Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde

Vergelijking golfberekeningen en metingen

Rijkswaterstaat, Projectbureau
Zeeweringen

16 juni 2003

Eindrapport

9M5697/1246

A COMPANY OF

ROYAL HASKONING

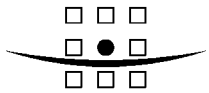
HASKONING NEDERLAND BV
COASTAL & RIVERS

Heer Bokelweg 145
Postbus 91
3000 AB Rotterdam
+31 (0)10 467 13 61 Telefoon
010 - 467 4559 Fax
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel	Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde Vergelijking golfberekeningen en metingen
Verkorte documenttitel	Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde
Status	Eindrapport
Datum	16 juni 2003
Projectnaam	Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde
Projectnummer	9M5697/1246
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
Referentie	9M5697/R03035/CG/Rott2b

Opgesteld door	Caroline Gautier	
Gecontroleerd door	Bas Les	
Datum/paraaf controle	.....	.....
Goedgekeurd door		
Datum/paraaf goedkeuring	.....	.....

A COMPANY OF



ROYAL HASKONING

ROYAL HASKONING

INHOUDSOPGAVE

			Blz.
0	SUMMARY		1
1	INLEIDING		3
2	AANPAK		4
3	GOLF METINGEN		6
	3.1	Inleiding	6
	3.2	Meetdetails	6
	3.3	Storm selectie	6
	3.3.1	Selectie storm A, 28 mei 2000	8
	3.3.2	Selectie storm B, 28 december 2001	9
	3.3.3	Selectie storm C, 27 oktober 2002	10
	3.4	Typerende situaties	11
4	SWAN BEREKENINGEN		13
	4.1	Inleiding	13
	4.2	Basis schematisatie	13
	4.2.1	Rekenroosters	13
	4.2.2	Rekenresoluties	14
	4.2.3	Instellingen	14
	4.3	Invoer Case 1	15
	4.3.1	SWAN Versie Case 1	15
	4.3.2	Golfrandvoorwaarden Case 1	15
	4.3.3	Bodemschematisatie Case 1	16
	4.3.4	Waterstand en stroming Case 1	16
	4.3.5	Wind Case 1	16
	4.4	Invoer Case 2	17
	4.4.1	Inleiding	17
	4.4.2	SWAN Versie Case 2	17
	4.4.3	Golfrandvoorwaarden Case 2	17
	4.4.4	Bodemschematisatie Case 2	18
	4.4.5	Waterstand en stroming Case 2	18
	4.4.6	Wind Case 2	18
	4.5	Verschillen invoer Case 3 en 4 t.o.v Case 1 en 2	19
	4.5.1	SWAN Versie Case 3 en Case 4	19
	4.5.2	Resolutie nest bestanden Case 3 en Case 4	19
	4.5.3	Format invoerbestanden	19
	4.6	Resultaten SWAN berekeningen	20
	4.6.1	Belangrijkste uitvoer	20
	4.6.2	Kwaliteitscontrole	20
	4.6.3	Voorbeelduitvoer Case 1, 2, 3, 4	20
5	VERGELIJKING BEREKENINGEN EN METINGEN		22
	5.1	Inleiding	22
	5.2	Statistische parameters	23

	5.3	Scatterplots	23
	5.3.1	Inleiding	23
	5.3.2	Scatterplots golfhoogte	24
	5.3.3	Scatterplots periodes T_{pm} en $T_{m-1,0}$	27
	5.4	1D Golf spectra	28
6	TRENDS IN BETROUWBAARHEID		30
	6.1	Inleiding	30
	6.2	Uitleg scatterplots	30
	6.3	Invloed van windsnelheid op de relatieve fout	30
	6.4	Invloed van windrichting op de relatieve fout	31
	6.5	Invloed van waterstand op de relatieve fout	31
	6.6	Additionele mogelijke invloedsfactoren	32
	6.7	Conclusies trends in betrouwbaarheid	33
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN		34
	7.1	Beknopte samenvatting	34
	7.2	Conclusies en aanbevelingen	34
	7.2.1	Algemene conclusies en aanbevelingen	34
	7.2.2	Conclusies en aanbevelingen vergelijking meting berekening algemene situatie	35
	7.2.3	Conclusies en aanbevelingen vergelijking meting berekening naar typerende stroomsituatie	36
	7.2.4	Conclusies vergelijking meting berekening naar typerende brekingssituatie	37
	7.2.5	Conclusies SWAN berekeningen ('technisch')	37
	7.2.6	Conclusies en aanbeveling metingen	38
	7.2.7	Conclusie en aanbeveling methodiek	38

APPENDICES

A Wind hirlam vs downscale
B Definitie statistische parameters

TABELLEN (voornamelijk achter in het rapport, enkele keer in de tekst)

2.1 Kenmerken van de 4 Cases

3.1 Overzicht meetlocaties
3.2 Overzicht stormmomenten
3.3.a Overzicht typerende situaties storm A
3.3.b Overzicht typerende situaties storm B
3.3.c Overzicht typerende situaties storm C
3.3.d Aantal waarnemingen per typerende situatie en storm

3.4.a H_s/diepte storm A
3.4.b H_s/diepte storm B
3.4.c H_s/diepte storm C

4.1 Definitie rekenroosters

4.2 Definitie bodemroosters
4.3 Datum raailodingen voor detailroosters D01-D04

5.1.a Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, alle situaties
5.1.b Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, ebstroom (A)
5.1.c Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, vloedstroom (B)
5.1.d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, wel breken (C)
5.1.e Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, geen breken (D)
5.1.f Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, dubbele piek (E)

5.2.a Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, alle situaties
5.2.b Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, ebstroom (A)
5.2.c Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, vloedstroom (B)
5.2.d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, wel breken (C)
5.2.e Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, geen breken (D)
5.2.f Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, dubbele piek (E)

5.3.a Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, alle situaties
5.3.b Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, ebstroom (A)
5.3.c Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, vloedstroom (B)
5.3.d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, wel breken (C)
5.3.e Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, geen breken (D)
5.3.f Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, dubbele piek (E)

5.4.a Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, alle situaties
5.4.b Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, ebstroom (A)
5.4.c Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, vloedstroom (B)
5.4.d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, wel breken (C)
5.4.e Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, geen breken (D)
5.4.f Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, dubbele piek (E)

5.5.a-d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, per gebied
5.6.a-d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, per gebied
5.7.a-d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, per gebied
5.8.a-d Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, per gebied

7.1 Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, H_s
7.2 Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, T_{pm}
7.3 Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, $T_{m-1,0}$

FIGUREN (voornamelijk achter in het rapport, enkele keer in de tekst)

3.1 Ligging meetlocaties
3.2 Storm selectie Storm A
3.3 Storm selectie Storm B
3.4 Storm selectie Storm C

4.1 Rekenroosters
4.2 Tijdseries wind Vlissingen en Hirlam
4.3 Interpolatietechniek

4.4 Voorbeeld controle file storm A Case 4 tijdstip t5
4.5 Significante golfhoogte Storm C tijdstip 2, Cases 1, 2, 3, 4

5.1 Scatterplots parameter H_{m0} Case 1, 2, 3 en 4
5.2 Scatterplots parameter T_{pm} Case 1, 2, 3 en 4
5.3 Scatterplots parameter $T_{m-1,0}$ Case 1, 2, 3 en 4

5.4 Scatterplots parameter H_{m0} Case 1, 2, 3, 4 en situatie A en B
5.5 Scatterplots parameter H_{m0} Case 1, 2, 3, 4 en situatie C en D
5.6 Scatterplots parameter T_{pm} Case 1, 2, 3, 4 en situatie A en B
5.7 Scatterplots parameter T_{pm} Case 1, 2, 3, 4 en situatie C en D
5.8 Scatterplots parameter $T_{m-1,0}$ Case 1, 2, 3, 4 en situatie A en B
5.9 Scatterplots parameter $T_{m-1,0}$ Case 1, 2, 3, 4 en situatie C en D

5.10 Scatterplots parameter H_{m0} Case 1, 2, 3, 4 en gebied A en B
5.11 Scatterplots parameter H_{m0} Case 1, 2, 3, 4 en gebied C
5.12 Scatterplots parameter T_{pm} Case 1, 2, 3, 4 en gebied A en B
5.13 Scatterplots parameter T_{pm} Case 1, 2, 3, 4 en gebied C
5.14 Scatterplots parameter $T_{m-1,0}$ Case 1, 2, 3, 4 en gebied A en B
5.15 Scatterplots parameter $T_{m-1,0}$ Case 1, 2, 3, 4 en gebied C

5.16 Spectra storm B tijdstip 1 Case 1, 2, 3 en 4
5.17 Spectra storm B tijdstip 2 Case 1, 2, 3 en 4
5.18 Spectra storm B tijdstip 3 Case 1, 2, 3 en 4
5.19 Spectra storm B tijdstip 4 Case 1, 2, 3 en 4
5.20 Spectra storm B tijdstip 5 Case 1, 2, 3 en 4

6.1.a windsnelheid vs relatieve fout H_{m0} per gebied
6.2.a windsnelheid vs relatieve fout T_{pm} per gebied
6.3.a windsnelheid vs relatieve fout $T_{m-1,0}$ per gebied
6.4.a windrichting vs relatieve fout H_{m0} per gebied
6.4.b windrichting vs relatieve fout H_{m0} per storm
6.5.a windrichting vs relatieve fout T_{pm} per gebied
6.5.b windrichting vs relatieve fout T_{pm} per storm
6.6.a windrichting vs relatieve fout $T_{m-1,0}$ per gebied
6.6.b windrichting vs relatieve fout $T_{m-1,0}$ per storm
6.7.a windsnelheid vs relatieve fout H_{m0} per gebied
6.8.a waterstand vs relatieve fout T_{pm} per gebied
6.9.a waterstand vs relatieve fout $T_{m-1,0}$ per gebied
6.10.a Tijdstip na HW te Vlissingen vs relatieve fout H_{m0} per tijdstip binnen de storm
6.11.a Tijdstip na HW te Vlissingen vs relatieve fout T_{pm} per tijdstip binnen de storm
6.12.a Tijdstip na HW te Vlissingen vs relatieve fout $T_{m-1,0}$ per tijdstip binnen de storm
6.13.a Verloop van H_{m0} [m] in storm A
6.13.b Verloop van H_{m0} [m] in storm B
6.14.a Verloop van T_{pm} [s] in storm A
6.14.b Verloop van T_{pm} [s] in storm B
6.15.a Verloop van $T_{m-1,0}$ [s] in storm A
6.15.b Verloop van $T_{m-1,0}$ [s] in storm B

0 SUMMARY

In 1997 and 1998 hydraulic boundary conditions were defined for the dikes of the Western Scheldt, using the SWAN wave model. As there were no suitable wave measurements available at that time, the accuracy of these conditions was uncertain.

During the last years wave measurements have been carried out, giving the possibility to assess the reliability of the SWAN model and of the defined hydraulic conditions.

The objectives of the study are:
- How reliable are the 1998 hydraulic wave conditions ('Case 1')?
- Would the reliability of the results be higher if the simulations were more advanced ('Case 2' vs 'Case 1')?
- Are we able to produce more reliable results with a new SWAN version (40.16)? Hereto both simple and advanced modelling should be considered. ('Case 3' and 'Case4').

In the present study three storms were simulated with the SWAN model, using five stationary model runs per storm. For each simulation wave measurements are available at circa 17 locations at Western Scheldt and North Sea, to verify the model outcome. In the analysis of the model results typical situations are considered like ebb- and flood flow, more or less wave breaking, and double peaked spectra. Furthermore, the results are considered in terms of area: North Sea, Outer Delta and Western Scheldt.

The SWAN model is used in four different ways:
- Case 1: version 30.62, using the method of Alkyon 1998 [ref 1]
- Case 2: version 30.62, with extensive input (like currents, wind field, spectral boundary conditions etc)
- Case 3: version 40.16, as Case 1
- Case 4: version 40.16, with extensive input

There is no unambiguous answer to the question which case performs best: However, the SWAN version used for the 1998 simulations comes closer to the wave observations than the latest version SWAN 40.16. In terms of wave height, Case 2 has the smallest relative bias, followed by Case 1. Also the wave periods ($T_{m-1,0}$ and T_{pm}) are better simulated by Case 1 and Case 2.

This implies that the no large improvements are easily to be made to the wave conditions produced in 1998, neither by more advanced input, nor by the latest SWAN version 40.16.

The main statistical parameters can be found in the tables below.

	H_s general		H_s North Sea		H_s Outer Delta		H_s Western Scheldt	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-6	18	-5	15	-6	12	-10	25
2	-1	23	3	15	-1	19	-18	30
3	-10	18	-8	14	-11	11	-17	25
4	-6	21	-2	16	-7	19	-24	24

Table 0.1 Relative statistical parameters [%] per case and per area, H_s

	T_{pm} general		T_{pm} North Sea		T_{pm} Outer Delta		T_{pm} Western Scheldt	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	14	1	9	-15	12	-18	14
2	-9	14	0	8	-15	13	-19	13
3	-9	14	0	9	-15	13	-20	14
4	-10	13	-2	9	-16	11	-21	13

Table 0.2 Relative statistical parameters [%] per case and per area, T_{pm}

	$T_{m-1,0}$ general		$T_{m-1,0}$ North Sea		$T_{m-1,0}$ Outer Delta		$T_{m-1,0}$ Western Scheldt	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	12	-2	7	-13	13	-13	13
2	-7	11	-3	7	-10	12	-12	12
3	-9	12	-3	8	-14	12	-16	13
4	-8	11	-4	8	-11	9	-14	13

Table 0.3 Relative statistical parameters [%] per case and per area, $T_{m-1,0}$

1 INLEIDING

In 1997 en 1998 zijn voor het projectbureau Zeeweringen golfcondities berekend voor het ontwerpen van dijkbekledingen van de dijken aan de Westerschelde met behulp van het - toenmalig nieuwe - golfmodel SWAN. De betrouwbaarheid van deze golfcondities kon voor stormcondities niet aangetoond worden. De kwaliteit van deze randvoorwaarden was onzeker, omdat er geen geschikte golfmetingen beschikbaar waren om zowel het model als de methode te verifiëren.

Intussen zijn er metingen beschikbaar van enkele stormen zodat het mogelijk is de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN en de geleverde golfbelastingen aan te geven.

Enerzijds werd en wordt verwacht dat de afgegeven ontwerpwaarden aan de veilige kant zijn, omdat conservatieve aannames gedaan zijn. Anderzijds bestaat er ook nog een aantal onzekerheden waarvan de invloed niet bekend was en is. Het gebruiken van de metingen is een unieke kans om een deel van die onzekerheid weg te nemen. Hierdoor wordt tevens bijgedragen aan draagvlak voor opname van de golfcondities gebaseerd op SWAN in de Hydraulische Randvoorwaarden voor de toetsing van waterkeringen.

Deze studie naar de betrouwbaarheid van SWAN op de Westerschelde wordt door Royal Haskoning, in opdracht van het projectbureau Zeeweringen (Orderbon 3520023 d.d. 24 oktober 2002) uitgevoerd. De inhoudelijke projectbegeleiding is in handen van het RIKZ.

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van de studie beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de beschikbare metingen. Hoofdstuk 4 richt zich op de SWAN simulaties. Het vergelijken van de metingen en de SWAN resultaten gebeurt in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt gezocht naar relaties tussen de betrouwbaarheid van SWAN en mogelijke invloedsfactoren. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

Achter het tekstgedeelte van het rapport zijn alle tabellen opgenomen, en de figuren zijn daarna te vinden. In de nummering van tabellen en figuren verwijst het getal voor de punt naar het hoofdstuk waar het bij hoort.

2 AANPAK

De huidige studie probeert zowel een antwoord te geven op de vraag hoe betrouwbaar de in 1998 berekende golfrandvoorwaarden zijn, als op de vraag hoe betrouwbaar SWAN is in het geval dat er geavanceerde invoer gebruikt wordt. Bovendien speelt de vraag of we in staat zijn om met een nieuwe versie van SWAN (40.16) betrouwbaarder resultaten af te leveren. Voor het eerste punt gaat het dus niet alleen om SWAN maar ook om de methode van simuleren zoals toegepast in Alkyon, 1998 [ref 1].

Door een aantal opgetreden stormen te simuleren en de modelresultaten te vergelijken met de golven die op de circa 17 locaties op de Westerschelde en de Noordzee gemeten zijn, is een oordeel te geven over de prestaties van model en methode.

Er zal onderscheid gemaakt worden naar typerende situaties waarin SWAN beter of minder goed presteert. De typerende situaties worden gekarakteriseerd door sterke eb- of vloedstroming, het al dan niet breken van golven, en het voorkomen van meerdere pieken in het golfspectrum, zie sectie 3.4. Ook wordt de algemene situatie behandeld, waarbij de uitkomsten op alle meetlocaties - ongeacht typerende situatie - bij elkaar worden genomen.

De doelstellingen van de studie zijn:

- Hoe betrouwbaar zijn de in 1998 afgeleverde golfcondities (waar 'Case1' model voor staat)?
- In hoeverre draagt de methode van simuleren bij aan de betrouwbaarheid van de golfberekening (vergelijking 'Case 2' en 'Case1')?
- Zijn we in staat om met een nieuwe versie van SWAN (40.16) betrouwbaarder resultaten af te leveren? Hierbij dient zowel gekeken te worden naar de eenvoudige modellering als naar de meer geavanceerde modellering.

De doelstellingen worden geconcretiseerd door vier cases op te stellen:

Case 1: Het doorrekenen van drie stormen met instellingen en modelversie identiek aan de berekeningen voor de in 1998 afgegeven golfbelastingen voor RAND2001 (SWAN versie 30.62).
Doel: betrouwbaarheid van de afgegeven golfcondities aangeven.

Case 2: Het doorrekenen van dezelfde drie stormen als in Case 1 met modelversie 30.62, waarbij gebruik gemaakt wordt van de meest geavanceerde wijze van modelleren.
Doel: SWAN 30.62 valideren.

Case 3: Herhaling van Case 1, met SWAN versie 40.16.
Doel: Onderzoek welke verbeteringen het gebruik van SWAN 40.16 oplevert bij vergelijkbare toepassing als bij de in 1998 afgeleverde golfcondities voor RAND2001.

Case 4: Herhaling van Case 2, met SWAN versie 40.16.
Doel: SWAN 40.16 valideren, en de verschillen met 30.62 aangeven.

De geavanceerde wijze van modelleren die in Case 2 en Case 4 bedoeld wordt heeft o.a. betrekking op het meenemen van stroming, niet-uniforme waterstandsvelden, en

niet-uniforme windvelden. Tabel 2.1 (de tabellen zijn achter het tekstgedeelte in dit rapport opgenomen) geeft meer in detail de verschillen tussen de cases weer.

Door het RIKZ zijn drie stormen geselecteerd om te simuleren, te weten:

Storm A: 28 mei 2000
Storm B: 28 december 2001
Storm C: 27 oktober 2002

Voor elke storm zijn 5 tijdstippen gekozen om (stationair) te simuleren. De SWAN berekeningen worden voor alle tijdstippen en voor alle vier cases uitgevoerd.

3 GOLF METINGEN

3.1 Inleiding

Vanaf 1998 worden door Directie Zeeland golfmetingen uitgevoerd in de Westerschelde in opdracht van projectbureau Zeeweringen. Het gaat hierbij om vier locaties waarbij vlak voor de zeewering en op dieper water golven gemeten worden: Cadzand, Hoofdplaat, Hansweert en Bath. Deze golfmetingen hebben tot doel de adviezen die RIKZ aan Projectbureau Zeeweringen geeft, te ondersteunen.

Daarnaast worden ook op andere plaatsen in (de monding van) de Westerschelde golfmetingen verricht. In totaal worden voor de huidige studie golfmetingen op 17 locaties beschouwd.

3.2 Meetdetails

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de golfmeetstations op en nabij de Westerschelde waarvan de metingen gebruikt zijn voor de betrouwbaarheidsstudie van SWAN. Figuur 3.1 toont de ligging van de stations.

De meeste golfmetingen zijn in de vorm van 1D spectra beschikbaar. Bovendien is al een aantal golfparameters uitgerekend. Richtingsinformatie is alleen beschikbaar voor enkele Noordzee stations, te weten EUW (Europlatform), CDD (Cadzand diep) en bij storm C ook DRL (Deurlo). De richtingsmetingen zijn niet als volledig 2d spectrum gegeven, maar als een hoofdrichting en totale energie per frequentie ('gr-files').

Van storm A en C zijn de metingen - in principe - om de 20 minuten beschikbaar. Tijdens storm B geldt dat voor de meetstations op de Westerschelde ook, maar van de stations op de Noordzee, zoals o.a. EUW, zijn slechts om de drie uur golfspectra beschikbaar.

RIKZ heeft ten behoeve van deze studie de data gekalibreerd [ref 3]. De gekalibreerde data en de aanbevelingen [ref 3 a,b,c] zijn als uitgangspunt gebruikt voor deze studie. Enige aanpassingen die zijn gedaan is het verwijderen op enkele tijdstippen van een onrealistische laagfrequente piek in de spectra van Bath en Hansweert. Dit werd ook aangeraden in [ref 3 a,b,c].

3.3 Storm selectie

De drie stormen op 28 mei 2000, 28 december 2001 en 27 oktober 2002 zijn door het RIKZ uitgekozen. Binnen deze stormen hebben wij vijf momenten geselecteerd die interessant werden geacht om te simuleren, en waarop voldoende metingen beschikbaar waren. Bij de selectie is naast golfhoogte rekening gehouden met windsnelheid en richting, waterstand, en stroomsnelheid. Ook is er gezocht naar het voorkomen van realistische dubbelpiekige spectra, maar die waren niet duidelijk genoeg aanwezig.

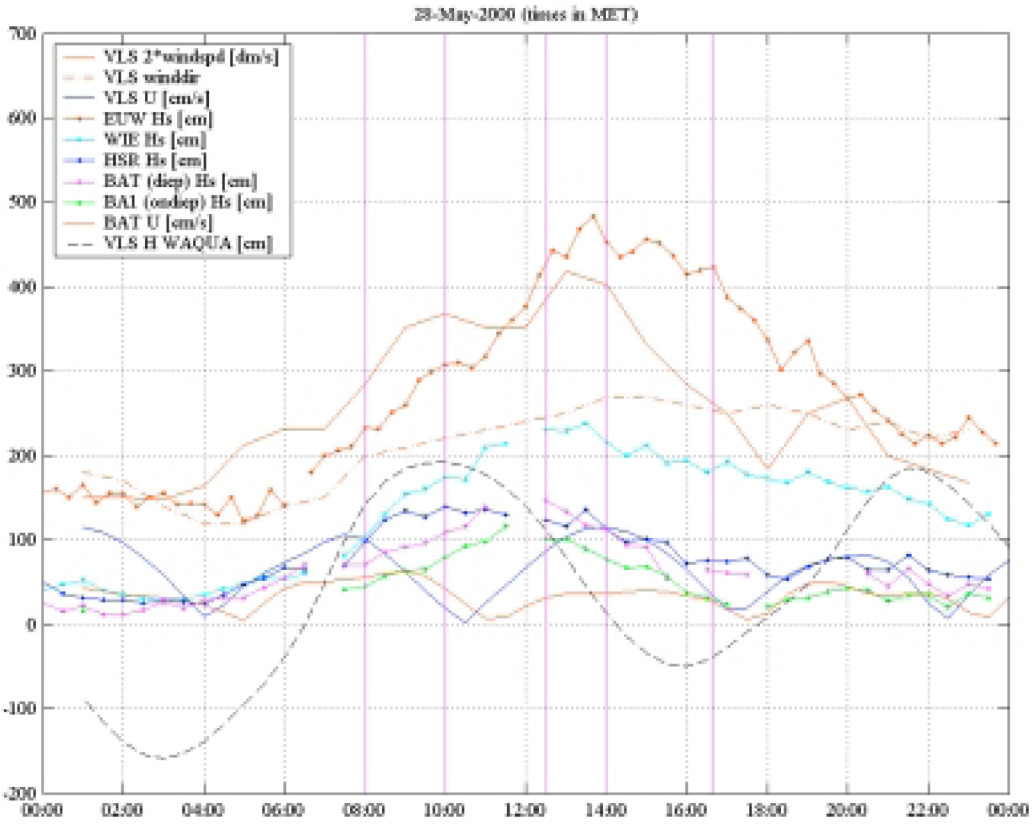
Tabel 3.2 geeft een overzicht van de geselecteerde stormmomenten. Paragraaf 3.3.1 - 3.3.3 geven een toelichting op de selectie.

storm	tijd	datum	tijd [CET]	H_{m0} [m] EUW	Tp [s] EUW	dir [naut] EUW	wind [m/s] Vlis. +0.5m/s	wind [naut] Vlis.	min. water-stand [m NAP]	max. water-stand [m NAP]
A	t1	28 mei 2000	8:00	2.33	5.60	145	14.70	200	0.24	1.35
A	t2	28 mei 2000	10:00	3.08	7.10	188	18.90	220	1.91	2.44
A	t3	28 mei 2000	12:30	4.29	7.70	231	19.75	245	1.01	2.54
A	t4	28 mei 2000	14:00	4.52	8.30	258	20.60	270	0.23	1.48
A	t5	28 mei 2000	16:40	4.23	8.30	282	13.57	253	-0.67	-0.46
B	t1	28 dec 2001	10:00	3.14	7.70	245	16.40	250	-0.42	0.37
B	t2	28 dec 2001	13:00	4.17	7.70	271	12.70	280	2.07	3.21
B	t3	28 dec 2001	15:00	4.40	8.10	276	15.30	270	1.07	2.78
B	t4	28 dec 2001	17:00	4.45	8.30	283	13.60	270	-0.25	1.03
B	t5	28 dec 2001	19:00	4.33	8.30	292	11.20	290	-0.62	-0.36
C	t1	27 okt 2002	8:20	3.72	7.70	234	14.40	233	0.08	1.35
C	t2	27 okt 2002	12:00	5.13	9.10	236	21.40	240	-0.64	-0.56
C	t3	27 okt 2002	14:40	6.33	9.10	241	22.77	256	0.83	1.25
C	t4	27 okt 2002	17:20	5.67	8.30	258	19.10	273	2.39	3.30
C	t5	27 okt 2002	19:40	5.87	9.10	295	16.50	290	1.78	3.47

Tabel 3.2: Overzicht stormmomenten en de gemeten golfhoogte, periode, wind en waterstand.

3.3.1 Selectie storm A, 28 mei 2000

Tijdens de storm draait de wind van zuid naar west. De gekozen tijdstippen zijn:



Figuur 3.2: Storm selectie storm A; golven, waterstand, stroming, wind

1. 8:00 uur
De windsnelheid is redelijk hoog, maar de stormduur is nog erg kort. De golven zijn dus aan het groeien, en hebben hun maximum nog lang niet bereikt. De windrichting is ZZW, dus de ligging van het meest westelijke rekenrooster is misschien niet optimaal. Bijna maximale vloedstroom.

2. 10:00 uur
Hoog water te Vlissingen.

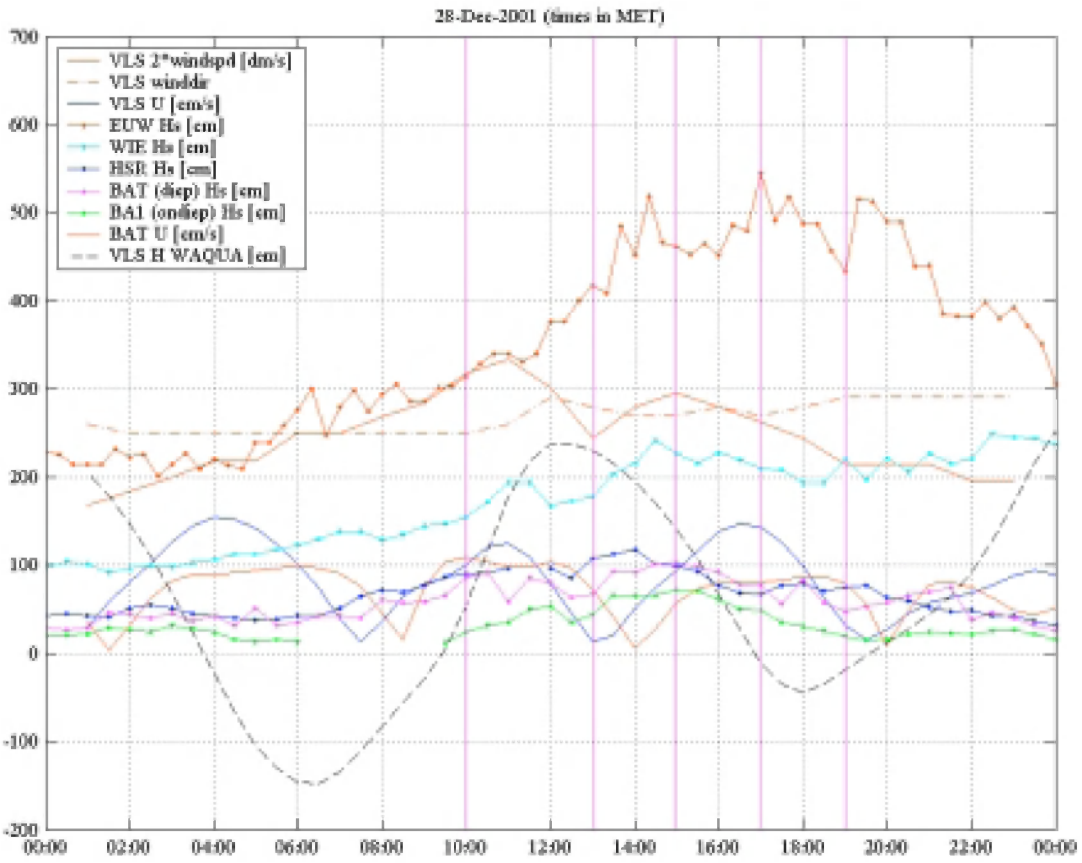
3. 12:30 uur
Om niet al te dicht op 14:00 uur te zitten (maximale ebstroom), toch maar 12:30 ipv 13:00 gekozen. De H_s bij EUW heeft een vloeiend verloop, dus eventuele middeling over meerdere tijdstappen zou mogelijk zouden zijn. De waterstand is redelijk hoog, en er is een stevige ebstroming.

4. 14:00 uur
Hoge golven bij EUW, en maximale ebstroming bij Vlissingen. De windrichting is intussen ongeveer westelijk.

5. 16:40
Behoorlijk laag water te Vlissingen, maar gelukkig nog wel waarnemingen bij de ondiepe stations van Bath (BA1). Golfhoogte bij EUW is nog hoog, de wind al aardig gedaald.

3.3.2 Selectie storm B, 28 december 2001

Maximum in windsnelheid om 11:00 (ca. 17 m/s uit 250º) daarna een dipje tot ca.12 m/s om 13:00 uur, om twee uur later weer op circa 15 m/s uit te komen, uit circa 270º. De hoogste golven op zee komen voor vanaf een uur of 15:00. Tijdens deze storm zijn de richtingsspectra van EUR slechts om de 3 uur beschikbaar (10, 13, 16, 19, 22 uur). De gekozen tijdstippen zijn:



Figuur 3.3: Storm selectie storm B; golven, waterstand, stroming, wind

1. 10:00 uur
Begin van de storm, hoge windsnelheid, maar nog korte duur. Golven op Noordzee zijn nog niet erg hoog. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar. Maximale vloedstroming.

2. 13:00 uur
Hoog water te Vlissingen. Relatief lage windsnelheid, maar wel hogere EUW golven dan hiervoor. Richtingsspectrum EUW beschikbaar.

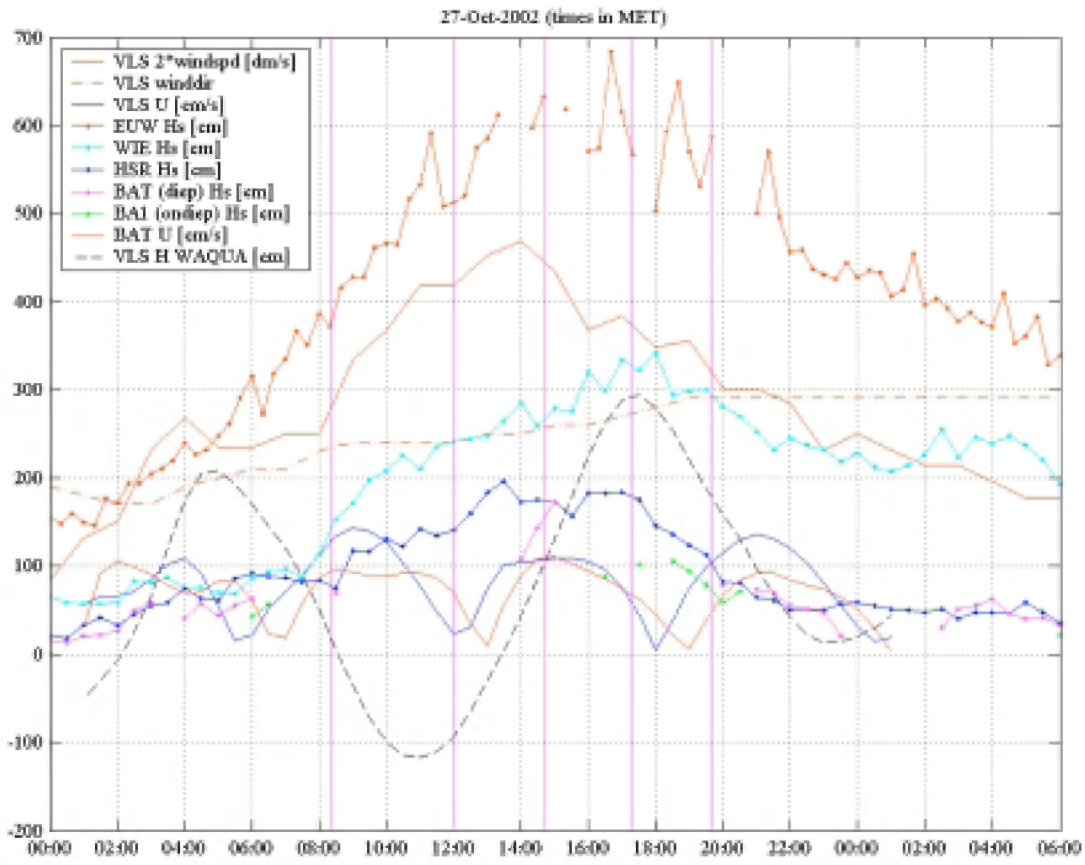
3. 15:00 uur
Ebstroming. Windsnelheid redelijk hoog met circa 15 m/s, en hoge golven op de Noordzee. Eindelijk een spectrum met dubbel piekje bij Hoofdplaat (HF1) aanwezig.

4. 17:00 uur
Hoge golven bij EUW, en maximale ebstroming. Redelijk lage waterstand, maar nog wel metingen bij BATH (BAT en BA1).

5. 19:00 uur
Ongeveer gelijke waterstand bij Vlissingen als om 17:00 uur, en stroming bij Bath ook nog ongeveer gelijk. Wel afname van golfhoogte bij EUW, en ook lagere windsnelheden (11 m/s). Windrichting ongeveer 290. Weer richtingsspectrum bij EUW aanwezig.

3.3.3 Selectie storm C, 27 oktober 2002

Zware storm met hoogste golven bij EUW van de drie geselecteerde stormen. Helaas wel veel storingen in de meetapparatuur. Golfspectra bij EUW beschikbaar om de 20 minuten (in principe). Golfrichting varieert van ongeveer 250 naar 290º. Maximale windsnelheid circa 23 m/s om 14:00 uur. De gekozen tijdstippen zijn:



Figuur 3.4: Storm selectie storm C; golven, waterstand, stroming, wind

1. 8:20 uur
Dit tijdstip is gekozen omdat het lijkt op 20:00 uur maar dan aan het begin van de storm zit. Beide tijden hebben maximale ebstroom en vergelijkbare windsnelheid (wel andere windrichting helaas). Zeldzame meting bij BAT. Laag water. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar.

2. 12:00 uur
Minimale stroming bij Vlissingen. Hoge windsnelheid, en die neemt nog steeds toe. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar.

3. 14:40 uur
Schaars moment met waarnemingen bij BAT. Wind heeft zijn maximum gehad, golven nog niet, maar wel al boven de 6 m. Maximale vloedstroom, zowel bij BAT als bij Vlissingen. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar.

4. 17:20 uur
Schaars moment met waarnemingen bij BA1. Maximale waterstand Vlissingen. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar.

5. 19:40 uur
Ebstroming. Ongeveer het einde van de hoge golven op zee. Richtingsspectrum bij EUW beschikbaar.

3.4 Typerende situaties

Om een duidelijk beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van SWAN bij specifieke locaties en condities, zijn hieronder een aantal typerende situaties benoemd die bij het analyseren van metingen en berekeningen apart aan bod komen:

A: Situaties waarbij de meting volgens het stromingspatroon sterk beïnvloed is door de ebstroom (≥0.5 m/s), die vaak tegengesteld is aan de windrichting.

B: Situaties waarbij de meting volgens het stromingspatroon sterk beïnvloed is door de vloedstroom (≥0.5 m/s), die vaak parallel is aan de windrichting.

C: Situaties waarbij de golfhoogte sterk bepaald wordt door dieptebreking. $H_s/d \geq 0.3$.

D: Situaties waarbij de golfhoogte vrijwel niet gelimiteerd wordt door de diepte. $H_s/d < 0.3$.

E: Situaties waarbij in de meting een duidelijke significante tweetoppigheid (of meertoppigheid) optreedt, waarbij zowel energie vanaf de Noordzee (deining) als lokaal opgewekte energie in het spectrum aanwezig is.

Op basis van de gemeten golfspectra, berekende stroming en waterdiepte (inclusief waterstand) volgens de SWAN bodemschematisatie, heeft elke meting - indien van toepassing - één of meerdere van bovenstaande labels toegewezen gekregen.

Voor situatie A is op zoek gegaan naar die situaties waarbij de door WAQUA berekende stroomsnelheid gelijk aan of meer dan 0.5 m/s is, en de oostwestcomponent van de stroming naar het westen is gericht.

Voor B is op zoek gegaan naar die situaties waarbij de stroomsnelheid gelijk aan of meer dan 0.5 m/s is, en de oostwestcomponent van de stroming naar het oosten is gericht.

Voor situatie C en D is de gemeten golfhoogte gedeeld door de waterdiepte. Hiervoor is de waterdiepte gebruikt volgens de SWAN resultaten, dus inclusief de berekende waterstand.

Situatie E is aan de hand van de gemeten spectra bepaald, maar kwam weinig voor.

Tabel 3.3 geeft een overzicht van de typerende situaties. Tabel 3.4 geeft de waarde van H_s/d. Ter plaatse van de meetlocaties blijkt dieptebreking niet vaak voor te komen.

4 SWAN BEREKENINGEN

4.1 Inleiding

In paragraaf 3.3 zijn voor elk van de drie stormen vijf simulatiemomenten geselecteerd. De golfhoogte bij Europlatform (EUW) varieert op de geselecteerde momenten tussen de 2.33 m en 6.33 m, en de bijbehorende piekperiodes zijn respectievelijk 5.6 en 9.1 sec. De golfrichting is voornamelijk komend van zuid tot zuidwest, met als uitzondering een keer een zuidoostelijke richting, en een paar keer ongeveer WNW. De windsnelheid varieert tussen 12.70 m/s en 22.77 m/s. Zelfs op laag water is de waterstand vanwege opwaaiing tijdens de storm momenten relatief hoog. De simulaties zijn uitgevoerd met waterstanden variërend van -0.67 m en 3.47 m. Tijdens storm C van oktober 2002 bereikte de windsnelheid de hoogste waarde van de drie stormen.

In Case 1 is zoveel mogelijk de methode aangehouden zoals gebuikt voor de golfbelastingen die bepaald zijn voor het ontwerpen van de dijkbekledingen [ref 1]. Case 2 gebruikt weliswaar dezelfde SWAN versie (30.62), maar gaat uit van uitgebreidere invoergegevens. Op een vijftal punten is de invoer van Case 2 geavanceerder dan van Case 1. Ten eerste is niet met een vlakke maar met een in-plaats-varierende waterstand gerekend. Ten tweede is in Case 2 een stroomveld toegepast. Bovendien is de wind niet-uniform opgegeven. De golfrandvoorwaarden zijn niet geparametriseerd, maar als spectrum opgegeven. Als vijfde geldt dat de bodem is aangepast aan de situatie ten tijde van de gemeten stormen. Hoewel Case 2 aanzienlijk uitgebreider is dan Case 1 pretenderen wij hier niet de 'optimale' aansturing van het model gevonden te hebben, en wellicht zijn verbeteringen in resolutie en modelinstellingen nog mogelijk.

Case 3 en 4 zijn weer in lijn met respectievelijk Case 1 en 2, maar maken gebruik van SWAN versie 40.16.

Alle berekeningen zijn stationair uitgevoerd.

4.2 Basis schematisatie

4.2.1 Rekenroosters

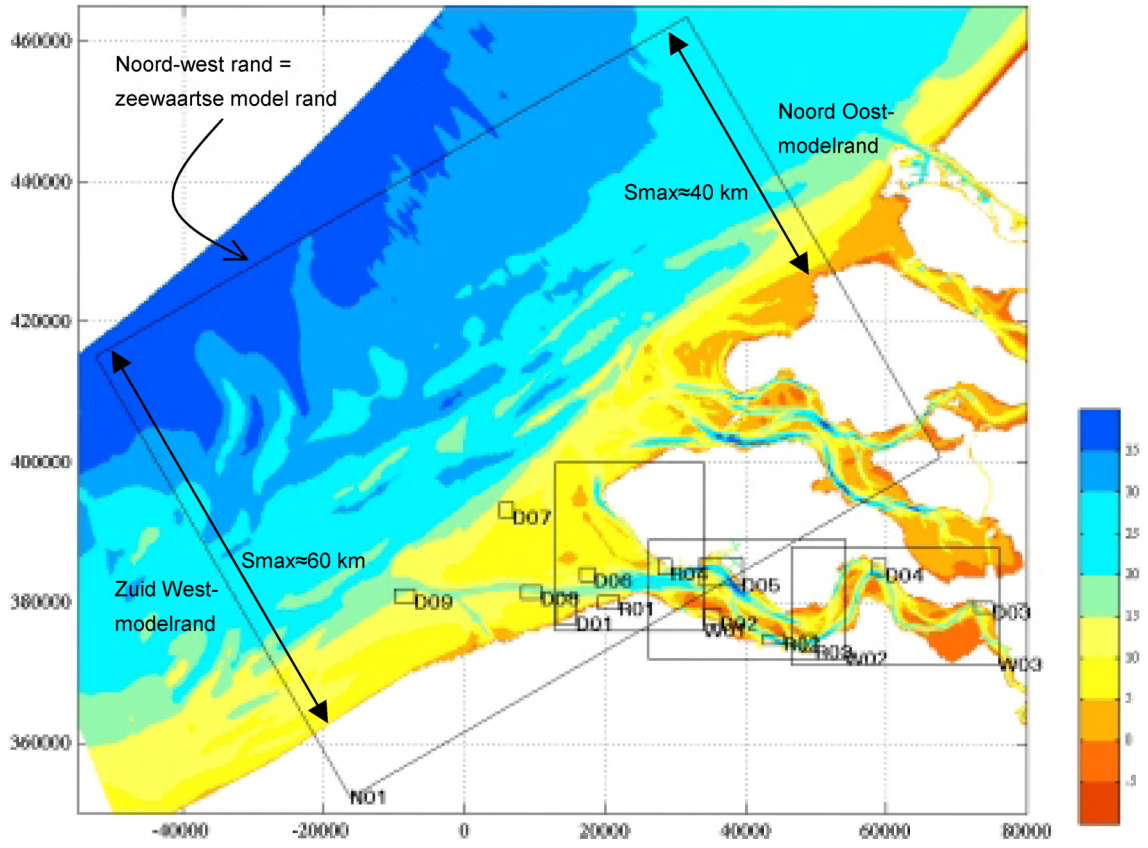
Om de simulaties met voldoende hoge resolutie uit te voeren, en toch de beschikbare computer capaciteit niet te overschrijden, wordt er gebruikt gemaakt van geneste rekenroosters die hun randvoorwaarden van voorgaande SWAN berekeningen krijgen.

