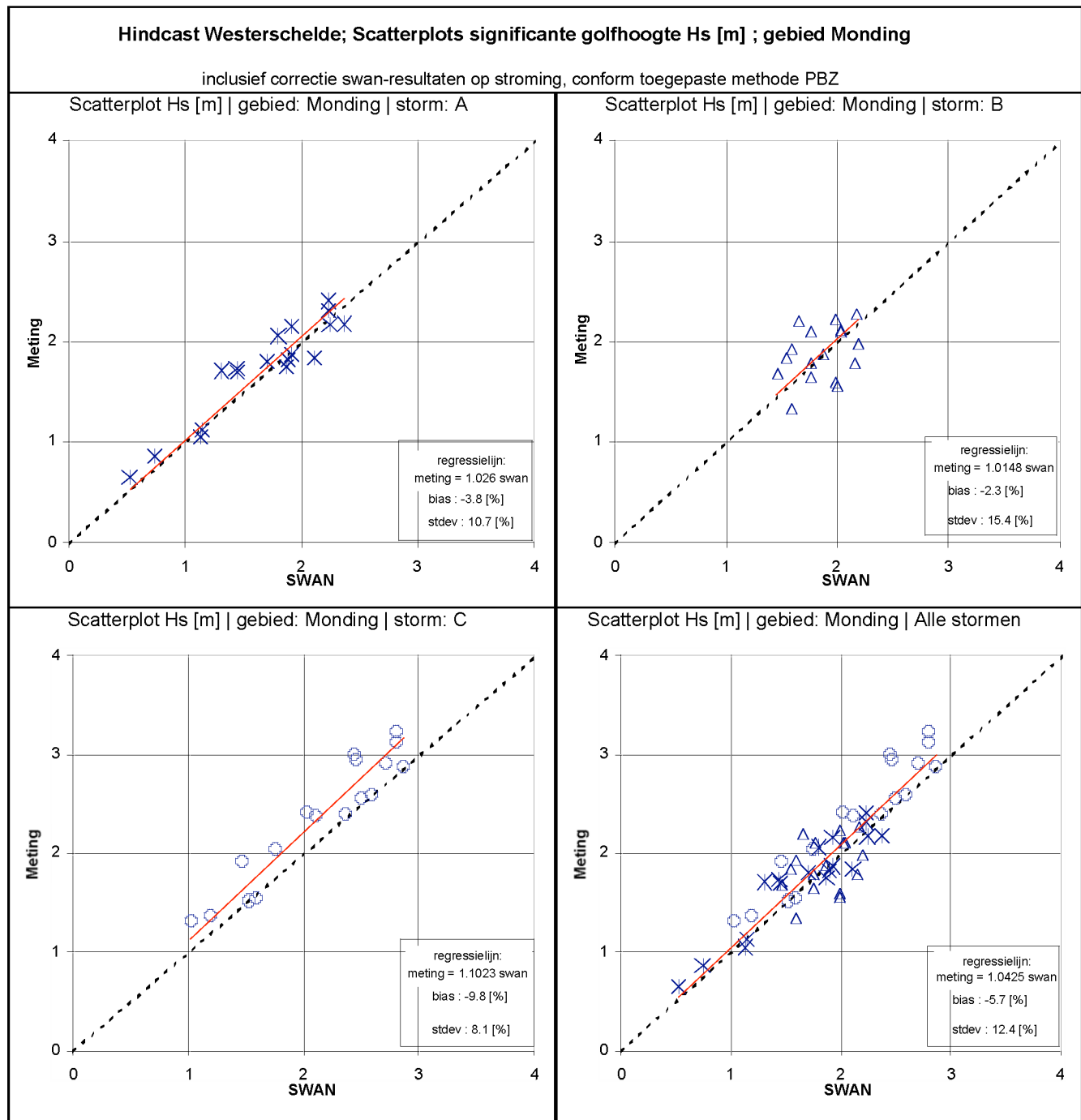
Bijlage 3.1
Bias en Stdev H_s [%]

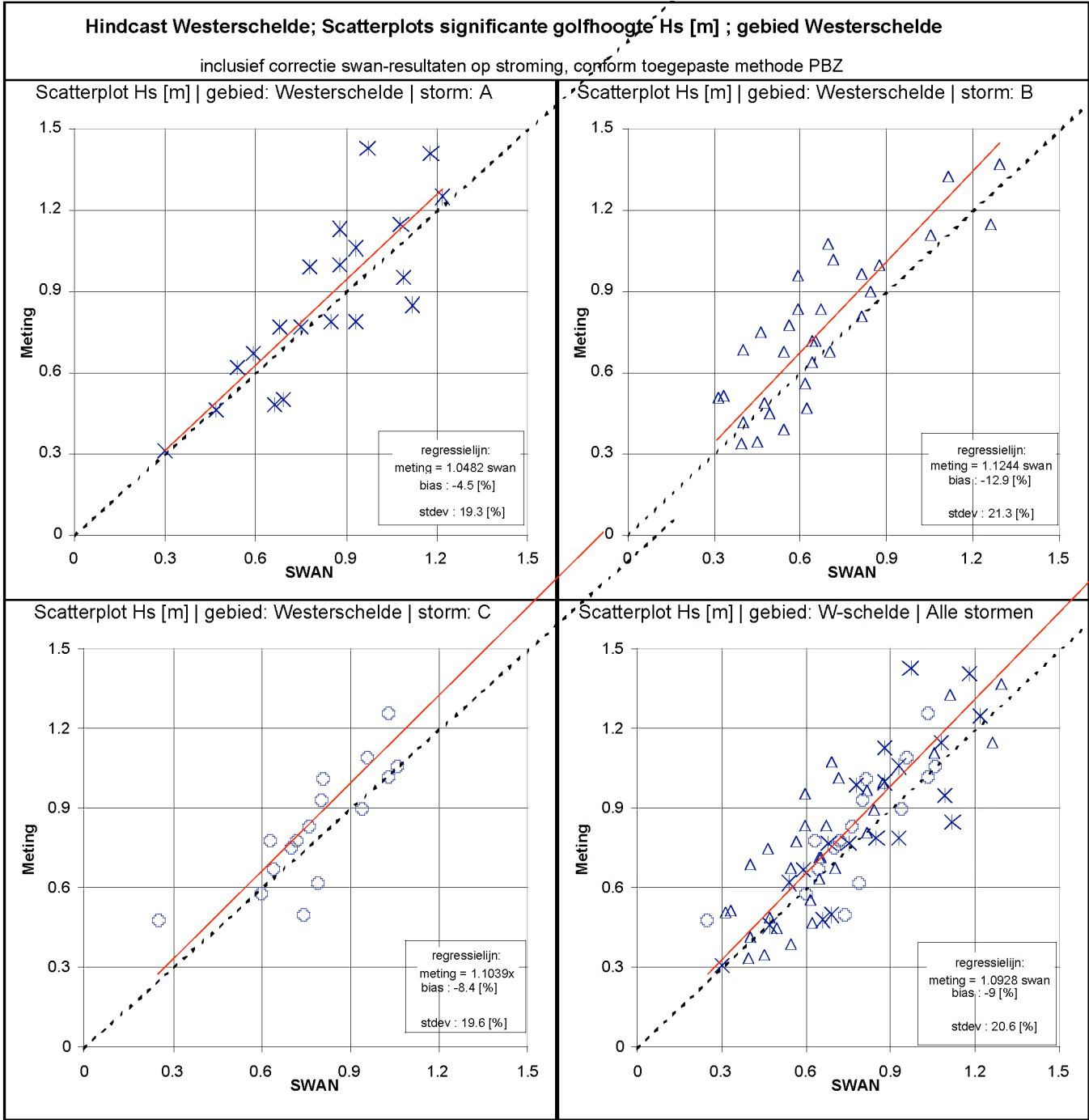
Overzicht betrouwbaarheid Hs (gemiddelde afwijking, standaardafwijking) per meetlocatie								
LOCATIE	28 mei 2000		28 dec. 2001		27 okt. 2002		3 stormen	
	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV
euw	3.6%	8.6%	-1.8%	5.8%	-6.7%	4.6%	-2.3%	8.1%
leg	-8.4%	9.6%	-17.4%	15.3%	-7.0%	9.1%	-10.9%	12.5%
swb	2.9%	13.4%	-5.2%	13.8%	-3.3%	11.8%	-2.1%	13.7%
drl	-9.2%	8.5%	-6.4%	18.4%	-7.7%	6.5%	-7.7%	12.6%
scw	-10.9%	15.5%	2.6%	13.8%	3.5%	9.8%	-1.3%	15.1%
sco	-4.8%	8.0%	1.4%	12.6%	-6.2%	4.9%	-3.4%	9.8%
wie	0.9%	5.5%	-2.5%	20.4%	-10.6%	8.7%	-4.8%	14.0%
cdd	-4.0%	12.5%	-4.3%	13.7%	-9.3%	6.4%	-6.2%	11.6%
cdz	-11.3%	11.6%	-8.3%	5.7%	-23.2%	0.4%	-13.9%	9.9%
hfp	38.0%		10.6%	10.4%	-10.2%	2.1%	4.7%	17.1%
hf1			38.5%	0.0%	15.8%	12.0%	21.4%	14.6%
hsr	-11.3%	6.8%	-19.3%	16.4%			-14.8%	13.0%
hs1	23.8%	9.5%	4.0%	17.8%	-1.4%	25.4%	8.8%	20.9%
ba1	-2.4%	6.5%	-3.6%	8.3%	-19.6%	0.3%	-7.2%	9.6%
bat	-20.4%	7.9%	-27.2%	7.0%	-5.6%	1.1%	-20.9%	10.4%
pvt			-32.7%	13.4%	-13.9%	21.7%	-25.1%	17.8%
wct			-6.9%	9.6%	-12.8%	8.0%	-9.6%	9.2%