In principe zijn de volgende rekenroosters gebruikt, zie Tabel 4.1, en Figuur 4.1:

Noordzee (500 m x 500 m):	N01
Westerschelde (100 m x 100 m):	W01, W02, W03
Detailroosters (20 m x 20 m):	D01, D02, D03, D04, D05, D06, D07, D08, D09, R02

Omdat de meetlocaties binnen de detailroosters moesten vallen zijn de detailroosters speciaal voor deze studie gedefinieerd. Zij bevatten nu één of meerdere meetlocaties, en komen niet direct overeen met de detailroosters van [ref 1]. Het Noordzee rooster en

de Westerschelde roosters zijn wel identiek aan [ref 1]. Alle rekenroosters zijn rechthoekig.



Figuur 4.1: Rekenroosters SWAN berekeningen (en diepte [m] t.o.v. NAP)

4.2.2 Rekenresoluties

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met een volledige richtingensector van 360 graden, met een resolutie van 10 graden. Het frequentiedomein loopt van 0.03 Hz - 0.8 Hz en is verdeeld in 30 frequentiestappen.

4.2.3 Instellingen

De volgende basisinstellingen zijn gebruikt:

• GEN3 KOMEN	Derde generatie windinput, standaard instelling
• BREAK 1. 0.73	Breken met standaardinstellingen
• FRIC JONSWAP	Bodemwrijving met standaard instellingen
• TRIADS*	Standaard instelling
• QUADRUPLETS*	Standaard instelling
• NUM ACCUR	Numerieke nauwkeurigheid:

relatieve fout <= 0.03
gemiddelde fout H_s op natte punten <= 0.03
gemiddelde fout T_{m01} op natte punten <= 0.3
aantal punten waar nauwkeurigheid gehaald wordt >= 97%
maximum aantal iteraties = 30

*) In Case 3 en 4 zijn de instellingen voor triads als volgt:
TRIAD URSELL=0.01
LIM URSELL=10. QB=1. ITER=100

Deze instelling is niet in de handleiding beschreven, maar op aanraden van het RIKZ toegepast. Op deze manier is het mogelijk om gelijktijdig triads en quadruplets te activeren.

4.3 Invoer Case 1

4.3.1 SWAN Versie Case 1

Voor Case 1 wordt gebruikt gemaakt van SWAN versie 30.62.

4.3.2 Golfrandvoorwaarden Case 1

Conform de berekening van de golfbelastingen is op de noordzeerand van het model het geparametriseerd JONSWAP golfspectrum van station Europlatform uniform opgegeven. De volgende vier parameters zijn gegeven: significante golfhoogte H_{m0}, piekperiode T_p, gemiddelde richting Th0 en de coëfficiënt van de richtingsspreiding ms. De 'peak enhancement parameter' gamma heeft de standaard waarde van 3.3.

In de meeste gevallen zijn de golfparameters beschikbaar op het geselecteerde moment. In een enkel geval wordt de juiste waarden door middel van lineaire interpolatie tussen een vorig en een volgend tijdstip gevonden. De waarde van ms is standaard op 4 gezet. Dit komt overeen met een richtingsspreiding van 24.9º naar weerszijden van de hoofdrichting. De overige parameters zijn overgenomen uit de golf meetbestanden (gz*.euw-bestanden, zie [ref 3]). Hoewel als golfrichting eigenlijk de piekrichting in SWAN dient te worden opgegeven is de gemiddelde richting gebruikt, omdat er geen 2d golfspectra beschikbaar waren.

Ook op de korte zijden (noordoost- en zuidwestrand) van het modelrooster worden golfrandvoorwaarden toegepast, maar nu met een ruimtelijke variatie. Hierin nemen de golfhoogte en piekperiode eerst langzaam af, gevolgd door een snelle afname nabij de kust. Deze afname is wiskundig beschreven middels een tanh-functie:

$$H_s(s) = H_s * \tanh (\ pi * (1.05 * Smax - s) / Smax \ )$$

waarin s de coördinaat langs een onder- of bovenrand is en Smax de lengte van deze rand. In de huidige studie is de golfrandvoorwaarde langs de noordoost- en zuidwestrand om de 5 km gespecificeerd. Smax is 40 km voor de noordoostrand en 60 km voor de zuidwestrand, zie ook Figuur 4.1. Bij storm A is alleen op de zuidwest- en

noordwestrand de golfrandvoorwaarde gespecificeerd. Bij storm B en C ook op de noordoostrand.

4.3.3 Bodemschematisatie Case 1

De basis voor de bodemschematisatie voor Case 1 is gelijk aan [ref 1], namelijk het bestand 'grid97C.asc', met een resolutie van 20 m x 20 m. Deze bodem houdt rekening met o.a. een ander baggerregime en mogelijke bodemdalingen in de komende planperiode van 50 jaar. In het westelijk deel (tot Ossenisse) zijn platen en slikken verlaagd met ca. 0.5 m. In het oostelijk deel zijn de platen verlaagd met ca. 1.0 m en de slikken met ca. 0.5 m. De hoogteligging van het land van Saeftinge is ongewijzigd, evenals bijna alle ondieptes westelijk van de lijn Vlissingen-Breskens. Uitzondering is het gebied voor de Westkapelse zeedijk, waar de bodemverlaging ca. 0.6 m bedraagt.

De rekenroosters van het Noordzee rooster en de Westerschelde roosters zijn direct overgenomen van [ref 1]. De resolutie bedraagt 200 m x 500 m, respectivelijk 100 m x 100 m voor de Westerschelde roosters. Voor elk detailrooster is een aparte bodemschematisatie gemaakt met een resolutie van 20 m x 20 m, zie ook Tabel 4.2.

4.3.4 Waterstand en stroming Case 1

De simulaties voor Case 1 zijn uitgevoerd met een uniforme waterstand. Omdat de waterstandsverschillen op één moment op de Westerschelde aanzienlijk kunnen zijn (tot orde 2 m) is er voor gekozen twee simulatie reeksen uit te voeren. Voor reeks a is de laagste waterstand van de meetlocaties Bath, Cadzand, Hansweert en Vlissingen op het geselecteerde moment gehanteerd, en voor reeks b de hoogste. De gemeten waterstanden zijn afkomstig van halfuurlijkse waterstandsbestanden (gh*-bestanden, zie [ref 3]), en met behulp van lineaire interpolatie naar de juiste tijdstippen vertaald. Deze methode is conform de aanpak van de studie 'Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel II)' [ref 4].

De uiteindelijke golfparameters zijn bepaald door interpolatie (en soms extrapolatie) tussen de berekende golfparameters van reeks a en b aan de hand van de waterstand die voor die golfmeetlocatie ter plekke voor dat moment berekend is. Let wel, de berekende waterstand kan soms afwijken van de gemeten waterstand waar de simulaties op gebaseerd zijn, zie Figuur 4.3.

In Case 1 wordt niet met stroming gerekend.

4.3.5 Wind Case 1

Per geselecteerd tijdstip is op basis van de uurlijkse windmetingen bij Vlissingen een tweedimensionaal windveld gemaakt voor het gehele gebied. Ten westen van de noord-zuid lijn door Vlissingen is 0.5 m/s bij de gemeten wind opgeteld, en ten oosten van die lijn 0.5 m/s afgetrokken. De resolutie van het windveld is 1000 m x 1000 m. Voor de geselecteerde tijdstippen is lineair geïnterpoleerd in de tijd, waarbij rekening is gehouden met het feit dat de metingen in GMT zijn gegeven.

4.4 Invoer Case 2

4.4.1 Inleiding

De manier waarop SWAN in Case 2 is toegepast is veel uitgebreider dan in Case 1. Op een vijftal punten is de invoer van Case 2 geavanceerder dan van Case 1.

1) Er is niet met een vlakke maar met een in-plaats-varierende waterstand gerekend.
2) In Case 2 is een stroomveld toegepast.
3) De wind is niet-uniform opgegeven.
4) De golfrandvoorwaarden zijn niet geparametriseerd, maar als spectrum opgegeven.
5) De bodem is aangepast aan de situatie ten tijde van de gemeten stormen.

4.4.2 SWAN Versie Case 2

Voor Case 2 wordt gebruikt gemaakt van SWAN versie 30.62.

4.4.3 Golfrandvoorwaarden Case 2

De golfrandvoorwaarden van Case 2 worden als uniform 1D spectrum op de zeewaartse rand opgegeven, gekenmerkt door frequentie (van 0.03 Hz - 0.8 Hz), en bijbehorende energie, hoofdrichting en richtingsspreiding (in graden). De waarden zijn afkomstig uit de golfmeetbestanden van Europlatform (gr*.euw files zie [ref 3]). Om de stabiliteit van de SWAN berekeningen te vergroten is het frequentiedomein van de randvoorwaarden aangepast aan het frequentiedomein van SWAN (0.03 Hz - 0.8 Hz, logaritmisch verdeeld in 30 stappen).

In de meeste gevallen zijn de golfparameters beschikbaar op het geselecteerde moment. Voor storm A en storm C zijn de spectra om de 20 minuten beschikbaar, en is besloten om het spectrum dat het dichtst bij het geselecteerde tijdstip ligt zonder interpolatie toe te passen. Het maximale tijdverschil is dan 10 minuten. Interpolatie zou in dit geval een schijnnauwkeurigheid impliceren, terwijl het juist het risico van het introduceren van fouten met zich mee brengt. Voor storm B zijn de spectra om de 3 uur beschikbaar. Voor drie van de vijf geselecteerde tijdstippen is het spectrum direct beschikbaar, namelijk om 10:00, 13:00 en 19:00 uur. Voor de overige twee tijdstippen, te weten 15:00 en 17:00 uur, is het spectrum naar het juiste tijdstip geïnterpoleerd.

Naast het golfspectrum op de zeewaartse zijde, worden ook op de korte zijden van het modelrooster (noordoost- en zuidwestrand die dwars op de kust liggen) golfrandvoorwaarden toegepast met een ruimtelijke variatie, zoals in Case 1. Hierin nemen de golfhoogte en piekperiode eerst langzaam af, gevolgd door een snelle afname nabij de kust, zie Sectie 4.4.1. Voor deze modelranden dwars op de kust zijn geparametriseerde spectra toegepast, omdat het laten afnemen van golfhoogte en golfperiode met gelijkblijvende spectrumvorm niet eenduidig is toe te passen.

4.4.4 Bodemschematisatie Case 2

In Case 2 is de bodem toegepast die het best de werkelijkheid ten tijde van de golfmetingen weergeeft. Hiertoe zijn raailodingen nabij de meetlocaties - verkregen van het RIKZ - in de basisbodem toegevoegd. De basisbodem is de Westerschelde bodem van 2000 gecombineerd met laseraltimetrie van 2001, afkomstig van RIKZ Middelburg. Deze bodem heeft een resolutie van 5 m x 5 m.

Zowel voor storm A als voor storm B en C zijn voor detailroosters D01 - D04 raailodingen toegepast, waarbij voor storm B en C dezelfde raailodingen zijn gebruikt. Tabel 4.3 geeft aan van welke datum de raailodingen ongeveer zijn. De ligging en resolutie van de bodemroosters is gelijk aan Case 1.

rekenrooster	D01	D02	D03	D04
locatie	cdd en cdz	hfp en hf1	bat en ba1	hsr en hs1
storm A	7-4-2000	7-4-2000	7-4-2000	7-4-2000
storm B	10-12-2001	10-12-2001	10-12-2001	10-12-2001
storm C	10-12-2001	10-12-2001	10-12-2001	10-12-2001

tabel 4.3: Datum raailodingen voor detailroosters D01-D04

4.4.5 Waterstand en stroming Case 2

De golfsimulaties van Case 2 zijn uitgevoerd met niet-uniforme waterstands- en stromingsvelden, afkomstig van WAQUA berekeningen. De WAQUA velden waren om het half uur beschikbaar op een kromlijnig rekenrooster van de Westerschelde en een deel van de Noordzee. Er is zowel in plaats geïnterpoleerd (naar de resolutie van de SWAN rekenroosters) als in tijd, om waterstanden en stroming beschikbaar te hebben op de geselecteerde tijdstippen (waarbij rekening is gehouden is met GMT van de WAQUA berekeningen).

Extra aandacht was nodig aan de randen van het model en bij droogvallende punten. Omdat de WAQUA velden het SWAN Noordzeerooster niet volledig overlappen, zijn aan sommige delen van de noordzeeranden extra waterstands en stroomgegevens bijgevoegd door extrapolatie.

4.4.6 Wind Case 2

Voor de simulaties van Case 2 zijn niet-uniforme windvelden gemaakt, gebaseerd op HIRLAM windvelden die oorspronkelijk een resolutie hadden van ongeveer 22 km. Ze zijn om de 3 uur beschikbaar. Er is tussen opeenvolgende velden lineair in de tijd geïnterpoleerd om het windveld op het tijdstip van de SWAN simulatie te bepalen.

De windvelden van storm B en C zijn door het RIKZ op het WAQUA rooster aangeleverd. Storm A is op een groter gebied gegeven, met coördinaten in lengte en breedte graden (ED50), met resolutie orde 1000 m.

Figuur 4.2 laat in enkele tijdreeksen de windsnelheid te Vlissingen zien op basis van metingen en op basis van de HIRLAM windvelden. Er zijn verschillen aanwezig, o.a. door de grotere tijdstap van de HIRLAM reeksen.

Oorspronkelijk was het de bedoeling om de SWAN berekeningen met hoge resolutie 'downscale-wind' uit te voeren, maar die windvelden waren niet allemaal beschikbaar. Voor één situatie is de invloed van downscale, HIRLAM en uniforme wind onderzocht. Een beschrijving hiervan is in Appendix A te vinden.

4.5 Verschillen invoer Case 3 en 4 t.o.v Case 1 en 2

4.5.1 SWAN Versie Case 3 en Case 4

Voor Case 3 en 4 is gebruikt gemaakt van SWAN versie 40.16. Deze niet-gedocumenteerde versie is een uitbreiding van 40.11, de meest recente versie die op internet beschikbaar is. Het belangrijkste verschil is dat in versie 40.16 zowel de triads als de quadruplets gelijktijdig actief kunnen zijn, terwijl in versie 40.11 maximaal één van de twee werkzaam was.

Om de triads en quadruplets te activeren in versie 40.16 dienen de volgende regels in de SWAN invoerfile opgenomen te zijn:

```
TRIAD URSELL=0.01
LIM URSELL=10. QB=1. ITER=100
```

4.5.2 Resolutie nest bestanden Case 3 en Case 4

Vanwege de beperkte capaciteit in de matrix voor de nestroosters in versie 40.16 zijn sommige nestbestanden met een lagere resolutie weggeschreven dan in Case 1 en 2. Het gaat hierbij om: W01 (106 x 240 ipv 212 x 240)
W02 (140 x 170 ipv 280 x 170)
W03 (148 x 167 ipv 295 x 167).

De uitdunning betreft de noord en zuidranden waar toch (haast) geen golfrandvoorwaarden worden doorgegeven. De berekeningen zelf zijn wel met de oorspronkelijke rekenresolutie uitgevoerd.

4.5.3 Format invoerbestanden

Tenslotte is het format van invoerbestanden zoals de golfrandvoorwaarden voor versie 40.16 anders dan versie 30.62. Ook uitvoerbestanden van 40.16 zijn verschillend van 30.62.

4.6 Resultaten SWAN berekeningen

4.6.1 Belangrijkste uitvoer

De belangrijkste uitvoer van de 1260 SWAN berekeningen zijn de golfspectra, en daaruit af te leiden golfparameters ter plaatse van de meetlocaties. Zij zullen in het volgende hoofdstuk in combinatie met de metingen behandeld worden.

4.6.2 Kwaliteitscontrole

In een kort tekstbestand is voor elke simulatie het aantal benodigde iteraties en gehaalde nauwkeurigheidscriterium weggeschreven. Eventuele foutmeldingen zijn hier ook te vinden, zie figuur 4.4 als voorbeeld.

Van elke berekening is een contourplot van H_s gemaakt en bekeken, ter globale controle van de invoer en de berekening.

Op enkele locaties zijn steekproefsgewijs de 1d en 2d spectra geplot ter controle.

De SWAN-invoerbestanden zijn automatisch gemaakt aan de hand van sjablonen en overzichtelijke invoertabellen, om de kans op fouten te verkleinen. Toch zijn op alle SWAN-invoerbestanden ook nog een aantal controles uitgevoerd, zoals het checken van wind invoer en waterstand.

Tenslotte zijn de berekende golfparameters ter plaatse van de meetlocaties vergeleken met de metingen, om verre uitschieters meteen te kunnen detecteren.

Waar de oevers steil zijn kan een kleine verschuiving een aanzienlijke verandering in golfhoogte veroorzaken. Als voorbeeld dient het punt 'ba1' (73084.00 379591.00). In de uitkomsten van berekening A2t5D03a (storm A tijdstip 5 rooster D03) blijkt de golfhoogte met ruim 50% te variëren op circa 20 m afstand van dit punt:.

X=73084.	Y=379591.	DEP=0.49	HS=0.272
X=73064.	Y=379571.	DEP=1.19	HS=0.437
X=73084.	Y=379571.	DEP=1.05	HS=0.429
X=73104.	Y=379571.	DEP=0.82	HS=0.395
X=73064.	Y=379591.	DEP=0.61	HS=0.317
X=73104.	Y=379591.	DEP=0.30	HS=0.000
X=73064.	Y=379611.	DEP=0.16	HS=0.000
X=73084.	Y=379611.	DEP=0.01	HS= 0.000
X=73104.	Y=379611.	DEP=-11.09	HS=-10.000

Voor een goede vergelijking met de meting is het wellicht nuttiger om de diepte van het meetpunt te kennen dan de exacte coördinaten. Het verdient daarom aanbeveling om de nauwkeurige diepte in de meetbestanden op te nemen.

4.6.3 Voorbeelduitvoer Case 1, 2, 3, 4

Voor storm C, tijdstip 2 is als voorbeeld een aantal contourplots van significante golfhoogte voor de vier verschillende cases gepresenteerd op de vier hoofdroosters, zie figuur 4.5. Dit tijdstip is uitgekozen omdat de verschillen tussen minimale en maximale waterstand op dat moment klein zijn (-0.64 m en -0.56 m). De berekeningen van Case 1,

2, 3 en 4 voor dit moment zijn met vrijwel dezelfde waterstand uitgevoerd, en ze zijn dus goed met elkaar te vergelijken.

De resultaten van Case 1 en 3, zonder stroming zijn volgens deze figuren over het algemeen iets hoger dan van Case 2 en 4. De stroming op dit tijdstip is voornamelijk van west naar oost, alleen in de buurt van Bath is de stroming tegengesteld. Dat wil zeggen dat de stroomrichting en de golfrichting in het grootste deel van de Westerschelde ongeveer gelijk (of beter gezegd: niet tegengesteld) zijn. Het ligt dan ook voor de hand dat de simulaties van Case 2 en 4 - mèt stroming - minder hoge golven opleveren dan de simulaties van Case 1 en 3 zonder stroming.

5 VERGELIJKING BEREKENINGEN EN METINGEN

5.1 Inleiding

De vergelijking tussen de berekeningen en metingen wordt op een aantal manieren, en voor meerdere golfparameters uitgevoerd. De acht golfparameters zijn:

1. H_{m0} golfhoogte
2. T_{m01} gemiddelde periode
3. T_{m02} gemiddelde periode
4. T_p piekperiode
5. T_{pb} blok piekperiode
6. T_{pbeq} equivalente blok piekperiode
7. T_{pm} gemiddelde (*mean*) piekperiode
8. $T_{m-1,0}$ gemiddelde periode

De manieren waarop de vergelijking gepresenteerd wordt zijn:
- Statistische parameters
- Scatterplots
- 1D-spectra

Daarnaast zijn digitale tabellen beschikbaar met alle berekende en gemeten golfparameters, maar die zijn te omvangrijk om in het rapport op te nemen.

De gemeten golfparameters die in dit hoofdstuk aan bod komen zijn berekend uit de gemeten 1D spectra. Er heeft daarbij geen interpolatie in de tijd plaatsgevonden. Omdat de spectra over het algemeen om de 20 minuten beschikbaar zijn en de simulatie tijdstippen niet precies op deze 20 minuten zijn afgestemd, is het maximale tijdsverschil tussen berekende en gemeten golf dus 10 minuten.

De periodeparameters T_{pb}, T_{pbeq}, T_{pm}, $T_{m-1,0}$ zijn mbv het programma 'intpar' [ref 2] uit het gemeten 1D spectrum berekend. De T_{pm} en T_{pbeq} bleken daarbij soms onrealistisch af te wijken van gemiddelde periodes zoals Tm02. In die gevallen waarin T_{pm} of T_{pbeq} groter of gelijk zijn aan $3.5*T_{m02}$, zijn zij verwijderd. In de tabellen en de scatterplots zijn bovendien de kleine golven weggelaten. Het gaat hierbij om gemeten golven kleiner dan of gelijk aan 0.3 m. De reden hiervoor is dat die kleine golven die bijvoorbeeld optreden bij laag water of aflandige wind niet representatief zijn voor stormgevallen waar deze studie zich op richt.

De berekende golfparameters van Case 2 en Case 4 zijn afkomstig van de standaard SWAN uitvoer, met uitzondering van T_{pb}, T_{pbeq}, T_{pm}, $T_{m-1,0}$, die mbv het programma 'intpar' [ref 2] uit het 1D spectrum zijn berekend.

De berekende golfparameters van Case 1 en 3 (berekend met twee vlakke waterstanden) die in dit hoofdstuk aan bod komen zijn al lineair geïnterpoleerd naar de waterstand die volgens de WAQUA berekeningen lokaal bij elk meetpunt optrad.

In de modelberekeningen is locatie HS1 28 m verschoven omdat op de eigenlijke locatie vanwege te weinig waterdiepte geen golven werden berekend. De locatie was (X=58659, Y=384982), en is verplaatst naar (X=58639; Y=384962).

5.2 Statistische parameters

Er zijn verschillende statistische parameters te definiëren om de verschillen tussen metingen en berekeningen tot uitdrukking te brengen. In de tabellen van hoofdstuk 5 komen voor de acht golfparameters de volgende statistische parameters aan bod:

1. bias = relatieve bias [%]
2. mae = mean absolute error [%]
3. rmse= root mean square error
4. sci = scatter index [%]
5. mpi = model performance index [-]
6. opi = operational performance index [-]
7. stdev= relatieve standaard deviatie [%]
8. s-b = relatieve standaard deviatie - relatieve bias [%]

Definities van deze parameters zijn te vinden in Appendix B. De meeste van de parameters zijn relatief. Zij zijn gegeven als percentage van de metingen. Let op dat voor alle parameters geldt dat het beter is naarmate ze dichter bij nul liggen, behalve de mpi, die optimaal is bij een waarde van één.

De tabellen zijn per case gerangschikt en beginnen met alle gesimuleerde tijdstippen samen ('ts=0'), gevolgd door typerende situaties A, B, C, D en E (zie Sectie 3.4). Ook is er een opsplitsing naar gebied gemaakt. Tabellen 5.5 - 5.8 geven per case de statistische parameters onderverdeeld naar 'Noordzee', Westerscheldemonding', en 'Westerschelde' (zie sectie 5.3.1 welke meetstations in welk gebied horen).

De tabellen geven over het algemeen dezelfde conclusies als de scatterplots (zie Sectie 5.3). Geen van de cases presteert opvallend goed of slecht.

De golfhoogte wordt over het algemeen het best benaderd (kleinste relatieve bias) door Case 2 bij ebstroom, gevolgd door Case 2 bij brekende golven.

De relatieve standaarddeviatie is in vrijwel alle gevallen bij Case 2 en Case 4 groter dan bij Case 1 en Case 3.

Alle cases berekenen de periode T_{pm} bij vloed beter dan bij eb.

5.3 Scatterplots

5.3.1 Inleiding

Figuren 5.1 t/m 5.3 tonen per case de scatterplots van alle metingen en berekeningen van respectievelijk de H_{m0}, T_{pm} en $T_{m-1,0}$. Met kleur is aangegeven om welk van de drie stormen het gaat (rood=A (mei 2000); blauw=B (dec 2001); C=zwart (okt 2002)), en de markeringen geven de typerende situatie weer, te weten (zie ook Sectie 3.4):

A: eb stroom (stroomsnelheid >= 0.5 m/s en u-snelheid negatief)
B: vloed stroom (stroomsnelheid >= 0.5 m/s en u-snelheid positief)
C: wel breken (H_s/d >= 0.3)

D: geen breken ($H_s/d < 0.3$)

De typerende situaties komen duidelijker aan bod in de volgende figuren:

scatterplots	H_{m0}	situatie A en B (fig 5.4)	en	situatie C en D (fig 5.5),
scatterplots	T_{pm}	situatie A en B (fig 5.6)	en	situatie C en D (fig 5.7),
scatterplots	$T_{m-1,0}$	situatie A en B (fig 5.8)	en	situatie C en D (fig 5.9).

De dubbelpiekigheid van typerende situatie E leverde te weinig waarnemingen op om gedegen scatterplots te kunnen maken.

Behalve een opdeling naar typerende situatie, is in de scatterplots de data ook geselecteerd op gebied, door de Westerschelde in drie zones in te delen:

A) Noordzee:	• 5 meetstations: Europlatform (EUW), Lichteiland Goeree (LEG), Schouwenbank (SWB), Deurloo (DRL), Scheur West (SCW)
B) Monding Westerschelde:	• 5 meetstations: Wielingen (WIE), Cadzand (CDD, CDZ) Scheur Oost (SCO) en Westerschelde Container Terminal (WCT)
C) Binnengebied Westerschelde:	• 7 meetstations: Pas van Terneuzen (PVT), Hoofdplaat (HF1, HFP), Hansweert (HSR, HS1), Bath (BAT, BA1)

De typerende gebieden komen duidelijker aan bod in de volgende figuren:

scatterplots	H_{m0}	gebied A en B (fig 5.10)	en	gebied C (fig 5.11),
scatterplots	T_{pm}	gebied A en B (fig 5.12)	en	gebied C (fig 5.13),
scatterplots	$T_{m-1,0}$	gebied A en B (fig 5.14)	en	gebied C (fig 5.15).

Voor alle scatterplots is een selectie gemaakt waarbij de golfparameters van gemeten golven kleiner dan of gelijk aan 0.3 m verwijderd zijn. De reden hiervoor is dat die kleine golven die bijvoorbeeld optreden bij laag water of aflandige wind niet representatief zijn voor stormgevallen waar deze studie zich op richt. Bovendien is nog een tweede criterium gehanteerd dat er voor zorgt dat de gemeten T_{pm} en de T_{pbeq} verwijderd wordt indien die meer dan of 3.5 keer zo groot is als de T_{m02}. Bij enkele metingen zorgde een klein laagfrequent piekje in het spectrum voor onrealistisch hoge T_{pm}'s en T_{pbeq}'s, die op deze manier niet meedoen aan de analyse.

De scatterplots bevatten als stippellijn de lijn Y=X, en als gestreepte lijn de lijn Y=b*X op basis van de kleinste kwadraten methode. De getrokken lijn geeft de fit weer van Y=b*X+a. Let op dat Y hierin de SWAN-berekeningen representeert (x-as(!)) en X de metingen (y-as(!)).

5.3.2 Scatterplots golfhoogte

5.3.2.1 Algemeen (Figuur 5.1)

Over het algemeen onderschat SWAN de golfhoogte, waarbij de bias varieert tussen -10% (Case 3), en -1% (Case 2). De spreiding is vrij groot (orde 20%), zie Figuur 5.1.

De vier plots van Figuur 5.1 laten zien dat de resultaten van Case 2 en 4 (uitgebreide SWAN invoer) op het oog onderling op elkaar lijken, en de resultaten van Case 1 en 3 onderling ook. Zo is bijvoorbeeld de spreiding van Case 2 en Case 4 groter dan die van Case 1 en Case 3 (respectievelijk 23% en 21% tegenover 18% en 18%).

In de vergelijking tussen Case 1 en Case 2 is er duidelijk een groepje punten aan te wijzen dat door Case 2 hoger en beter wordt berekend dan door Case 1 (meting 4 - 5 m). Er is echter ook een groep punten dat door Case 2 hoger, maar daardoor slechter wordt berekend, namelijk tussen 2 en 3 m gemeten H_s. Beide groepjes hebben voornamelijk betrekking op vloedstroom. Bovenstaande geldt ook - maar minder evident voor Case 3 en 4.

5.3.2.2 Opsplitsing naar typerende situatie (Figuur 5.4 & 5.5)

• Stroming (Figuur 5.4)
Wat vooral opvalt in Figuur 5.4 is de goede prestatie van Case 2 bij ebsituaties. De bias is 0, en de standaard deviatie is 19%. De bias is niet alleen lager dan de andere cases, maar ook dan de situatie waarin geen onderscheid gemaakt is naar typerende situatie.

Ook hier geldt weer dat er duidelijker overeenkomsten zijn tussen Case 2 en Case 4 en tussen Case 1 en Case 3 dan dat er overeenkomsten zijn tussen de beide cases met versie 30.62 (Case 1 en 2) en tussen beide cases met versie 40.16 (Case 3 en 4). Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de mate van de bias, mae en de standaarddeviatie. Het blijkt dat de bias en de mae beter zijn van de geavanceerde cases (2 & 4) dan van respectievelijk Case 1 en 3 en dat de standaarddeviatie beter is van Case 1 & 3 dan van respectievelijk Case 2 & 4.

In de ebsituatie (linker kolom van Figuur 5.4) is de relatieve standaarddeviatie van Case 2 en Case 4 groter dan respectievelijk Case 1 en Case 3, maar de bias voor Case 2 en Case 4 is lager dan voor Case 1 en Case 3 (0% en -4% respectievelijk -11% en -13%). Ook in de vloedsituatie (rechter kolom van Figuur 5.4) zien we de grote standaarddeviatie van Case 2 en Case 4 t.o.v. die van Case 1 en 3 (25% en 23% respectievelijk 17% en 17%). De bias van de vloedsituatie is vrijwel gelijk aan de bias-waarden die in Figuur 5.1 zijn gepresenteerd (zonder opdeling naar typerende situatie).

Omdat in deze analyse de vloedsituatie vaak voorkomt, is ook aan te geven of de stormen onderling vergelijkbaar reageren. Het is vooral storm B (December 2001, zie de rondjes in Figuur 5.4) die door SWAN bij Case 2 en 4 wordt overschat. Storm A (Mei 2000, plusjes in Figuur 5.4) wordt juist voornamelijk onderschat door SWAN. Voor eb zijn vooral storm B en C vertegenwoordigt, en voor die stormen gedraagt SWAN zich vergelijkbaar.

Overigens zijn er geen aparte figuren gemaakt voor lagere stroomsnelheden (<0.5 m/s), maar deze vallen onder de algemene figuren (zie Figuren 5.1 - 5.3).

• Al dan niet breken van golven (Figuur 5.5)
Brekende golven komen in deze analyse niet veel voor (17 gevallen per case) zodat daar geen gedegen conclusies over getrokken kunnen worden. In alle vier cases onderschat SWAN gemiddeld de golfhoogte. De bias van Case 2 en 4 ligt dichter bij nul dan die van Case 1 en Case 3.

De meeste metingen hebben betrekking op niet-brekende golven zodat Figuur 5.5 (niet-brekende golven) veel overeenkomsten heeft met Figuur 5.1 (de algemene situatie). Het gedrag van Case 2 is meer vergelijkbaar met Case 4 dan met Case 1. Dit uit zich in vergelijkbare standaarddeviatie (Case 1 en 3: 19% en 18%. Case 2 en 4: 24% en 22%).

Overigens hangt de grotere standaarddeviatie van de situatie zonder breken (D) ten opzichte van de situatie met breken (C) deels samen met het feit dat D veel meer waarnemingen heeft.

5.3.2.3 Opsplitsing naar gebied (Figuur 5.10 & 5.11)

Er zit duidelijk verschil tussen de prestaties van SWAN op de Noordzee, in de monding van de Westerschelde, en op de Westerschelde zelf, waarbij over het algemeen geldt: hoe westelijker hoe beter.

• Noordzee (Figuur 5.10, linker kolom)
Op de Noordzee (stations EUW, LEG, SWB, DRL, SCW) doen Case 2 en Case 4 het duidelijk beter dan Case 1 en 3 ten aanzien van de bias (3% en -2% versus -5% en -8%). De standaarddeviatie is vergelijkbaar voor alle cases (14% - 16%). Case 2 op de Noordzee levert als één van de weinige situaties een positieve bias op.

Op de Noordzeestations wordt storm A door SWAN vooral onderschat, storm B wordt vooral overschat.

• Westerscheldemonding (Figuur 5.10, rechter kolom)
Het is moeilijk eenduidig aan te geven hoe SWAN presteert in het mondingsgebied ten opzichte van het Noordzeegebied. Voor Case 2 verbetert de bias, maar voor de andere drie cases is de bias in het mondingsgebied negatiever dan op de Noordzee. Voor Case 1 en 3 is de relatieve standaarddeviatie afgenomen van Noordzee naar monding. Voor Case 2 en 4 is de relatieve standaarddeviatie in de monding juist groter.

In de plots van Case 2 en Case 4 is duidelijk zichtbaar dat storm B wordt overschreden, en de andere stormen - in mindere mate - worden onderschreden door SWAN.

• Westerschelde (Figuur 5.11)
De prestatie van SWAN bij de Westerschelde meetlocaties is beduidend slechter dan in de andere gebieden. Niet alleen de gemiddelde afwijking t.o.v. de metingen is groot, maar ook de spreiding. De minst geavanceerde case Case 1 komt het best bij de metingen in de buurt (bias is -10%). De andere drie Cases hebben als bias respectievelijk -18%, -17% en -24%.

De minder goede prestatie van SWAN bij de Westerscheldestations hangt samen met het feit dat de golfhoogte hier veelal klein is, zodat beperkte absolute fouten toch grote relatieve fouten zijn.
Los daarvan is het verloop van de gefitte lijn veel steiler dan in de andere gebieden, waaruit blijkt dat SWAN vooral de hogere golven (1 m< H_s <1.5 m) onderschat.

5.3.3 Scatterplots periodes T_{pm} en $T_{m-1,0}$

5.3.3.1 Algemeen (Figuur 5.2 & 5.3)

Er is erg weinig verschil tussen de verschillende cases betreffende de periodematen T_{pm} en $T_{m-1,0}$. De $T_{m-1,0}$ wordt over het algemeen nog iets beter gesimuleerd dan de T_{pm}. De relatieve bias ligt in de orde van -7% á -10%, de relatieve standaarddeviatie tussen de 11% en de 14%.

5.3.3.2 Opsplitsing naar typerende situatie (Figuur 5.6, 5.7, 5.8 & 5.9)

• Stroming (Figuur 5.6 & 5.8)
SWAN berekent de periodematen T_{pm} en $T_{m-1,0}$ bij vloedstroom beduidend beter dan bij ebstroom. Vooral Case 1 presteert met een relatieve bias van minder dan 1%, erg goed bij vloed. Ook Case 3 doet het goed, terwijl de geavanceerde simulaties van Case 2 en 4 de periodes bij vloed gemiddeld iets meer onderschatten.

Bij ebstroming berekenen juist Case 2 en Case 4 de periodes beter dan Case 1 en 3, zie de relatieve bias die voor Case 2 en 4 dichter bij nul ligt.

Het verschil in prestatie ten aanzien van golfperiode tussen ebstroom en vloedstroom is bij Case 1 en 3 veel groter dan bij Case 2 en 4. Bijvoorbeeld de relatieve bias voor T_{pm} is voor Case 1 bij eb resp. vloed -18% en 0%, en voor Case 2 is dat -12% en -3.5%. Voor Case 3 zijn de biaswaarden -18% en -1%, en voor Case 4 -13% en -6%. De negatieve biaswaarden geven aan dat SWAN over het algemeen de golfperiode onderschat.

• Al dan niet breken van golven (Figuur 5.7 & 5.9)
In de figuren 5.7 en 5.9 zijn de verschillen tussen de vier cases over het algemeen klein. Er is weer duidelijk te zien dat de $T_{m-1,0}$ beter wordt berekend door SWAN dan de T_{pm}.

Vanwege de kleinere standaarddeviatie en de - over het algemeen - dichter bij nul liggende bias, lijkt de $T_{m-1,0}$ in de situatie met brekende golven beter gesimuleerd te worden dan in de situatie zonder brekende golven. Hier dient wel de kanttekening bij geplaatst te worden dat minder waarnemingen (brekende golven) hier vaak een kleinere relatieve standaarddeviatie blijken op te leveren.

5.3.3.3 Opsplitsing naar gebied (Figuur 5.12, 5.13, 5.14 & 5.15)

Ook ten aanzien van de periodes zit er duidelijk verschil tussen de prestaties van SWAN op de Noordzee, in de monding van de Westerschelde, en op de Westerschelde zelf, waarbij over het algemeen geldt: hoe westelijker hoe beter.

Noordzee (Figuur 5.12 & 5.14, linker kolom)
Alleen op de Noordzee (stations EUW, LEG, SWB, DRL, SCW) wordt de T_{pm} beter berekend dan de $T_{m-1,0}$. Dit komt doordat de vorm van het initiële randvoorwaarde spectrum - en dan vooral de ligging van de piekfrequentie in het sprectrum - op de Noordzee nog maar weinig is veranderd.

De scatterplots voor de periodes op de Noordzee zien er heel anders uit dan die van de golfhoogten. Zowel de spreiding als de bias zijn bij de periodes kleiner dan voor de golfhoogtes.

Over het algemeen liggen in de periode-scatterplots de punten van storm B vooral onder de lijn Y=X (overschatting door SWAN) en die van storm A vooral boven die lijn (onderschatting van SWAN).

Westerscheldemonding (Figuur 5.12 & 5.14, rechter kolom)
In het mondingsgebied heeft SWAN meer moeite met de periodes dan met de golfhoogtes. De golfperiodes worden vooral onderschat. Ten aanzien van de T_{pm} is er nauwelijks verschil tussen de vier cases. De $T_{m-1,0}$ wordt echter door Case 2 en 4 wel beter gesimuleerd dan door Case 1 en Case 3.

Westerschelde (Figuur 5.13 & 5.15)
Voor de berekende periodes op de Westerschelde geldt min of meer hetzelfde als in het mondingsgebied, met belangrijkste verschil de minder goede bias op de Westerschelde. Vooral de standaarddeviaties zijn voor de periodes aanzienlijk kleiner dan voor de golfhoogtes op de Westerschelde (13% - 14% voor periodes versus 25% - 30% voor golfhoogtes).

Voor de T_{pm} zijn de verschillen tussen de cases minimaal. De $T_{m-1,0}$ wordt door Case 2 het best benaderd.

5.4 1D Golf spectra

Figuur 5.16 t/m 5.20 geven de gemeten en berekende 1d spectra weer voor de vijf simulatie tijdstippen van storm B. De a figuur bevat telkens de negen meest westelijke stations tot Cadzand, de b figuur bevat de 8 stations op de Westerschelde. Let op dat de waarden op de Y-as sterk kunnen variëren. Om de hoeveelheid figuren te beperken zijn in dit rapport alleen de spectra van storm B gepresenteerd.

De mate waarin de berekende spectra de gemeten spectra benaderen varieert sterk.
• De berekende diepwater spectra van EUW, LEG en SWB komen over het algemeen goed overeen met de metingen.
• Bij de drie middelste stations in de figuren 5.16.a - 5.20.a (DRL, SCW, SCO) is er bij tijdstip t1 en t2 van storm B iets te veel laagfrequente energie in het berekende spectrum aanwezig. Op tijdstip t3, t4 en t5 komt de berekende spectrale breedte beter met de metingen overeen. Op de laatste twee tijdstippen heeft het berekende spectrum van Scheur Oost van Case 1 en Case 3 een tweede (laagfrequente) piek. Deze laagfrequente energie is in de metingen van Scheur Oost echter in veel grotere mate aanwezig. De frequentiewaarde van de laagfrequente piek van de berekeningen van Case 1 en 3 komt goed overeen met de meetwaarde.
• In de gemeten spectra van de volgende drie stations, WIE, CDD, CDZ ontstaat tussen tijdstip t1 en t5 een laagfrequente piek (bij circa 0.12 Hz), waar SWAN vanaf tijdstip t3 voorzichtig een begin mee maakt. Vooral Case 1 en Case 3 berekenen twee pieken en volgens de berekeningen bevat de hoogfrequente piek meer energie, terwijl de metingen meer energie in de laagfrequente piek hebben. Vooral op tijdstip 4 en 5 tonen de metingen veel meer laagfrequente energie dan SWAN berekent.

• De daaropvolgende stations (HFP, HFL, HSR) liggen echt in de Westerschelde en hebben een grilliger spectrum. De twee stations bij Hoofdplaat worden door SWAN behoorlijk overschat.
• Bij de meest oostelijke stations HS1, BA1, BAT lijken over het algemeen de spectra van Case 1 en 3 op elkaar, en die van Case 2 en 4. Het is moeilijk om eenduidige uitspraken over deze stations te doen. Op tijdstip t1 en t2 ligt de vorm van de spectra berekend door Case 1 en 3 dichter bij de metingen dan die berekend door Case 2 en 4. Het gaat hierbij vooral om energie met frequenties van 0.3 - 0.4 Hz, die meer aanwezig is in Case 1 en 3 dan in Case 2 en 4. Op tijdstip t3, t4 en t5 heeft het gemeten spectra bij hs1, bat en ba1 zelfs nog meer energie in nog lagere frequenties (0.2 - 0.3 Hz). Die energie wordt door SWAN bijna volledig gemist.
• Tenslotte de stations PVT en WCT. Op alle vijf de tijstippen bevatten de berekende spectra van PVT van Case 1 en 3 op ongeveer dezelfde frequenties hun maximale energie (circa 0.3 Hz). Gedurende de storm verschuift in het gemeten spectrum het maximum echter van ongeveer 0.4 Hz naar 0.2 Hz. In de berekeningen begint SWAN met een overschatting van de piekperiode, en eindigt met een onderschatting. In Case 2 en 4 volgt de berekende piek de gemeten piek veel beter.

6 TRENDS IN BETROUWBAARHEID

6.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk zijn verschillende selecties gemaakt om inzicht te krijgen in de prestaties van SWAN. Zo is er een opdeling gemaakt naar typerende situatie, naar gebied en ook naar storm (aan de hand van de kleuren en markers).

Het is ook interessant om de prestaties van SWAN te bepalen voor verschillende waarden van een aantal invloedsparameters. Wellicht is er een relatie tussen de betrouwbaarheid van het model en de windsnelheid, waterstand of windrichting.

Omdat deze studie gebruikt gaat worden voor de advisering voor golfcondities met een kans van voorkomen 1/4000 jaar, is het belangrijk om deze mogelijke trends nader uit te werken en zo de betrouwbaarheid van het model bij ontwerpcondities af te schatten.

6.2 Uitleg scatterplots

De trends in betrouwbaarheid worden onderzocht aan de hand van scatterplots. Daarbij is in drie verschillende plots de relatieve fout van elke gesimuleerde golf uitgezet tegen respectievelijk de optredende windsnelheid, de windrichting en de waterstand. De relatieve fout is gedefinieerd als het quotiënt van de simulatie minus de meting en de meting.

Met behulp van de kleinste kwadraten methode is een trendlijn toegevoegd in de figuren met windsnelheid en waterstand zodat ook de relatieve fout bij ontwerpcondities bepaald kan worden. Echter, vanwege de erg geringe correlatie tussen de relatieve fout en de respectievelijke invloedsparameters dient er weinig waarde gehecht te worden aan de extrapolatie van de relatieve fout.