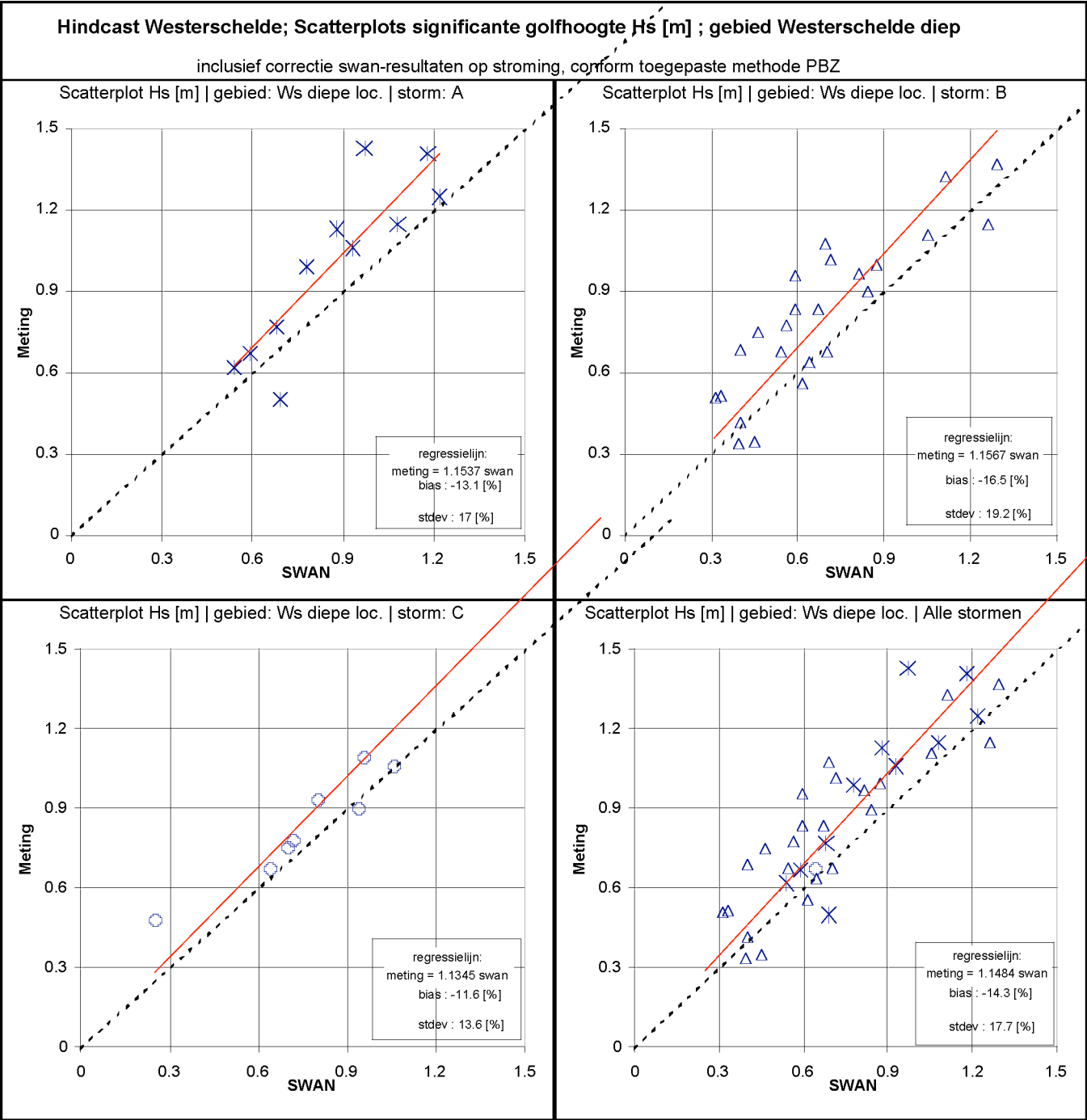
Bijlage 3.2
Bias en Stdev T_{pm} [%]

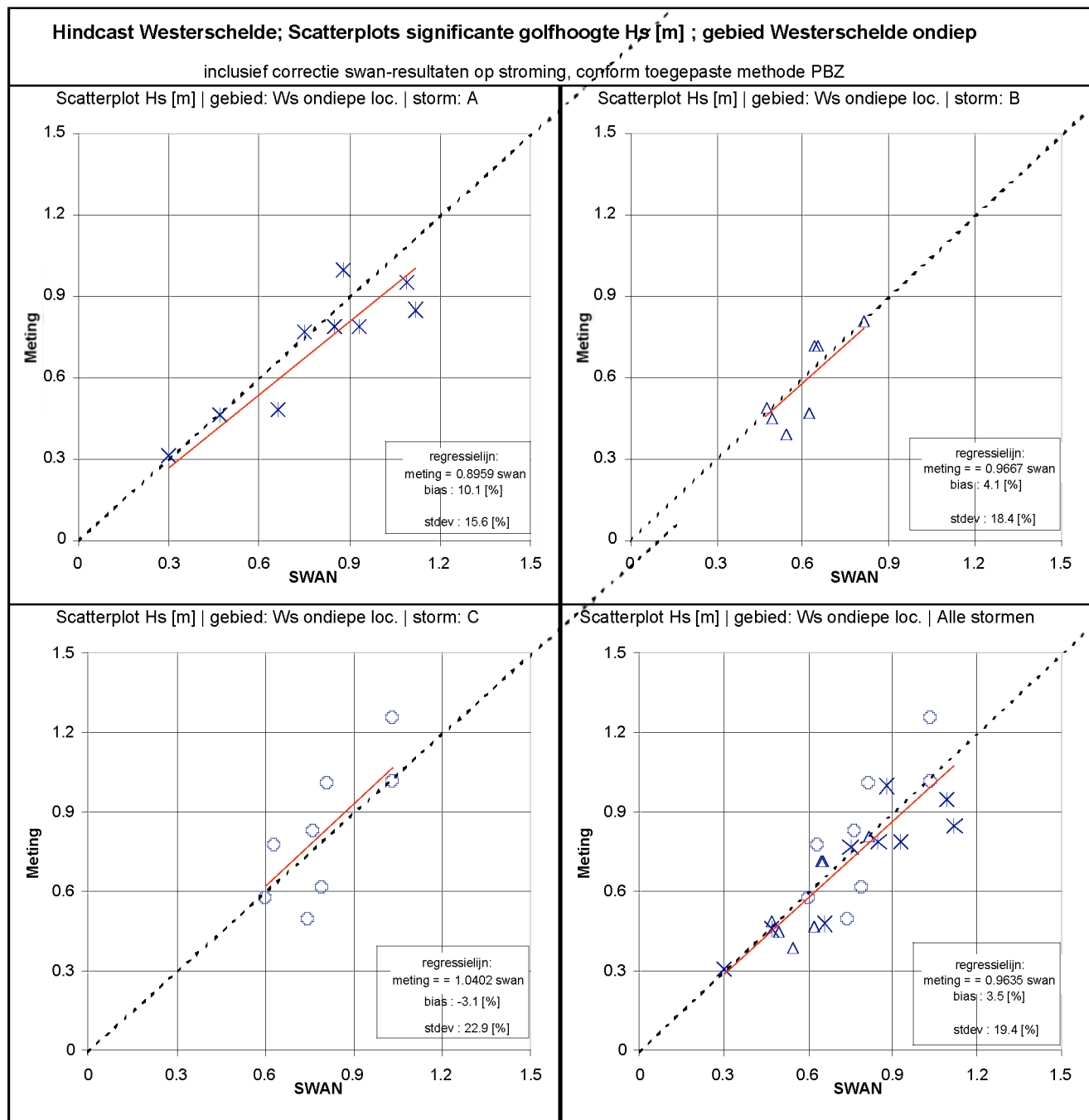
de afwijking, standaardafwijking) per meetlocatie								
LOCATIE	28 mei 2000		28 dec. 2001		27 okt. 2002		3 stormen	
	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV	BIAS	STDEV
euw	5.4%	5.4%	-0.8%	5.5%	0.3%	1.9%	1.5%	5.5%
leg	2.0%	6.7%	2.5%	7.5%	-1.5%	5.1%	0.6%	6.6%
swb	3.8%	8.9%	4.3%	8.0%	0.4%	2.1%	2.7%	7.4%
drl	-1.9%	6.2%	10.6%	10.0%	-3.1%	3.7%	1.7%	9.8%
scw	-10.0%	8.4%	7.7%	8.8%	2.0%	8.1%	-0.1%	11.5%
sco	-18.6%	13.7%	-9.9%	17.3%	-17.3%	8.3%	-15.3%	14.2%
wie	-15.5%	16.3%	-11.6%	20.6%	-16.9%	8.8%	-14.7%	16.3%
cdd	-8.4%	32.8%	-5.9%	15.5%	-13.8%	6.5%	-9.5%	22.1%
cdz	5.9%	59.9%	-9.3%	14.1%	-12.0%	10.1%	-4.5%	45.4%
hfp	3.8%		-6.8%	11.7%	-8.9%	11.3%	-5.3%	18.3%
hf1			-2.3%	11.4%	-10.0%	7.3%	-6.5%	10.4%
hsr	-5.1%	10.6%	-9.1%				-7.0%	14.0%
hs1	-9.0%	12.4%	-20.7%	10.9%	-15.7%	11.7%	-14.7%	12.7%
ba1	-13.9%	9.1%	-23.0%	13.2%	-17.9%	2.7%	-18.3%	11.0%
bat	-8.1%	11.8%	-13.5%	17.9%	-5.6%	7.3%	-9.9%	14.4%
pvt			-2.8%	31.7%	15.6%	10.6%	3.5%	26.3%
wct			-10.1%	10.2%	-6.7%	3.1%	-8.8%	8.4%