De vorm van de markers geeft weer typerende situaties aan. De kleuren geven het gebied aan. (Noordzee (rose), monding (lichtblauw) of Westerschelde (groen)). De scatterplots zijn te maken per case en per golfparameter.

6.3 Invloed van windsnelheid op de relatieve fout

De invloed van de windsnelheid op de relatieve fout in golfhoogte, golfperiode T_{pm} en golfperiode $T_{m-1,0}$ is te zien in respectievelijk Figuur 6.1 - 6.3.

In de eerste plaats valt op dat er geen sprake is van een duidelijke relatie tussen de relatieve fout in golfhoogte en de windsnelheid. De punten wolk is teveel verspreid om van een trend te kunnen spreken. Toch is er een poging gedaan om de relatieve fout door te trekken naar een windsnelheid van 33 m/s (ontwerpwaarde binnengebied voor wind uit 270 graden, zie ref [4]). Voor Case 1 en 3 zou dit een relatieve fout in golfhoogte opleveren van circa +1%, en voor Case 2 en 4 circa +30%.

Men dient erg voorzichtig te zijn met de interpretatie van de scatterplots. Bij Figuur 6.1, Case 2 en 4 bijvoorbeeld, lijkt de prestatie van SWAN bij hogere windsnelheden over het algemeen beter dan bij lagere snelheden. Dit hangt echter rechtstreeks samen met

het feit dat de hogere windsnelheden vooral op de Noordzee voorkomen, waar de meetlocaties dicht bij de randvoorwaarden van het model liggen en daardoor worden de golven daar over het algemeen beter gesimuleerd. Bovendien zijn de golven bij hoge windsnelheden veelal groot, zodat de absolute afwijking groot mag zijn bij beperkte relatieve fout.

Aangezien Case 1 en 3 met uniforme windsnelheden berekend zijn is er minder variatie in windsnelheid te zien in de scatterplots dan voor Case 2 en 4 waarbij windvelden zijn toegepast. Case 2 en 4 laten duidelijk zien dat de hogere windsnelheden op de Noordzee voorkomen, en de lagere juist op de Westerschelde.

De grootste relatieve afwijkingen tussen meting en berekening zijn groen en bevinden zich dus op de Westerschelde. Over het algemeen zijn de golven op de Westerschelde kleiner dan elders, en dat maakt de fouten daar relatief groot.

Ook voor de golfperiode geldt dat er geen duidelijke relatie is tussen de windsnelheid en de relatieve fout.

Opvallend is dat op de relatieve fout in periode op de Noordzee vooral positief is (SWAN overschat daar dus) en op de Westerschelde en in de monding vooral negatief (SWAN onderschat daar dus).

6.4 Invloed van windrichting op de relatieve fout

De invloed van de windrichting op de relatieve fout in golfhoogte, golfperiode T_{pm} en golfperiode $T_{m-1,0}$ is te zien in respectievelijk Figuur 6.4 - 6.6. In de 'a' figuren is een opsplitsing naar gebied gemaakt, in de 'b' figuren opsplitsing naar storm.

Er is geen duidelijke relatie tussen relatieve fout in golfhoogte en de windrichting.

Wat wel zichtbaar is is het verschil in windrichting tussen de windvelden (Case 2 en 4) en de uniforme winden (Case 1 en 3).

De groene kleur (de Westerschelde stations) vertoont over het algemeen de grootste afwijking tussen meting en simulatie. Bij Case 2 en 4 blijkt SWAN de golfhoogte op de Westerschelde vooral te onderschatten (negatieve relatieve fout).

Uit Figuur 6.4.b blijkt dat tijdens storm A de wind behoorlijk van richting varieerde (in plaats en/of in tijd), en dat bij storm B de windrichting vrij constant is. Dit heeft echter geen duidelijke invloed op de relatieve fout.

Ook tussen relatieve fout in golfperiode en de windrichting ontbreekt een duidelijke relatie.

6.5 Invloed van waterstand op de relatieve fout

De invloed van de lokale waterstand op de relatieve fout in golfhoogte, golfperiode T_{pm} en golfperiode $T_{m-1,0}$ is te zien in respectievelijk Figuur 6.7 - 6.9. In de 'a' figuren is een opsplitsing naar gebied gemaakt, in de 'b' figuren opsplitsing naar storm. De trendlijn is

doorgetrokken naar een waterstand van NAP + 4 m. Dit is geen ontwerpwaterstand want die is niet-uniform over de Westerschelde, maar slechts een indicatieve waterstand. De correlatie tussen relatieve fout en waterstand is echter te gering om er conclusies aan te kunnen verbinden. De waterstand is afkomstig van de WAQUA velden.

Er is geen duidelijke relatie tussen de waterstand en de relatieve fout in golfhoogte, noch golfperiode.

Het is logisch dat de hoogste en laagste waterstanden groen gekleurd zijn in Figuur 6.7.b want die hebben betrekking op de Westerschelde waar de waterstand meer varieert dan op de Noordzee en in de monding.

6.6 Additionele mogelijke invloedsfactoren

Naast windsnelheid, windrichting en waterstand is ook gekeken of er wellicht een trend bestaat tussen de relatieve fout van het model en het tijdstip ten opzichte van hoog water te Vlissingen. De gedachte hierbij is dat het uur t.o.v hoog water een bepaald stroombeeld vertegenwoordigt.

Figuren 6,10-6.12 tonen dat er geen relatie is tussen tijdstip ten opzichte van het gemeten hoogwater bij Vlissingen.

In de Figuren 6.10-6.12 is nog een relatie onderzocht, namelijk tussen de relatieve fout en het tijdstip binnen de storm. De SWAN berekeningen zijn allemaal stationair uitgevoerd. Het is mogelijk dat het model aan het einde van een storm, bij een volgroeid golfveld anders presteert dan aan het begin van een storm. De kleuren in Figuren 6.10 - 6.12 geven de volgorde weer van de simulatietijdstippen binnen de stormen.

Het is niet zo dat de rode markers aan het begin van de storm bijvoorbeeld duidelijk allemaal een overschatting van de golven aangeven, en de zwarte markers aan het eind van de storm allemaal een onderschatting. Wel lijkt het dat de relatieve fout van de zwarte markers over het algemeen iets dichter bij nul ligt dan van de rode, wat zou kunnen duiden op een betere prestatie van SWAN in volgroeide zee dan aan het begin van een storm. Dit is echter niet overtuigend zichtbaar.

Bovendien is in Figuur 6.13 - 6.15 voor respectievelijk storm A, B en C voor twaalf (willekeurige) meetlocaties het verloop van de T_{pm} op de vijf simulatie tijdstippen weergegeven. Het idee hierachter is wederom om te zien of de stationaire simulaties aan het begin van de storm wellicht de gemeten golfperiodes overschatten, en aan het einde van de storm wellicht onderschatten, er vanuit gaande dat de werkelijke golven gedurende de storm steeds langer worden (grotere T_{pm}). Eigenlijk zou hiertoe alleen het moment in de storm moeten variëren, bij gelijkblijvende overige parameters zoals windsnelheid, windrichting, waterstand, stroming en diepwatergolf op de rand. Helaas was dit niet mogelijk omdat die overige parameters in werkelijkheid niet constant bleven. Hoe dan ook, de figuren laten zien dat de T_{pm} van het gemeten spectrum niet continu toeneemt, vooral niet op de Westerscheldestations. Dit maakt het extra moeilijk om aan te geven of de stationaire benadering nadelig is voor de betrouwbaarheid van de simulaties. In de meeste gevallen blijkt dat de gemeten trend binnen de storm door de berekeningen goed wordt gevolgd. Op basis van deze figuren is er geen sterke

noodzaak tot uit uitvoeren van tijdsafhankelijke simulaties. Dit betekent echter niet dat tijdsafhankelijke simulaties niet tot betere resultaten zouden leiden, maar daar kan pas uitsluitsel over gegeven worden als die simulaties daadwerkelijk zouden uitgevoerd worden.

6.7 Conclusies trends in betrouwbaarheid

Uit deze analyse blijkt geen duidelijke relatie tussen enerzijds de modelprestatie en anderzijds windsnelheid, windrichting, waterstand, tijdstip t.o.v. hoog water bij Vlissingen, en tijdstip binnen de storm.

Het is daarom niet zinnig op basis van deze gegevens de relatieve fout te extrapoleren naar ontwerpcondities.

7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Beknopte samenvatting

Met het SWAN golfmodel is van drie stormen het golfverloop berekend aan de hand van vijf stationaire simulaties per storm. Voor elke simulatie waren op ongeveer 17 locaties op de Westerschelde en Noordzee golfmetingen beschikbaar om de modeluitkomsten te toetsen. Bij de analyse van de modelprestaties is rekening gehouden met typerende situaties zoals ebstroom, vloedstroom, al dan niet breken en dubbeltoppigheid van het spectrum. Ook is rekening gehouden met de ligging van de meetlocaties door drie gebieden te onderscheiden, namelijk de Noordzee, het mondingsgebied en de Westerschelde zelf.

Het SWAN model is op vier manieren ingezet, te weten
Case 1: versie 30.62 op de manier van Alkyon 1998 [ref 1]
Case 2: versie 30.62 met uitgebreide invoer
Case 3: versie 40.16 op de manier van case 1
Case 4: versie 40.16 met uitgebreide invoer

De doelstellingen van de studie zijn:
- Hoe betrouwbaar zijn de in 1998 afgeleverde golfcondities (waar 'Case1' model voor staat)?
- In hoeverre draagt de methode van simuleren bij aan de betrouwbaarheid van de golfberekening (vergelijking 'Case 2' en 'Case1')?
- Zijn we in staat om met een nieuwe versie van SWAN (40.16) betrouwbaarder resultaten af te leveren? Hierbij dient zowel gekeken te worden naar de eenvoudige modellering als naar de meer geavanceerde modellering.

7.2 Conclusies en aanbevelingen

7.2.1 Algemene conclusies en aanbevelingen

Er is geen eenduidige uitspraak te doen welke SWAN-Case het best de metingen benadert. Wel is het over het algemeen zo dat de SWAN versie die gebruikt is voor de randvoorwaardenberekeningen van 1998 de metingen beter benaderd dan de nieuwste versie SWAN 40.16. Case 2 geeft in termen van golfhoogte de kleinste relatieve bias, gevolgd door Case 1. Ook de periodes ($T_{m-1,0}$ en T_{pm}) worden door Case 1 en Case 2 het best gesimuleerd.

Dit betekent dat de in 1998 afgeleverde golfcondities niet eenvoudig sterk te verbeteren zijn, noch door de invoer uit te breiden, noch door een nieuwere SWAN versie te gebruiken.

De indicatoren voor de betrouwbaarheid van het golfmodel SWAN, en de aan projectbureau Zeeweringen aangeleverde golfcondities, zijn in deze hindcaststudie weergegeven als de relatieve standaardafwijking en de relatieve bias. De golfcondities die projectbureau Zeeweringen gebruikt voor het ontwerpen van steenbekledingen zijn door RIKZ gecorrigeerd op stromingseffecten en op de vermeende onderschatting van de golfperiode door SWAN. De correctiefactor voor de golfperiode die tot nu toe

gehanteerd is bedraagt één seconde. In veel gevallen in de Westerschelde komt dit overeen met de gemiddelde afwijking (bias).

Rijkswaterstaat hanteert reeds jaren de werkwijze “scherp toetsen en robuust ontwerpen”. Het uitgangspunt bij deze werkwijze is dat de verwachtingswaarde van de golfcondities afgegeven wordt onder de veronderstelling dat de onzekerheid in de voorspelling betrokken wordt bij het afleiden van de rekenregels voor de sterkte van de dijk. Het is dan ook aan te bevelen om bij het ontwerp niet alleen rekening te houden met de gemiddelde fout (bias), maar ook met de betrouwbaarheidsband rondom de berekende waarden (standaardafwijking). Hierbij is het wel van belang om eerst in kaart te brengen of de belastingformules al dan niet een veiligheidstoeslag in rekening brengen voor de onzekerheid in de voorspelde golfbelasting. Voor de toetsing van zeeweringen dienen de hydraulische randvoorwaarden dan alleen voor de gemiddelde afwijking (bias) gecorrigeerd te worden.

7.2.2 Conclusies en aanbevelingen vergelijking meting berekening algemene situatie

Op basis van de huidige studie is de relatieve fout in golfhoogte tussen meting en berekening volgens de methodiek van de randvoorwaardenberekeningen van 1998: -6% (Figuur 5.1). Dat betekent dat SWAN gemiddeld 6% te lage golfhoogtes berekent. Echter, als we alleen de meetstations in het binnengebied van de Westerschelde beschouwen dan is de relatieve fout groter, namelijk -10% (Figuur 5.11).

Door SWAN 30.62 geavanceerder aan te sturen neemt de relatieve fout in golfhoogtes tussen meting en berekening af tot -1% (Figuur 5.1). Maar in het binnengebied van de Westerschelde levert de uitgebreidere invoer juist een slechter resultaat op, en onderschat SWAN de metingen gemiddeld met 18% (Figuur 5.18).

Wat periode betreft maakt het erg weinig uit of SWAN als Case 1 of als Case 2 wordt toegepast (Figuur 5.2 en 5.3).

Uitgaande van de methodiek die gehanteerd is bij het berekenen van de hydraulische randvoorwaarden in 1998 levert het meer op om de invoer uit te breiden, dan om een nieuwere SWAN versie te gebruiken. Bij toepassing van versie 40.16, wordt het aanbevolen ten aanzien van H_s en $T_{m-1,0}$ uitgebreide invoer te gebruiken.

Voor hindcast studies is bovenstaande wellicht iets om rekening mee te houden, maar voor RAND2001 - de methodiek om op probabilistische wijze hydraulische randvoorwaarden te bepalen - ligt dat niet zo eenvoudig. Door de opzet van RAND2001 is het niet mogelijk om voor elke situatie precies de juiste wind-, waterstands- en stroomvelden toe te passen. RAND2001 is een database met golfparameters voor stationaire situaties, waarmee op basis van combinaties van windsnelheid, windrichting en waterstand kansen van voorkomen probabilistisch worden bepaald.

Onderstaande tabellen geven een beknopt overzicht van enkele statistische parameters.

	H_s algemeen		H_s Noordzee		H_s monding		H_s Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-6	18	-5	15	-6	12	-10	25
2	-1	23	3	15	-1	19	-18	30
3	-10	18	-8	14	-11	11	-17	25
4	-6	21	-2	16	-7	19	-24	24

Tabel 7.1 Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, H_s

	T_{pm} algemeen		T_{pm} Noordzee		T_{pm} monding		T_{pm} Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	14	1	9	-15	12	-18	14
2	-9	14	0	8	-15	13	-19	13
3	-9	14	0	9	-15	13	-20	14
4	-10	13	-2	9	-16	11	-21	13

Tabel 7.2 Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, T_{pm}

	$T_{m-1,0}$ algemeen		$T_{m-1,0}$ Noordzee		$T_{m-1,0}$ monding		$T_{m-1,0}$ Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	12	-2	7	-13	13	-13	13
2	-7	11	-3	7	-10	12	-12	12
3	-9	12	-3	8	-14	12	-16	13
4	-8	11	-4	8	-11	9	-14	13

Table 7.3 Relative statistische parameters [%] per case en per gebied, $T_{m-1,0}$

7.2.3 Conclusies en aanbevelingen vergelijking meting berekening naar typerende stroomsituatie

Bij ebstroming (linker kolom Figuur 5.4) presteren de uitgebreidere simulaties van Case 2 en 4 - op grond van de golfhoogte - duidelijk beter dan Case 1 en 3. De prestatie van Case 2 en 4 bij ebstroming is zelfs iets beter dan in de algemene situatie van Figuur 5.1 (op basis van bias, mae, rmse en stdev). Overigens is er geen aparte opsplitsing gemaakt naar situaties met weinig stroming (tot 0.5 m/s), maar deze vallen onder de algemene situatie van Figuren 5.1 - 5.3.

Tijdens de vloedstroming neemt de standaarddeviatie van gemeten en berekende golfhoogte iets toe vergeleken met de ebstroming, en de gemiddelde afwijkingen ook. De modelprestatie t.a.v. golfhoogte is niet alleen minder dan bij ebstroming, maar ook minder dan de algemene situatie.

Daar waar voor de golfhoogte geldt dat de SWAN simulaties van Case 2 en 4 de metingen in de eb situatie beter benaderen dan in de vloedsituatie, geldt voor de periode T_{pm} het tegenovergestelde. Tijdens de vloedstroom worden de golfperiodes

door SWAN veel beter berekend dan tijdens eb, en is er van onderschatting nauwelijks sprake.

Opvallend is dat bij vloedstroom de minst geavanceerde methodiek van Case 1 duidelijk koploper is met een relatieve gemiddelde fout van 0.2% s in T_{pm}. Bij ebstroming geldt dat Case 2 en Case 4 het beter doen dan Case 1 en Case 3. Toch doen Case 2 en Case 4 het nog minder goed dan in de algemene situatie.

Als we alleen te maken zouden hebben met situaties met sterke stroming en als we alleen geïnteresseerd zijn in golfhoogte, dan loont het dus de moeite om uitgebreide invoer toe te passen. In dat geval is SWAN versie 30.62 aan te raden aangezien in stromingssituaties Case 2 het best de gemeten golfhoogtes benaderd.

Echter, als ook periodematen belangrijk zijn, dan is de keuze welke methodiek toe te passen minder gemakkelijk, aangezien vloedstroming door Case 1 beter gesimuleerd wordt, en ebstroming door Case 2.

Het verdient aanbeveling om ook als typerende situatie de situaties met lage stroomsnelheden (-0.5 m/s - +0.5 m/s) in de analyse op te nemen.

7.2.4 Conclusies vergelijking meting berekening naar typerende brekingssituatie

Op de meeste meetlocaties is de diepte zo groot dat er geen sprake is van brekende golven. De volgende uitspraken zijn dan ook gebaseerd op circa 18 situaties met brekende golven, en ruim 10 x zoveel niet-brekende golven.

Ook bij al dan niet brekende golven is het verhaal niet eenduidig. Ten aanzien van de golfhoogte worden ongebroken golven het best gesimuleerd, maar ten aanzien van de periodes $T_{m-1,0}$ en T_{pm} worden de brekende golven juist beter gesimuleerd.

Van de vier cases presteert Case 2 over het algemeen het best met betrekking tot Hmo en $T_{m-1,0}$, zowel bij de brekende als niet-brekende golven. De T_{pm} wordt iets beter door Case 1 berekend.

7.2.5 Conclusies SWAN berekeningen ('technisch')

Mede dankzij goed gestructureerde en geautomatiseerde opzet zijn de berekeningen goed verlopen. Het opgegeven maximum aantal iteraties van 30 was voor alle berekeningen ruim voldoende. Er waren geen convergentie problemen.

De berekening van tijdstip 1 van storm A (mei 2000) leverde voor Case 2 problemen op. Op de Westerschelde vond in het model geen windgroei plaats, en de energie beperkte zich tot het zuidwestelijke kwadrant terwijl de wind uit het zuiden kwam. Hierdoor werden te lage golven berekend in het oostelijk deel van de Westerschelde. Er is geen oplossing voor gevonden, maar in geen van de overige gevallen kwam het probleem terug. Waarschijnlijk trad in het model te sterke 'waveblocking' op. In versie 40.16 kwam het probleem niet voor.

Het gebruik van de door RIKZ aangeleverde WAQUA bestanden voor stroming, waterstand en wind in de SWAN berekeningen is arbeidsintensief, omdat droogvallende punten en modelranden aandacht vergen. Bovendien lopen de geleverde WAQUA bestanden niet westelijk genoeg door voor het noordzeerooster, zodat daar extrapolatie toegepast moest worden.

7.2.6 Conclusies en aanbeveling metingen

Op enkele tijdstippen kwam in de metingen een onrealistische laagfrequente piek in de spectra van Bath en Hansweert voor. Die is verwijderd zoals werd aangeraden in de memo's behorende bij de metingen.

Bij o.a. Hoofdplaat zorgde relatief weinig laag frequente energie voor onrealistisch hoge Tpbeq's en T_{pm}'s bij de metingen. Er is daarom besloten om in die gevallen waarin de gemeten T_{pm} of de Tpbeq meer dan 3.5x zo groot is als de Tm02, de T_{pm} of de T_{pbeq} niet in de analyse mee te nemen.

Omdat bij heel lage golven gemakkelijk relatief grote fouten tussen meting en berekening kunnen voorkomen, terwijl die lage golven eigenlijk buiten het interesse gebied liggen van ontwerpcondities, is besloten gemeten golven kleiner dan 0.3 m buiten beschouwing te laten.

Waar de oevers steil zijn kan een kleine verschuiving een aanzienlijke verandering in golfhoogte veroorzaken. In de uitkomsten van berekening A2t5D03a (storm A tijdstip 5 rooster D03) blijkt bijvoorbeeld op locatie BA1 de golfhoogte met ruim 50% te variëren op circa 20 m afstand van dit punt. Voor een goede vergelijking met de meting is het wellicht nuttiger om de diepte van het meetpunt te kennen dan de exacte coördinaten. Het verdient daarom aanbeveling om de nauwkeurige diepte in de meetbestanden op te nemen.

7.2.7 Conclusie en aanbeveling methodiek

Van tevoren was vastgesteld dat Case 1 en 3 met twee vlakke waterstanden uitgevoerd zouden worden, namelijk de laagste en de hoogste gemeten waterstand van dat moment, ergens op de Westerschelde. Op de golfmeetlocaties zou vervolgens lineair geïnterpoleerd worden tussen de berekende golfparameters om tot de golfparameters te komen behorende bij de waterstand die op dat moment - volgens WAQUA(!) op die locatie optrad. Juist tijdens zware stormen wil WAQUA nog wel eens afwijken van de gemeten waterstand, en daardoor is deze methode niet altijd geschikt, zie paragraaf 4.3.4.

De prestaties van SWAN Case 2 en 4 zijn afhankelijk van de kwaliteit van de invoer, waaronder de WAQUA stromings- en waterstandsvelden. De nauwkeurigheid van de WAQUA-velden is niet volledig bekend. Het model is weliswaar gecalibreerd, maar waarschijnlijk niet voor deze stormen, zie ook Figuur 4.3.

De invoer van de Case 2 en Case 4 berekeningen is op een behoorlijk aantal punten geavanceerder dan Case 1 en 3 (wind, stroming, waterstand, randvoorwaarden, bodem). Dat wil niet zeggen dat er niet nog meer verbeteringen mogelijk zijn. Omdat er

geen duidelijke en eenduidige trends zichtbaar waren is de optimalisatie van Case 2 en Case 4 beperkt tot eerdergenoemde uitbreidingen. Vanwege de grote hoeveelheid meetstations en simulaties, en de samenhang die zij hebben, is een ultieme optimalisatie een zeer ingewikkelde zaak. Daarbij zou het ook veel nuttiger zijn om aanpassingen stapsgewijs te maken. Nu is het niet duidelijk welke van de aanpassingen de meeste invloed heeft.

Literatuur

[1] Alkyon: '*SWAN Golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen*', A384, Februari 1999

[2] WL | Delft Hydraulics: *'Suite of bench mark tests for the shallow water wave model SWAN'*, April 2000

[3a] Roskam, B en J. Hoekema: *'Memo overzicht van golfgegevens in de stormperiode 25-28 okt 2002 (02s3)'* d.d. 6 maart 2003

[3b] Roskam, B en J. Hoekema: *'Memo overzicht van golfgegevens in de stormperiode 27-29 dec 2001 (01s4)'* d.d. 14 januari 2003

[3c] Roskam, B en J. Hoekema: *'Memo overzicht van golfgegevens in de stormperiode 27 en 28 mei 2000 (00s3)'* d.d. 9 december 2002

[4] Kamsteeg, A.T, e.a: *'Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel II)'* d.d. 14 juli 1998, rapport nr RIKZ-98.018

TABELLEN

	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 golfparameters interpoleren op basis van WAQUA waterstand	niet-uniform volgens WAQUA	zie Case 1	zie Case 2
stroming	geen	niet-uniform volgens WAQUA	zie Case 1	zie Case 2
wind	gebaseerd op metingen bij Vlissigen buiten + 0.5 m/s binnen - 0.5 m/s	niet-uniform volgens HIRLAM resolutie 1000 m	zie Case 1	zie Case 2
golfrvw	op NW rand, gebaseerd op EUW JONSWAP spectrum zijrand: Hs = Hs * tanh (pi*(1.05*Smax-s)/Smax) zie par. 4.3.2	op NW rand, gebaseerd op EUW gemeten spectrum: - energie, - richting, - spreiding zijrand: Hs = Hs * tanh (pi*(1.05*Smax-s)/Smax) zie par. 4.3.2	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

Tabel 2.1: Kenmerken van de 4 Cases

			X [m]	Y [m]	
1	EUW	Europlatform	9963	447601	dir wave rider
2	LEG	Lichteiland Goeree	36779	438793	radar
3	SWB	Schouwenbank	11244	419519	wave rider
4	DRL	Deurloo	6071	392601	wave rider
5	SCW	Scheur West	-7797	380645	wave rider
6	SCO	Scheur Oost	9915	381366	wave rider
7	WIE	Wielingen	17667	383867	wave rider
8	CDD	Cadzand diep	14426	379500	dir wave rider
9	CDZ	Cadzand ondiep	15210	378670	stappenbaak
10	HFP	Hoofdplaat diep	35636	377877	stappenbaak
11	HF1	Hoofdplaat ondiep	35641	377534	stappenbaak
12	HSR/W	Hansweert diep	58395	384989	radar/stappenbaak
13	HS1	Hansweert ondiep	58659	384982	stappenbaak
14	BA1	Bath ondiep	73084	379591	stappenbaak
15	BAT	Bath diep	73098	379510	stappenbaak
16	PVT	Pas van Terneuzen	45040	374771	wave rider
17	WCT	WS ContainerTerminal	38268	383383	wave rider

Tabel 3.1: Overzicht meetlocaties

	STORM A (28 MEI 2000)				
	t1	t2	t3	t4	t5
EUW	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .
LEG	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. B . D .	. B . D .
SWB	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .
DRL	. . . D .	. B . D .	. B C . .	. B C . .	. . . D .
SVW	. B . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
SCO	. B . D .	. . . D .	. . . D .	A . . D .	. . . D .
WIE	. B . D .	. . . D .	. . . D .	A . . D .	. . . D .
CDD	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D E
CDZ	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
HFP	. B . D .	. . . D .	A . . D E	. . . D .	. . . . .
HF1	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .
HSR	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
HS1	. B . D E	. . . D .	. . . D .	. . C . E	. . . D .
BA1	. . . D .	. . . D .	. . C . .	. . C . .	. . C . .
BAT	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
PVT	. B . . .	. . . . .	A	A	. . . . .
WCT	. B . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .

Tabel 3.3.a: Typerende situaties storm A
(A=ebstroom; B=vloedstroom; C=wel breken; D=geen breken; E=dubbele piek)

	STORM B (28 DECEMBER 2001)				
	t1	t2	t3	t4	t5
EUW	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .	A . . D .
LEG	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .	A . . D .
SWB	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .	A . . D .
DRL	. B . D .	. B . D .	. B C . .	. . C . .	. . C . .
SVW	. B . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .	A . . D .
SCO	. B . D .	. . . D .	. . . D .	A . . D .	A . . D .
WIE	. B . D .	. . . D .	A . . D .	A . . D .	. . . D .
CDD	. B . D .	. . . D .	. . . D .	A . . D E	. . . D .
CDZ	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . C . .
HFP	. B . D .	. . . D .	A . . D .	A . . D .	. . . D .
HF1	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
HSR	. . . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
HS1	. . . D .	. B . D .	. . . D .	A . . D .	. . . D .
BA1	. . C . .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
BAT	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
PVT	. B . D .	. . . D .	A . . D .	A . . D .	. . . D .
WCT	. B . D .	. . . D E	. . . D .	. . . D .	. . . D .

Tabel 3.3.b: Typerende situaties storm B
(A=ebstroom; B=vloedstroom; C=wel breken; D=geen breken; E=dubbele piek)

	STORM C (27 OKTOBER 2002)				
	t1	t2	t3	t4	t5
EUW	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .
LEG	. B . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. B . D .
SWB	. B . D .	. . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .
DRL	A . . D .	. B C . .	. B C . .	. B C . .	. B C . .
SVW	. . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .	. . . D .
SCO	A . . D .	. . . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D E
WIE	A . . D E	. . . D .	. B . D .	. . . D E	. . . D E
CDD	A . . D .	. . . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D E
CDZ	. . . D .	. . C . .	. B C . .	. . . . .	. . . . .
HFP	A . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .	A . . D .
HF1	. . . D .	. . . D .	. B . D .	. . . D .	. . . D .
HSR	. . . . .	. . . . .	. B . . .	. B . . .	. . . . .
HS1	. . . D .	. . . D .	. B C . .	. B . D .	. . . D .
BA1	. . . D .	. . . D .	. . C . .	. . . D .	. . . D .
BAT	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .	. . . D .
PVT	A . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D .	A . . D .
WCT	A . . D .	. . . D .	. B . D .	. B . D E	. . . D .

Tabel 3.3.c: Typerende situaties storm C
(A=ebstroom; B=vloedstroom; C=wel breken; D=geen breken; E=dubbele piek)

	A eb stroom	B vloed stroom	C wel breken	D geen breken	E dubbele piek	totaal
Storm A (mei 00)	5	22	6	64	4	70
Storm B (dec 01)	14	20	5	80	2	84
Storm C (okt 02)	11	31	8	70	6	71
totaal	30	73	19	214	12	225

Tabel 3.3.d Aantallen waarnemingen Hs>0

A	Hm0					dep+wl				
	t1	t2	t3	t4	t5	t1	t2	t3	t4	t5
euw	2.33	3.08	4.29	4.52	4.23	25.87	26.11	25.54	25.15	25.00
leg	1.42	3.47	4.01	4.90	4.58	24.56	25.01	24.54	24.07	23.68
swb	1.77	3.88	4.44	4.22	3.32	29.38	29.56	28.79	28.24	28.06
drl	1.73	3.27	3.12	3.44	2.73	10.91	11.01	10.01	9.28	9.20
scw	1.91	2.78	3.56	3.40	2.41	13.85	13.82	12.62	11.88	11.98
sco	1.11	2.04	2.40	2.17	2.10	16.65	16.78	15.83	14.99	14.85
wie	1.03	1.74	2.30	2.16	1.84	15.33	15.58	14.72	13.84	13.56
cdd	0.85	1.72	1.82	1.84	1.76	10.93	11.10	10.17	9.31	9.10
cdz	0.41	1.79	1.95	1.84	1.66	7.82	7.99	7.07	6.20	5.99
hfp	0.45	0.48	0.48	0.49	0.26	6.28	6.90	6.12	5.10	4.47
hf1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2.13	2.75	1.96	0.94	-99.00
hsr	0.98	1.40	1.24	1.13	0.76	6.97	8.45	7.92	6.79	5.43
hs1	0.48	0.94	0.84	0.78	0.14	2.28	3.76	3.23	2.10	0.74
ba1	0.45	0.79	1.02	0.77	0.29	1.51	3.60	3.36	2.28	0.49
bat	0.71	1.09	1.47	1.13	0.63	7.25	9.35	9.11	8.03	6.24
pvt	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	15.62	16.50	15.82	14.76	13.88
wct	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	13.07	13.70	12.96	11.93	11.27

A	Hm0/dep				
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	0.09	0.12	0.17	0.18	0.17
leg	0.06	0.14	0.16	0.20	0.19
swb	0.06	0.13	0.15	0.15	0.12
drl	0.16	0.30	0.31	0.37	0.30
scw	0.14	0.20	0.28	0.29	0.20
sco	0.07	0.12	0.15	0.14	0.14
wie	0.07	0.11	0.16	0.16	0.14
cdd	0.08	0.15	0.18	0.20	0.19
cdz	0.05	0.22	0.28	0.30	0.28
hfp	0.07	0.07	0.08	0.10	0.06
hf1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
hsr	0.14	0.17	0.16	0.17	0.14
hs1	0.21	0.25	0.26	0.37	0.19
ba1	0.30	0.22	0.30	0.34	0.59
bat	0.10	0.12	0.16	0.14	0.10
pvt	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
wct	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Tabel 3.4.a Hs (gemeten) / waterdiepte (SWAN) storm A
NB: De waarden Hs/d zijn in deze tabellen afgerond op 2 decimalen.
In de analyse zijn de onafgeronde waarden gebruikt.

B	Hm0					dep+wl				
	t1	t2	t3	t4	t5	t1	t2	t3	t4	t5
euw	3.14	4.17	4.40	4.45	4.33	25.26	26.21	25.81	25.40	25.44
leg	2.98	3.86	4.45	4.78	4.84	23.84	25.23	24.83	24.23	24.11
swb	2.88	3.33	4.20	4.09	4.29	28.66	29.67	29.07	28.29	28.34
drl	2.02	2.64	3.32	3.44	3.53	10.28	11.14	10.28	9.19	9.38
scw	2.06	2.41	3.01	2.79	3.41	13.45	13.95	12.92	11.76	12.12
sco	1.58	2.11	1.99	2.23	2.11	16.03	17.02	16.11	14.80	15.04
wie	1.54	1.78	2.27	2.10	2.20	14.61	15.86	14.98	13.63	13.75
cdd	1.35	1.65	1.88	1.94	1.85	10.27	11.38	10.46	9.11	9.31
cdz	1.60	1.90	1.77	1.67	2.04	7.12	8.23	7.31	5.95	6.15
hfp	0.37	0.62	0.55	0.34	0.32	4.40	6.47	5.55	3.99	3.74
hf1	0.13	0.38	0.25	0.14	0.11	1.00	3.07	2.13	0.58	-99.00
hsr	0.90	1.07	0.99	0.67	0.74	6.18	9.11	8.39	6.62	5.41
hs1	0.29	0.72	0.81	0.47	0.15	1.48	4.41	3.69	1.91	0.71
ba1	0.24	0.44	0.72	0.49	0.19	0.69	4.17	3.94	2.04	-99.00
bat	0.85	0.67	1.03	0.77	0.48	6.36	9.85	9.62	7.72	6.07
pvt	0.41	0.84	0.96	0.69	0.52	14.67	17.07	16.19	14.58	14.01
wct	1.15	1.33	1.37	1.11	0.97	12.13	14.14	13.26	11.72	11.43

B	Hm0/dep				
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	0.12	0.16	0.17	0.18	0.17
leg	0.13	0.15	0.18	0.20	0.20
swb	0.10	0.11	0.14	0.14	0.15
drl	0.20	0.24	0.32	0.37	0.38
scw	0.15	0.17	0.23	0.24	0.28
sco	0.10	0.12	0.12	0.15	0.14
wie	0.11	0.11	0.15	0.15	0.16
cdd	0.13	0.14	0.18	0.21	0.20
cdz	0.22	0.23	0.24	0.28	0.33
hfp	0.08	0.10	0.10	0.09	0.09
hf1	0.13	0.12	0.12	0.24	-0.00
hsr	0.15	0.12	0.12	0.10	0.14
hs1	0.20	0.16	0.22	0.25	0.21
ba1	0.35	0.11	0.18	0.24	-0.00
bat	0.13	0.07	0.11	0.10	0.08
pvt	0.03	0.05	0.06	0.05	0.04
wct	0.09	0.09	0.10	0.09	0.08

Tabel 3.4.b Hs (gemeten) / waterdiepte (SWAN) storm B
NB: De waarden Hs/d zijn in deze tabellen afgerond op 2 decimalen.
In de analyse zijn de onafgeronde waarden gebruikt.

C	Hm0					dep+wl				
	t1	t2	t3	t4	t5	t1	t2	t3	t4	t5
euw	3.72	5.13	6.33	5.67	5.87	24.95	24.69	25.49	26.57	26.21
leg	2.92	4.53	5.21	5.75	5.86	23.91	23.58	24.23	25.73	25.19
swb	3.60	5.08	4.83	5.28	5.71	28.13	27.72	28.95	30.15	29.52
drl	2.61	3.18	3.67	4.12	4.27	9.22	8.74	10.47	11.69	10.77
scw	2.44	3.29	3.45	3.83	4.02	11.88	11.44	13.44	14.45	13.43
sco	1.46	2.38	2.91	3.11	2.88	14.96	14.31	16.24	17.62	16.54
wie	1.40	2.41	2.65	3.26	2.94	13.82	13.02	14.93	16.49	15.38
cdd	1.30	2.04	2.45	2.98	2.51	9.29	8.58	10.52	12.00	10.87
cdz	1.26	1.86	2.73	NaN	NaN	6.13	5.42	7.38	8.86	7.71
hfp	0.49	0.82	1.05	1.11	0.83	4.35	2.97	4.93	7.06	5.92
hf1	0.12	0.15	0.28	0.58	0.53	0.93	-99.00	1.51	3.65	2.50
hsr	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	7.16	4.80	6.74	9.42	8.91
hs1	0.51	0.19	1.04	1.28	0.78	2.45	-99.00	2.04	4.72	4.21
ba1	0.62	0.74	0.82	0.99	0.71	2.66	-99.00	1.19	4.28	4.57
bat	0.69	0.93	1.53	1.29	0.84	8.34	5.29	6.87	9.96	10.25
pvt	0.41	0.79	0.92	0.85	1.15	15.00	13.25	15.22	17.58	16.58
wct	0.93	1.66	1.96	2.06	1.50	12.08	10.69	12.66	14.73	13.64

C	Hm0/dep				
	t1	t2	t3	t4	t5
euw	0.15	0.21	0.25	0.21	0.22
leg	0.12	0.19	0.22	0.22	0.23
swb	0.13	0.18	0.17	0.18	0.19
drl	0.28	0.36	0.35	0.35	0.40
scw	0.21	0.29	0.26	0.27	0.30
sco	0.10	0.17	0.18	0.18	0.17
wie	0.10	0.19	0.18	0.20	0.19
cdd	0.14	0.24	0.23	0.25	0.23
cdz	0.21	0.34	0.37	NaN	NaN
hfp	0.11	0.28	0.21	0.16	0.14
hf1	0.13	-0.00	0.18	0.16	0.21
hsr	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
hs1	0.21	-0.00	0.51	0.27	0.19
ba1	0.23	-0.01	0.69	0.23	0.16
bat	0.08	0.18	0.22	0.13	0.08
pvt	0.03	0.06	0.06	0.05	0.07
wct	0.08	0.16	0.16	0.14	0.11

Tabel 3.4.c Hs (gemeten) / waterdiepte (SWAN) storm C
NB: De waarden Hs/d zijn in deze tabellen afgerond op 2 decimalen.
In de analyse zijn de onafgeronde waarden gebruikt.

	X0 [m]	Y0 [m]	Lx [m]	Ly [m]	α [°]	dx [m]	dy [m]
N01	-52500	415000	72500	97000	300	500	500
W01	12900	376000	21200	24000	0	100	100
W02	26200	372000	28000	17000	0	100	100
W03	46500	371200	29500	16700	0	100	100
D01	13000	377000	3000	4000	0	20	20
D02	34000	377000	2500	2000	0	20	20
D03	72500	378500	2700	1700	0	20	20
D04	58000	383800	2000	2500	0	20	20
D05	33500	382500	6000	4000	0	20	20
D06	16500	383000	2000	2000	0	20	20
D07	5000	392000	2000	2300	0	20	20
D08	8000	380000	3000	2000	0	20	20
D09	-10000	380000	3000	2000	0	20	20
R02	42500	374000	3000	1500	0	20	20

Tabel 4.1: Definitie rekenroosters

	X0 [m]	Y0 [m]	Lx [m]	Ly [m]	α [°]	dx [m]	dy [m]
N01	-50000	410000	66000	138000	300	200	500
W01	12800	375900	21400	24200	0	100	100
W02	26100	371900	28200	17200	0	100	100
W03	46400	371100	29700	16900	0	100	100
D01	13000	377000	3000	4000	0	20	20
D02	34000	377000	2500	2000	0	20	20
D03	72500	378500	2700	1700	0	20	20
D04	58000	383800	2000	2500	0	20	20
D05	33500	382500	6000	4000	0	20	20
D06	16500	383000	2000	2000	0	20	20
D07	5000	392000	2000	2300	0	20	20
D08	8000	380000	3000	2000	0	20	20
D09	-10000	380000	3000	2000	0	20	20
R02	42500	374000	3000	1500	0	20	20

Tabel 4.2: Definitie Bodemroosters

C1 ts=0	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.65	-9.39	-13.34	-7.57	-6.92	-6.12	-8.29	-7.69
mae %	14.25	11.65	14.21	16.02	13.36	13.05	13.64	11.52
rmse	0.35	0.68	0.79	1.22	0.97	0.84	0.94	0.69
sci %	16.21	14.61	18.50	20.40	16.79	14.33	15.73	13.33
mpi	0.86	0.77	0.73	0.59	0.69	0.69	0.67	0.76
opi	0.08	0.09	0.11	0.14	0.12	0.10	0.11	0.09
std %	18.43	12.19	13.34	19.92	16.37	14.18	14.23	12.17
s-b %	24.08	21.58	26.68	27.48	23.29	20.30	22.52	19.87
Aantal	215	213	215	213	213	211	211	213

C1 ts=A	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-10.65	-22.16	-26.97	-22.96	-19.54	-15.59	-18.04	-18.93
mae %	12.71	23.23	27.56	22.27	20.20	17.98	19.71	20.34
rmse	0.40	1.17	1.33	1.79	1.42	1.07	1.26	1.12
sci %	21.34	23.76	29.04	28.09	23.25	17.64	20.24	20.27
mpi	0.82	0.33	0.20	0.25	0.41	0.12	0.22	0.33
opi	0.07	0.17	0.20	0.21	0.15	0.13	0.15	0.15
std %	14.39	8.93	10.09	12.31	10.59	10.41	9.93	8.40
s-b %	25.04	31.09	37.06	35.27	30.14	26.00	27.97	27.33
Aantal	28	28	28	28	28	28	28	28

C1 ts=B	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.95	-3.62	-8.67	2.18	2.41	1.87	0.17	-0.99
mae %	13.62	7.56	10.43	12.31	9.71	9.25	8.82	7.89
rmse	0.43	0.42	0.57	0.81	0.64	0.64	0.63	0.44
sci %	14.95	8.35	12.07	12.93	10.53	10.31	10.02	7.89
mpi	0.50	-0.06	-0.48	-0.03	0.28	0.36	0.28	0.32
opi	0.10	0.06	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06
std %	17.42	10.79	10.92	17.66	15.19	11.46	11.40	11.10
s-b %	23.37	14.41	19.58	15.48	12.78	9.58	11.23	12.09
Aantal	68	67	68	67	67	66	66	67

C1 ts=C	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-10.84	-6.49	-8.39	-8.26	-8.78	-4.67	-8.77	-6.78
mae %	12.46	6.57	8.93	12.46	12.82	11.08	13.02	8.41
rmse	0.37	0.44	0.55	1.09	1.03	0.74	0.98	0.51
sci %	14.62	8.59	11.95	15.55	14.91	11.11	14.13	8.59
mpi	0.87	0.81	0.80	0.68	0.15	0.62	0.25	0.71
opi	0.06	0.05	0.07	0.14	0.13	0.09	0.13	0.07
std %	9.41	5.25	8.10	13.13	13.34	11.82	12.95	6.42
s-b %	20.25	11.74	16.50	21.39	22.12	16.49	21.72	13.20
Aantal	17	17	17	17	17	17	17	17

C1 ts=D	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.13	-9.67	-13.80	-7.49	-6.73	-6.26	-8.24	-7.78
mae %	14.41	12.09	14.66	16.33	13.40	13.22	13.69	11.79
rmse	0.35	0.69	0.81	1.23	0.97	0.85	0.94	0.71
sci %	16.37	15.12	19.03	20.89	16.98	14.64	15.89	13.77
mpi	0.86	0.76	0.72	0.59	0.69	0.69	0.67	0.75
opi	0.08	0.09	0.12	0.15	0.11	0.11	0.11	0.09
std %	18.88	12.61	13.63	20.38	16.58	14.39	14.36	12.56
s-b %	24.01	22.28	27.43	27.87	23.31	20.66	22.59	20.34
Aantal	198	196	198	196	196	194	194	196

C1 ts=E	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-7.99	-19.10	-22.97	-25.76	-22.44	-15.93	-19.65	-17.61
mae %	11.80	18.21	22.12	26.05	21.01	17.10	20.17	17.63
rmse	0.26	1.05	1.18	2.23	1.72	1.05	1.36	1.06
sci %	14.31	21.85	26.61	32.84	26.89	16.51	20.49	19.14
mpi	0.88	0.43	0.37	0.73	-3.40	0.02	-2.12	0.31
opi	0.06	0.13	0.16	0.24	0.22	0.11	0.18	0.12
std %	14.77	8.11	10.79	19.41	12.90	7.34	5.81	5.73
s-b %	22.76	27.21	33.76	45.17	35.34	23.27	25.45	23.34
Aantal	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 5.1a-f: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, voor typerende situaties A (eb), B (vloed), C (breken), D (niet breken), E (dubbelpiek)

C2 ts=0	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-0.84	-9.20	-13.72	-5.95	-6.91	-6.84	-9.01	-6.79
mae %	17.50	12.54	15.95	17.06	12.49	12.77	13.41	10.60
rmse	0.37	0.63	0.78	1.24	0.90	0.85	0.97	0.61
sci %	16.74	13.64	18.15	20.60	15.44	14.41	16.08	11.66
mpi	0.85	0.77	0.72	0.58	0.71	0.69	0.66	0.78
opi	0.09	0.09	0.12	0.15	0.11	0.10	0.12	0.08
std %	23.38	14.97	15.02	27.64	15.09	13.86	13.84	11.30
s-b %	24.21	24.17	28.74	33.59	22.00	20.71	22.85	18.09
Aantal	213	211	213	211	210	209	209	210

C2 ts=A	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	0.01	-11.71	-15.95	-19.36	-11.34	-9.36	-12.00	-8.83
mae %	12.39	12.94	17.05	21.25	14.24	12.34	14.08	11.04
rmse	0.21	0.73	0.90	1.73	1.15	0.89	1.12	0.69
sci %	11.05	14.87	19.56	27.15	18.86	14.68	18.01	12.53
mpi	0.91	0.55	0.43	0.31	0.53	0.21	0.29	0.55
opi	0.04	0.11	0.14	0.21	0.12	0.11	0.13	0.09
std %	19.30	10.66	12.97	17.05	15.34	12.06	13.09	10.30
s-b %	19.29	22.37	28.92	36.41	26.68	21.42	25.08	19.13
Aantal	28	28	28	28	28	28	28	28

C2 ts=B	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-0.80	-7.60	-13.92	4.36	-1.39	-1.82	-3.47	-4.08
mae %	18.23	13.46	17.13	17.39	10.94	10.28	10.37	9.99
rmse	0.46	0.63	0.82	1.00	0.70	0.72	0.74	0.57
sci %	15.98	12.43	17.30	15.89	11.36	11.50	11.72	10.05
mpi	0.47	-0.54	-1.00	-0.12	0.15	0.31	0.14	-0.01
opi	0.11	0.09	0.13	0.11	0.08	0.08	0.08	0.08
std %	24.56	20.65	17.79	38.02	16.63	13.63	13.42	12.55
s-b %	25.35	28.26	31.71	33.66	18.02	15.45	16.88	16.62
Aantal	68	67	68	67	66	66	66	66

C2 ts=C	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-6.61	-5.68	-8.73	-4.65	-7.92	-4.48	-8.66	-4.86
mae %	9.86	9.35	12.84	14.79	11.58	10.85	12.48	7.70
rmse	0.26	0.47	0.63	1.16	0.93	0.79	1.00	0.47
sci %	10.35	9.15	13.64	16.55	13.49	11.86	14.40	7.93
mpi	0.91	0.81	0.77	0.66	0.27	0.63	0.24	0.78
opi	0.05	0.06	0.09	0.14	0.12	0.09	0.12	0.06
std %	9.67	10.57	14.42	16.17	11.40	13.13	12.76	8.67
s-b %	16.27	16.24	23.15	20.83	19.32	17.61	21.41	13.53
Aantal	17	17	17	17	17	17	17	17

C2 ts=D	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-0.25	-9.54	-14.19	-6.09	-6.81	-7.08	-9.05	-6.99
mae %	18.16	12.82	16.22	17.26	12.57	12.95	13.49	10.86
rmse	0.37	0.65	0.79	1.24	0.90	0.85	0.96	0.62
sci %	17.32	14.04	18.54	21.02	15.65	14.67	16.25	12.01
mpi	0.85	0.76	0.71	0.57	0.71	0.69	0.66	0.77
opi	0.09	0.09	0.12	0.15	0.11	0.11	0.12	0.08
std %	24.18	15.25	14.94	28.43	15.38	13.94	13.97	11.50
s-b %	24.43	24.80	29.13	34.52	22.18	21.02	23.01	18.49
Aantal	196	194	196	194	193	192	192	193

C2 ts=E	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.51	-14.59	-17.78	-27.33	-18.98	-16.78	-20.46	-13.40
mae %	11.23	14.61	18.31	24.63	17.23	17.40	20.44	13.07
rmse	0.26	0.84	0.95	2.22	1.47	1.16	1.47	0.84
sci %	13.94	17.44	21.54	32.65	23.05	18.19	22.11	15.09
mpi	0.88	0.47	0.42	0.70	-2.98	-0.25	-2.46	0.37
opi	0.06	0.13	0.15	0.26	0.21	0.14	0.21	0.12
std %	13.96	8.91	11.98	12.28	8.61	7.76	6.51	6.45
s-b %	19.48	23.50	29.76	39.60	27.58	24.54	26.98	19.85
Aantal	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 5.2a-f: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, voor typerende situaties A (eb), B (vloed), C (breken), D (niet breken), E (dubbelpiek)

C3 ts=0	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-9.87	-11.15	-15.39	-6.94	-8.01	-7.23	-9.38	-9.16
mae %	16.21	13.19	16.05	14.85	13.48	13.52	14.22	12.54
rmse	0.40	0.73	0.86	1.15	0.97	0.87	0.98	0.74
sci %	18.12	15.71	20.00	19.19	16.74	14.84	16.26	14.10
mpi	0.84	0.75	0.70	0.61	0.68	0.68	0.65	0.74
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.10
std %	17.66	12.16	13.14	19.36	15.83	14.43	14.39	12.15
s-b %	27.53	23.31	28.53	26.30	23.84	21.66	23.77	21.31
Aantal	214	212	214	212	212	210	210	212

C3 ts=A	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-13.12	-22.33	-27.40	-17.61	-19.15	-15.35	-17.81	-18.93
mae %	15.02	23.86	28.59	18.41	19.83	17.65	19.38	20.68
rmse	0.40	1.18	1.35	1.48	1.40	1.06	1.26	1.12
sci %	21.58	24.00	29.48	23.35	22.86	17.53	20.19	20.40
mpi	0.82	0.34	0.21	0.39	0.43	0.15	0.24	0.34
opi	0.07	0.17	0.21	0.18	0.15	0.13	0.15	0.15
std %	15.11	9.67	10.62	13.65	11.03	10.70	10.35	9.33
s-b %	28.23	31.99	38.02	31.26	30.18	26.05	28.17	28.26
Aantal	28	28	28	28	28	28	28	28

C3 ts=B	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-10.06	-5.60	-10.77	1.11	0.86	0.60	-1.08	-2.75
mae %	15.54	9.48	12.56	11.11	9.58	9.18	9.02	8.65
rmse	0.51	0.52	0.68	0.78	0.67	0.67	0.68	0.51
sci %	17.73	10.25	14.32	12.32	10.89	10.78	10.78	9.12
mpi	0.37	-0.36	-0.76	0.00	0.31	0.44	0.31	0.16
opi	0.12	0.08	0.11	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07
std %	17.28	11.71	11.94	17.34	14.76	12.32	12.31	11.60
s-b %	27.34	17.30	22.71	16.23	13.90	11.72	13.39	14.35
Aantal	68	67	68	67	67	66	66	67

C3 ts=C	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-12.06	-8.80	-11.56	-6.34	-9.11	-4.98	-9.10	-8.10
mae %	14.15	8.89	10.21	10.71	13.31	11.51	13.49	9.61
rmse	0.40	0.53	0.67	0.82	1.06	0.78	1.02	0.57
sci %	15.84	10.31	14.62	11.60	15.41	11.71	14.68	9.62
mpi	0.85	0.77	0.76	0.70	0.13	0.60	0.22	0.68
opi	0.07	0.07	0.09	0.10	0.14	0.10	0.13	0.08
std %	10.00	5.06	7.54	10.78	13.87	12.62	13.56	6.92
s-b %	22.05	13.86	19.10	17.12	22.98	17.60	22.67	15.02
Aantal	17	17	17	17	17	17	17	17

C3 ts=D	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-9.65	-11.38	-15.75	-7.01	-7.90	-7.45	-9.41	-9.27
mae %	16.39	13.57	16.55	15.21	13.50	13.70	14.28	12.80
rmse	0.40	0.74	0.87	1.17	0.96	0.88	0.97	0.75
sci %	18.35	16.18	20.47	19.90	16.87	15.15	16.42	14.52
mpi	0.84	0.73	0.69	0.60	0.69	0.67	0.65	0.73
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.10
std %	18.15	12.58	13.46	19.93	15.98	14.60	14.49	12.52
s-b %	27.80	23.96	29.22	26.94	23.87	22.05	23.90	21.78
Aantal	197	195	197	195	195	193	193	195

C3 ts=E	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-11.83	-20.18	-24.83	-23.10	-22.56	-15.80	-19.52	-18.03
mae %	14.12	19.65	23.55	22.52	20.85	17.00	20.05	18.30
rmse	0.30	1.08	1.23	2.16	1.70	1.06	1.37	1.08
sci %	16.53	22.47	27.92	31.84	26.67	16.64	20.68	19.46
mpi	0.87	0.41	0.33	0.82	-3.25	-0.10	-2.34	0.30
opi	0.07	0.13	0.17	0.19	0.20	0.12	0.18	0.12
std %	15.31	6.96	9.49	19.04	11.59	7.74	6.56	5.55
s-b %	27.14	27.14	34.32	42.14	34.15	23.53	26.08	23.58
Aantal	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 5.3a-f: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, voor typerende situaties A (eb), B (vloed), C (breken), D (niet breken), E (dubbelpiek)

C4 ts=0	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.94	-11.59	-16.44	-6.52	-8.27	-8.31	-10.43	-8.48
mae %	17.95	13.71	17.42	15.61	12.62	13.44	14.15	11.88
rmse	0.38	0.70	0.87	1.15	0.88	0.86	0.98	0.65
sci %	17.58	15.06	20.39	19.34	15.27	14.76	16.35	12.53
mpi	0.84	0.75	0.69	0.61	0.71	0.69	0.65	0.77
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.09
std %	21.37	11.07	12.40	18.11	13.51	13.66	13.36	11.08
s-b %	27.30	22.65	28.83	24.64	21.78	21.97	23.79	19.56
Aantal	215	213	215	213	213	211	211	213

C4 ts=A	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-4.09	-13.66	-18.97	-17.91	-11.38	-10.05	-12.66	-9.78
mae %	12.15	14.19	18.69	19.66	12.77	11.71	13.47	10.79
rmse	0.22	0.77	1.00	1.62	1.05	0.83	1.08	0.67
sci %	11.73	15.63	21.89	25.48	17.20	13.73	17.25	12.13
mpi	0.91	0.52	0.34	0.36	0.58	0.28	0.35	0.56
opi	0.04	0.11	0.15	0.19	0.11	0.10	0.12	0.09
std %	16.97	8.20	10.56	16.33	12.62	9.56	10.51	8.12
s-b %	21.06	21.86	29.53	34.23	24.01	19.61	23.17	17.90
Aantal	28	28	28	28	28	28	28	28

C4 ts=B	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.85	-10.88	-17.07	2.60	-3.92	-4.18	-5.79	-6.50
mae %	18.65	14.21	18.80	12.51	11.28	11.31	11.66	11.63
rmse	0.49	0.73	0.93	0.87	0.75	0.78	0.82	0.66
sci %	17.35	14.30	19.68	13.80	12.24	12.60	13.02	11.67
mpi	0.42	-0.81	-1.26	-0.15	0.06	0.28	0.03	-0.17
opi	0.12	0.11	0.15	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
std %	22.72	12.12	11.88	15.60	14.78	14.34	14.01	12.87
s-b %	28.57	23.00	28.95	13.00	18.71	18.52	19.80	19.37
Aantal	68	67	68	67	67	66	66	67

C4 ts=C	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-7.75	-8.16	-12.08	-4.27	-7.93	-4.49	-8.67	-6.17
mae %	11.55	10.73	14.90	14.22	11.78	11.99	12.62	9.55
rmse	0.30	0.58	0.76	1.15	0.96	0.85	1.04	0.55
sci %	11.78	11.29	16.57	16.40	14.00	12.73	14.99	9.29
mpi	0.88	0.76	0.73	0.66	0.26	0.61	0.22	0.74
opi	0.06	0.08	0.11	0.14	0.12	0.09	0.13	0.07
std %	10.56	12.38	15.28	15.90	12.55	15.04	13.94	10.74
s-b %	18.31	20.54	27.36	20.18	20.48	19.54	22.61	16.91
Aantal	17	17	17	17	17	17	17	17

C4 ts=D	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.75	-11.92	-16.84	-6.76	-8.31	-8.69	-10.61	-8.71
mae %	18.50	13.96	17.63	15.73	12.70	13.56	14.29	12.08
rmse	0.39	0.71	0.88	1.16	0.87	0.86	0.97	0.66
sci %	18.13	15.41	20.73	19.65	15.39	14.97	16.48	12.84
mpi	0.84	0.74	0.68	0.61	0.71	0.68	0.65	0.76
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.10	0.11	0.12	0.09
std %	22.06	10.86	11.96	18.33	13.62	13.51	13.33	11.10
s-b %	27.82	22.78	28.80	25.09	21.92	22.20	23.95	19.81
Aantal	198	196	198	196	196	194	194	196

C4 ts=E	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-9.57	-15.65	-19.92	-22.83	-18.26	-17.02	-20.69	-13.41
mae %	10.54	15.44	20.07	21.48	17.01	17.78	20.80	13.54
rmse	0.28	0.86	1.01	1.97	1.39	1.16	1.49	0.82
sci %	15.47	17.83	22.86	28.97	21.76	18.34	22.38	14.73
mpi	0.86	0.47	0.39	0.83	-2.82	-0.37	-2.72	0.41
opi	0.07	0.13	0.16	0.20	0.20	0.15	0.21	0.11
std %	13.22	8.39	10.94	14.03	7.74	8.01	6.96	6.56
s-b %	22.79	24.04	30.87	36.86	25.99	25.03	27.64	19.96
Aantal	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel 5.4a-f: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, voor typerende situaties A (eb), B (vloed), C (breken), D (niet breken), E (dubbelpiek)

C1 ALL	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.65	-9.39	-13.34	-7.57	-6.92	-6.12	-8.29	-7.69
mae %	14.25	11.65	14.21	16.02	13.36	13.05	13.64	11.52
rmse	0.35	0.68	0.79	1.22	0.97	0.84	0.94	0.69
sci %	16.21	14.61	18.50	20.40	16.79	14.33	15.73	13.33
mpi	0.86	0.77	0.73	0.59	0.69	0.69	0.67	0.76
opi	0.08	0.09	0.11	0.14	0.12	0.10	0.11	0.09
std %	18.43	12.19	13.34	19.92	16.37	14.18	14.23	12.17
s-b %	24.08	21.58	26.68	27.48	23.29	20.30	22.52	19.87
Aantal	215	213	215	213	213	211	211	213

C1 NZ	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-4.60	-5.50	-10.90	0.78	1.59	3.56	1.24	-2.04
mae %	11.50	6.99	11.06	8.24	6.81	7.31	6.46	5.60
rmse	0.51	0.53	0.75	0.76	0.61	0.62	0.58	0.47
sci %	13.62	8.26	12.47	9.63	7.92	8.14	7.53	6.66
mpi	0.38	-0.11	-0.47	-0.29	0.02	0.05	0.02	0.07
opi	0.12	0.07	0.11	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06
std %	15.19	6.73	6.11	11.48	9.55	8.64	8.83	7.35
s-b %	19.78	12.23	17.01	10.70	7.96	5.09	7.58	9.39
Aantal	75	73	75	73	73	73	73	73

C1 MON	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.89	-14.54	-18.80	-17.41	-14.92	-12.11	-14.98	-12.55
mae %	10.73	15.81	18.97	22.92	18.41	14.47	16.54	15.16
rmse	0.26	0.93	1.03	1.85	1.42	1.03	1.27	0.97
sci %	13.49	19.22	23.13	28.02	22.78	16.46	19.66	17.47
mpi	0.90	0.56	0.53	-0.80	0.21	0.32	0.15	0.48
opi	0.05	0.12	0.14	0.21	0.16	0.12	0.14	0.12
std %	12.13	13.12	12.88	23.86	19.46	11.72	12.50	13.28
s-b %	18.02	27.66	31.69	41.26	34.37	23.83	27.48	25.83
Aantal	68	68	68	68	68	68	68	68

C1 WS	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-10.49	-10.03	-9.90	-9.09	-12.76	-17.18	-17.87	-12.58
mae %	20.45	12.44	12.99	17.38	15.22	17.66	18.31	14.08
rmse	0.18	0.49	0.51	0.76	0.71	0.83	0.86	0.56
sci %	24.11	19.07	23.09	22.02	21.00	22.83	23.54	18.52
mpi	0.95	0.90	0.90	0.85	0.87	0.82	0.82	0.89
opi	0.04	0.06	0.07	0.08	0.07	0.09	0.10	0.07
std %	25.27	14.35	16.97	20.28	15.28	13.54	13.76	12.74
s-b %	35.75	24.39	26.87	29.37	28.04	30.71	31.64	25.32
Aantal	72	72	72	72	72	70	70	72

Tabel 5.5a-d: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 1, voor typerende gebieden Noordzee (EUW, LEG, SWB, DRL, SCW), Mondingsgebied (WIE, CDD, CDZ, SCO, WCT) en Westerschelde (PVT, HF1, HFP, HSR, HS1, PAT, BA1)

C2 ALL	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-0.84	-9.20	-13.72	-5.95	-6.91	-6.84	-9.01	-6.79
mae %	17.50	12.54	15.95	17.06	12.49	12.77	13.41	10.60
rmse	0.37	0.63	0.78	1.24	0.90	0.85	0.97	0.61
sci %	16.74	13.64	18.15	20.60	15.44	14.41	16.08	11.66
mpi	0.85	0.77	0.72	0.58	0.71	0.69	0.66	0.78
opi	0.09	0.09	0.12	0.15	0.11	0.10	0.12	0.08
std %	23.38	14.97	15.02	27.64	15.09	13.86	13.84	11.30
s-b %	24.21	24.17	28.74	33.59	22.00	20.71	22.85	18.09
Aantal	213	211	213	211	210	209	209	210

C2 NZ	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	2.58	-6.66	-12.92	4.59	0.44	2.39	0.10	-2.54
mae %	11.88	8.05	13.20	9.25	6.16	6.30	5.84	5.77
rmse	0.48	0.60	0.88	0.85	0.59	0.58	0.57	0.49
sci %	12.83	9.30	14.62	10.84	7.60	7.64	7.34	6.99
mpi	0.44	-0.29	-0.73	-0.45	-0.03	0.08	-0.03	-0.05
opi	0.11	0.08	0.13	0.10	0.07	0.07	0.07	0.06
std %	15.49	7.13	7.06	11.31	8.86	8.34	8.45	7.46
s-b %	12.91	13.80	19.98	6.73	8.41	5.95	8.35	9.99
Aantal	75	73	75	73	73	73	73	73

C2 MON	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-1.07	-12.37	-16.82	-16.65	-12.83	-12.39	-15.25	-9.77
mae %	14.66	13.60	17.23	21.50	16.12	14.07	16.06	12.61
rmse	0.31	0.78	0.88	1.79	1.29	1.06	1.33	0.80
sci %	16.15	16.07	19.78	27.07	20.75	16.92	20.55	14.40
mpi	0.87	0.62	0.59	-0.72	0.28	0.30	0.12	0.55
opi	0.07	0.11	0.13	0.20	0.15	0.12	0.15	0.10
std %	19.03	10.79	10.18	26.28	18.41	11.61	12.83	11.95
s-b %	20.10	23.16	26.99	42.93	31.24	24.00	28.07	21.72
Aantal	68	68	68	68	68	68	68	68

C2 WS	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-18.15	-9.98	-10.07	-11.12	-13.88	-17.95	-18.67	-11.80
mae %	26.28	16.18	17.65	20.90	15.60	18.43	18.89	13.73
rmse	0.26	0.50	0.50	0.86	0.67	0.85	0.87	0.51
sci %	33.34	19.17	22.38	24.91	19.69	23.28	23.64	16.47
mpi	0.93	0.88	0.88	0.82	0.87	0.81	0.81	0.88
opi	0.06	0.07	0.08	0.10	0.07	0.10	0.10	0.07
std %	29.90	22.46	22.37	37.08	13.39	13.29	12.90	12.27
s-b %	48.05	32.44	32.44	48.19	27.26	31.24	31.57	24.07
Aantal	70	70	70	70	69	68	68	69

Tabel 5.6a-d: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 2, voor typerende gebieden Noordzee (EUW, LEG, SWB, DRL, SCW), Mondingsgebied (WIE, CDD, CDZ, SCO, WCT) en Westerschelde (PVT, HF1, HFP, HSR, HS1, PAT, BA1)

C3 ALL	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-9.87	-11.15	-15.39	-6.94	-8.01	-7.23	-9.38	-9.16
mae %	16.21	13.19	16.05	14.85	13.48	13.52	14.22	12.54
rmse	0.40	0.73	0.86	1.15	0.97	0.87	0.98	0.74
sci %	18.12	15.71	20.00	19.19	16.74	14.84	16.26	14.10
mpi	0.84	0.75	0.70	0.61	0.68	0.68	0.65	0.74
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.10
std %	17.66	12.16	13.14	19.36	15.83	14.43	14.39	12.15
s-b %	27.53	23.31	28.53	26.30	23.84	21.66	23.77	21.31
Aantal	214	212	214	212	212	210	210	212

C3 NZ	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-7.82	-6.69	-12.10	-0.04	0.31	2.25	-0.04	-3.16
mae %	12.06	8.16	12.45	7.67	6.29	6.53	5.96	5.94
rmse	0.56	0.59	0.82	0.72	0.59	0.58	0.57	0.50
sci %	14.81	9.18	13.61	9.16	7.66	7.68	7.36	7.15
mpi	0.32	-0.24	-0.60	-0.24	0.05	0.13	0.04	-0.01
opi	0.13	0.08	0.12	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07
std %	13.92	7.12	6.72	10.57	9.16	8.57	8.63	7.50
s-b %	21.74	13.81	18.82	10.60	8.85	6.32	8.66	10.67
Aantal	75	73	75	73	73	73	73	73

C3 MON	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-11.35	-16.07	-20.94	-13.78	-15.09	-12.49	-15.35	-13.62
mae %	13.68	17.14	20.97	19.88	18.09	14.89	16.99	15.64
rmse	0.31	0.98	1.10	1.71	1.39	1.07	1.31	0.99
sci %	16.37	20.13	24.75	25.85	22.28	17.18	20.22	17.93
mpi	0.88	0.53	0.49	-0.69	0.22	0.29	0.13	0.46
opi	0.07	0.13	0.16	0.19	0.16	0.13	0.15	0.12
std %	11.46	12.67	12.82	23.65	17.90	12.14	12.78	12.39
s-b %	22.80	28.74	33.76	37.43	32.99	24.63	28.12	26.01
Aantal	68	68	68	68	68	68	68	68

C3 WS	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-17.03	-13.72	-14.24	-10.60	-15.07	-19.20	-19.90	-15.62
mae %	23.00	14.59	15.13	17.41	16.46	19.57	20.23	16.36
rmse	0.22	0.56	0.57	0.79	0.77	0.90	0.93	0.64
sci %	28.74	21.56	25.55	22.74	22.88	24.62	25.32	21.05
mpi	0.94	0.89	0.89	0.84	0.85	0.80	0.79	0.87
opi	0.05	0.07	0.07	0.09	0.08	0.11	0.11	0.08
std %	24.55	14.37	16.68	20.48	15.71	14.07	14.23	12.97
s-b %	41.57	28.09	30.92	31.08	30.78	33.27	34.13	28.59
Aantal	71	71	71	71	71	69	69	71

Tabel 5.7a-d: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 3, voor typerende gebieden Noordzee (EUW, LEG, SWB, DRL, SCW), Mondingsgebied (WIE, CDD, CDZ, SCO, WCT) en Westerschelde (PVT, HF1, HFP, HSR, HS1, PAT, BA1)

C4 ALL	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-5.94	-11.59	-16.44	-6.52	-8.27	-8.31	-10.43	-8.48
mae %	17.95	13.71	17.42	15.61	12.62	13.44	14.15	11.88
rmse	0.38	0.70	0.87	1.15	0.88	0.86	0.98	0.65
sci %	17.58	15.06	20.39	19.34	15.27	14.76	16.35	12.53
mpi	0.84	0.75	0.69	0.61	0.71	0.69	0.65	0.77
opi	0.09	0.10	0.13	0.14	0.11	0.11	0.12	0.09
std %	21.37	11.07	12.40	18.11	13.51	13.66	13.36	11.08
s-b %	27.30	22.65	28.83	24.64	21.78	21.97	23.79	19.56
Aantal	215	213	215	213	213	211	211	213

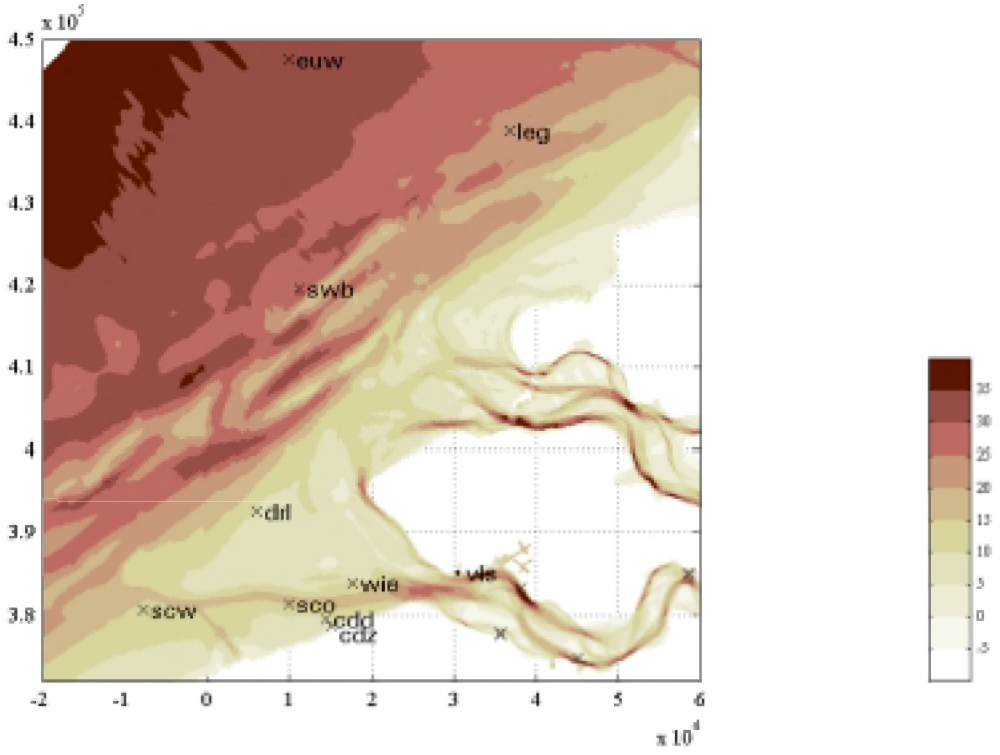
C4 NZ	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-1.98	-8.68	-15.09	3.98	-1.27	0.64	-1.61	-4.20
mae %	11.88	9.88	15.28	9.26	6.37	6.25	6.16	6.78
rmse	0.50	0.72	1.03	0.85	0.62	0.59	0.61	0.57
sci %	13.20	11.20	17.03	10.86	8.05	7.84	7.92	8.13
mpi	0.40	-0.54	-1.03	-0.49	-0.09	0.06	-0.11	-0.20
opi	0.12	0.10	0.15	0.10	0.07	0.07	0.07	0.07
std %	16.24	8.16	8.30	11.55	9.53	9.38	9.30	8.35
s-b %	18.23	16.84	23.39	7.57	10.80	8.75	10.91	12.55
Aantal	75	73	75	73	73	73	73	73

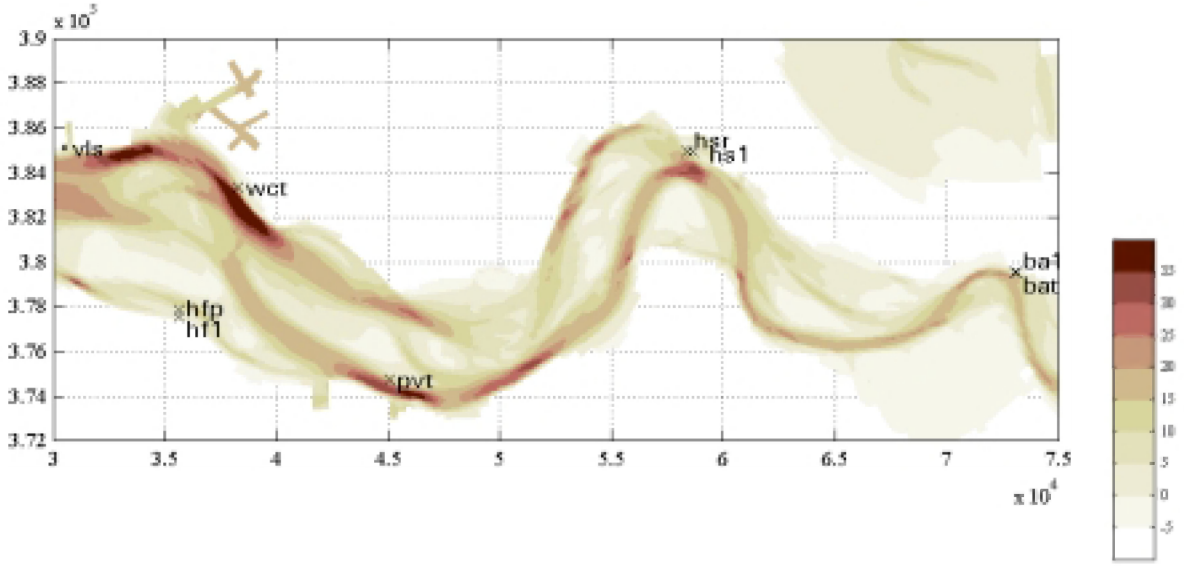
C4 MON	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-6.94	-14.25	-19.16	-15.80	-13.64	-12.95	-15.80	-11.11
mae %	15.61	15.06	19.39	18.74	14.75	14.31	16.36	12.92
rmse	0.34	0.83	0.96	1.66	1.23	1.04	1.29	0.81
sci %	17.57	17.06	21.60	25.14	19.69	16.56	20.00	14.55
mpi	0.86	0.59	0.55	-0.57	0.31	0.31	0.14	0.55
opi	0.08	0.12	0.14	0.19	0.14	0.12	0.15	0.10
std %	18.61	9.23	9.61	17.90	12.46	10.11	10.96	9.46
s-b %	25.55	23.47	28.78	33.70	26.10	23.06	26.76	20.56
Aantal	68	68	68	68	68	68	68	68

C4 WS	Hs	Tm01	Tm02	Tp	Tpb	Tpbeq	Tpm	Tm_10
bias %	-23.85	-14.22	-15.10	-14.04	-15.17	-20.02	-20.72	-13.98
mae %	26.50	16.31	17.77	19.10	16.97	20.08	20.34	16.07
rmse	0.27	0.51	0.53	0.78	0.70	0.91	0.93	0.56
sci %	35.20	19.82	23.64	22.53	20.72	25.15	25.42	18.42
mpi	0.93	0.88	0.88	0.84	0.86	0.80	0.80	0.88
opi	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.11	0.11	0.07
std %	24.45	14.24	16.89	19.10	14.73	13.25	12.52	13.09
s-b %	48.30	28.46	32.00	33.14	29.90	33.27	33.24	27.07
Aantal	72	72	72	72	72	70	70	72

Tabel 5.8.a-d: Statistische parameters voor 8 golfparameters Case 4, voor typerende gebieden Noordzee (EUW, LEG, SWB, DRL, SCW), Mondingsgebied (WIE, CDD, CDZ, SCO, WCT) en Westerschelde (PVT, HF1, HFP, HSR, HS1, PAT, BA1)

FIGUREN





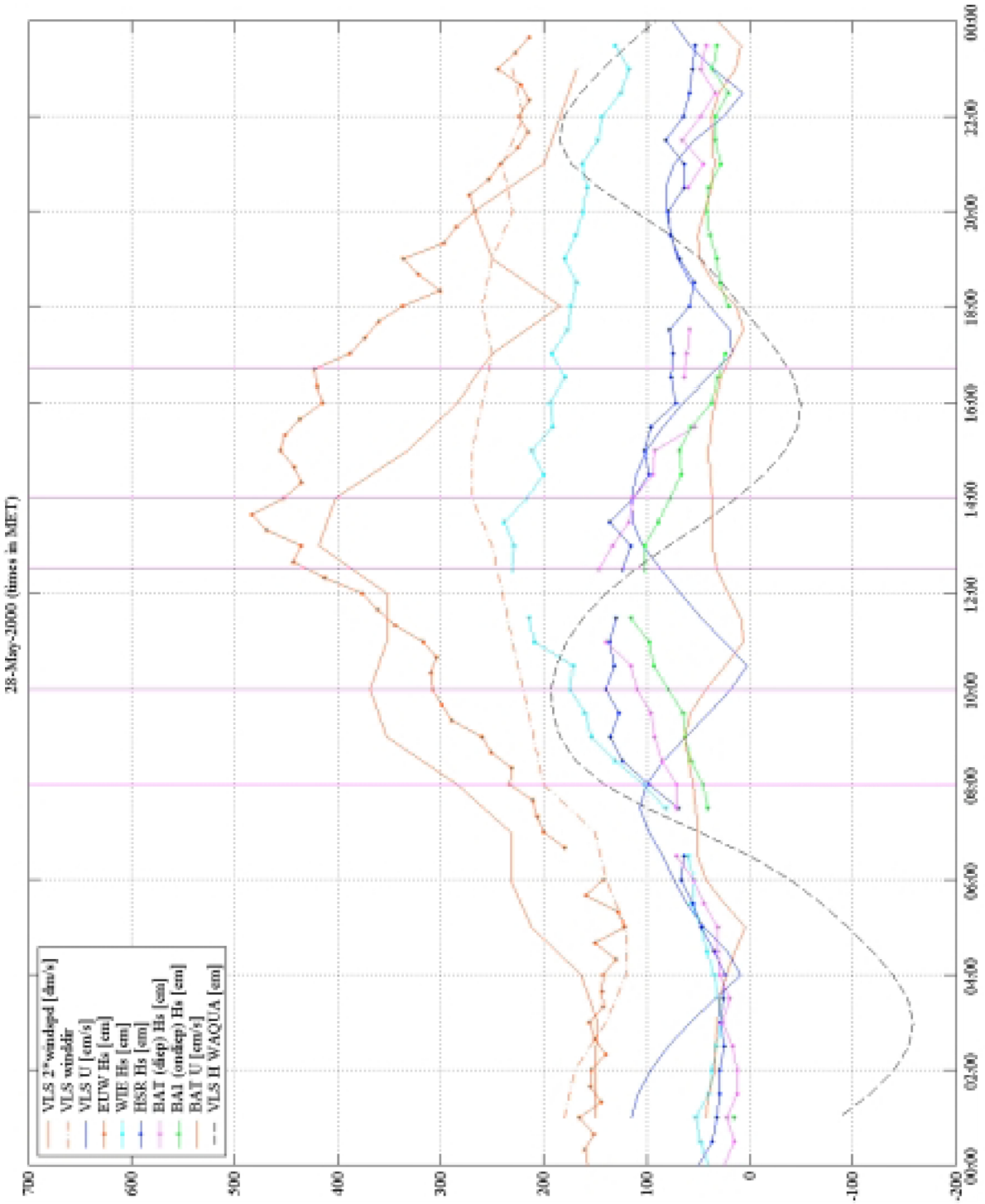
Meetlocaties

FIGUUR 3.1

1246

21-May-2003

ROYAL HASKONING ; = golfmeetlocaties; . = Vlissingen (wind- en waterstandsmetingen)