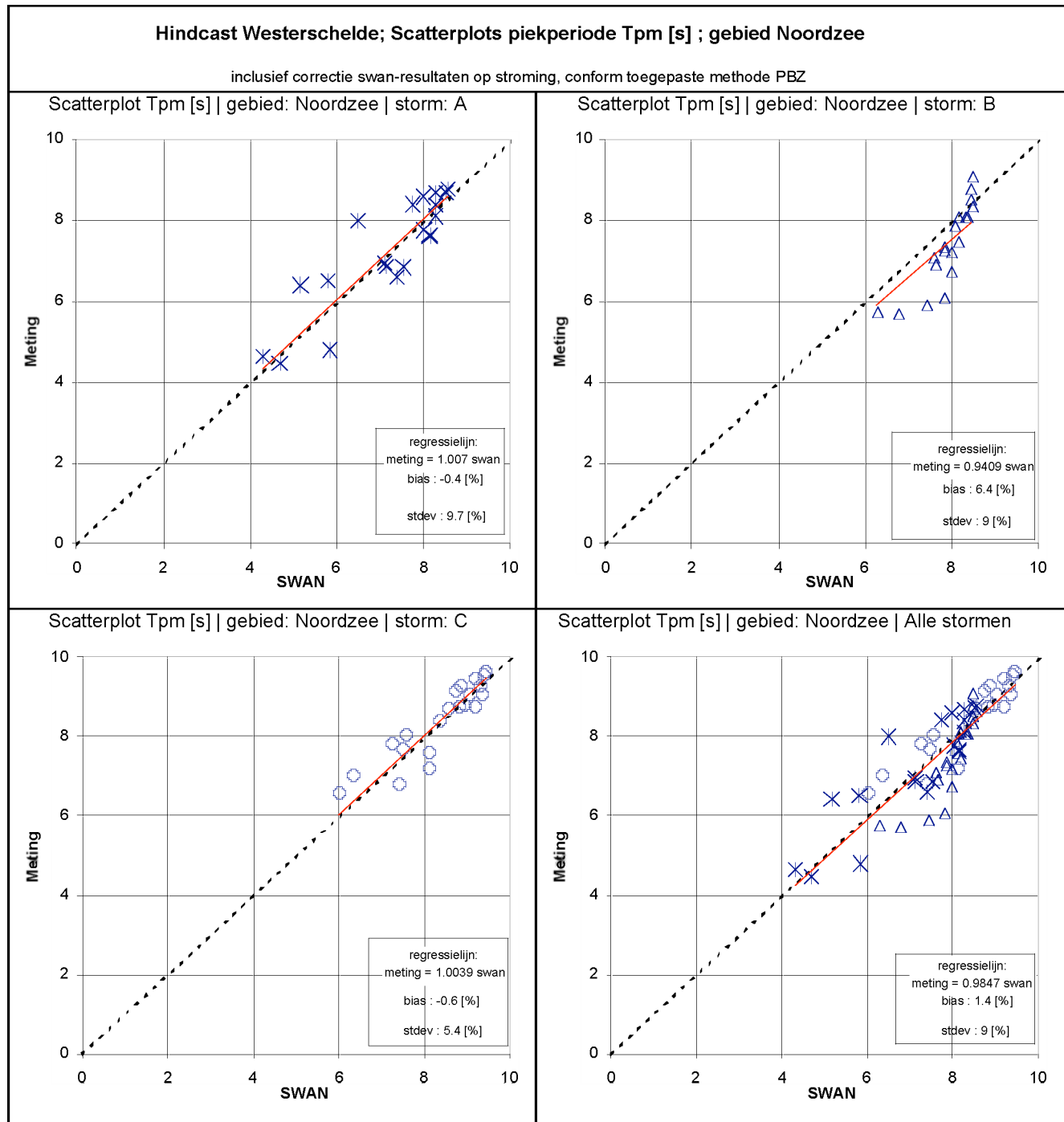


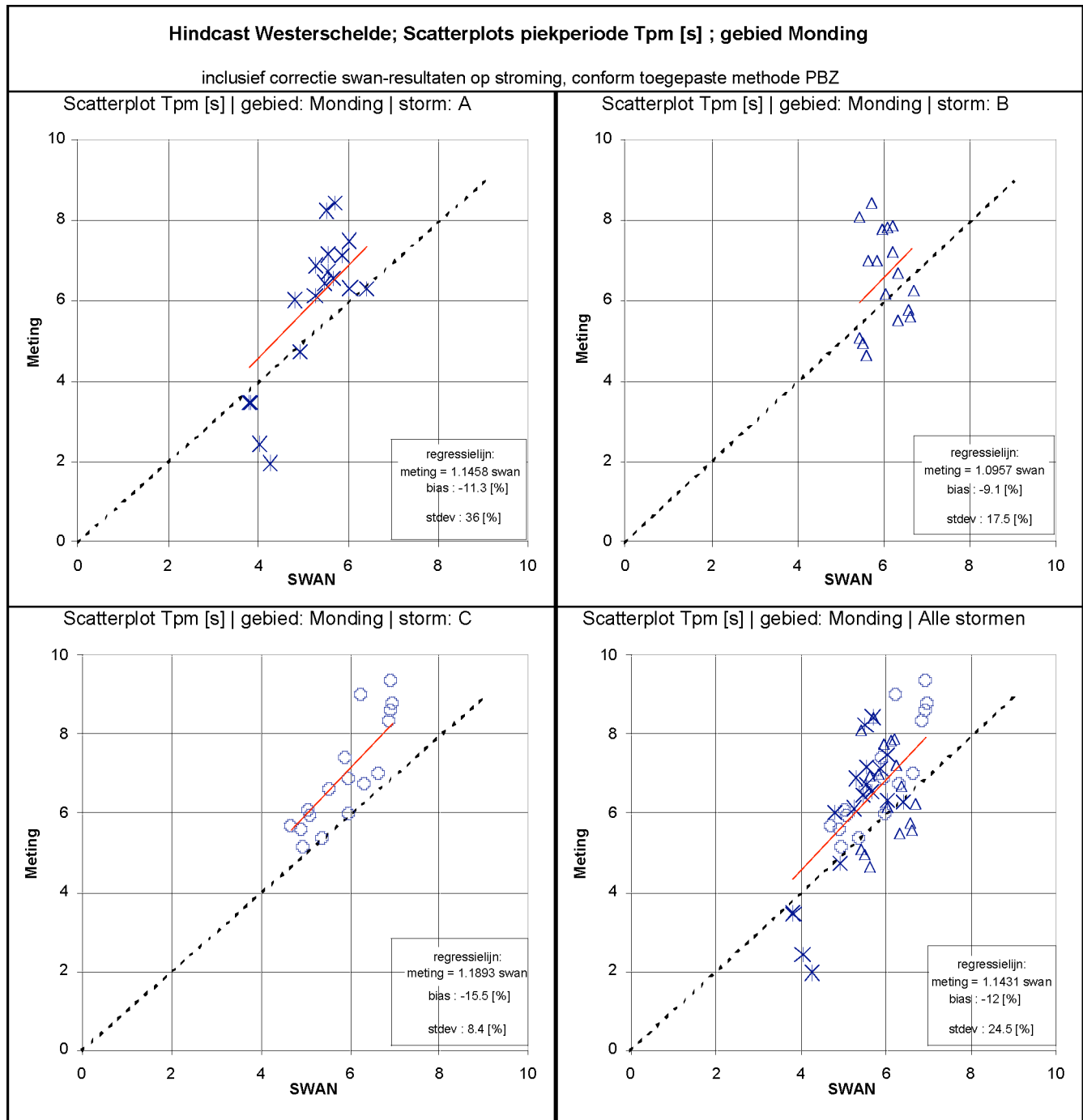


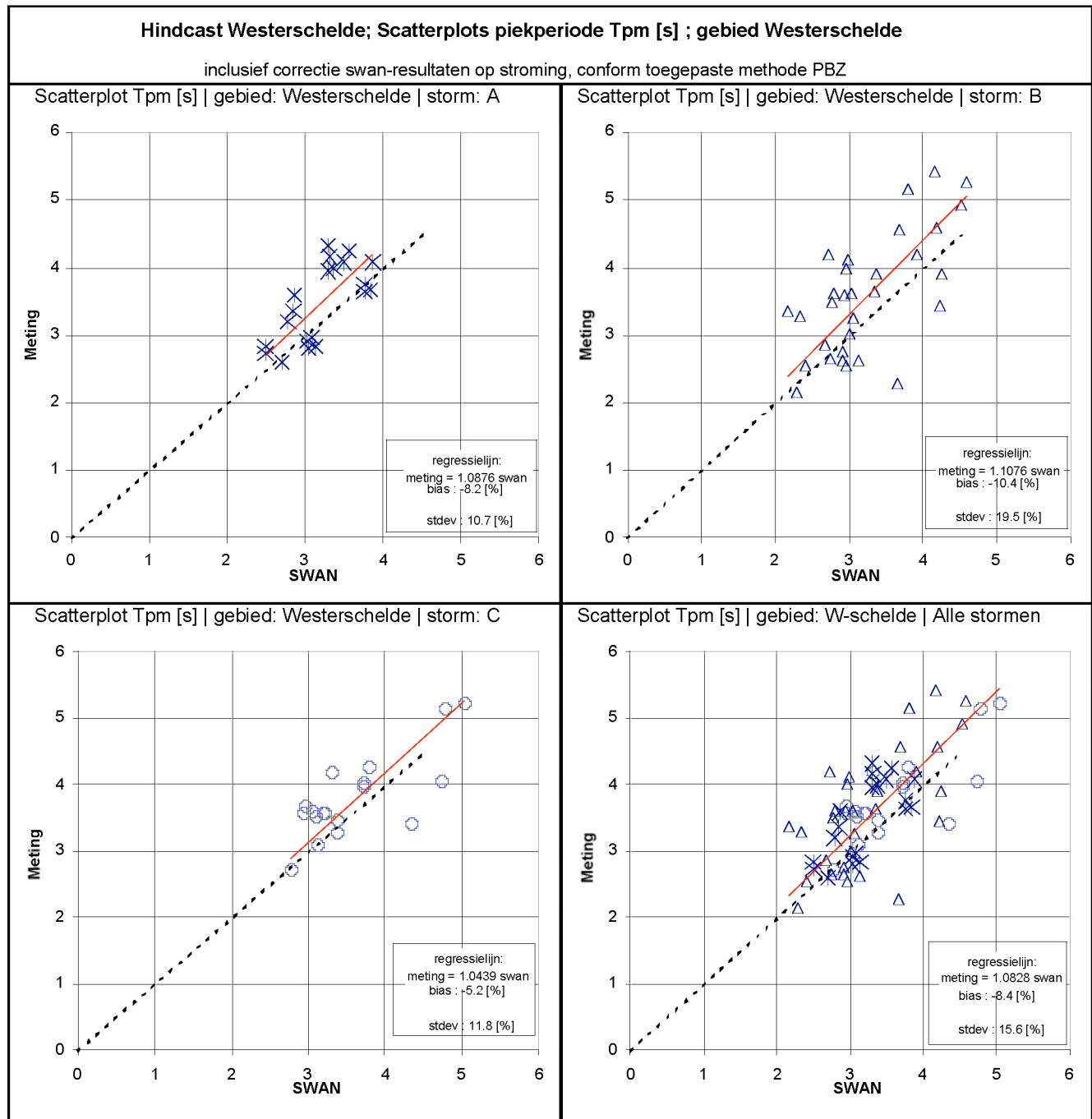