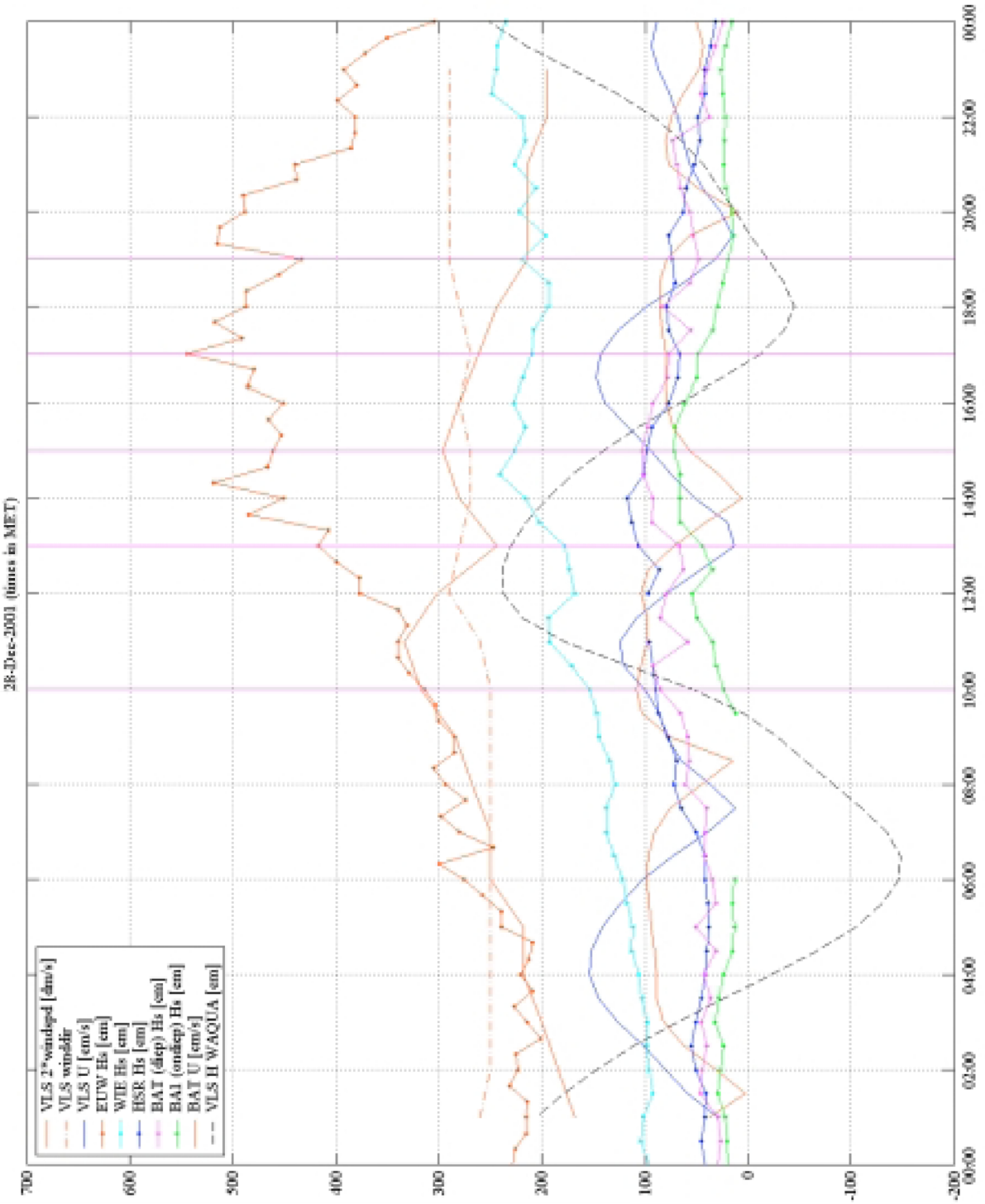


ROYAL HASKONING

Storm selectie storm A

golven, waterstand, stroming, wind

FIGUUR 3.2
1246
01-Apr-2003

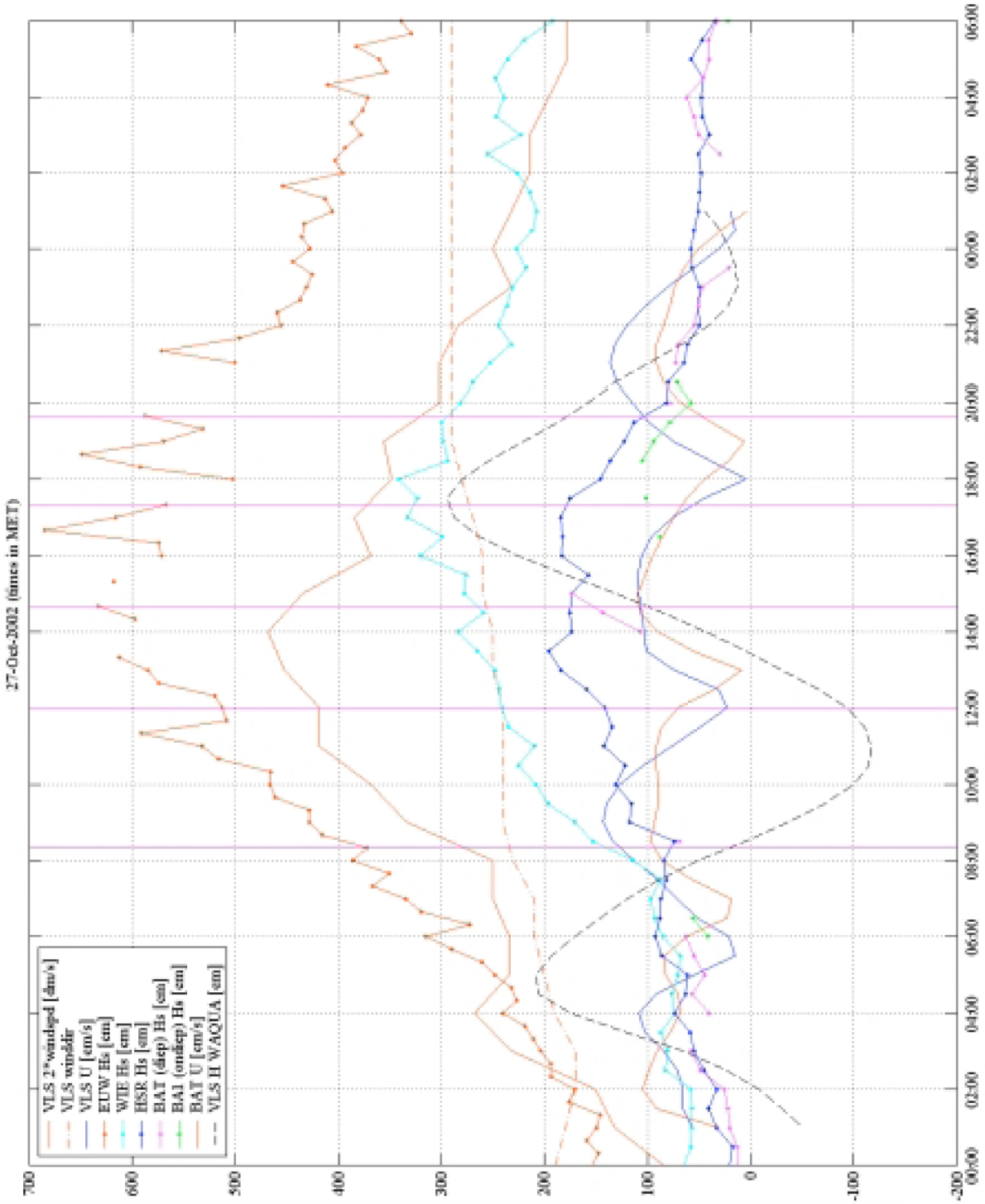


ROYAL HASKONING

Storm selectie storm B

golven, waterstand, stroming, wind

FIGUUR 3.3
1246
01-Apr-2003

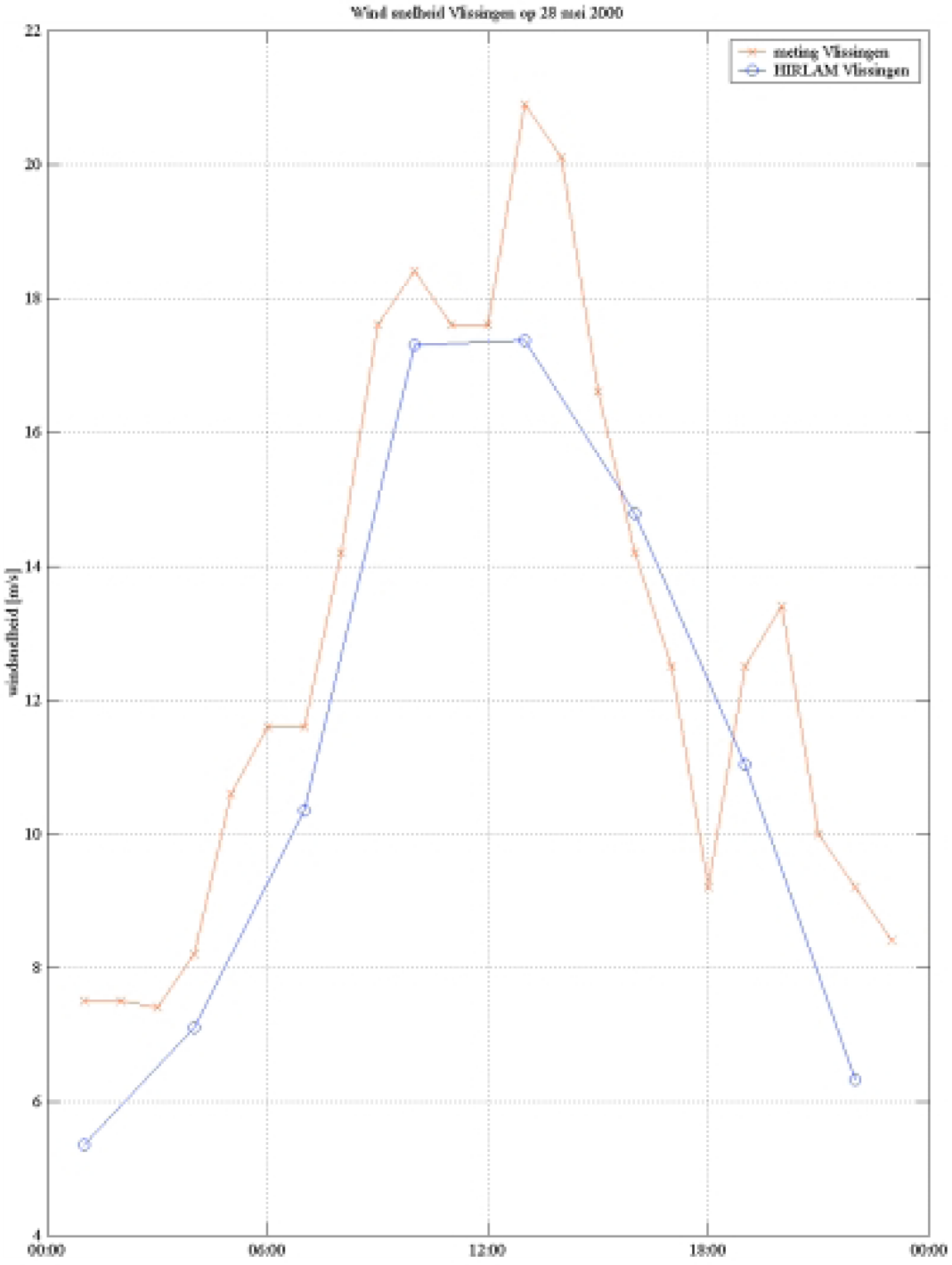


ROYAL HASKONING

Storm selectie storm C

golven, waterstand, stroming, wind

FIGUUR 3.4
1246
01-Apr-2003



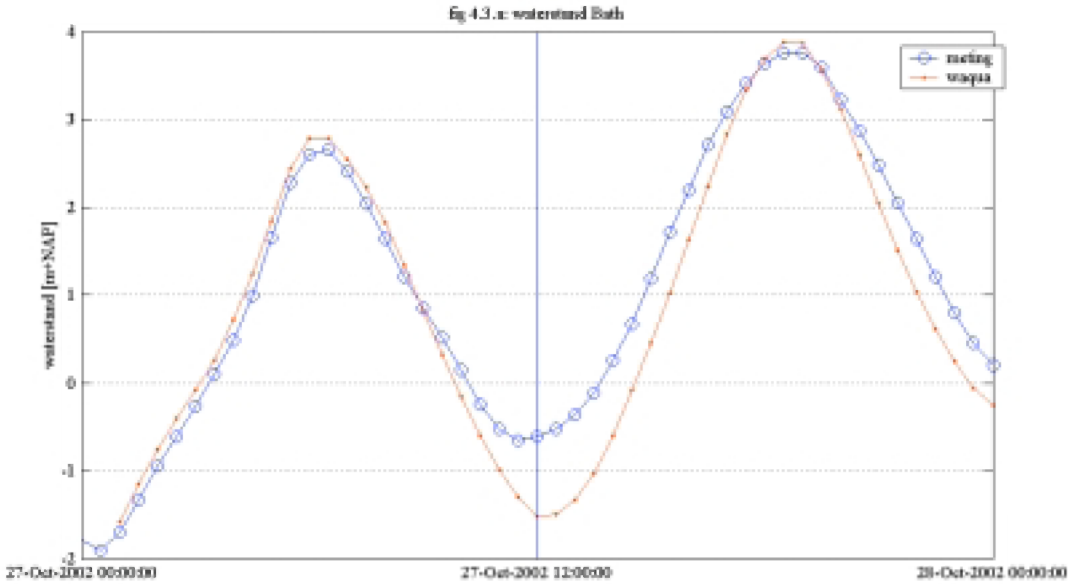
ROYAL HASKONING

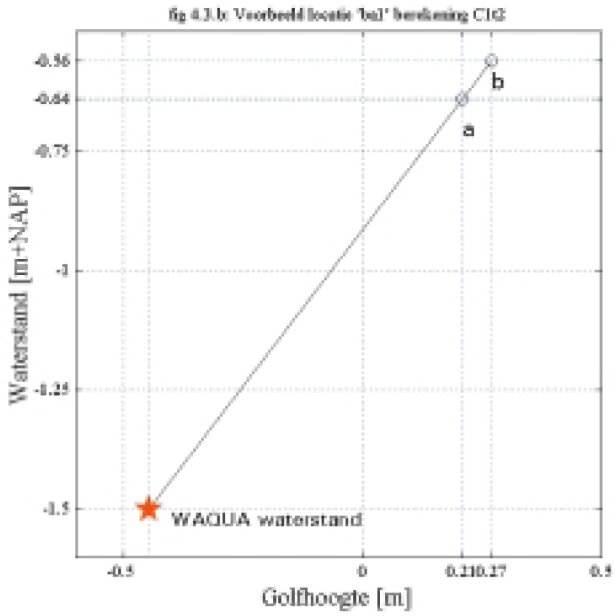
Vergelijking gemeten windsnelheid en Hirlam

Vlissingen

FIGUUR 4.2
1246
03-Apr-2003

Zo is bijvoorbeeld tijdstip t2 van storm C (12:00 27 oktober 2002) berekend met een laagste waterstand van NAP-0.64 m (Cadzand) en een hoogste waterstand van NAP-0.56 m (Vlissingen). Bij Bath was de gemeten waterstand toen NAP -0.61 m, maar WAQUA berekende NAP -1.5 m (zie Figuur 4.3.a). De WAQUA waterstand is dus (1.5-0.64)/0.08 is 10.75 x lager dan het verschil. Lineaire extrapolatie levert een negatieve golfhoogte op, zie Figuur 4.3. b.

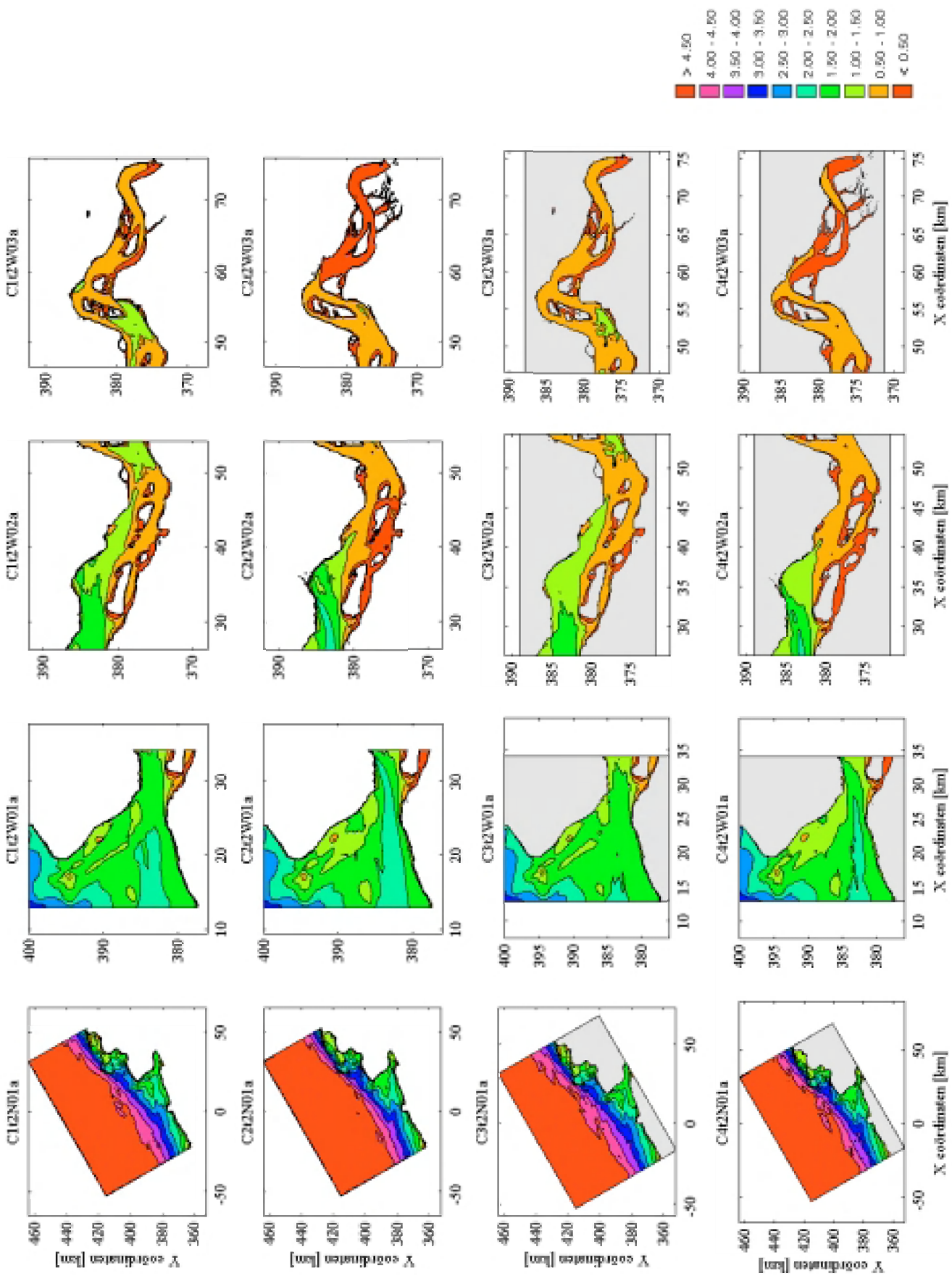




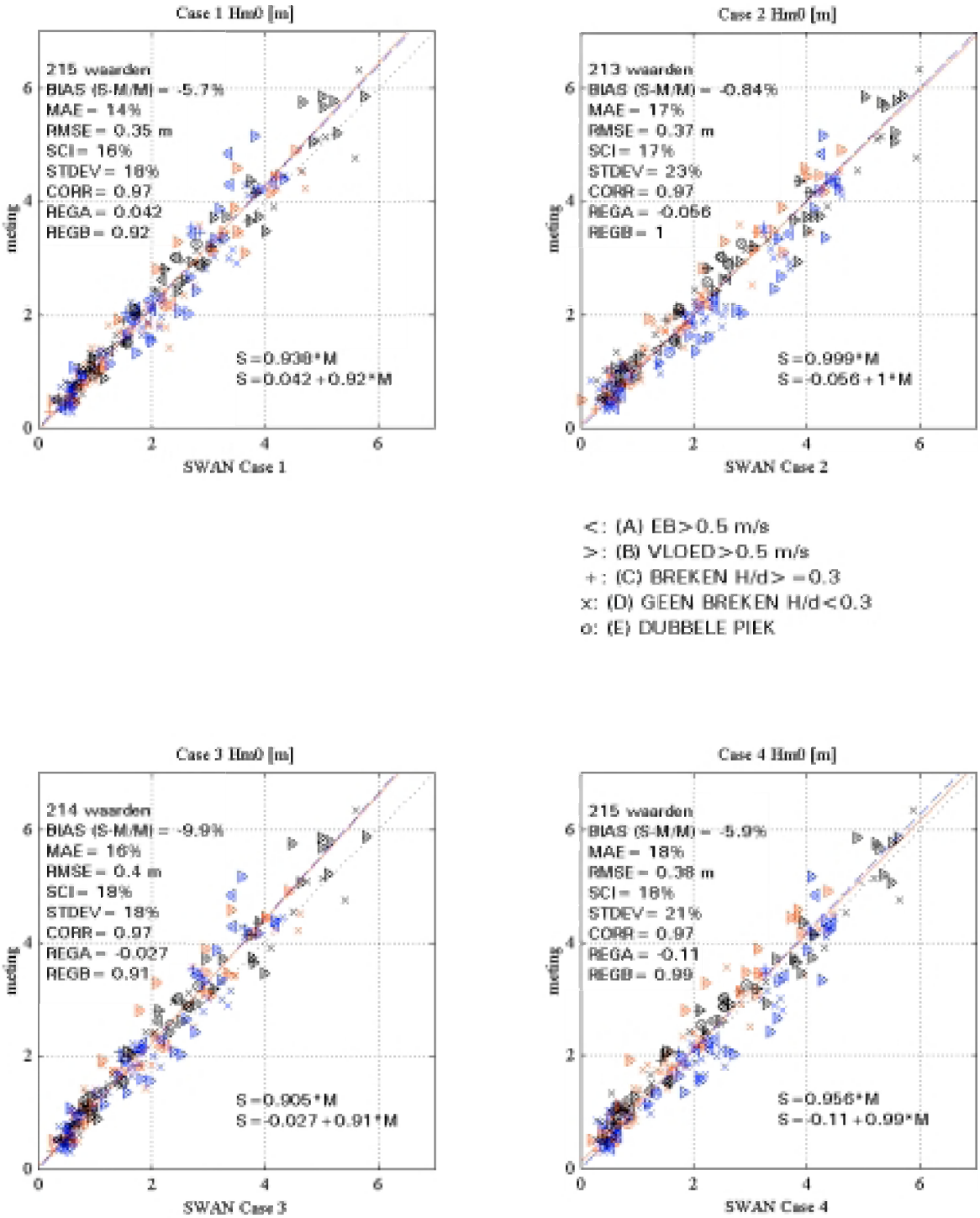
ROYAL HASKONING	**Interpolatietechniek Case 1**	**FIGUUR 4.3**
		1246
	Bath	09-Apr-2003

```
98.11 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 4; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5N01a 26-03-03 18:46:49
99.25 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 3; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5W01a 26-03-03 18:59:17
99.41 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 7; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5W02a 26-03-03 19:16:11
98.51 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 5; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5W03a 26-03-03 19:26:18
99.80 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D01a 26-03-03 19:32:42
98.72 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 5; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D02a 26-03-03 19:37:42
99.54 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D03a 26-03-03 19:39:05
99.95 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D04a 26-03-03 19:40:17
97.03 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 3; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D05a 26-03-03 19:56:02
100.00 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 3; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D06a 26-03-03 20:00:21
100.00 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D07a 26-03-03 20:03:52
100.00 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D08a 26-03-03 20:08:11
100.00 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5D09a 26-03-03 20:12:01
99.31 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5R01a 26-03-03 20:15:57
97.58 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5R02a 26-03-03 20:18:29
99.93 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 2; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5R03a 26-03-03 20:21:18
99.97 % of wet grid points ( 97.00 % required)   +iteration 3; sweep 4 ;  NORMAL END A4t5R04a 26-03-03 20:24:23
```

Figuur 4.4: Voorbeeld controle file berekening Storm A Case 4 tijdstip t5



Figuur 4.5 Significante golfhoogte [m] Storm C tijdstip 2 Case 1, 2 ,3 & 4
Roosters N01 W01 W02 W03

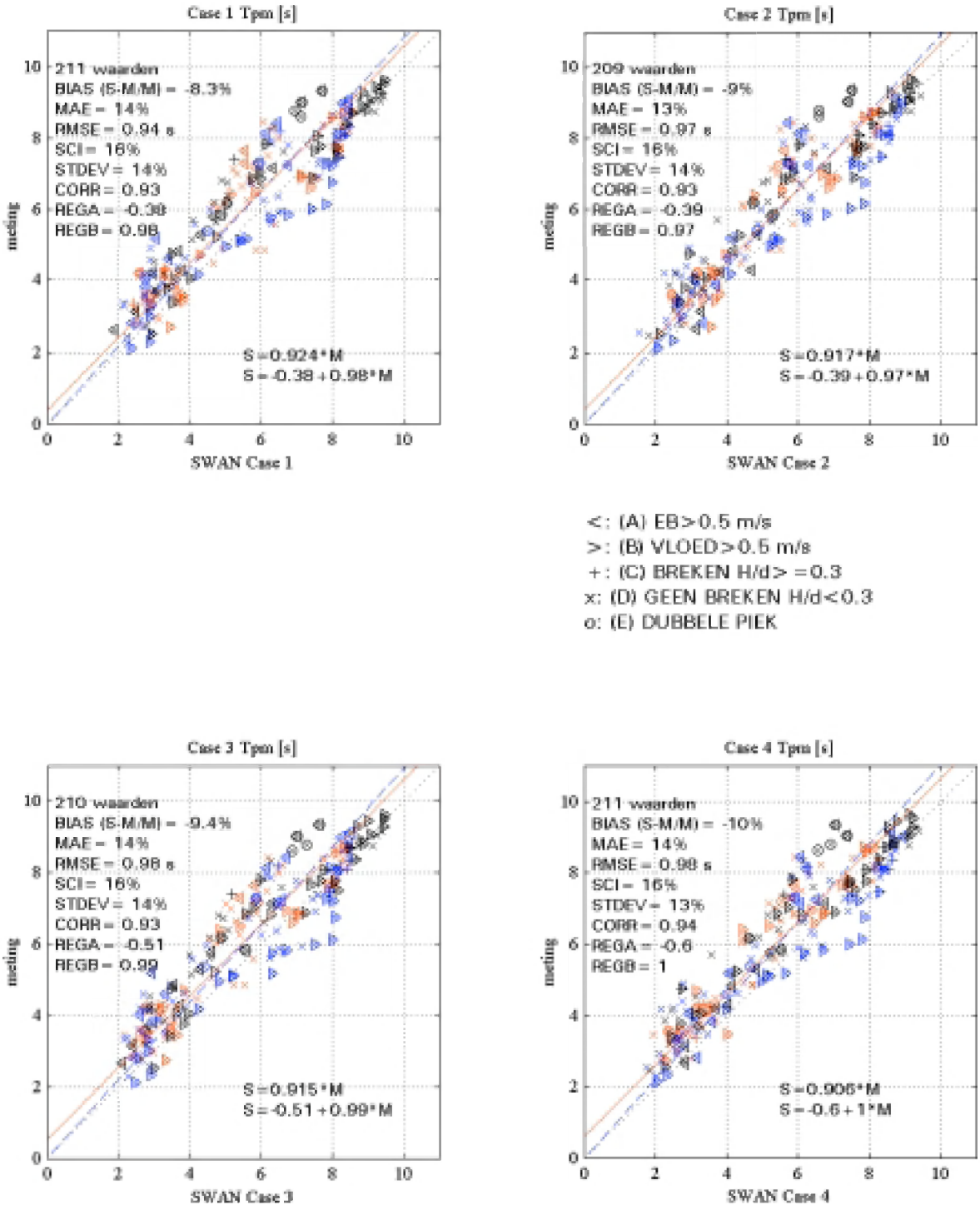


ROYAL HASKONING

Parameter: Hm0 [m] **Case 1, 2, 3, 4**

rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C

FIGUUR 5.1
1246
19-May-2003

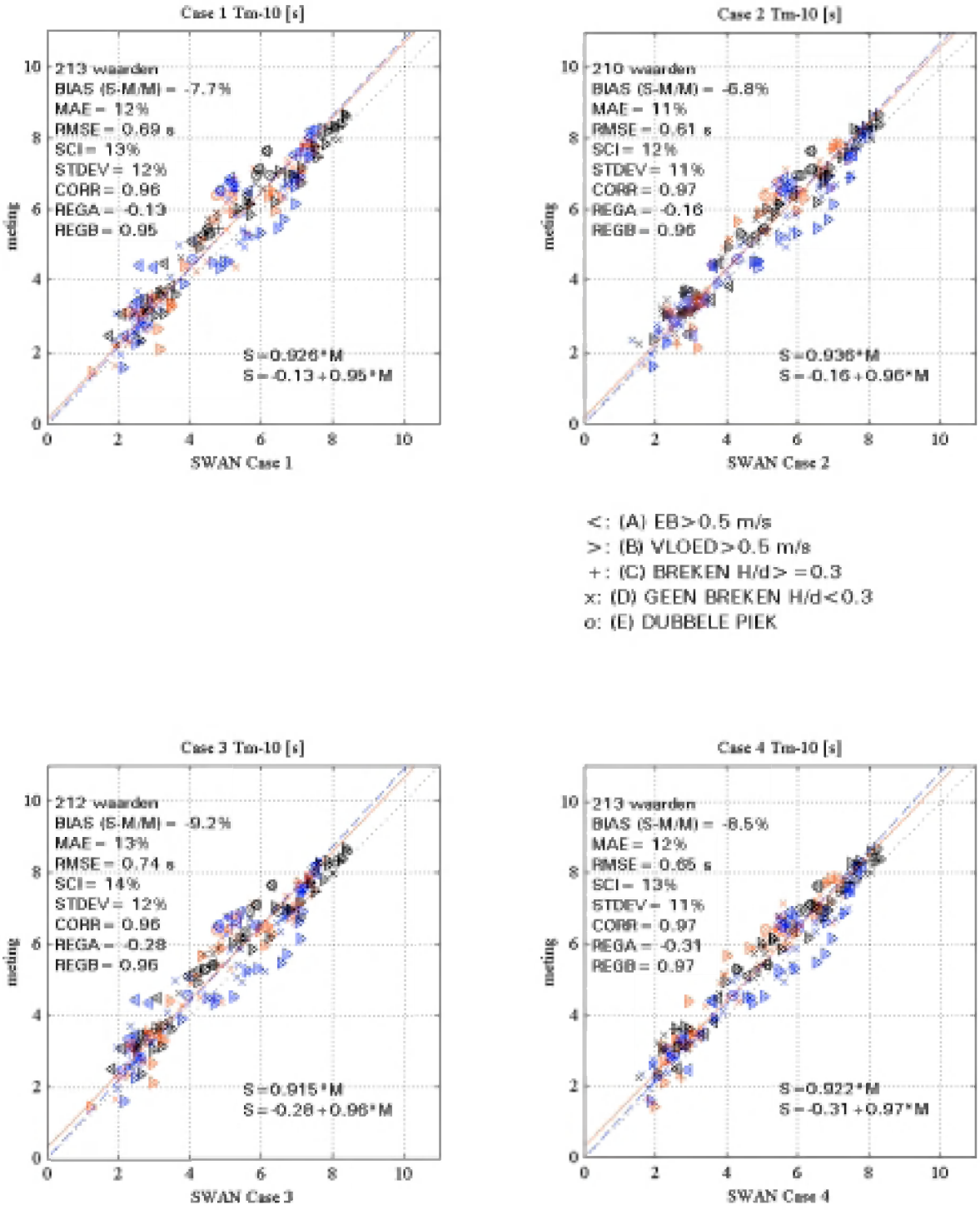


ROYAL HASKONING

Parameter: Tpm [s] **Case 1, 2, 3, 4**

rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C

FIGUUR 6.2
1246
19-May-2003

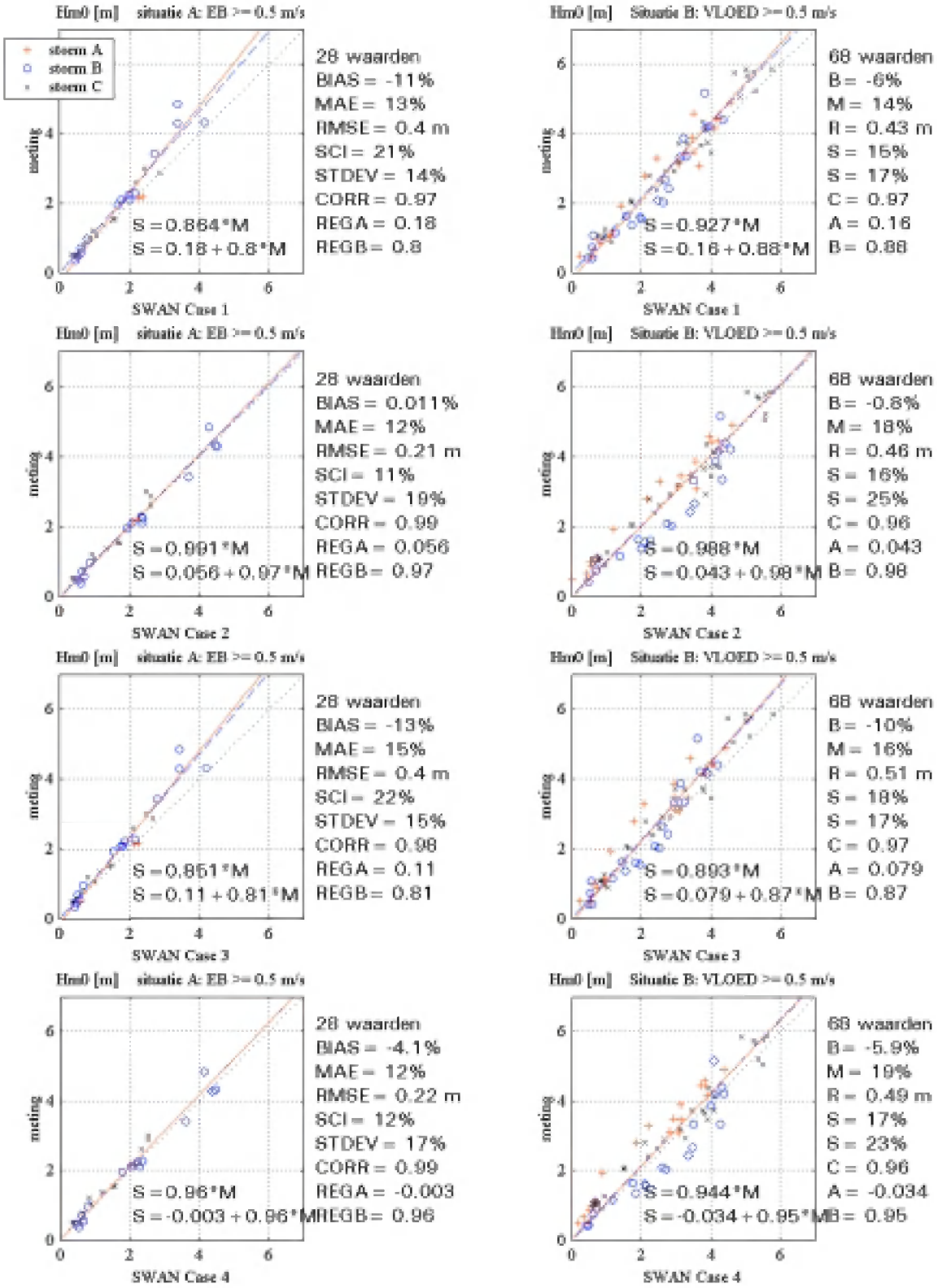


ROYAL HASKONING

Parameter: Tm-10 [s] **Case 1, 2, 3, 4**

rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C

FIGUUR 5.3
1246
19-May-2003

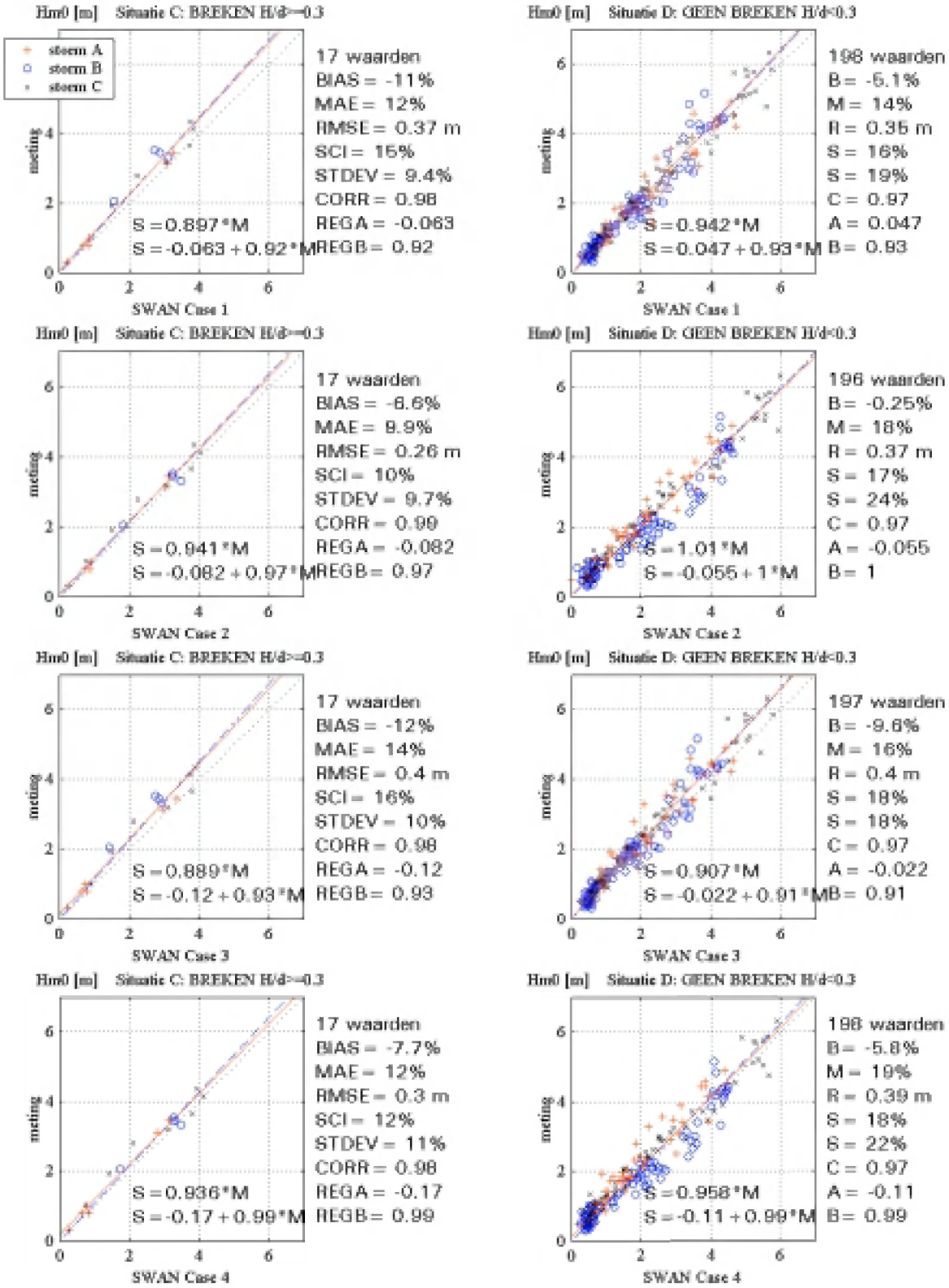


ROYAL HASKONING

Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Hm0 [m] **FIGUUR 5.4**

1246

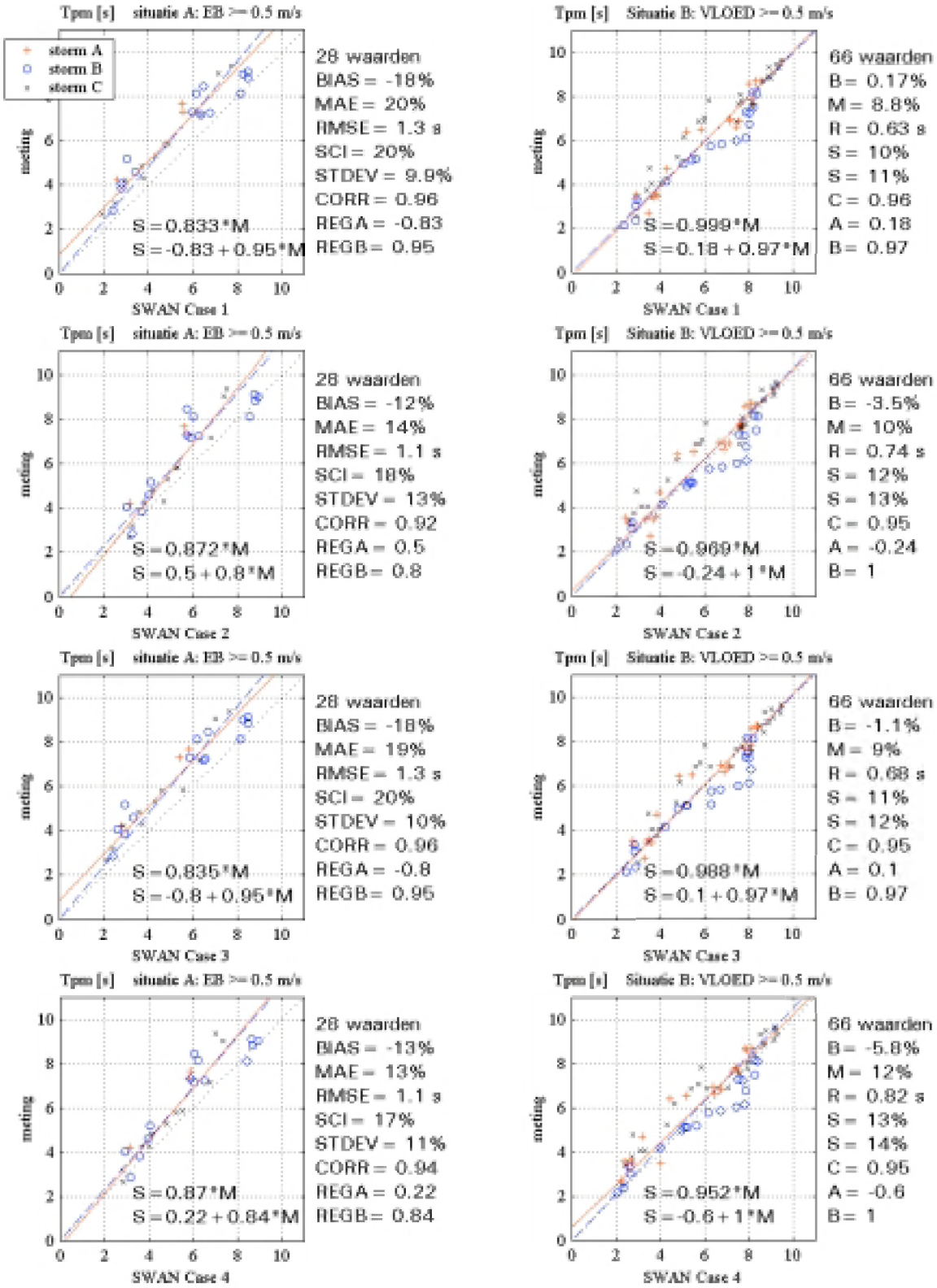
A: EB > = 0.5 m/s & B: VLOED > = 0.5 m/s 19-May-2003



Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4: parameter: Hm0 [m] **FIGUUR 5.6**

1246

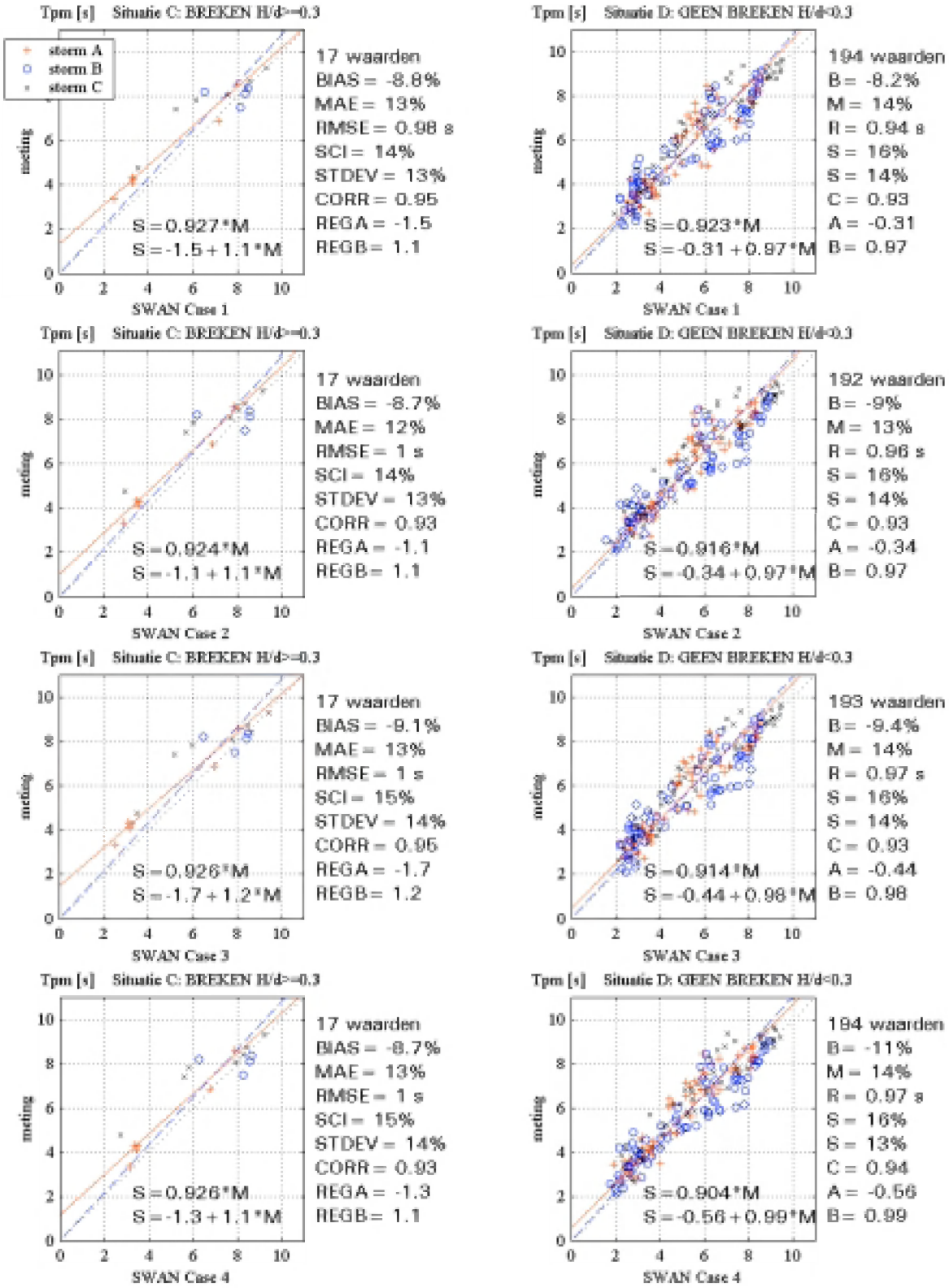
C: BREKEN H/d>=0.3 & D: GEEN BREKEN H/d<0.3 19-May-2003



Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tpm [s] **FIGUUR 5.6**

1246

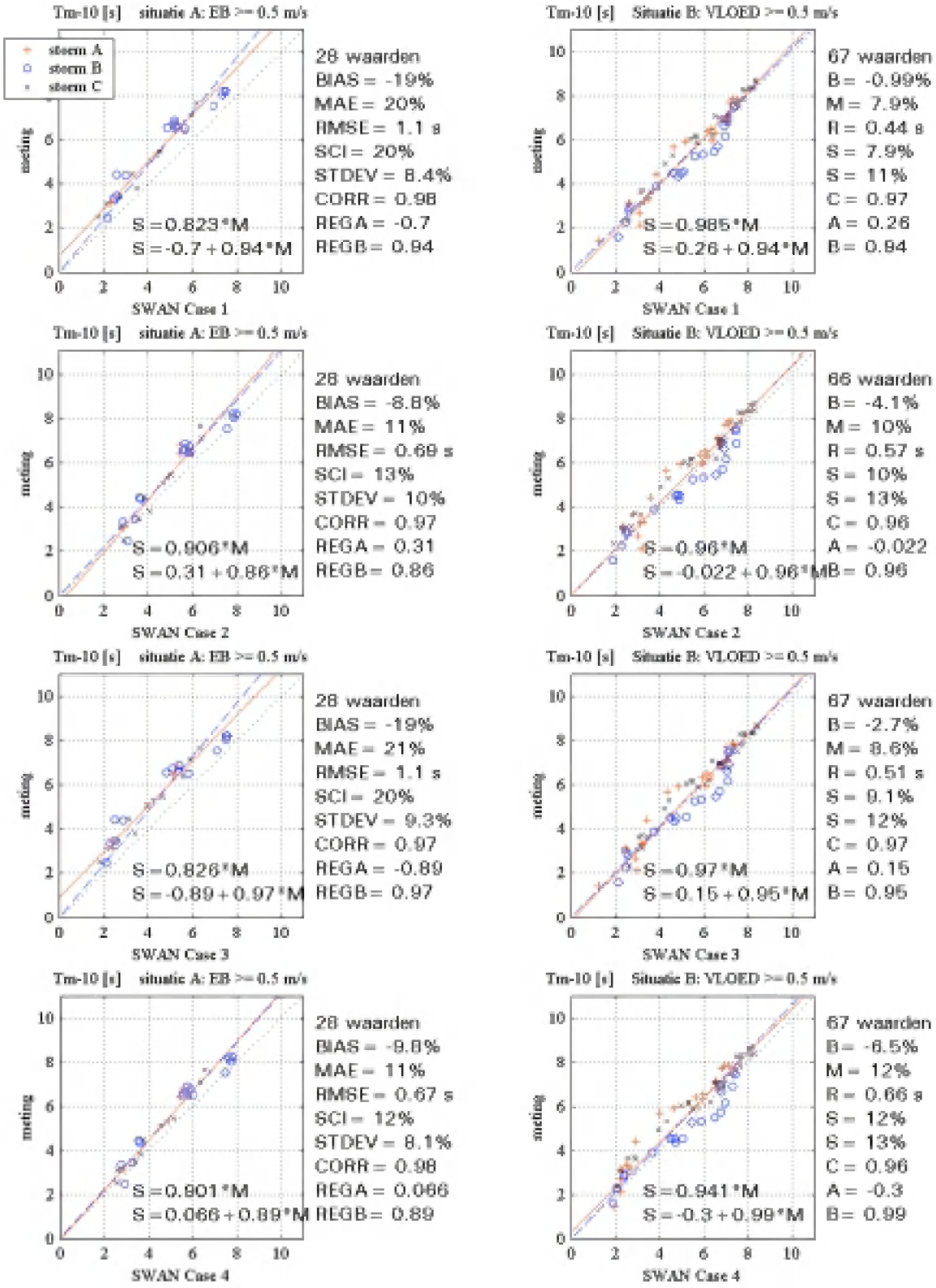
A: EB > = 0.5 m/s & B: VLOED > = 0.5 m/s 19-May-2003



Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tpm [s] **FIGUUR 5.7**

1246

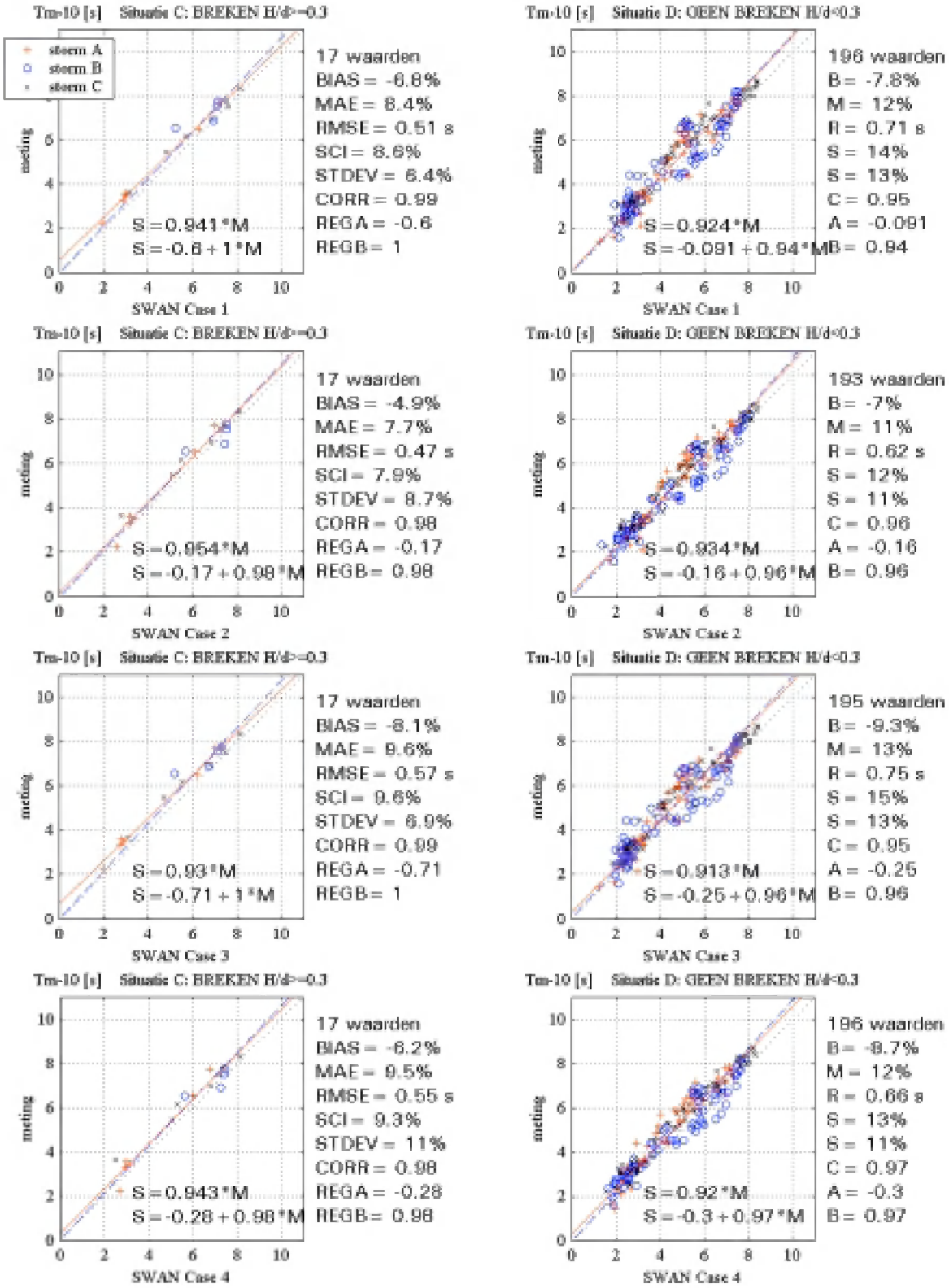
C: BREKEN H/d> =0.3 & D: GEEN BREKEN H/d<0.3 19-May-2003



Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tm-10 [s] FIGUUR 5.8

ROYAL HASKONING 1246

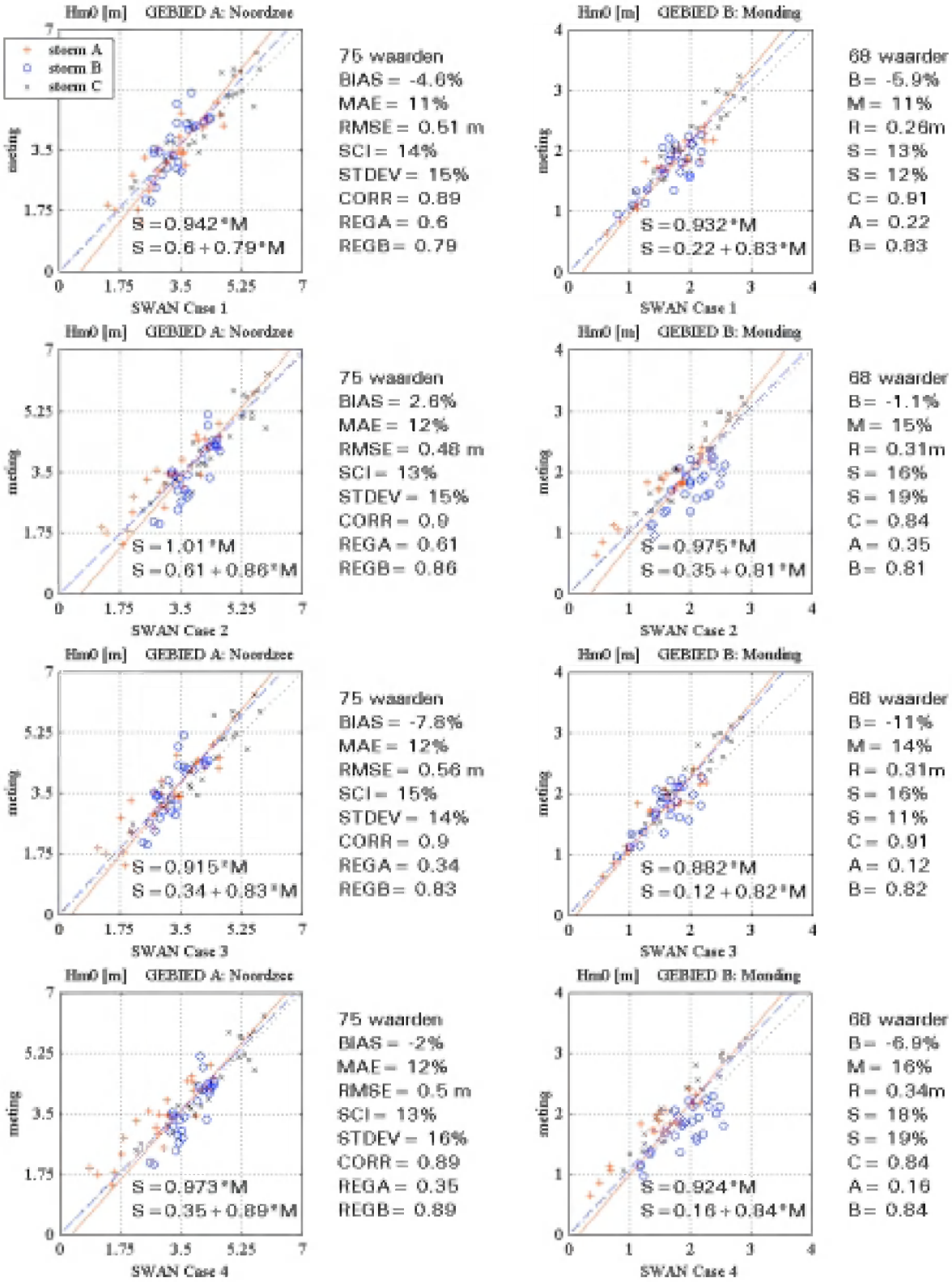
A: EB > = 0.5 m/s & B: VLOED > = 0.5 m/s 19-May-2003



Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tm-10 [s] FIGUUR 5.9

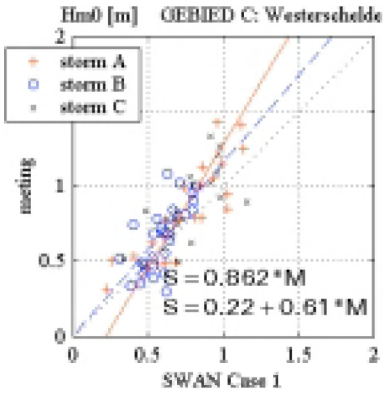
ROYAL HASKONING C: BREKEN H/d>=0.3 & D: GEEN BREKEN H/d<0.3 1246

19-May-2003

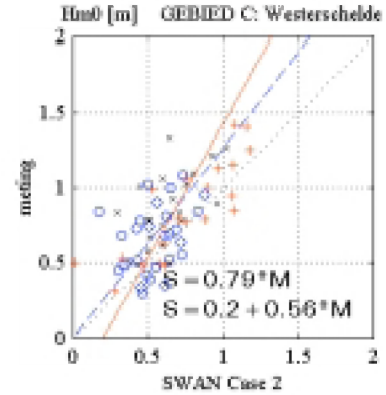


Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Hm0 [m] **FIGUUR 5.10**

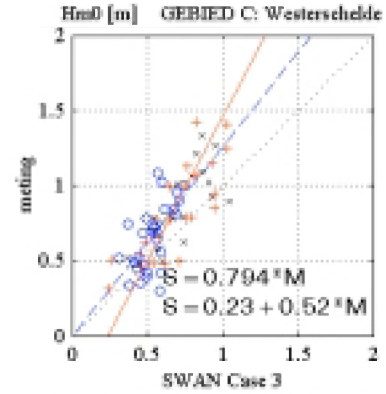
ROYAL HASKONING Noordzee & Monding 1246 19-May-2003



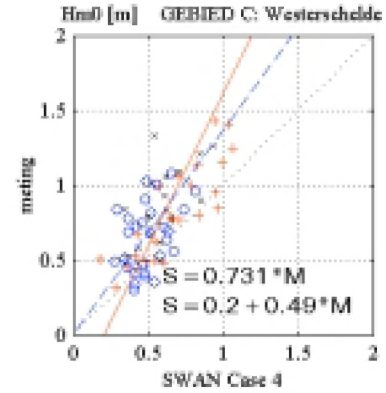
72 waarden
BIAS = -10%
MAE = 20%
RMSE = 0.18 m
SCI = 24%
STDEV = 25%
CORR = 0.8
REGA = 0.22
REGB = 0.61



70 waarden
BIAS = -18%
MAE = 26%
RMSE = 0.26 m
SCI = 33%
STDEV = 30%
CORR = 0.65
REGA = 0.2
REGB = 0.56



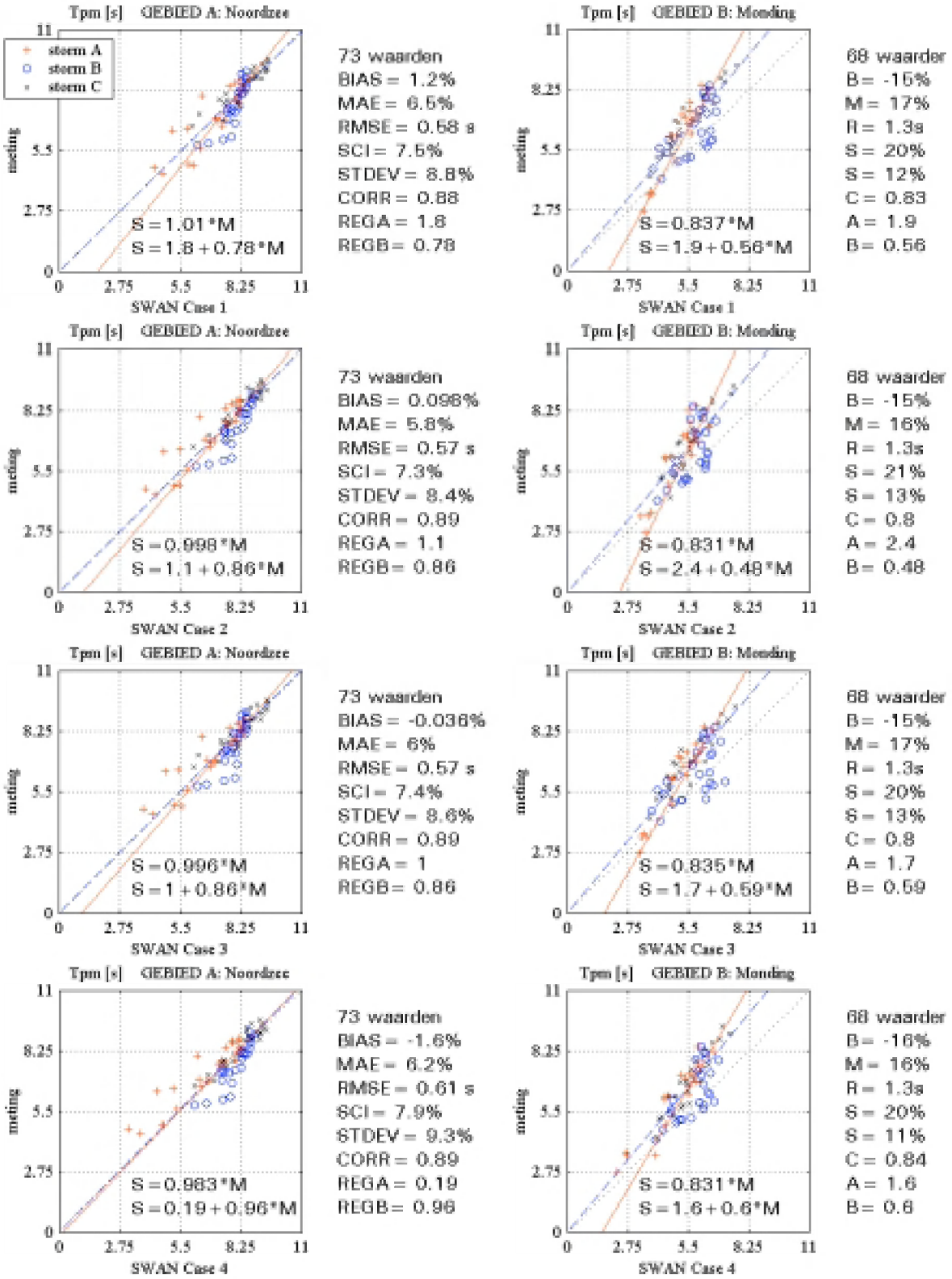
71 waarden
BIAS = -17%
MAE = 23%
RMSE = 0.22 m
SCI = 20%
STDEV = 25%
CORR = 0.77
REGA = 0.23
REGB = 0.52



72 waarden
BIAS = -24%
MAE = 26%
RMSE = 0.27 m
SCI = 35%
STDEV = 24%
CORR = 0.69
REGA = 0.2
REGB = 0.49

Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Hm0 [m] **FIGUUR 5.11**

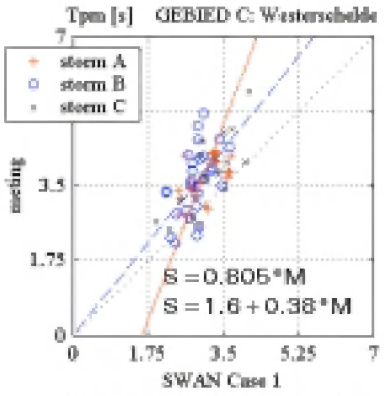
ROYAL HASKONING | Westerschelde | 1246 | 19-May-2003



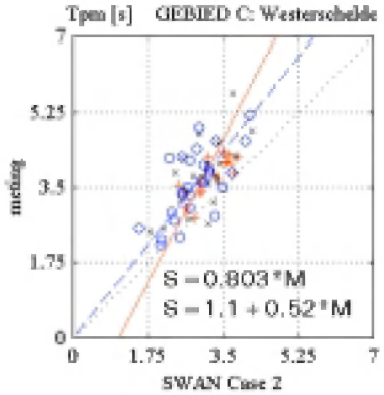
Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tpm [s] **FIGUUR 5.12**

1246

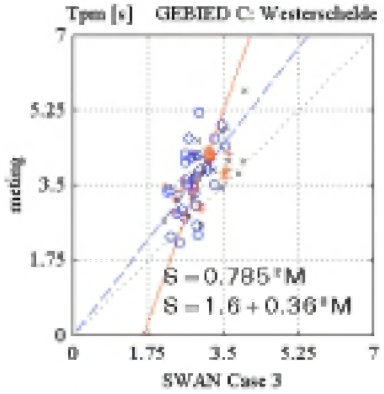
ROYAL HASKONING Noordzee & Monding 19-May-2003



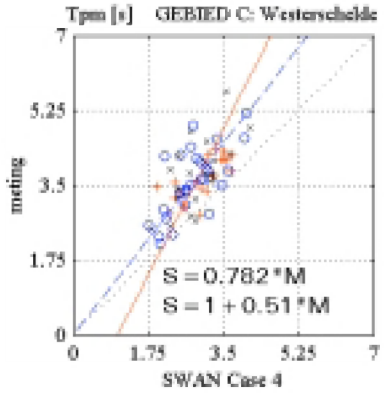
70 waarden
BIAS = -18%
MAE = 18%
RMSE = 0.86 s
SCI = 24%
STDEV = 14%
CORR = 0.62
REGA = 1.6
REGB = 0.38



68 waarden
BIAS = -19%
MAE = 19%
RMSE = 0.87 s
SCI = 24%
STDEV = 13%
CORR = 0.67
REGA = 1.1
REGB = 0.52



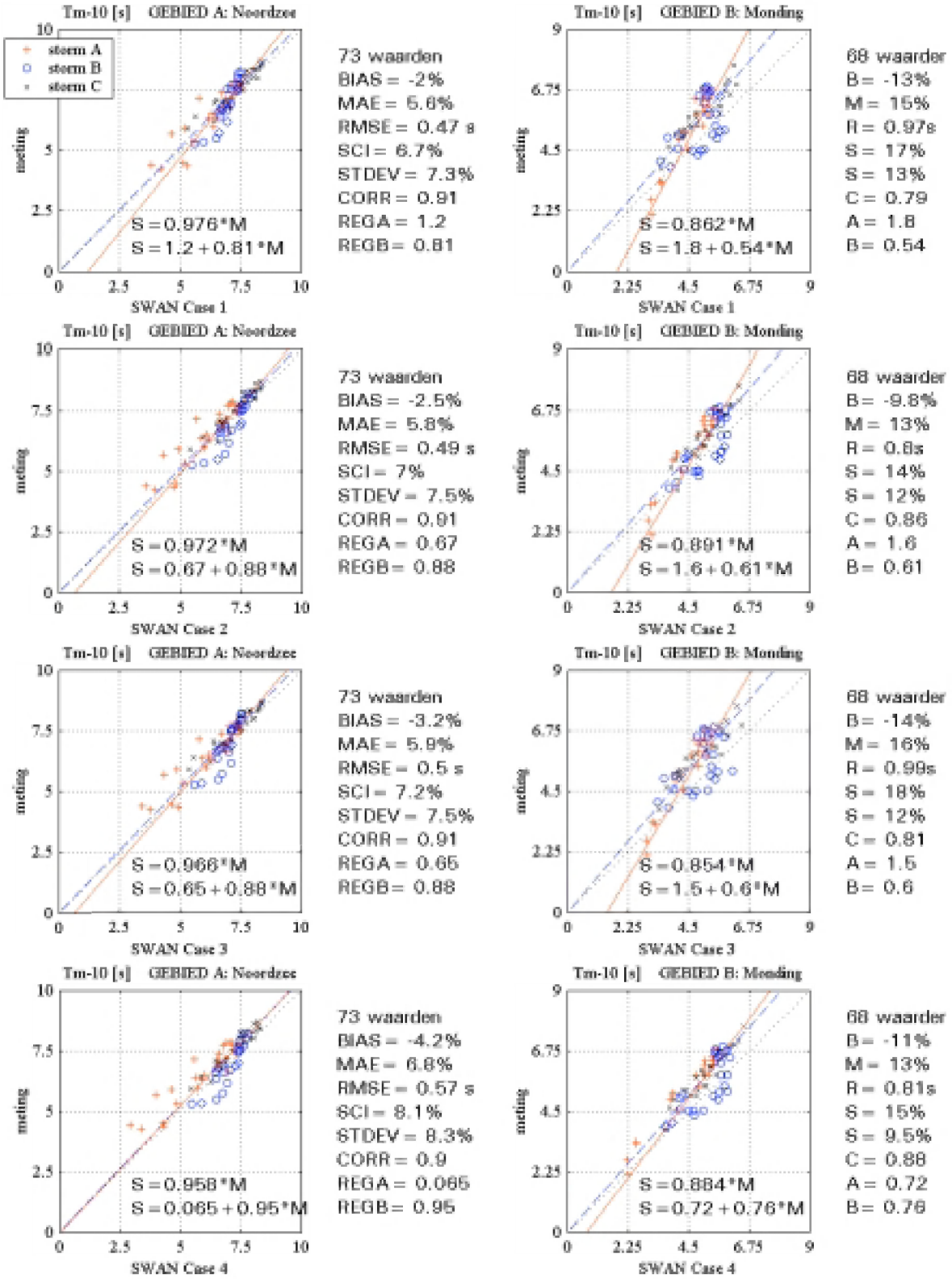
69 waarden
BIAS = -20%
MAE = 20%
RMSE = 0.93 s
SCI = 25%
STDEV = 14%
CORR = 0.58
REGA = 1.6
REGB = 0.36



70 waarden
BIAS = -21%
MAE = 20%
RMSE = 0.93 s
SCI = 25%
STDEV = 13%
CORR = 0.66
REGA = 1
REGB = 0.51

Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tpm [s] **FIGUUR 5.13**

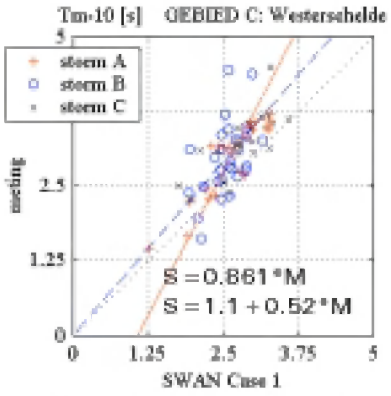
ROYAL HASKONING Westerschelde 1246 19-May-2003



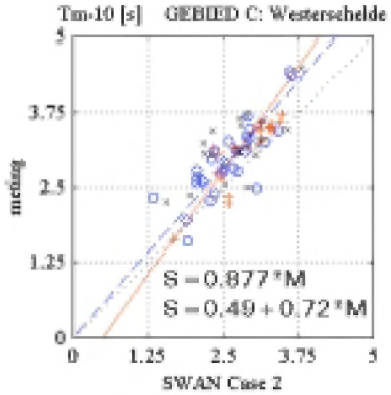
Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tm-10 [s] FIGUUR 5.14

ROYAL HASKONING 1246

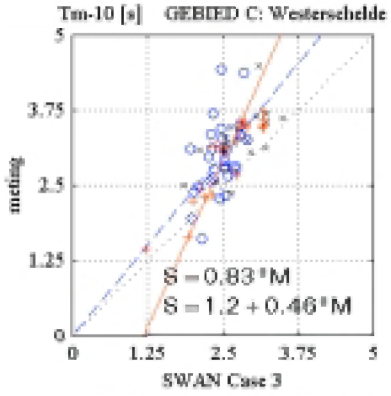
Noordzee & Monding 19-May-2003



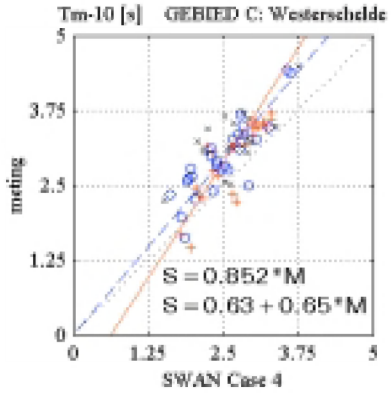
72 waarden
BIAS = -13%
MAE = 14%
RMSE = 0.66 s
SCI = 19%
STDEV = 13%
CORR = 0.72
REGA = 1.1
REGB = 0.52



69 waarden
BIAS = -12%
MAE = 14%
RMSE = 0.51 s
SCI = 16%
STDEV = 12%
CORR = 0.79
REGA = 0.49
REGB = 0.72



71 waarden
BIAS = -16%
MAE = 16%
RMSE = 0.64 s
SCI = 21%
STDEV = 13%
CORR = 0.69
REGA = 1.2
REGB = 0.46

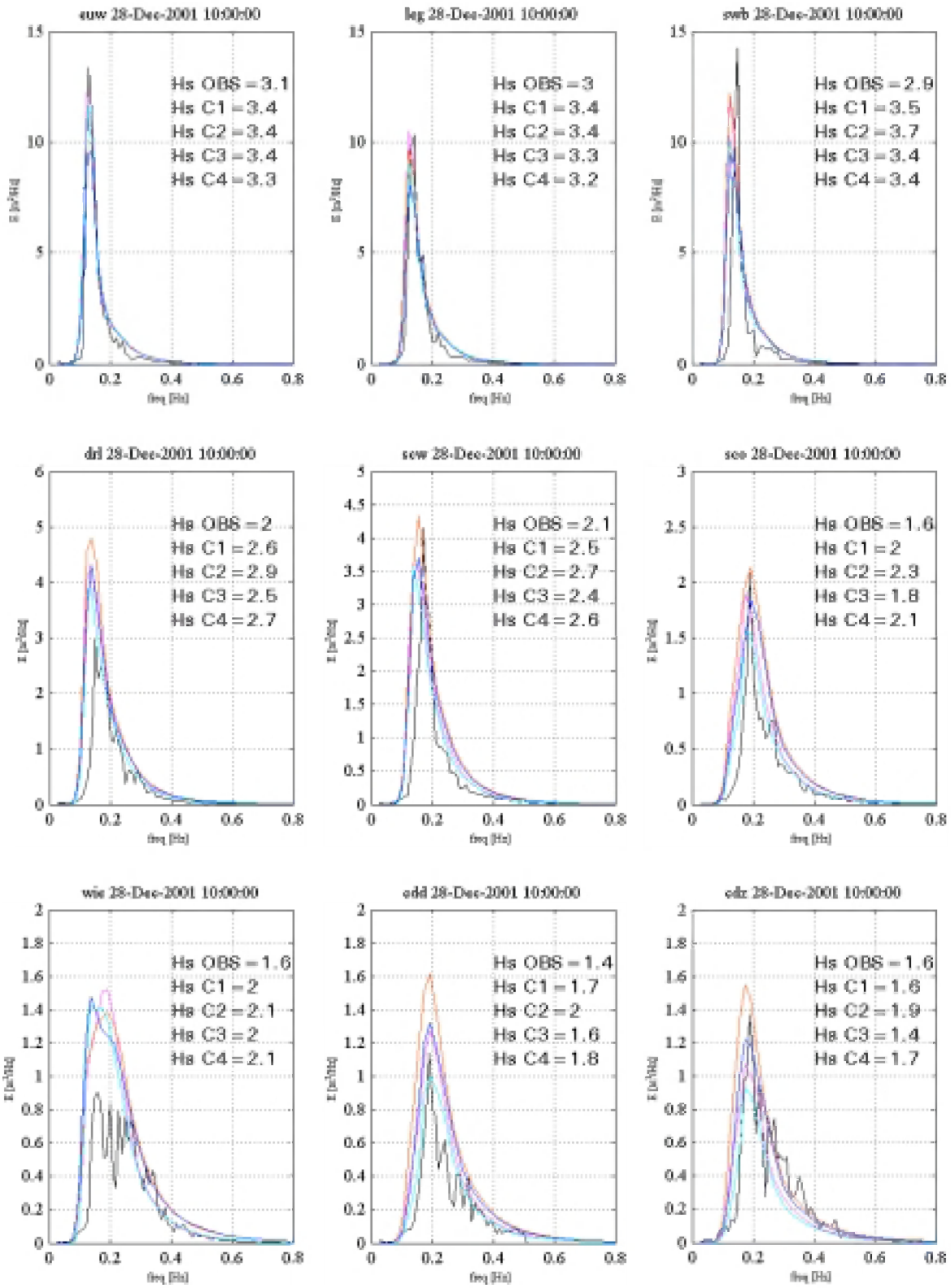


72 waarden
BIAS = -14%
MAE = 16%
RMSE = 0.56 s
SCI = 18%
STDEV = 13%
CORR = 0.79
REGA = 0.63
REGB = 0.65

Scatterplots meting - SWAN Case 1, 2, 3, 4; parameter: Tm-10 [s] FIGUUR 5.15

ROYAL HASKONING 1246

Westerschelde 19-May-2003

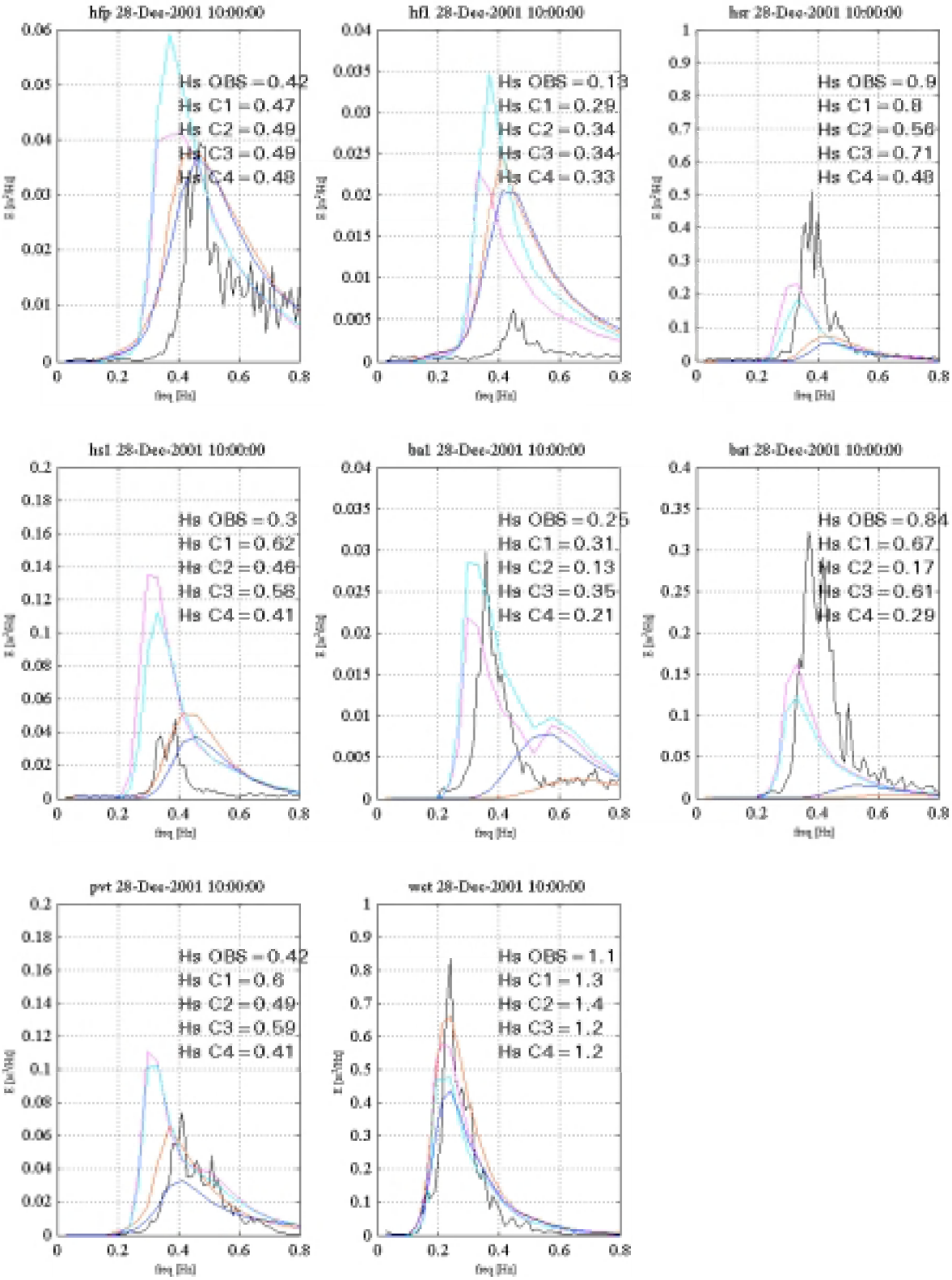


Spectra storm B tijdstip 1 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.16.a**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

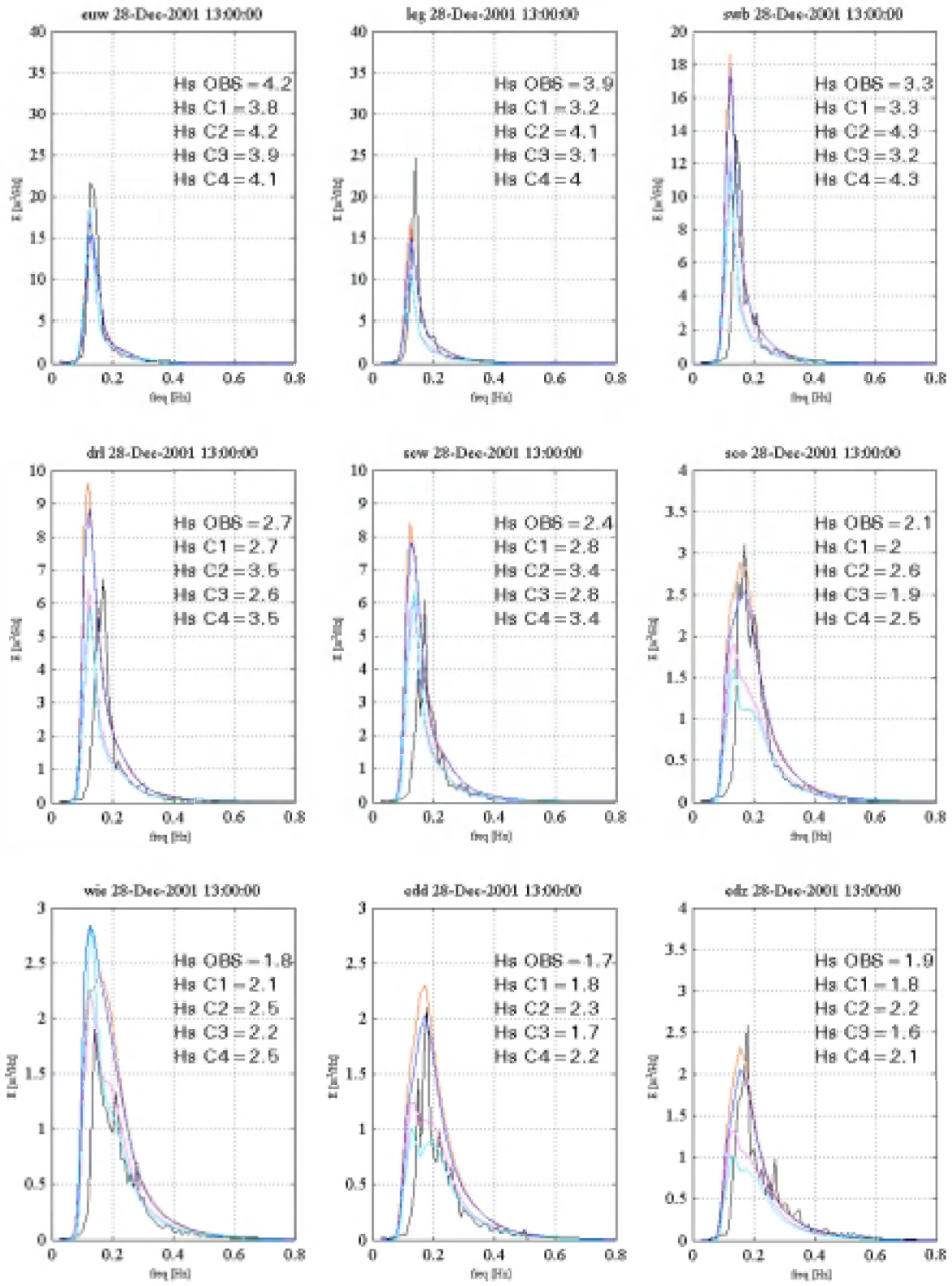
21-May-2003



Spectra storm B tijdstip 1 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.16.b**

1246

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4 — 21-May-2003

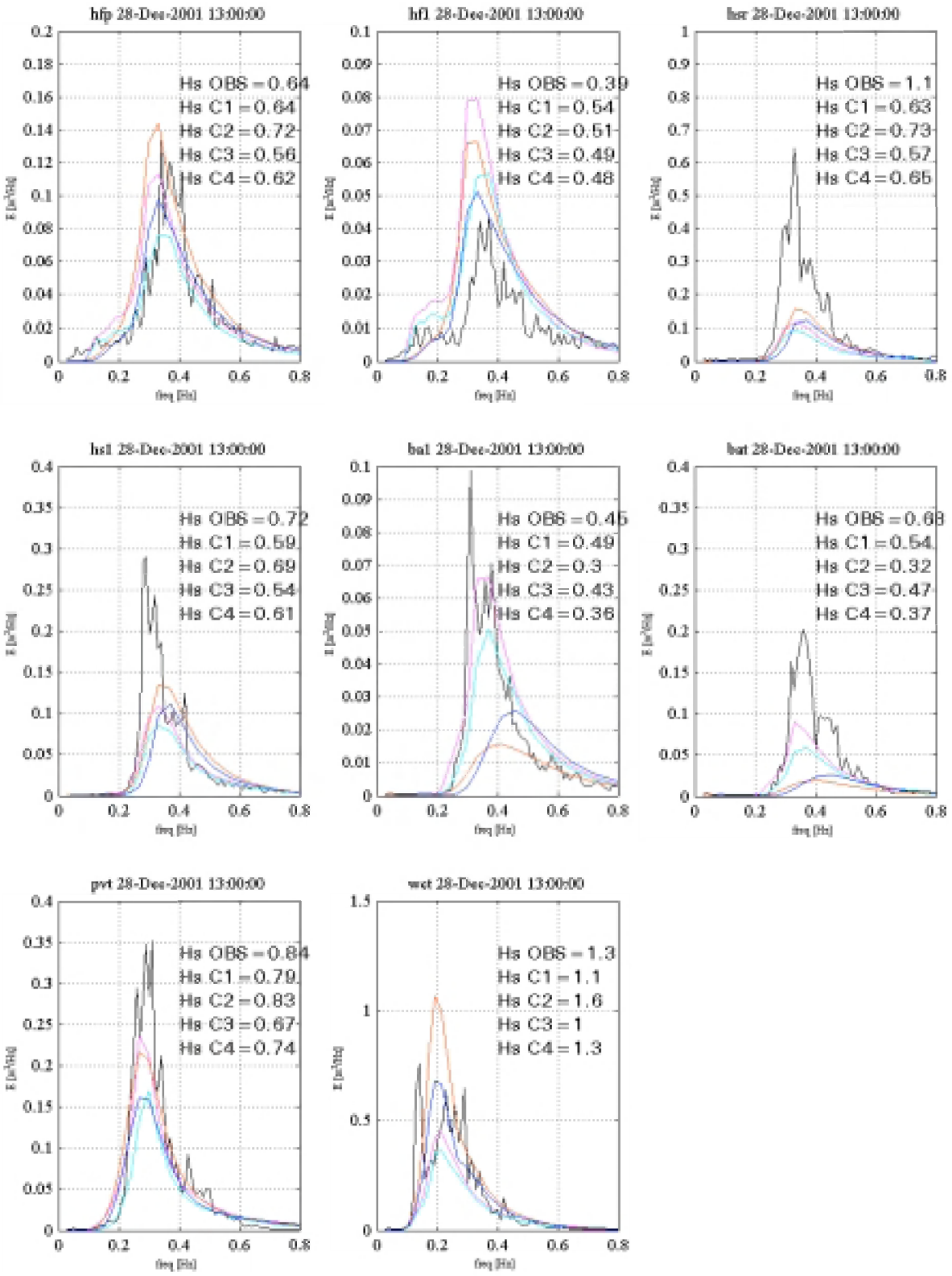


Spectra storm B tijdstip 2 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.17.a**

1248

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

21-May-2003

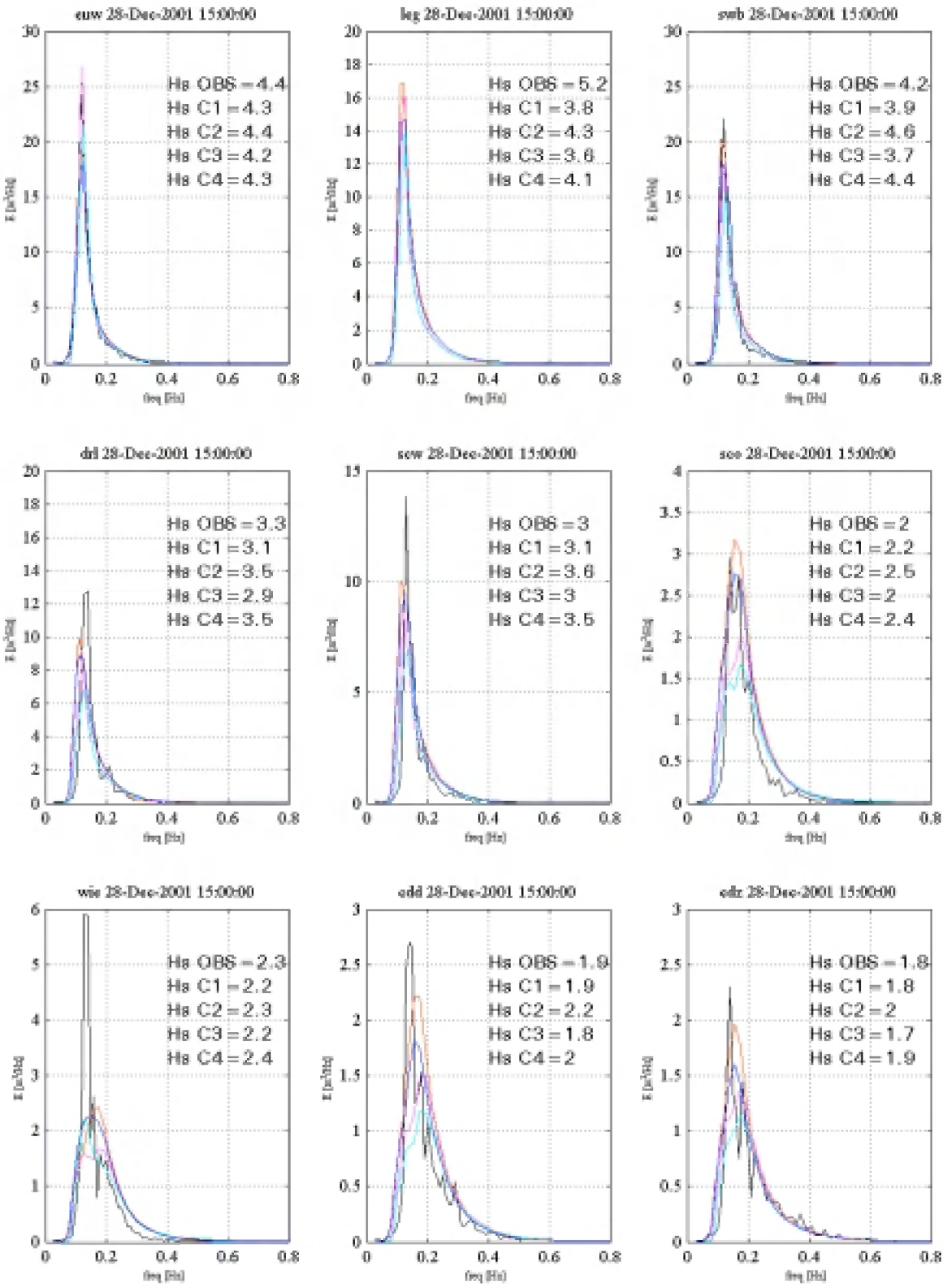


Spectra storm B tijdstip 2 Case 1, 2, 3 en 4 **FIGUUR 5.17.b**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1248