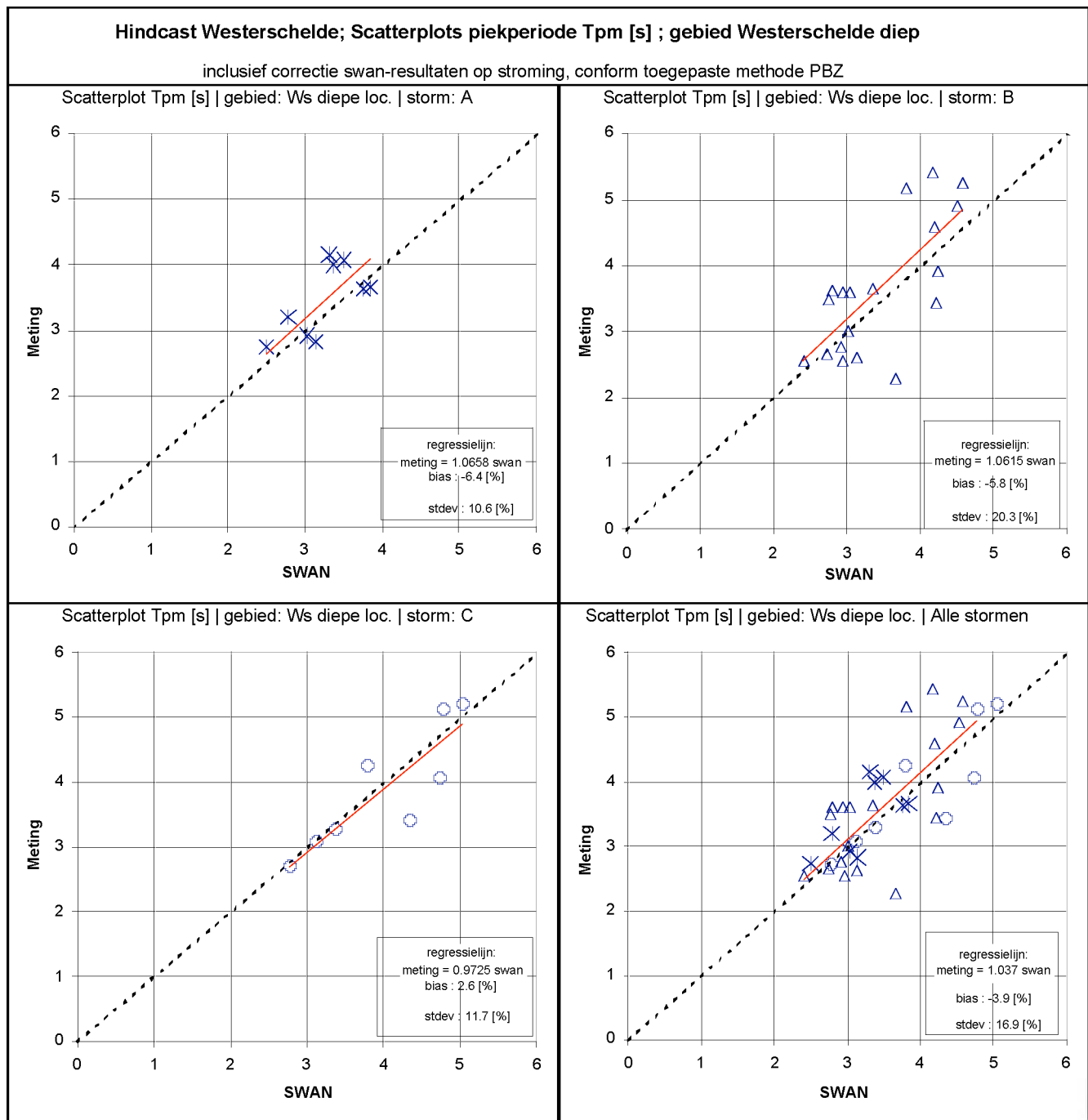


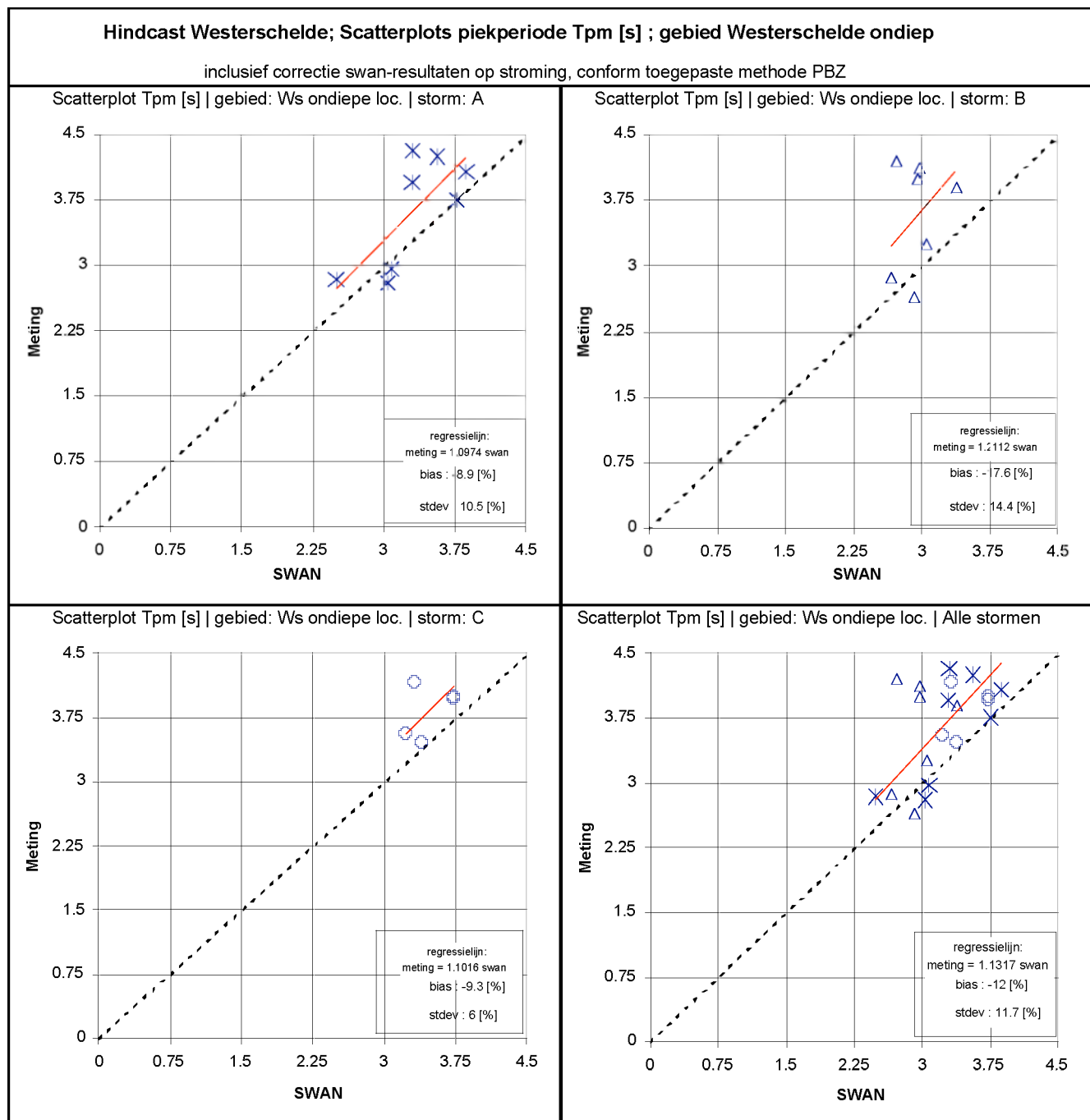