21-May-2003

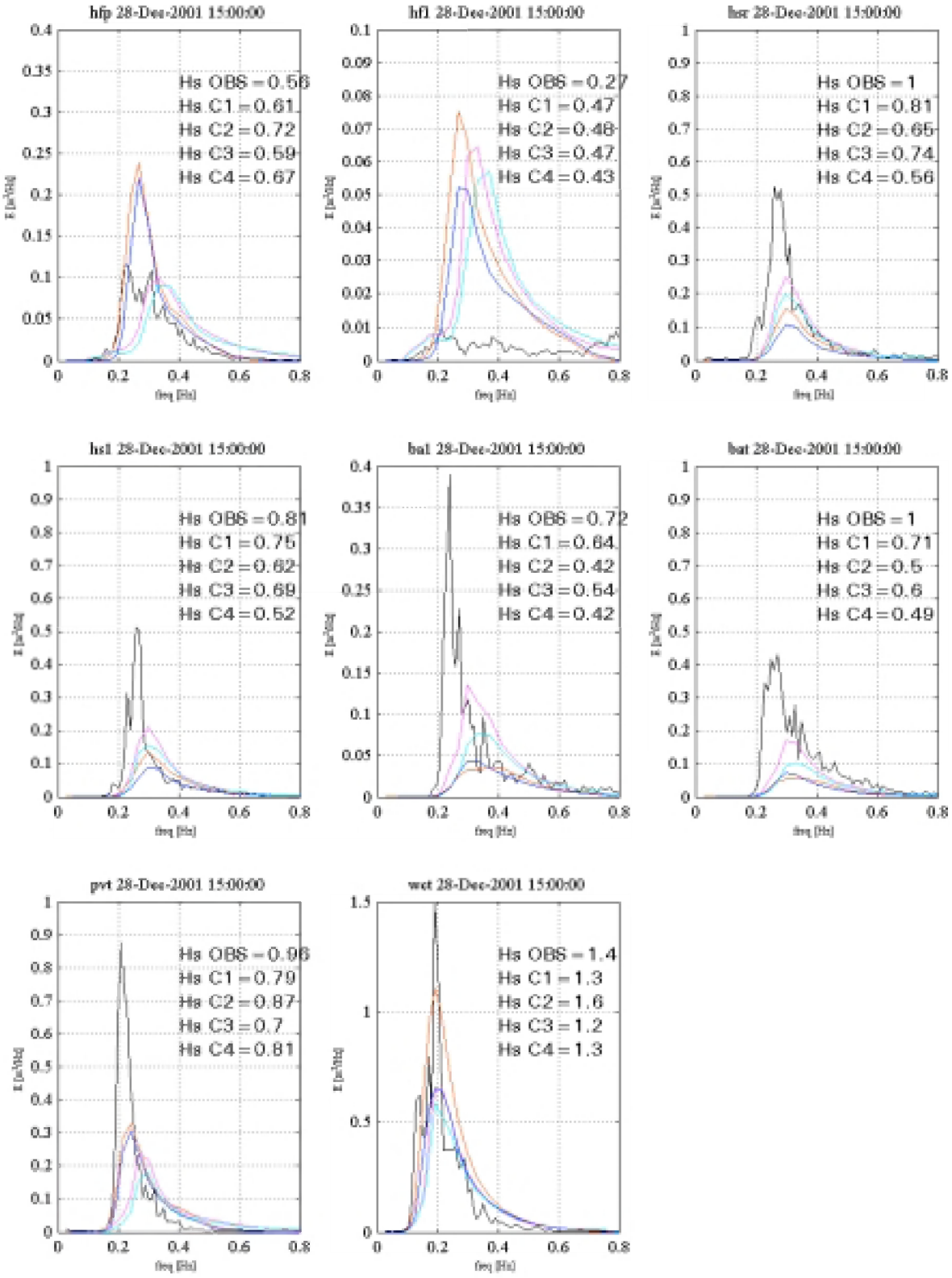


Spectra storm B tijdstip 3 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.18.a**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

21-May-2003

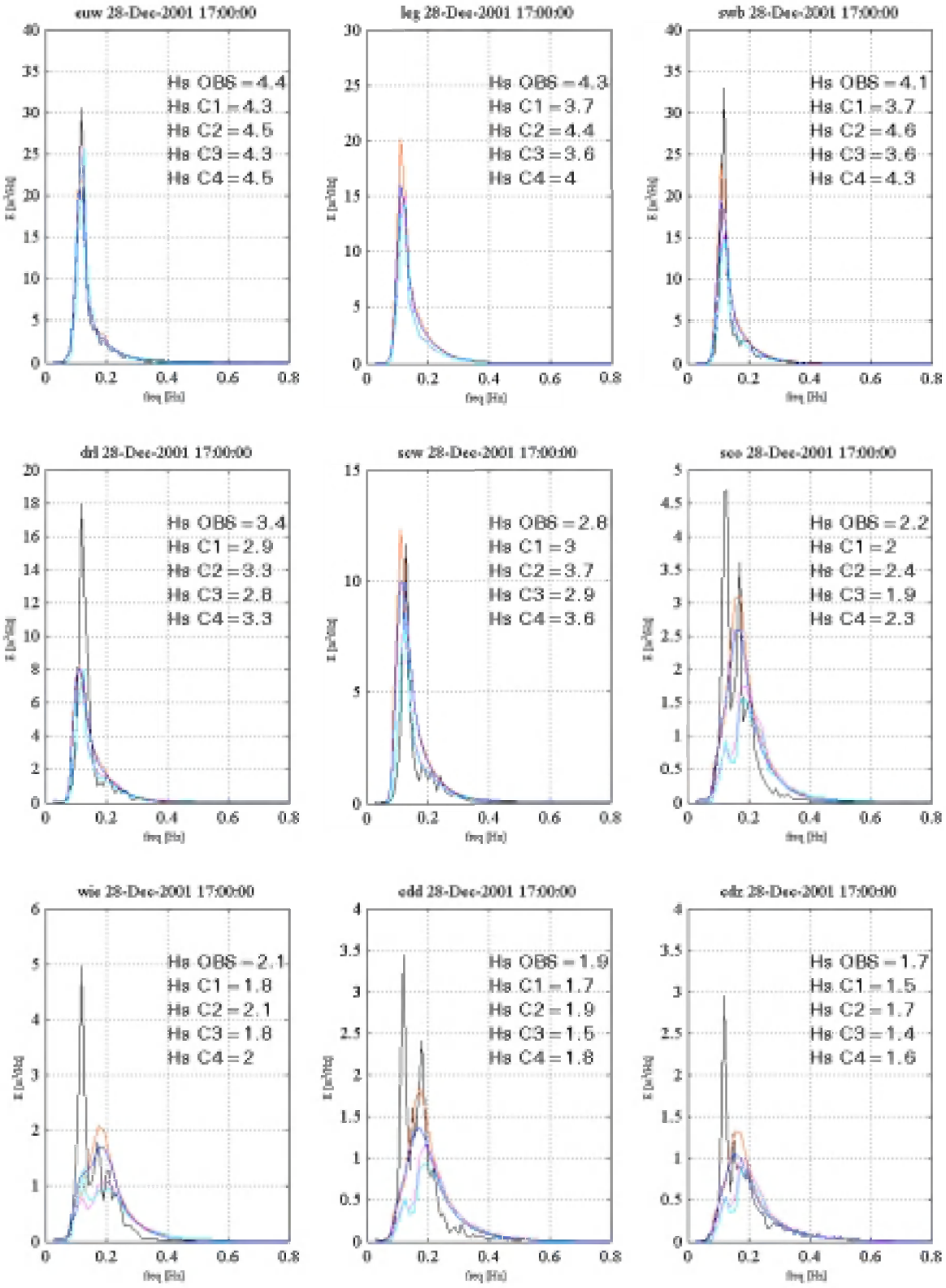


Spectra storm B tijdstip 3 Case 1, 2, 3 en 4 **FIGUUR 5.18.b**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

21-May-2003

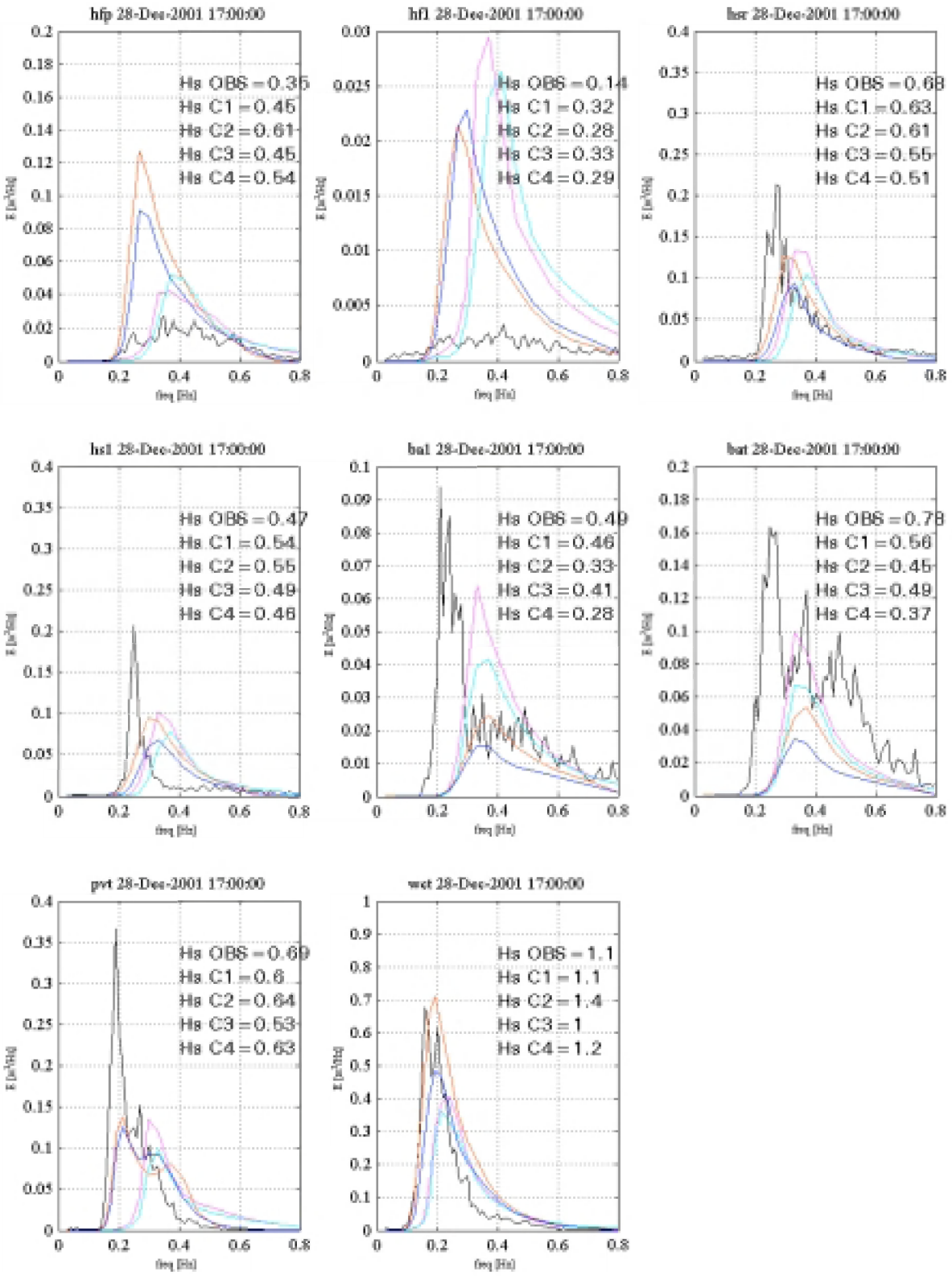


Spectra storm B tijdstip 4 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.19.a**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

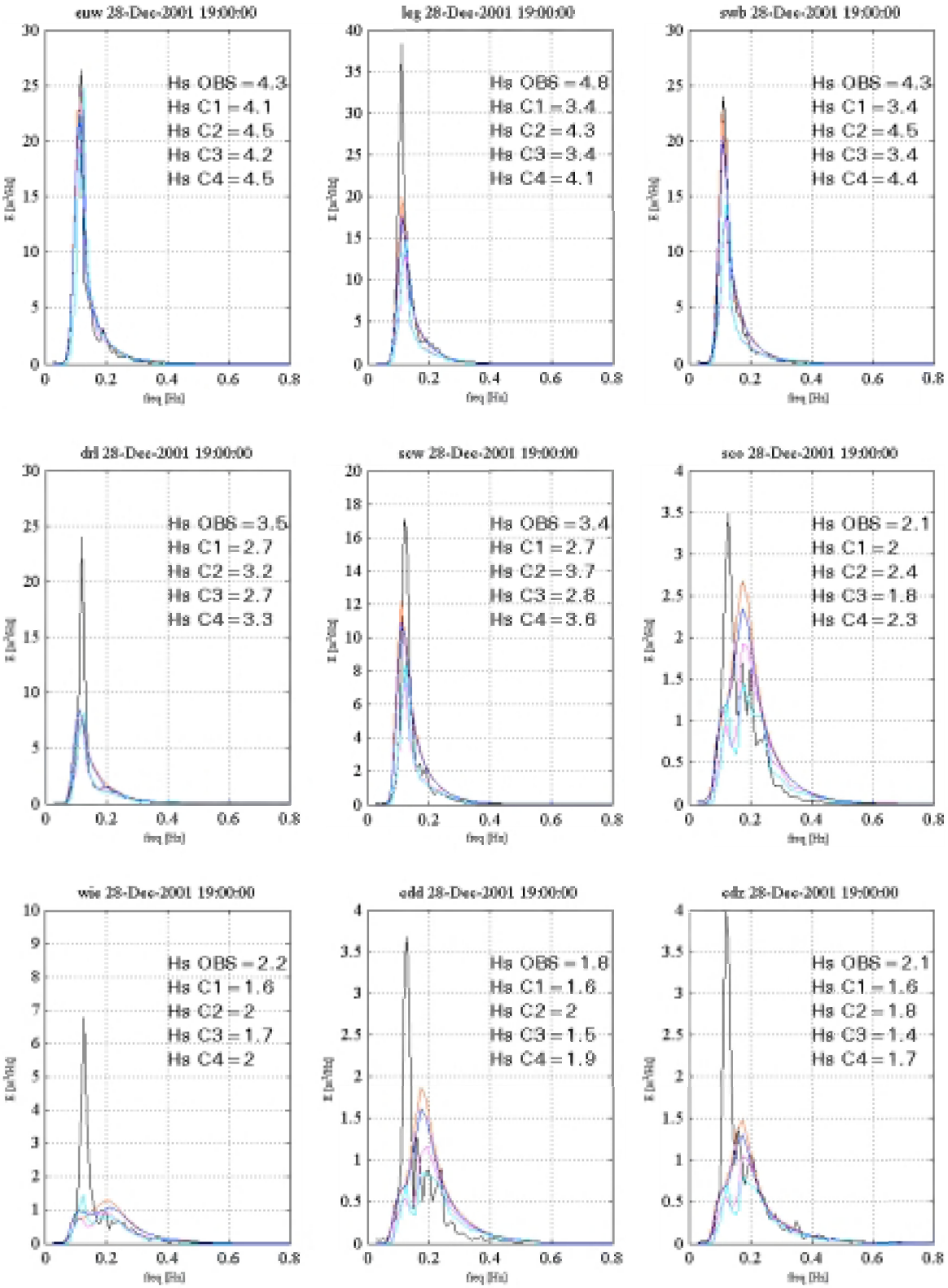
21-May-2003



Spectra storm B tijdstip 4 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.19.b**

1248

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4 — 21-May-2003

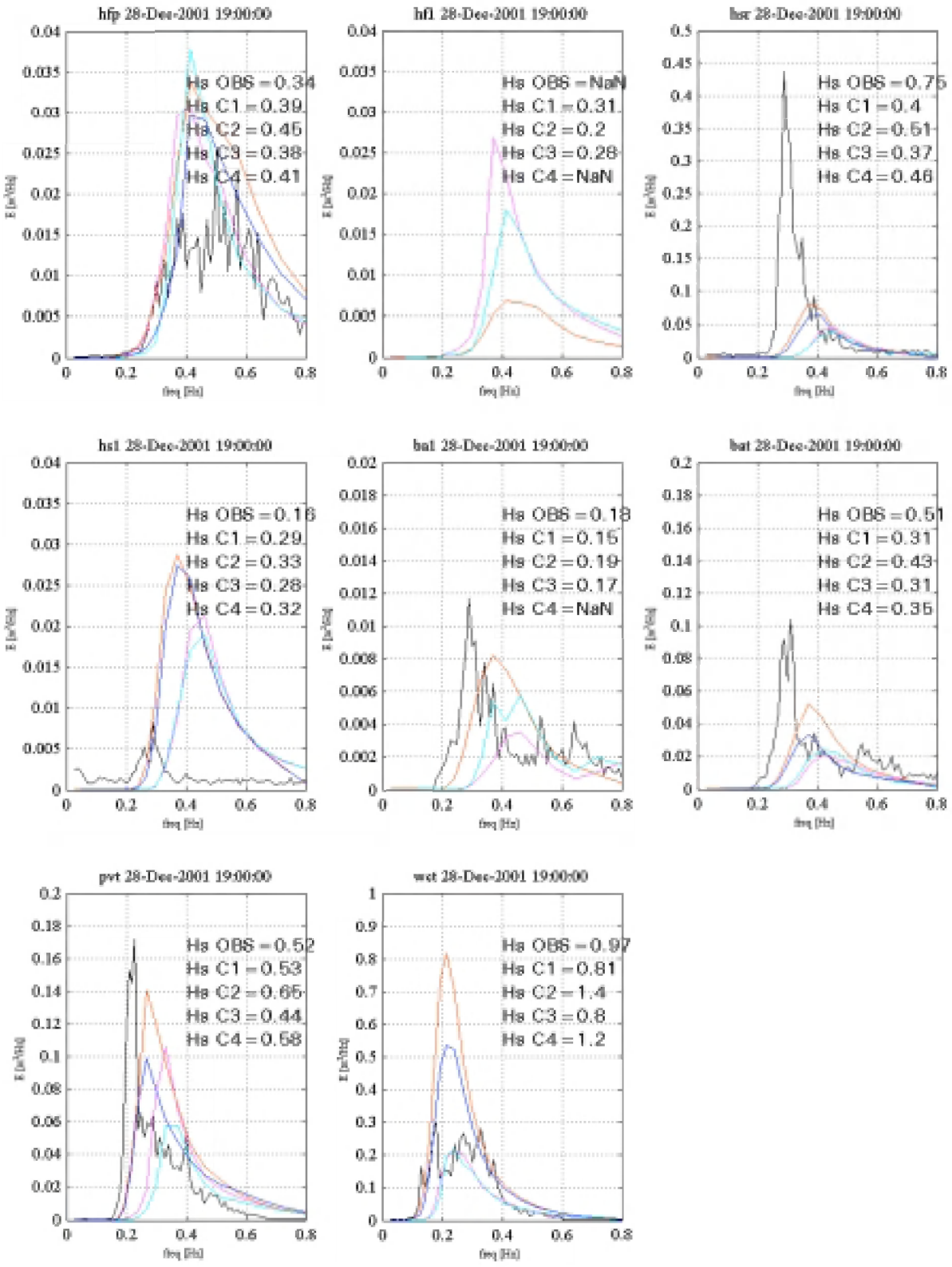


Spectra storm B tijdstip 5 Case 1, 2, 3 en 4 — **FIGUUR 5.20.a**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

21-May-2003

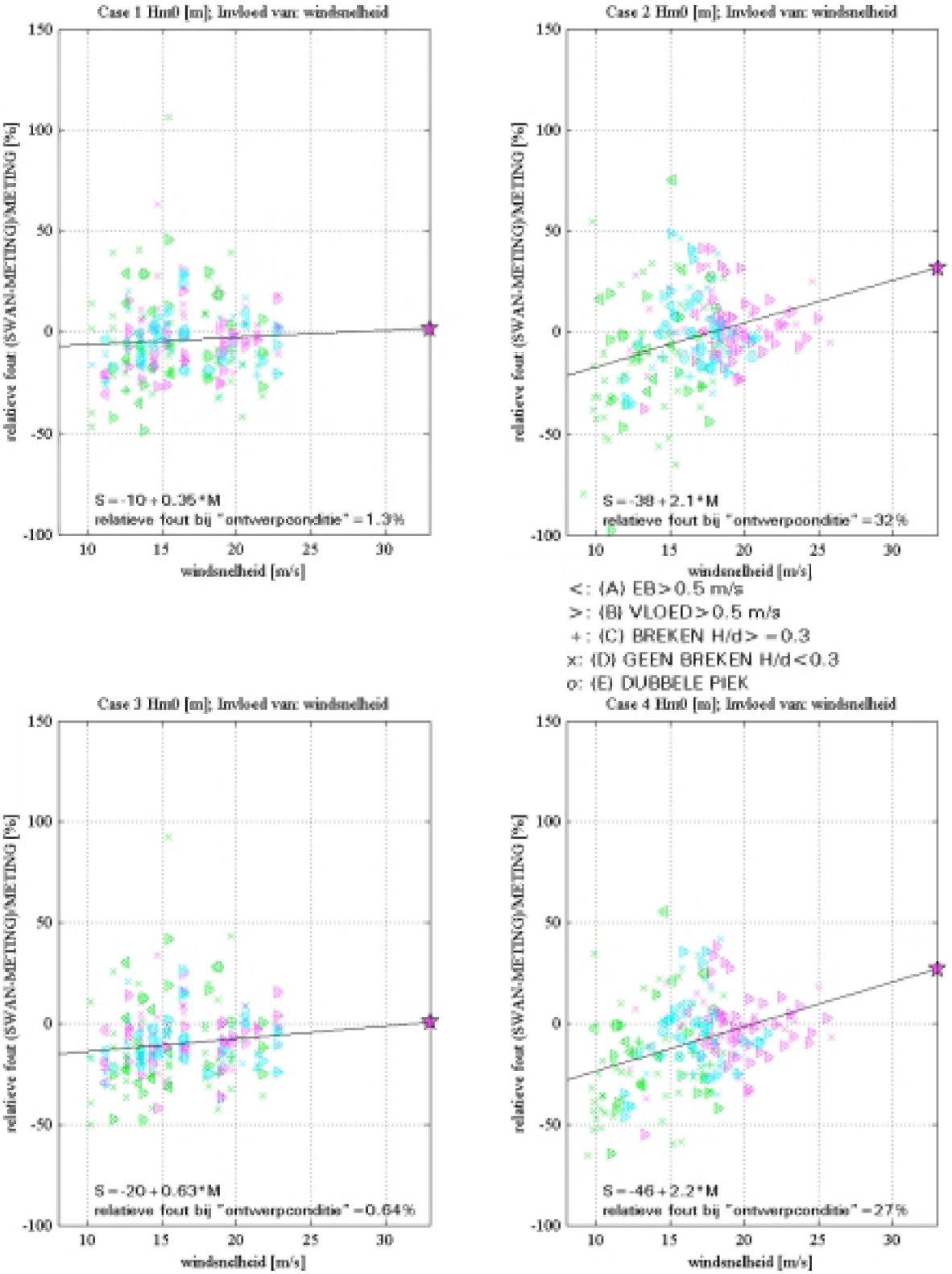


Spectra storm 8 tijdstip 6 Case 1, 2, 3 en 4 **FIGUUR 5.20.b**

ROYAL HASKONING zwart = meting; rose = C1; rood = C2, lichtblauw = C3; blauw = C4

1246

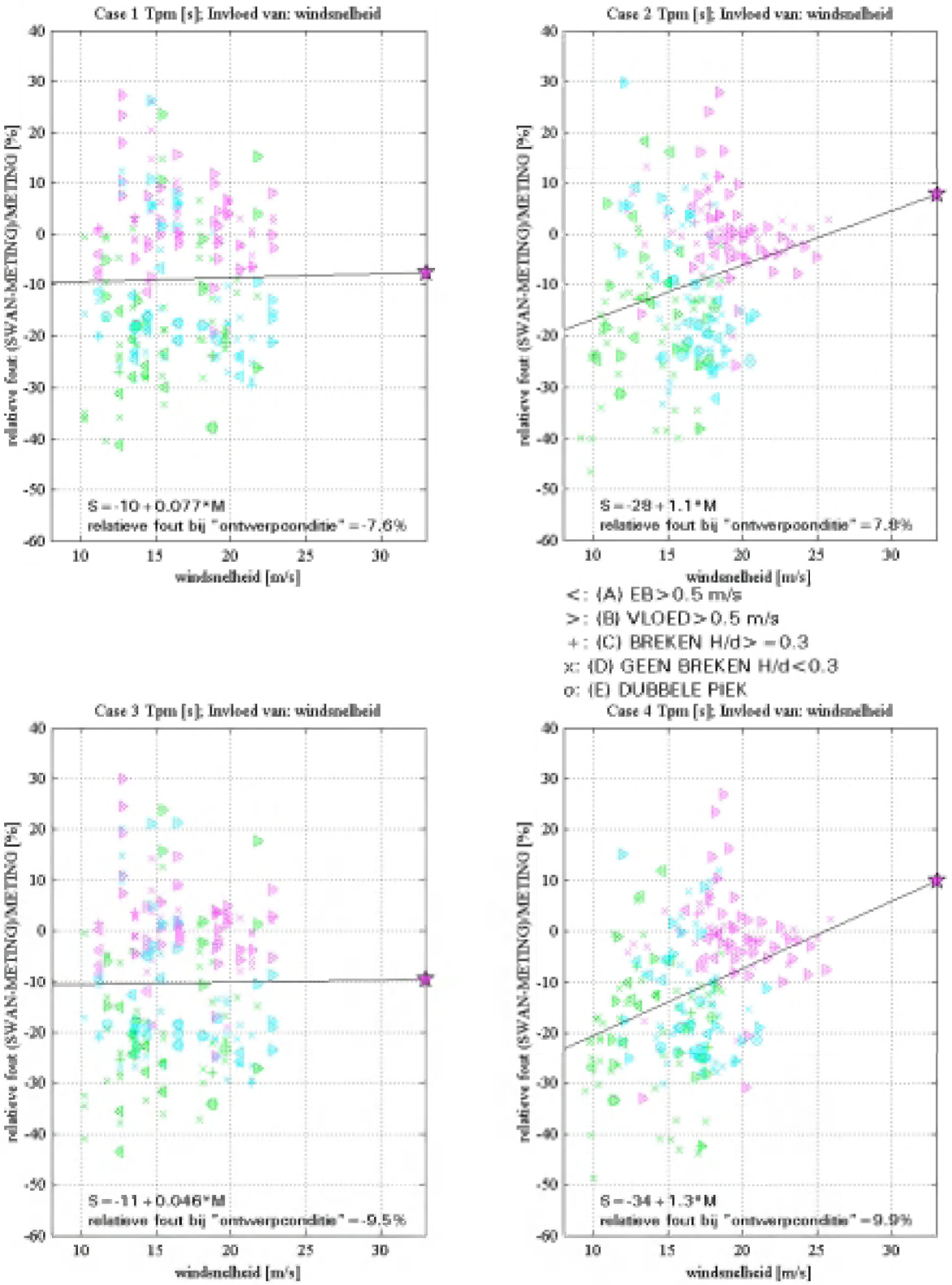
21-May-2003



Invloed van windsnelheid op parameter: Hm0 [m] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.1.a.**

1246

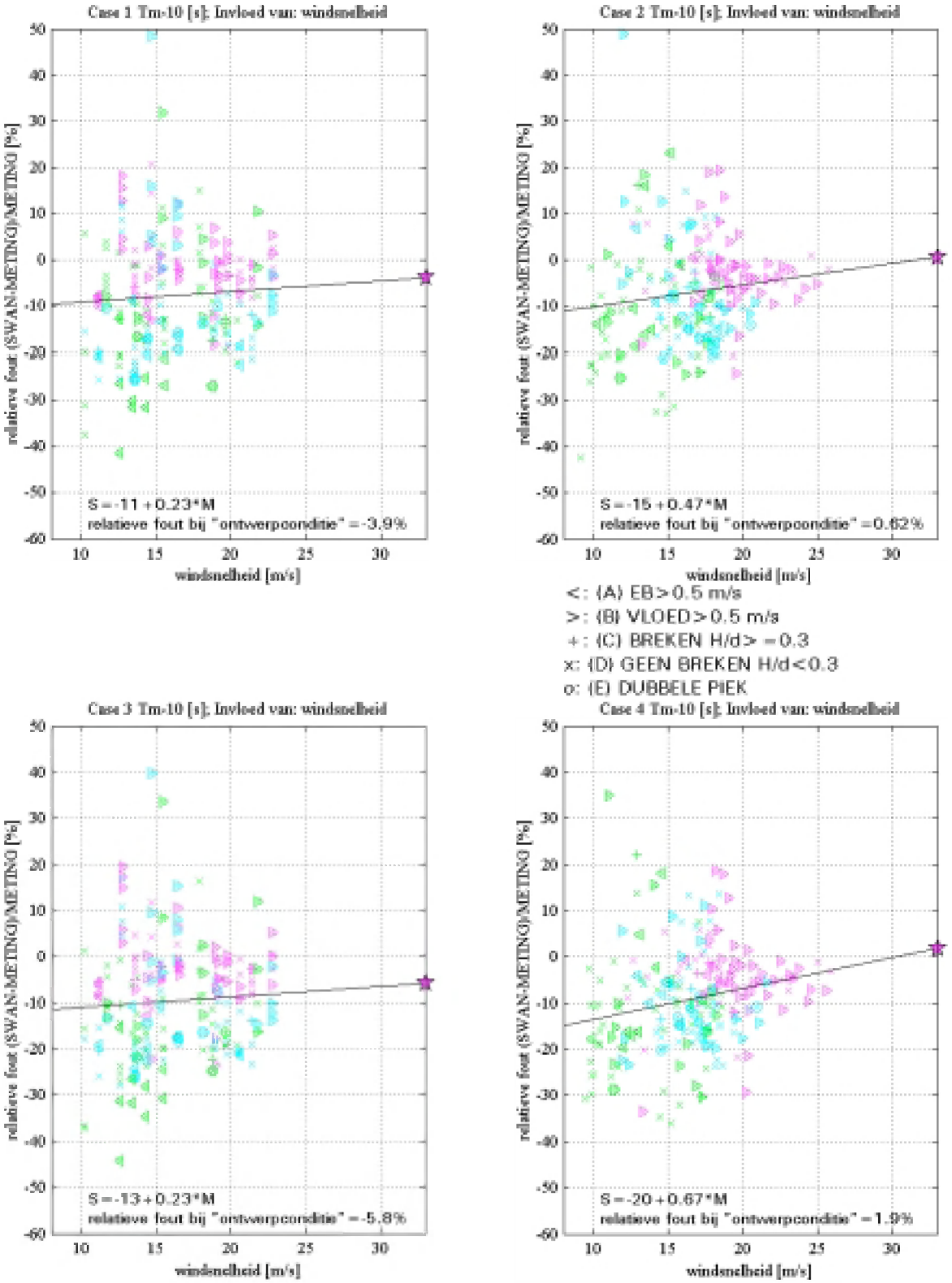
ROYAL HASKONING groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



Invloed van windsnelheid op parameter: Tpm [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.2.a.**

1246

ROYAL HASKONING groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



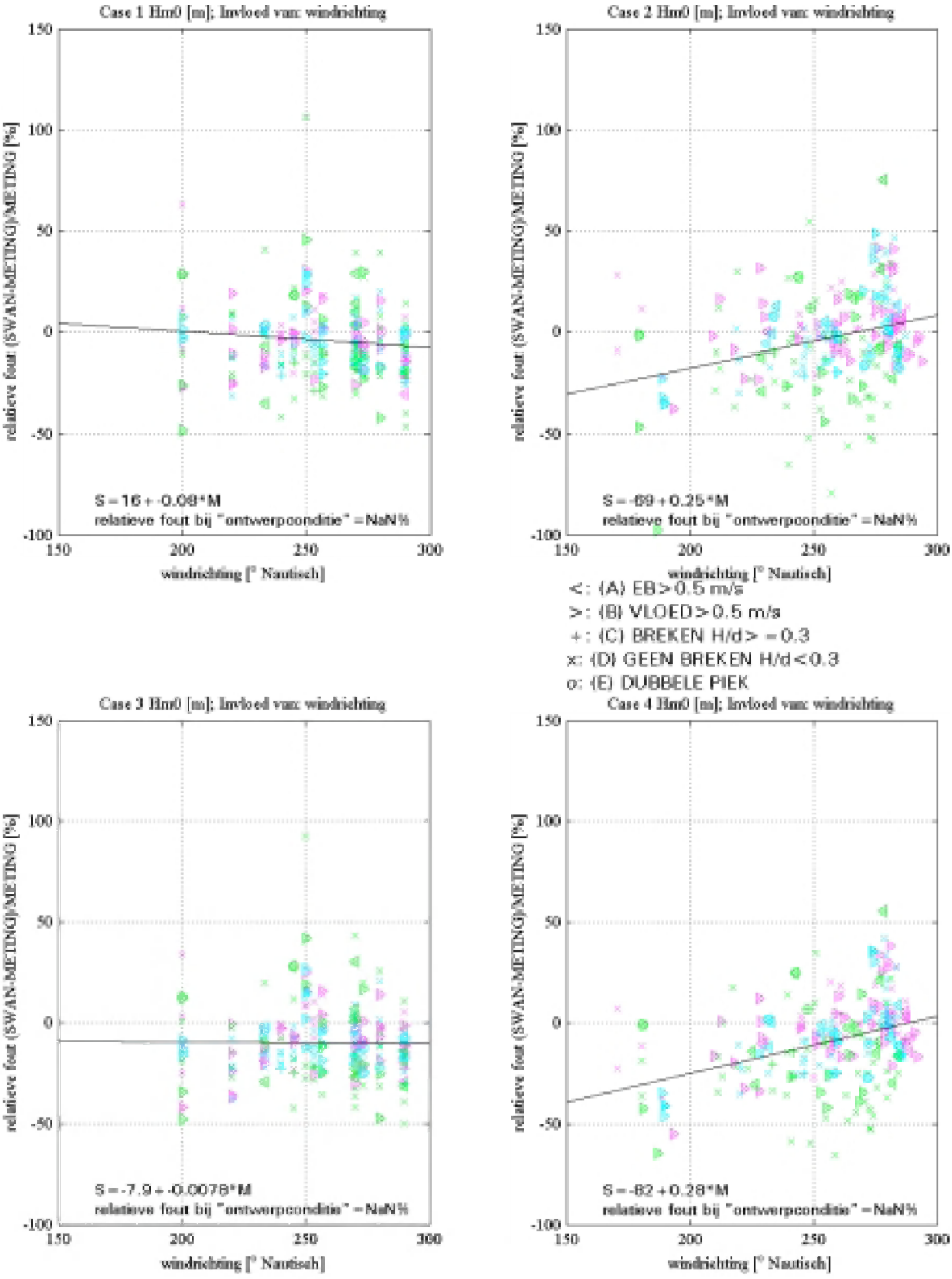
ROYAL HASKONING

Invloed van windsnelheid op parameter: Tm-10 [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.3.a.**

1246

groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee

11-Jun-2003

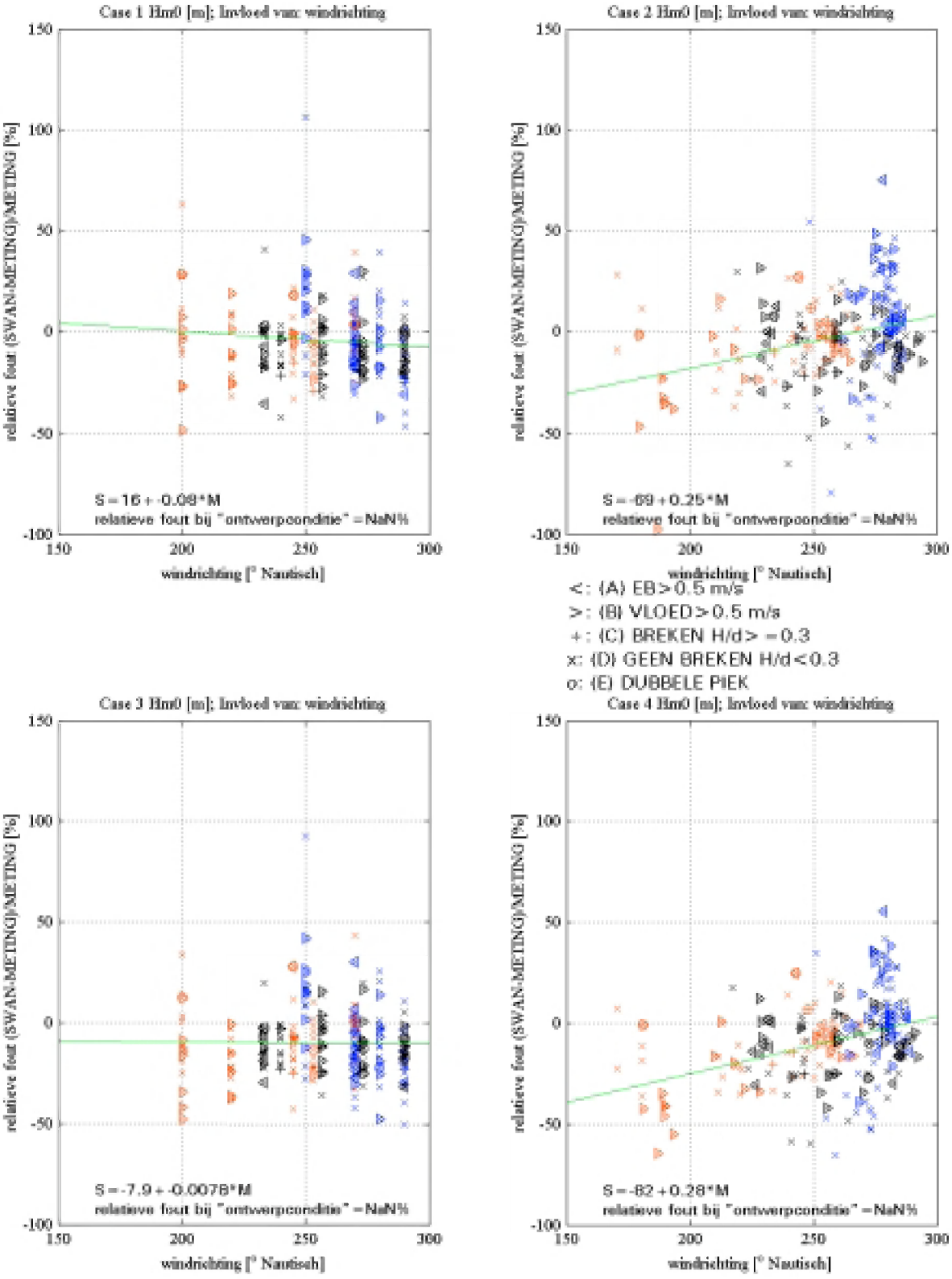


ROYAL HASKONING

Invloed van windrichting op parameter: Hm0 [m] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.4.a.**

1246

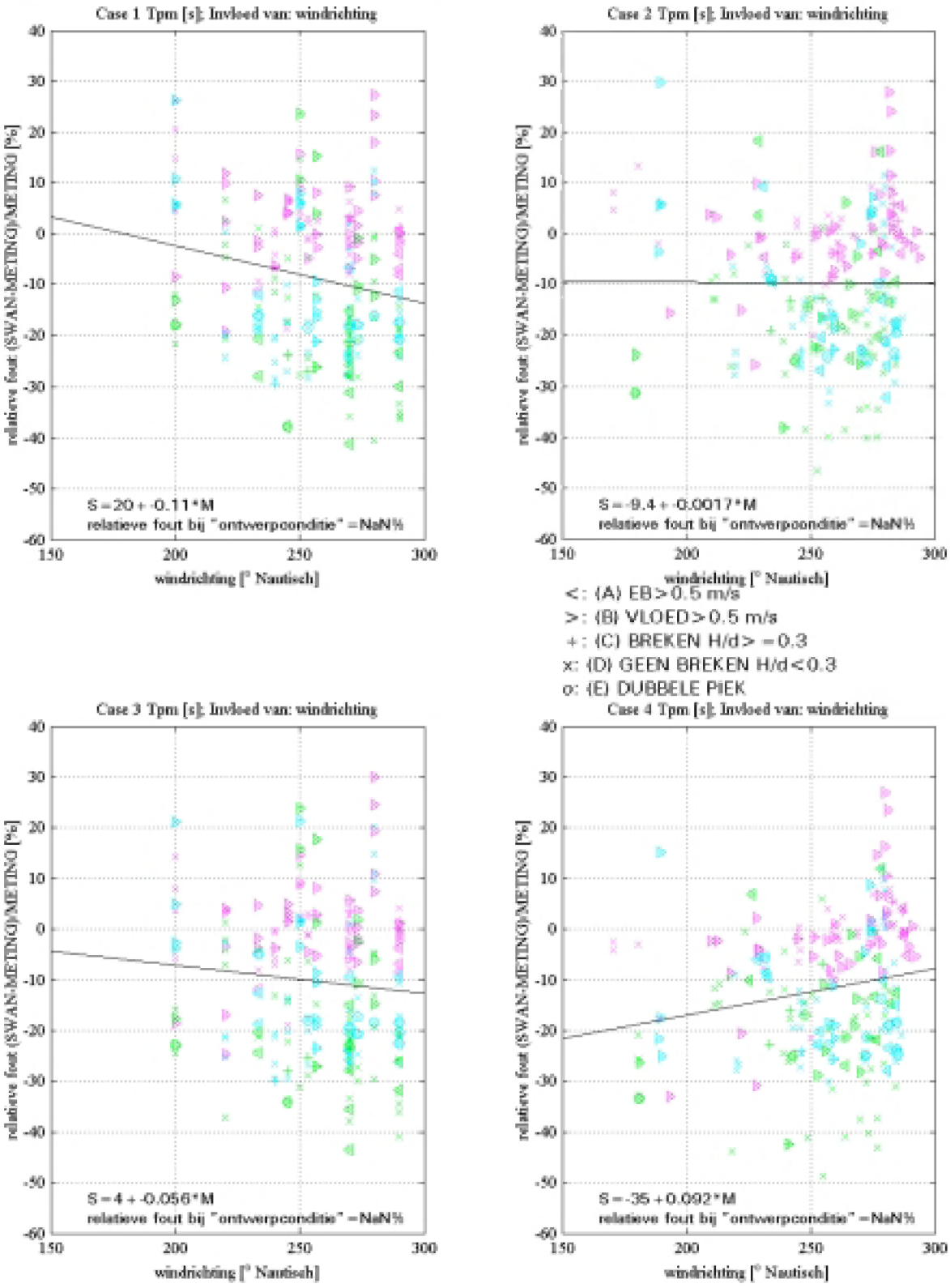
groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