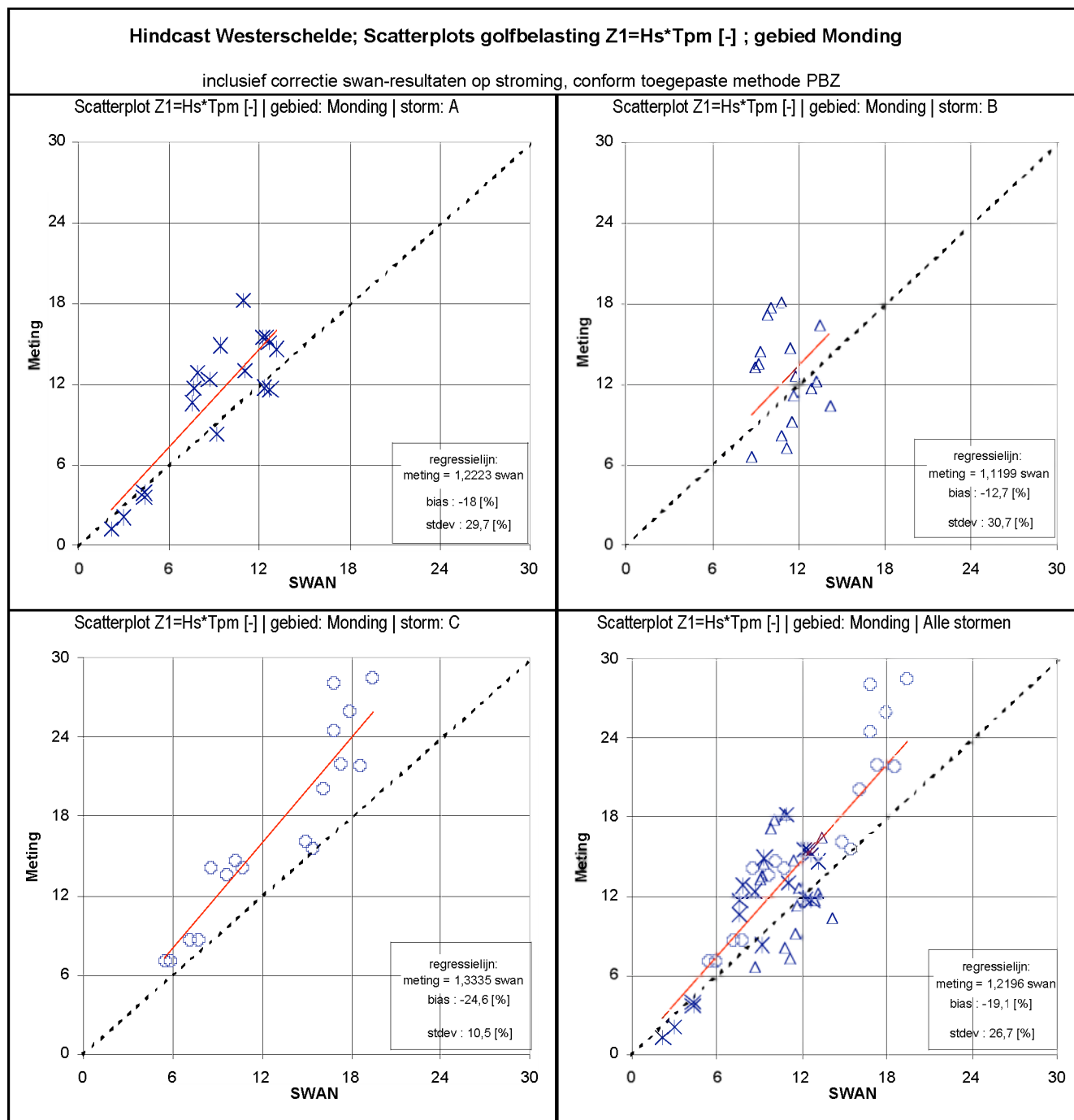


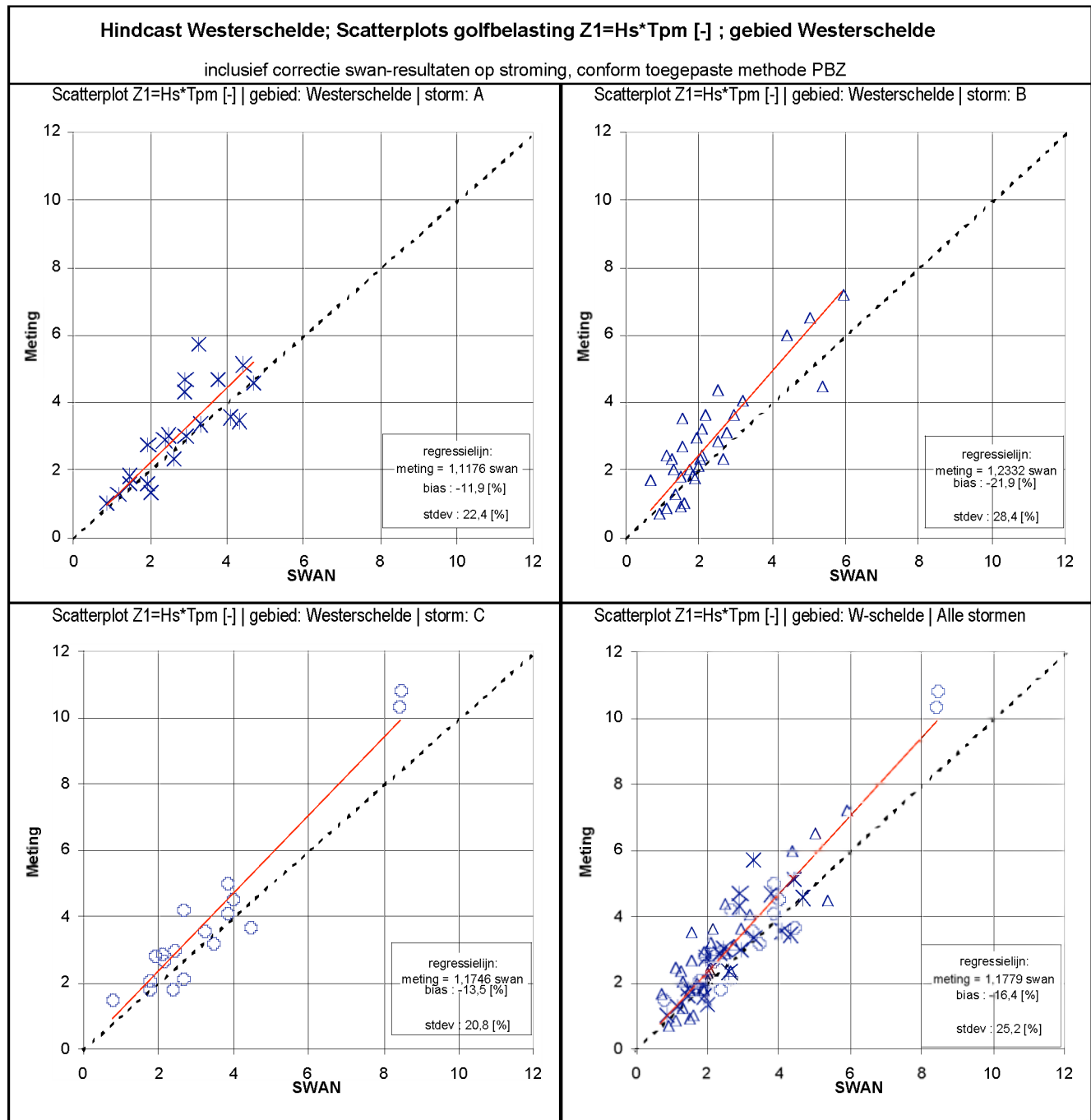


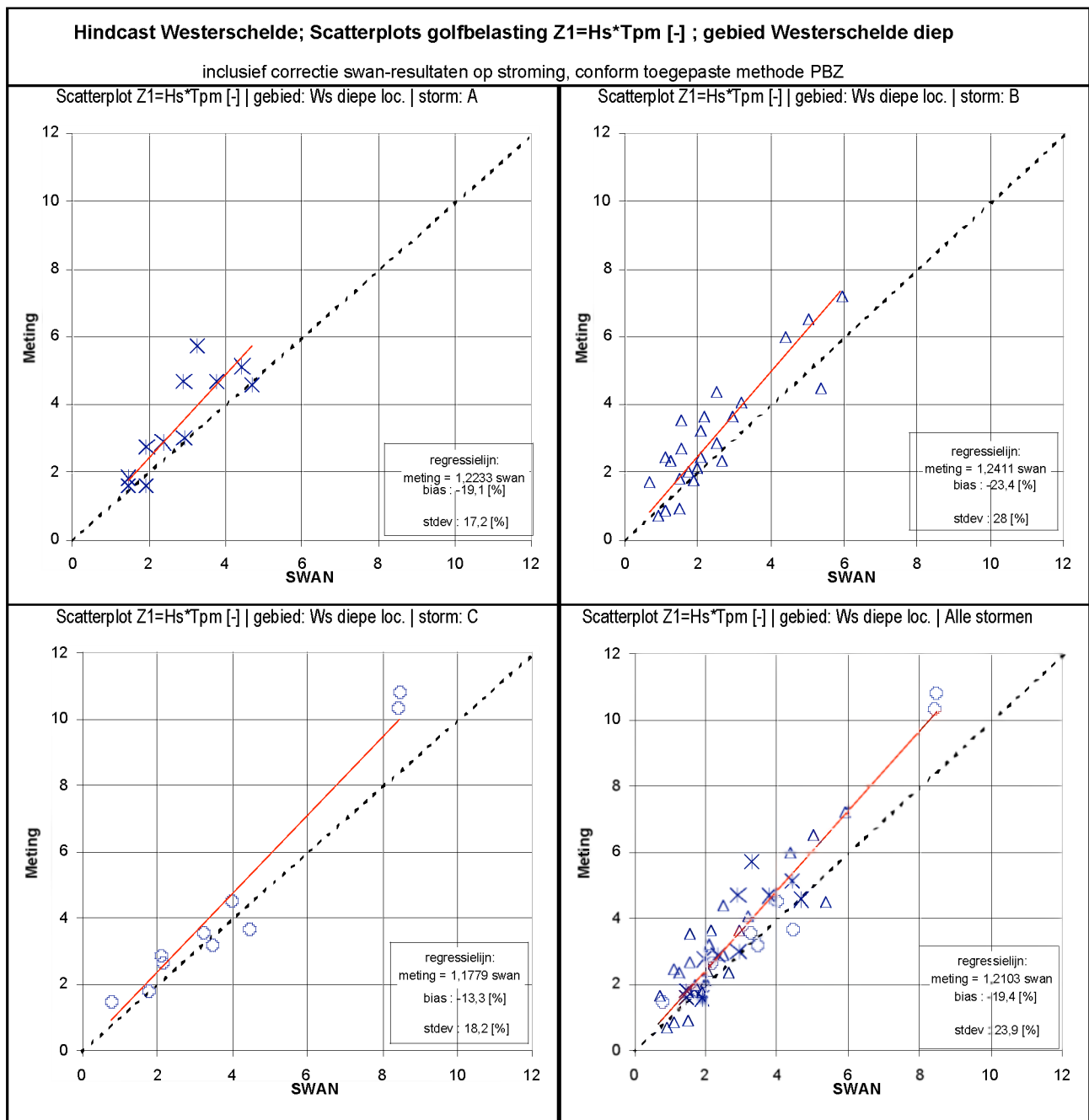


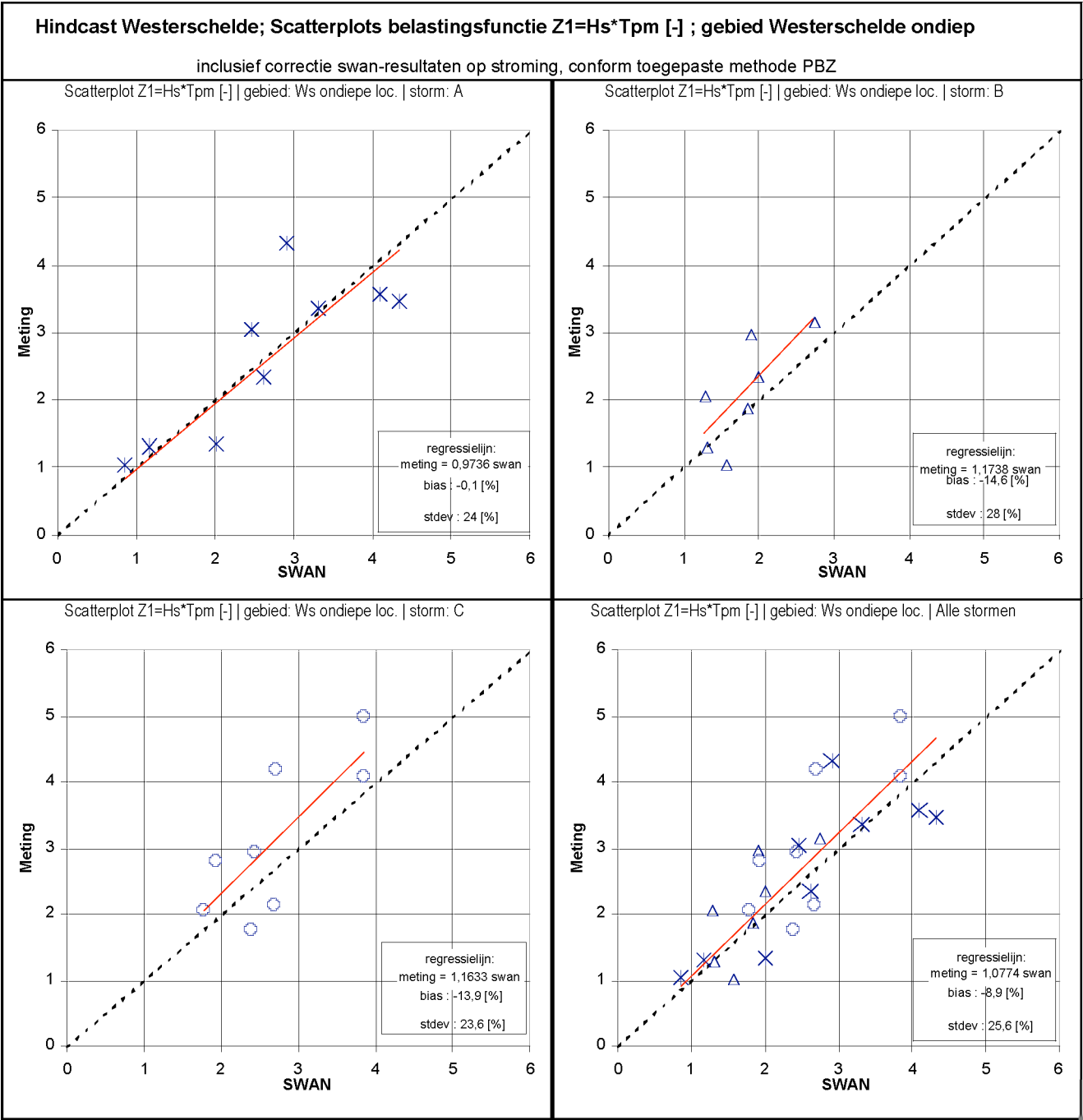
Bijlage 4 Invloed betrouwbaarheid Hs en Tpm op de belastingsfuncties

Bijlage 4.1
Scatterplots Golfbelasting $H_s \cdot T_{pm}$
Monding Westerschelde

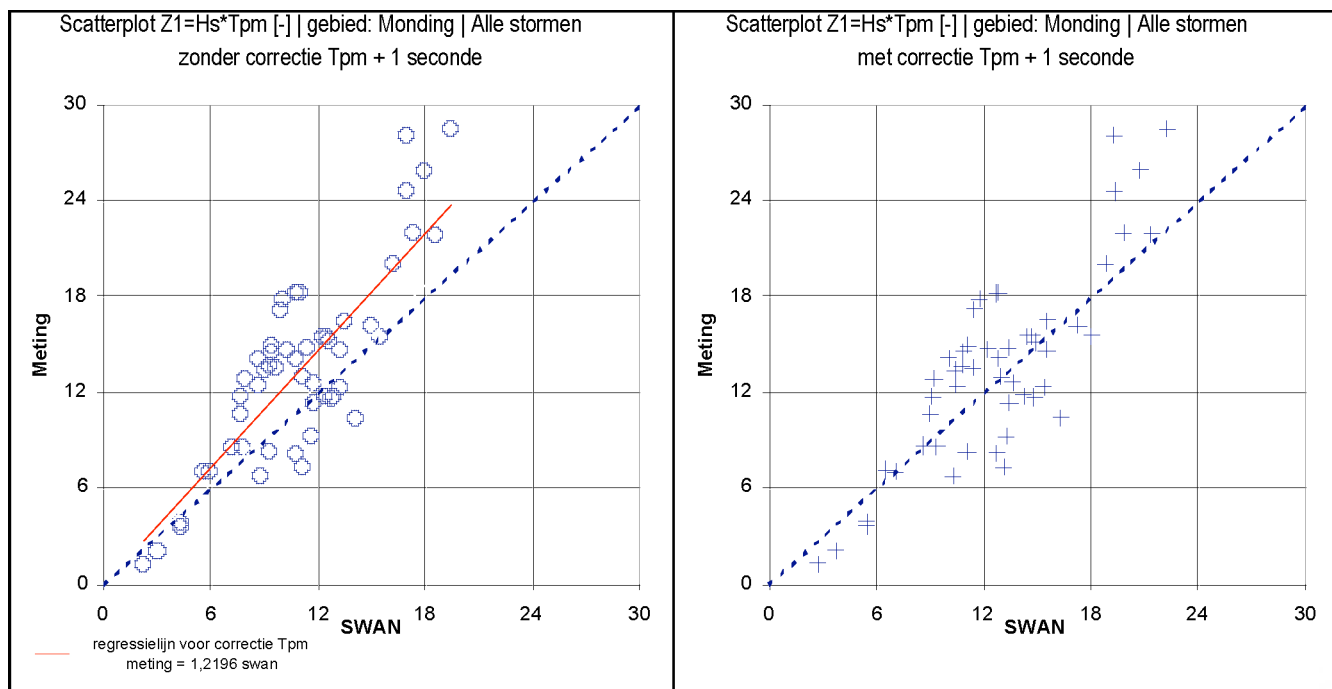




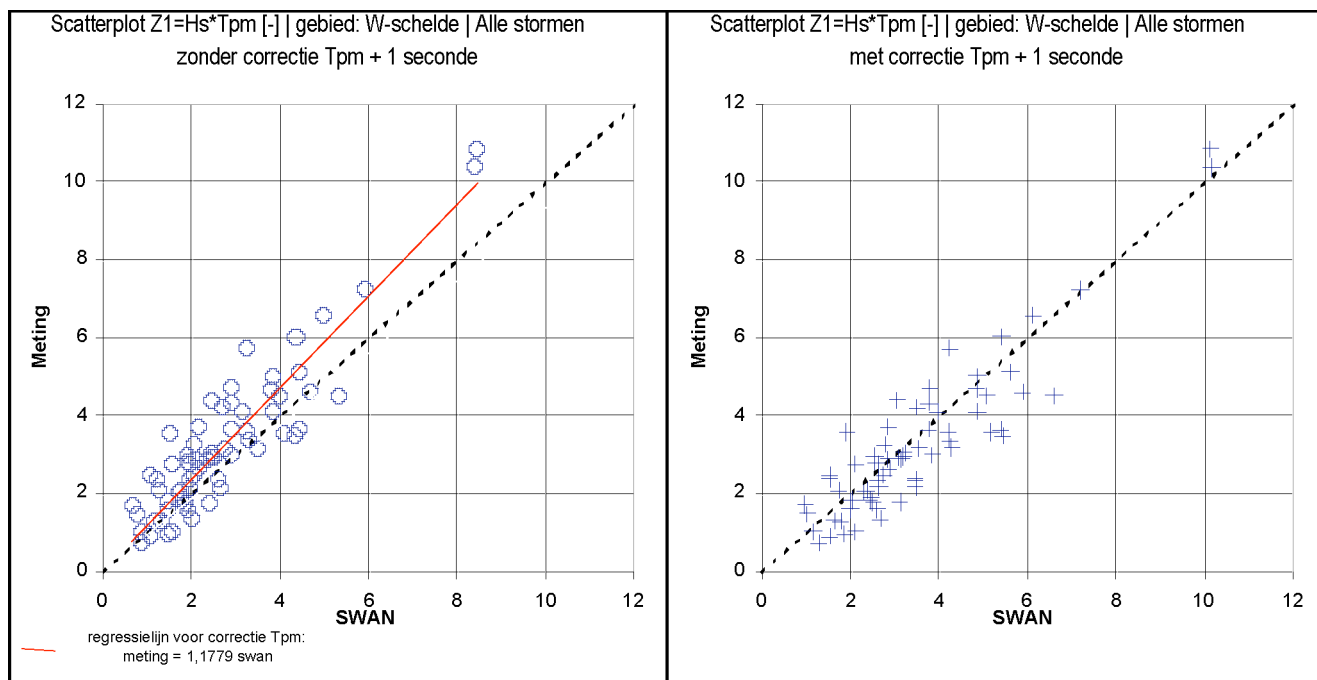




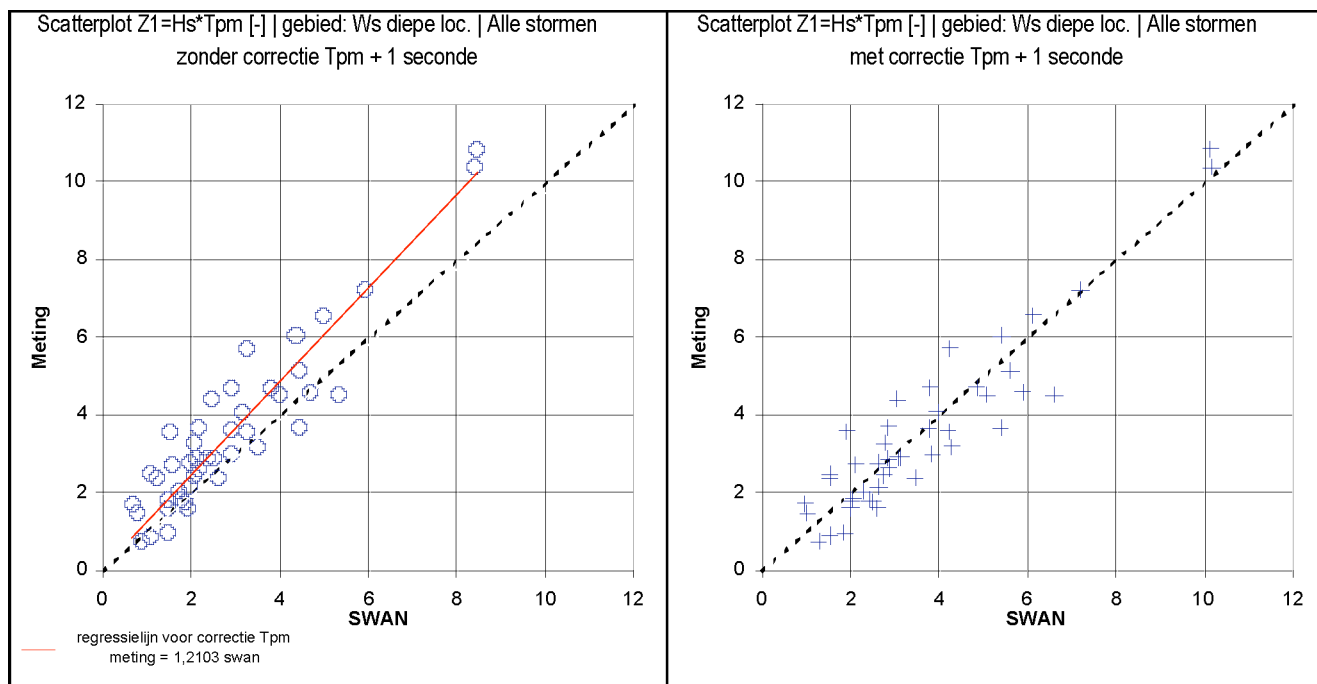
Bijlage 4.5
 Scatterplots belastingfunctie $Z1 = H_s * T_{pm}$
 Invloed correctie $T_{pm} + 1$ seconde | Monding



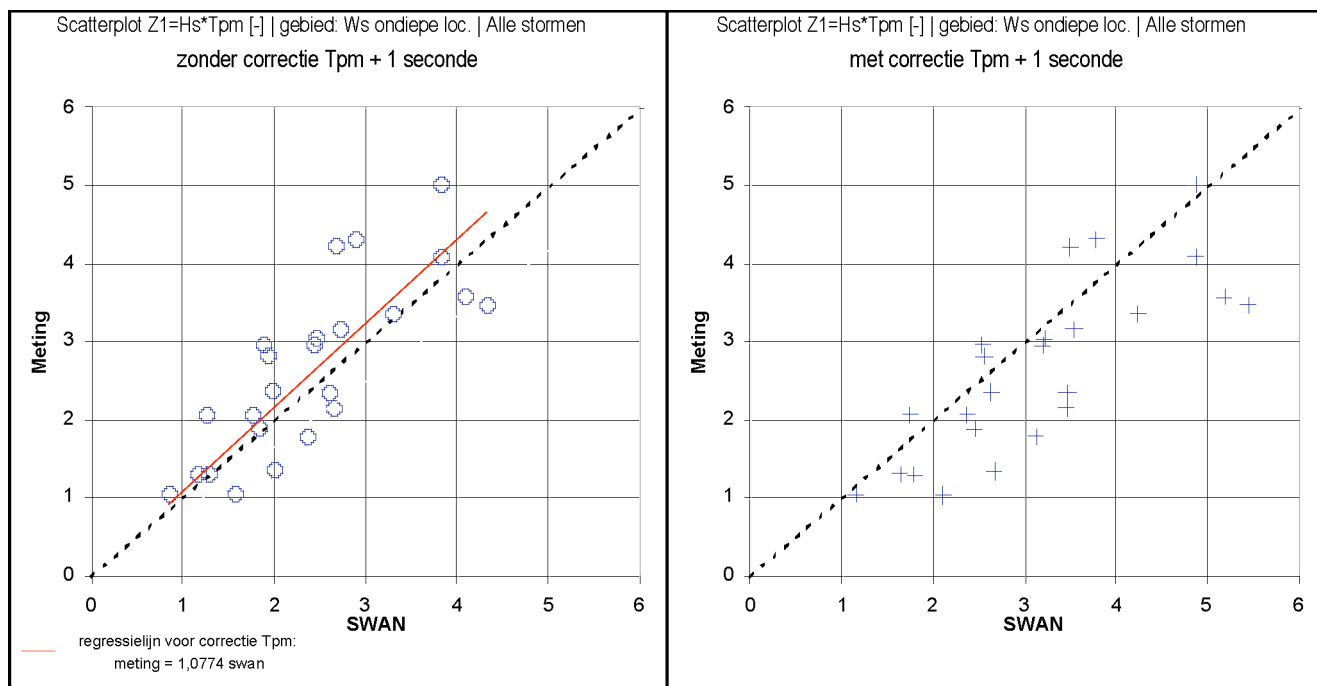
Bijlage 4.6
 Scatterplots belastingfunctie $Z1 = H_s * T_{pm}$
 Invloed correctie $T_{pm} + 1$ seconde | gehele
 binnengebied Westerschelde



Bijlage 4.7
 Scatterplots belastingsfunctie $Z1 = H_s * T_{pm}$
 Invloed correctie $T_{pm} + 1$ seconde l diepe locaties
 binnengebied Westerschelde



Bijlage 4.8
 Scatterplots belastingsfunctie $Z1 = H_s * T_{pm}$
 Invloed correctie $T_{pm} + 1$ seconde l ondiepe
 locaties binnengebied Westerschelde



Bijlage 4.9

Tabel Delta $H_{s,r}$, $T_{pm,r}$, Delta Z (zonder correctie

$T_{pm,r}$, Delta Z (met correctie $T_{pm,r}$)

Gebied	Delta H_s ; afwijking berekening SWAN t.o.v. meting							
	Gemiddelde afwijking BIAS*1 [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	overall	28-05-00	28-12-01	27-10-02	totaal
Noordzee	-5.01%	-9.03%	-3.52%	-5.43%	13.69%	15.51%	9.54%	13.15%
Monding / Delta	-2.60%	-1.48%	-10.23%	-4.25%	10.78%	15.50%	8.19%	12.40%
Binnengebied Westerschelde	-4.82%	-12.44%	-10.39%	-9.28%	19.34%	21.35%	19.61%	20.69%
Westerschelde; diepe locaties	-15.37%	-15.67%	-13.45%	-14.84%	17.06%	19.25%	13.66%	17.75%
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	10.41%	3.33%	-4.02%	3.65%	15.62%	18.48%	22.94%	19.49%

Gebied	Delta T_{pb} ; afwijking berekening SWAN t.o.v. meting							
	Gemiddelde afwijking BIAS*1 [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	overall	28-05-00	28-12-01	27-10-02	totaal
Noordzee	-0.70%	5.91%	-0.39%	1.53%	9.76%	9.07%	5.44%	9.10%
Monding / Delta	-14.58%	-9.57%	-18.93%	-14.31%	36.06%	17.60%	8.47%	24.56%
Binnengebied Westerschelde	-8.76%	-10.76%	-4.39%	-8.28%	10.70%	19.59%	11.82%	15.60%
Westerschelde; diepe locaties	-6.58%	-6.15%	2.75%	-3.70%	10.60%	20.39%	11.72%	16.99%
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	-9.74%	-21.12%	-10.16%	-13.17%	10.54%	14.42%	6.06%	11.77%

Gebied	Betrouwbaarheid berekende belastingsfunctie $H_s^* T_{pm}$ i.v.m. stormmetingen							
	Gemiddelde afwijking BIAS*1 [%]				Standaardafwijking [%]			
	28-05-00	28-12-01	27-10-02	totaal	28-05-00	28-12-01	27-10-02	totaal
Monding / Delta	-22.23%	-11.99%	-33.35%	-21.96%	29.77%	30.72%	10.59%	26.74%
Binnengebied Westerschelde	-11.76%	-23.32%	-17.99%	-17.46%	22.43%	28.46%	20.90%	25.25%
Westerschelde; diepe locaties	-22.33%	-24.11%	-17.79%	-21.03%	17.25%	28.09%	18.24%	23.97%
Westerschelde; ondiepe locaties / dichtbij de dijk	2.64%	-17.38%	-16.33%	-7.74%	24.10%	28.02%	23.67%	25.68%

*1 Hierbij is de Bias berekend d.m.v. een trendlijn door de puntenwolk met de beschrijving $Y = AX$