Invloed van windrichting op parameter: Hm0 [m] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.4.b**

1246

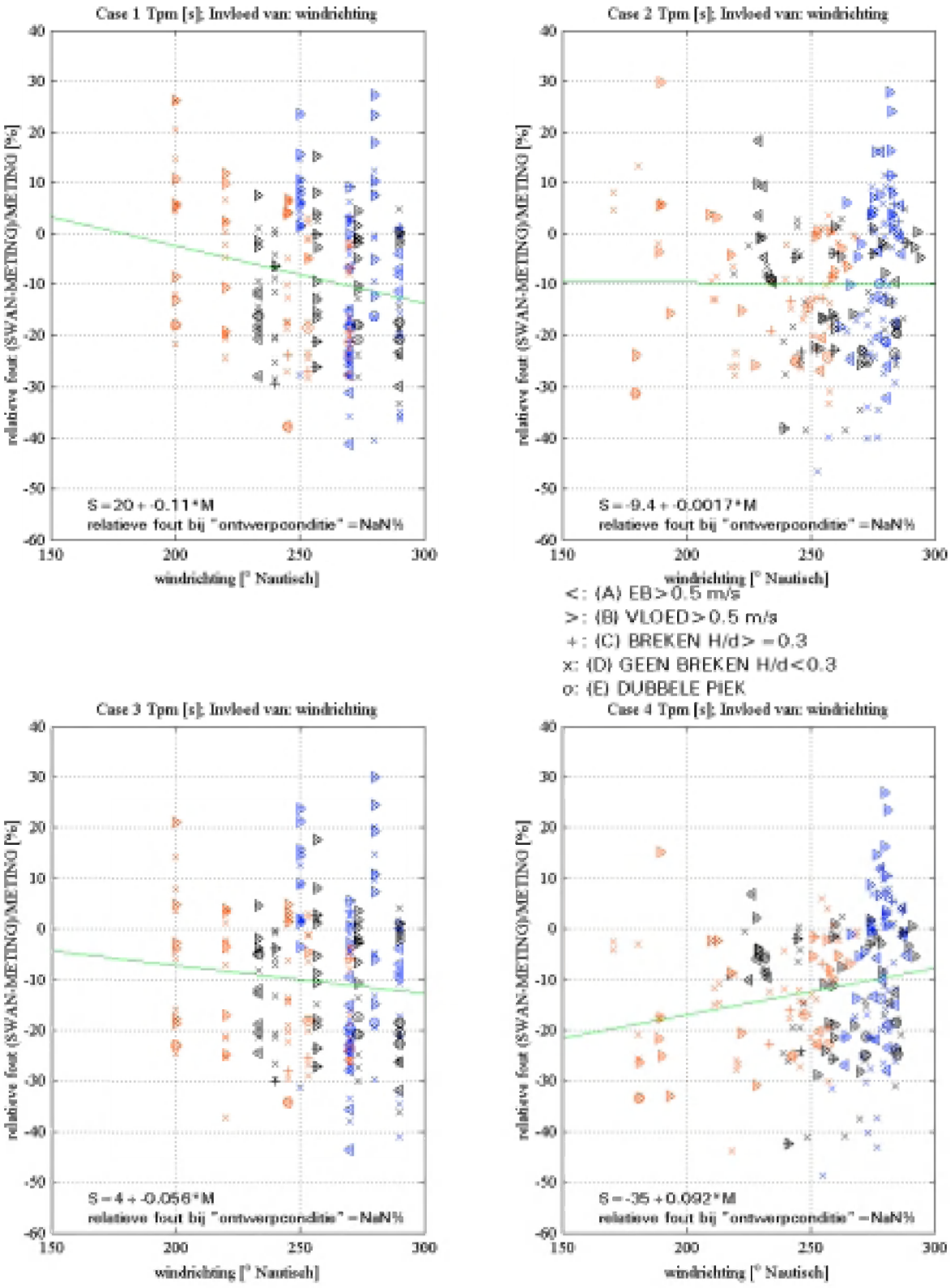
rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C 11-Jun-2003



Invloed van windrichting op parameter: Tpm [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.5.a.**

1246

ROYAL HASKONING groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



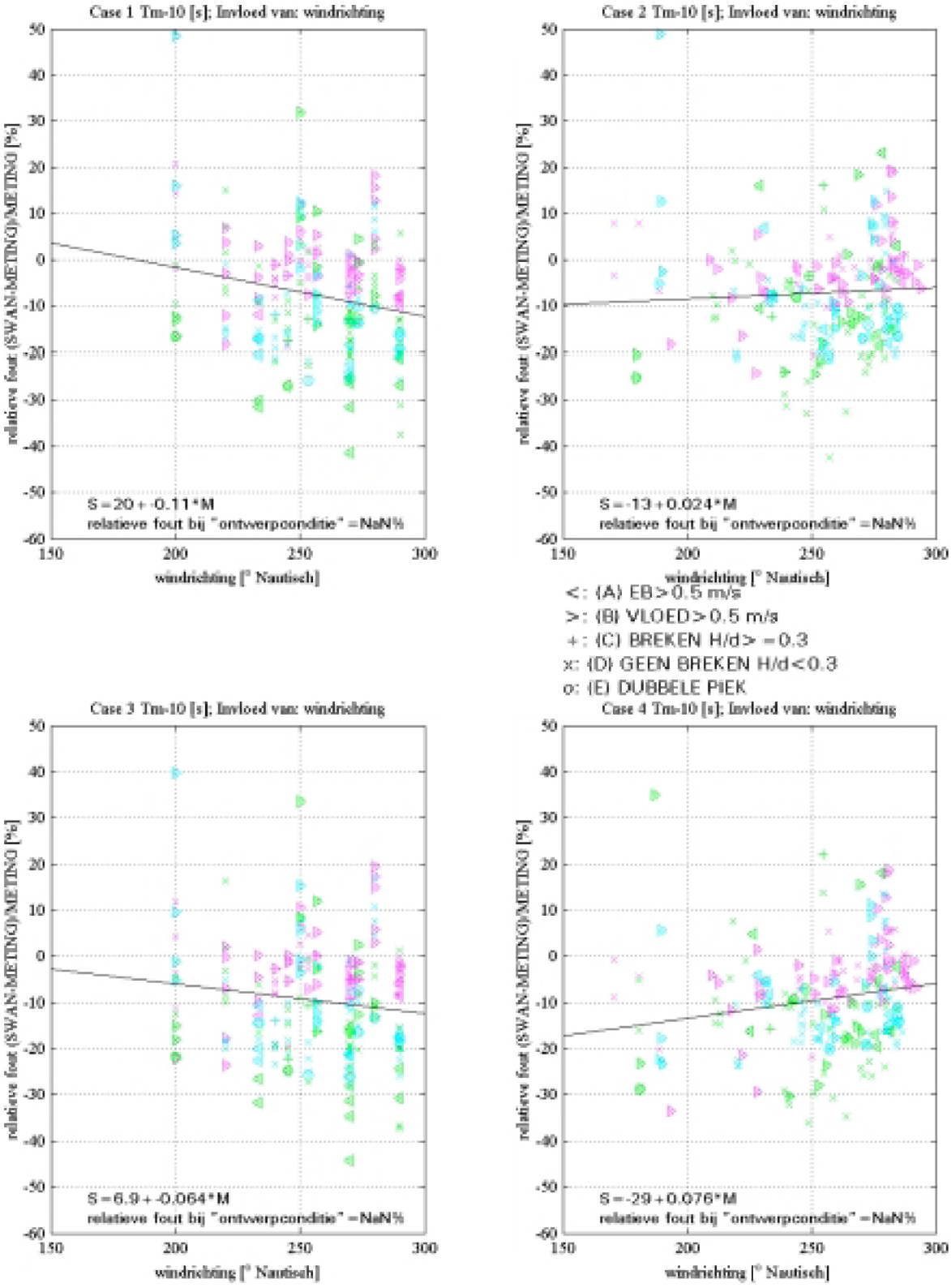
ROYAL HASKONING

Invloed van windrichting op parameter: Tpm [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.5.b**

1246

rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C

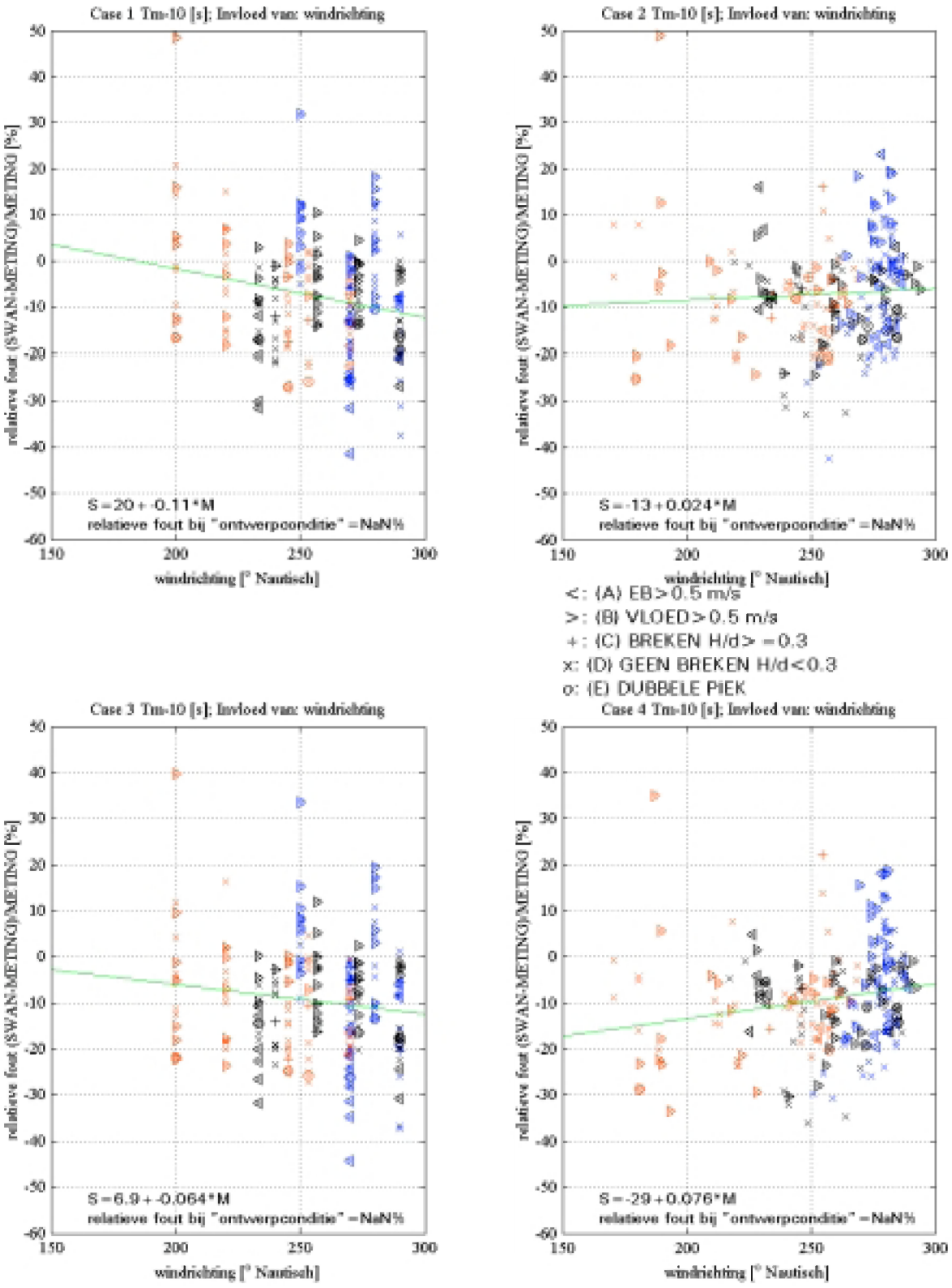
11-Jun-2003



Invloed van windrichting op parameter: Tm-10 [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.6.a.**

1246

ROYAL HASKONING groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



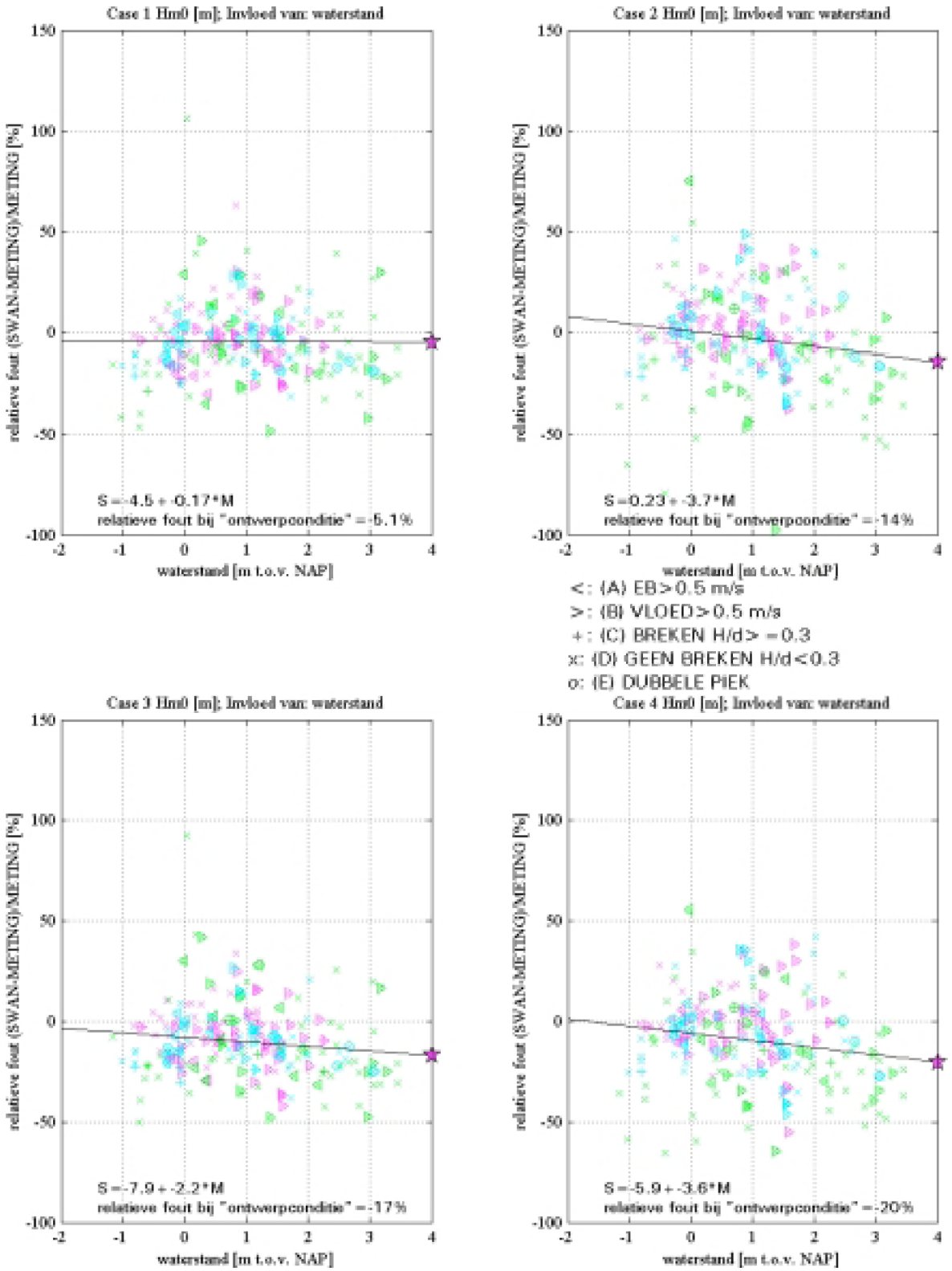
Invloed van windrichting op parameter: Tm-10 [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.6.b**

ROYAL HASKONING

rood = storm A; blauw = storm B; zwart = storm C

1246

11-Jun-2003

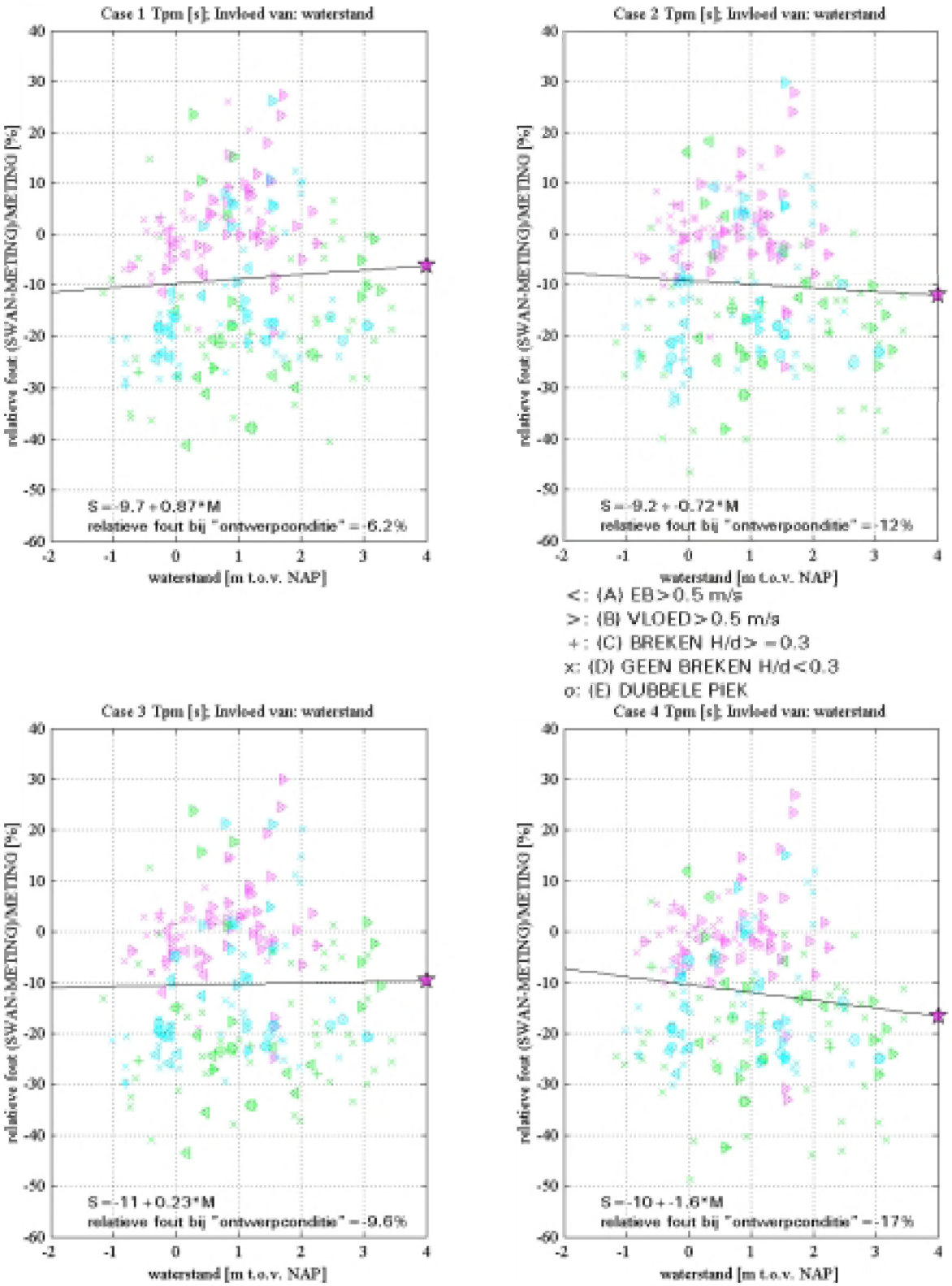


Invloed van waterstand op parameter: Hm0 [m] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.7.a.**

1246

groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003

ROYAL HASKONING

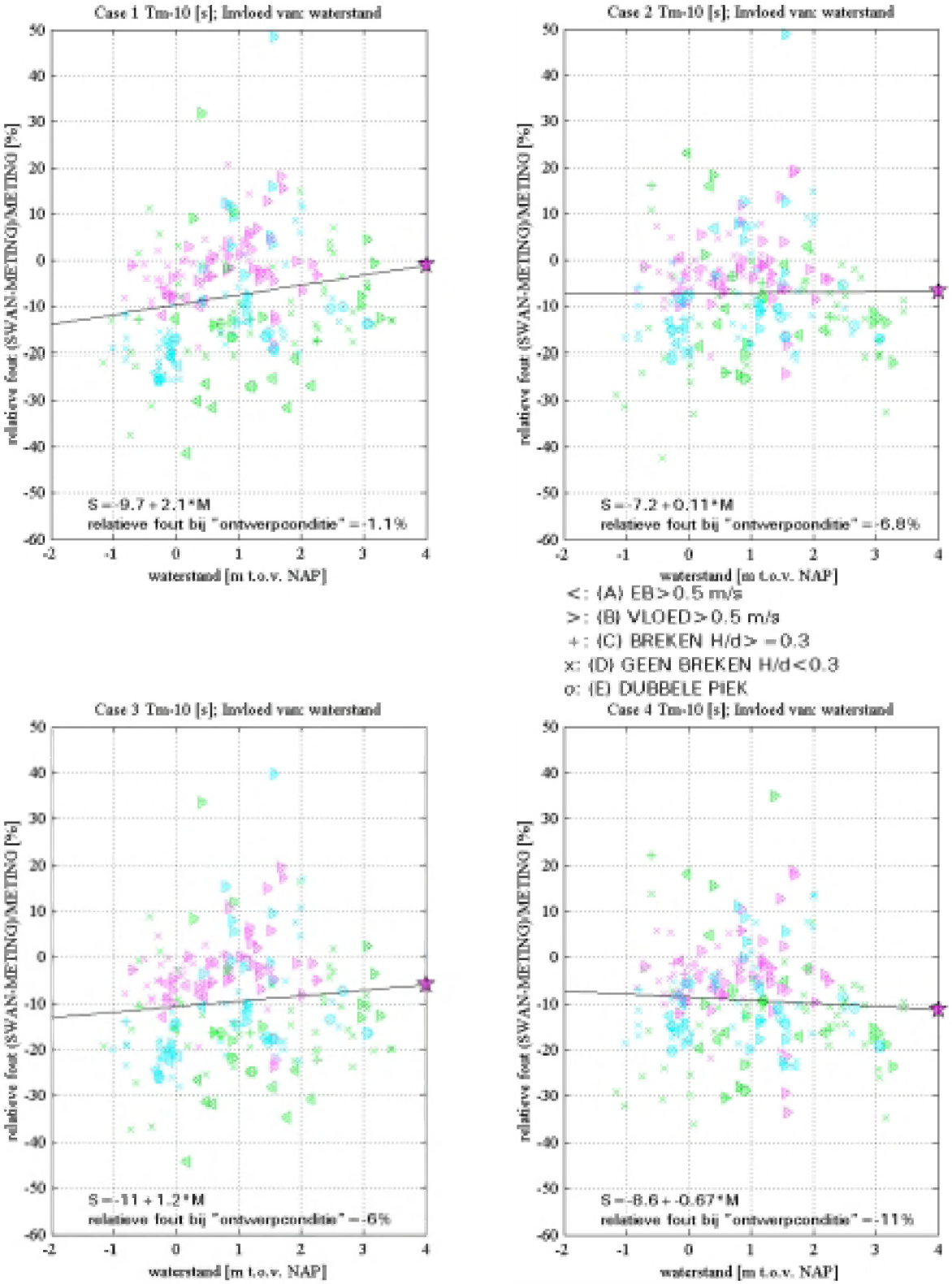


ROYAL HASKONING

Invloed van waterstand op parameter: Tpm [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.8.a.**

1246

groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003

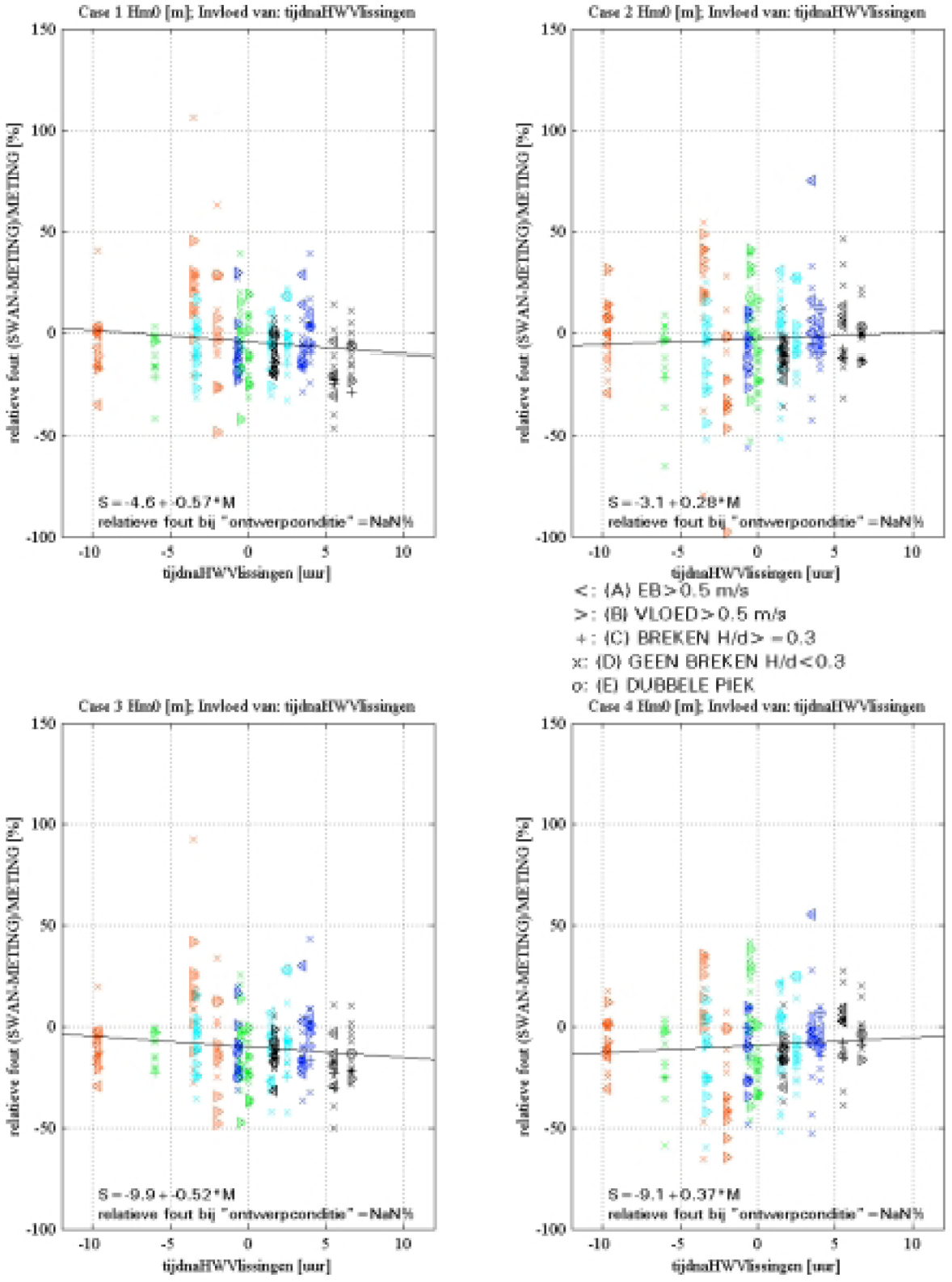


ROYAL HASKONING

Invloed van waterstand op parameter: Tm-10 [s] Case 1, 2, 3, 4 **FIGUUR 6.9.a.**

1246

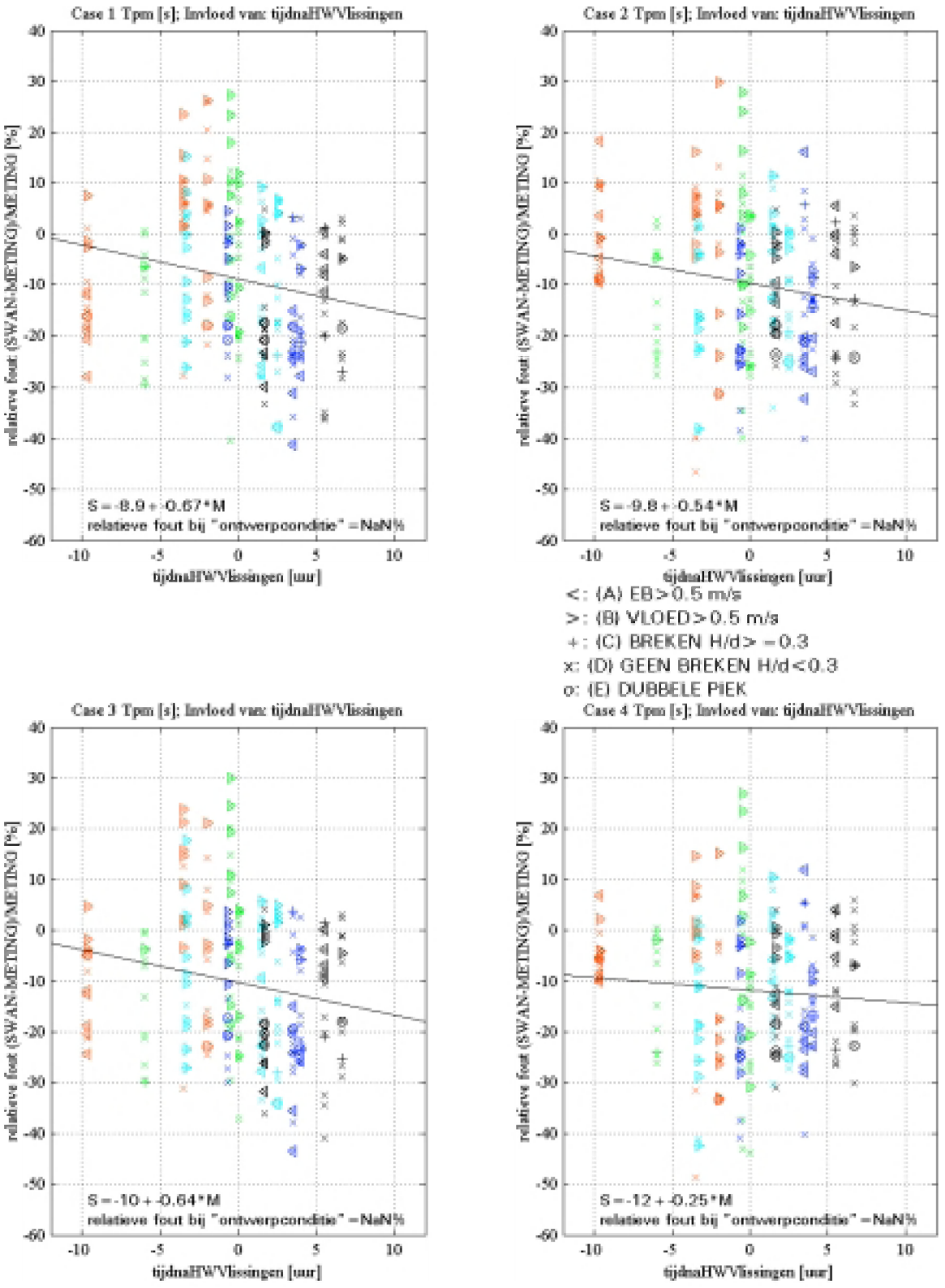
groen = Westerschelde; blauw = monding; rose = Noordzee 11-Jun-2003



loed van tijdnaHWVlissingen op parameter: Hm0 [m] Case 1, 2, 3, 4 FIGUUR 6.10.a

1246

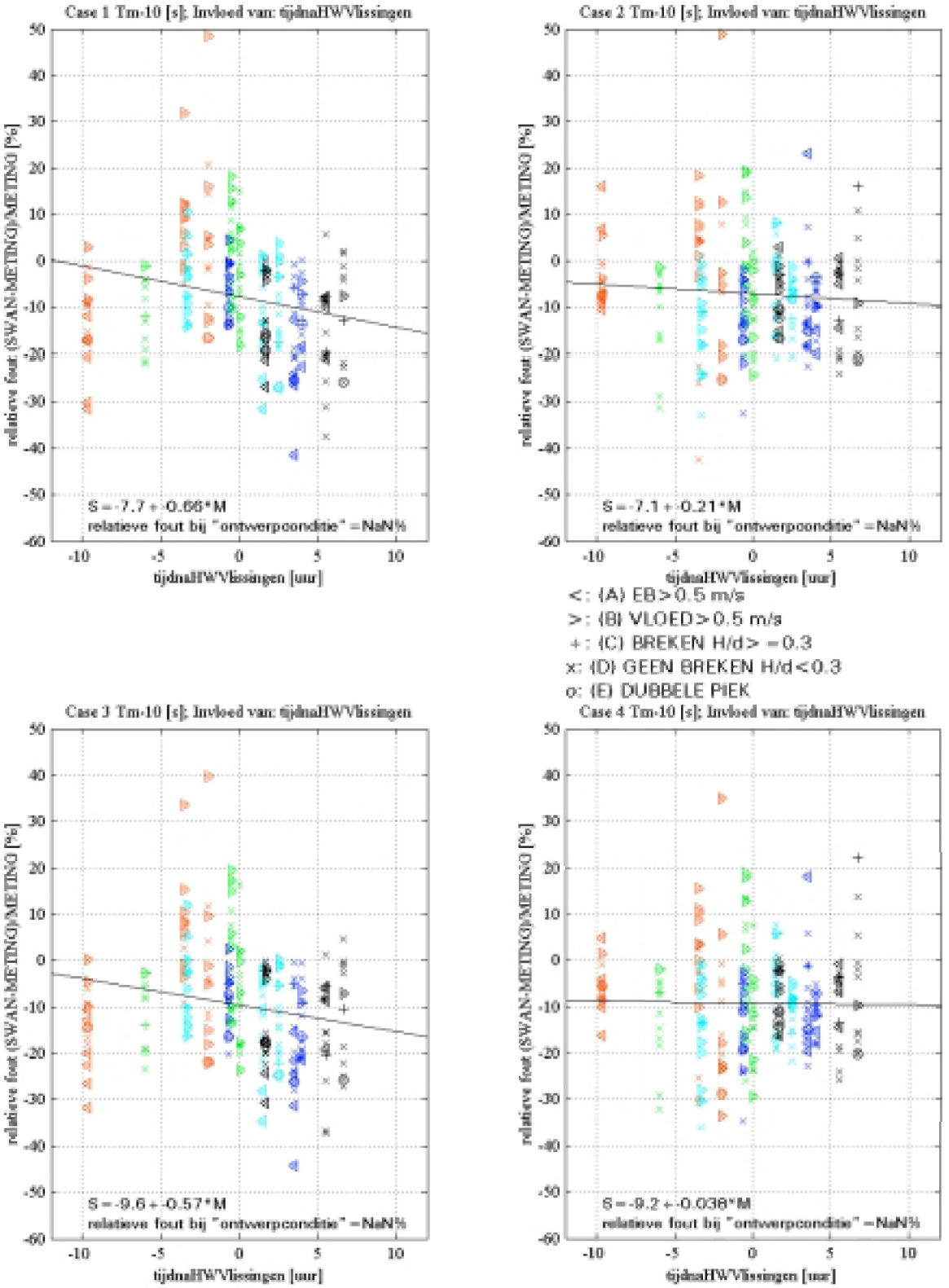
ROYAL HASKONING stormtijdstip: t1 = rood, t2 = groen, t3 = cyan, t4 = blauw, t5 = zwart 11-Jun-2003



/loed van tijdnaHWVlissingen op parameter: Tpm [s] Case 1, 2, 3, 4 FIGUUR 6.11.a

1246

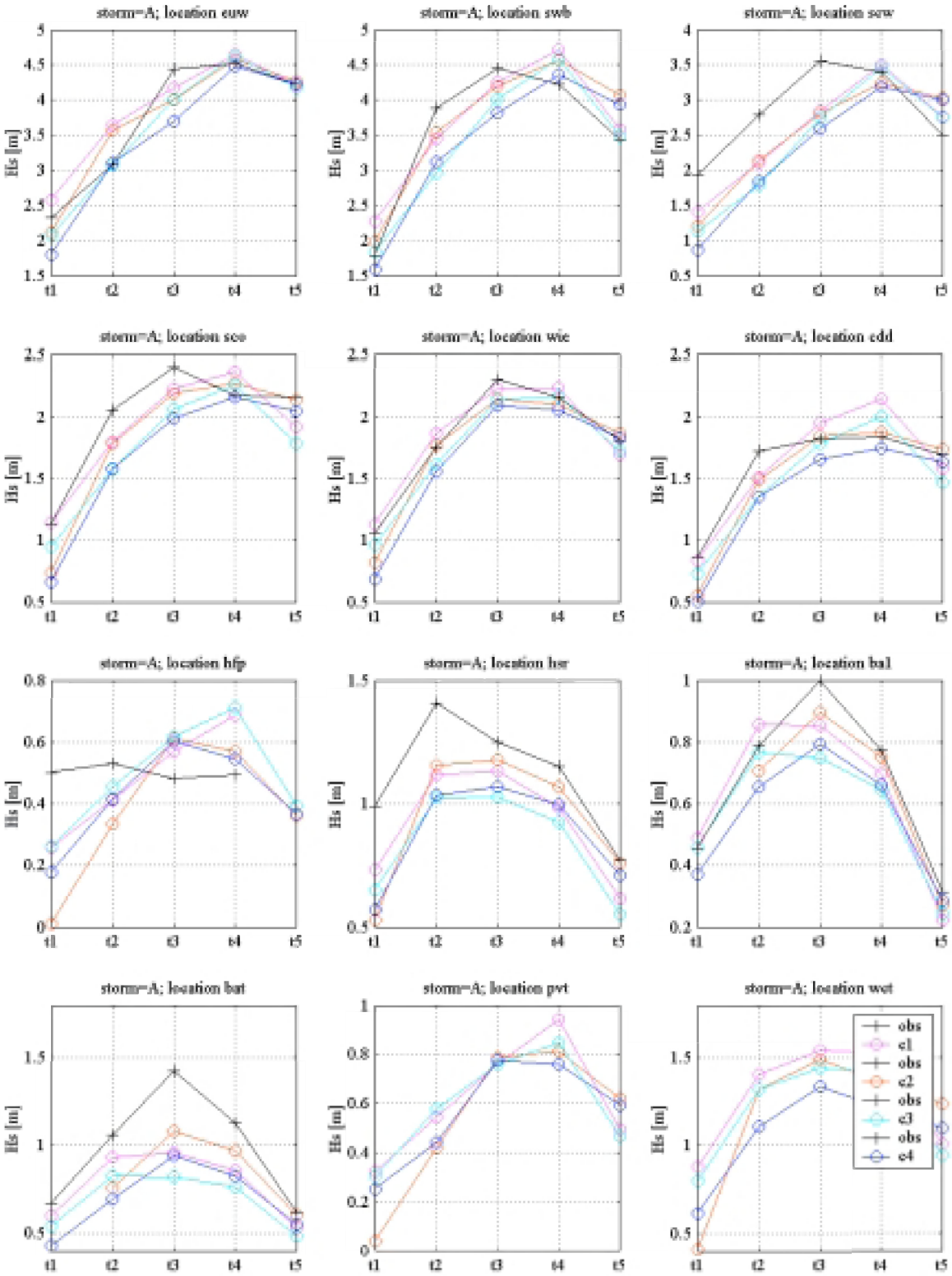
ROYAL HASKONING stormtijdstip: t1 = rood, t2 = groen, t3 = cyan, t4 = blauw, t5 = zwart 11-Jun-2003



loed van tijdnaHWVlissingen op parameter: Tm-10 [s] Case 1, 2, 3, 4 FIGUUR 6.12.a

1246

ROYAL HASKONING stormtijdstip: t1 = rood, t2 = groen, t3 = cyan, t4 = blauw, t5 = zwart 11-Jun-2003

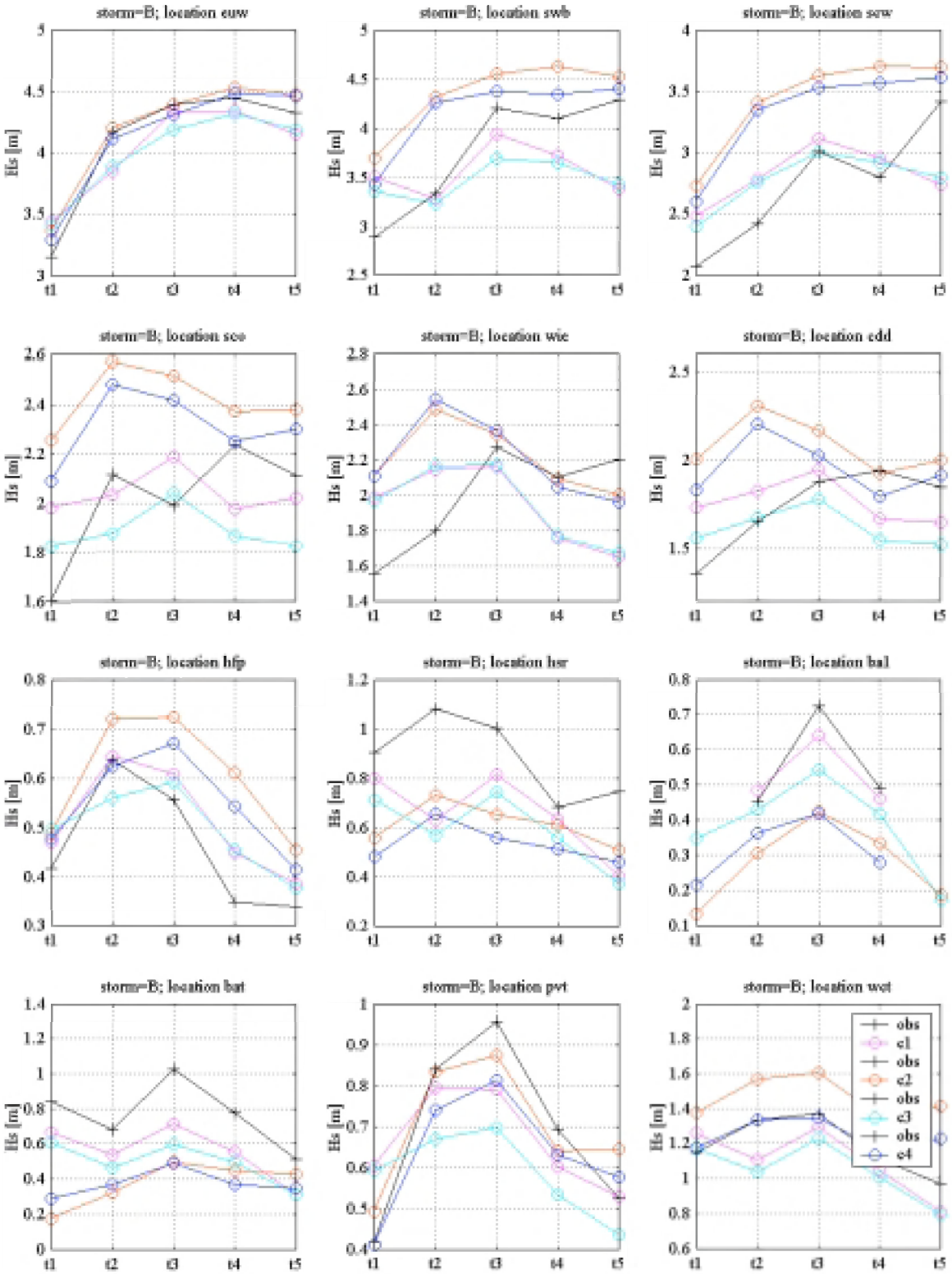


ROYAL HASKONING

Verloop van Hs [m] in storm A

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

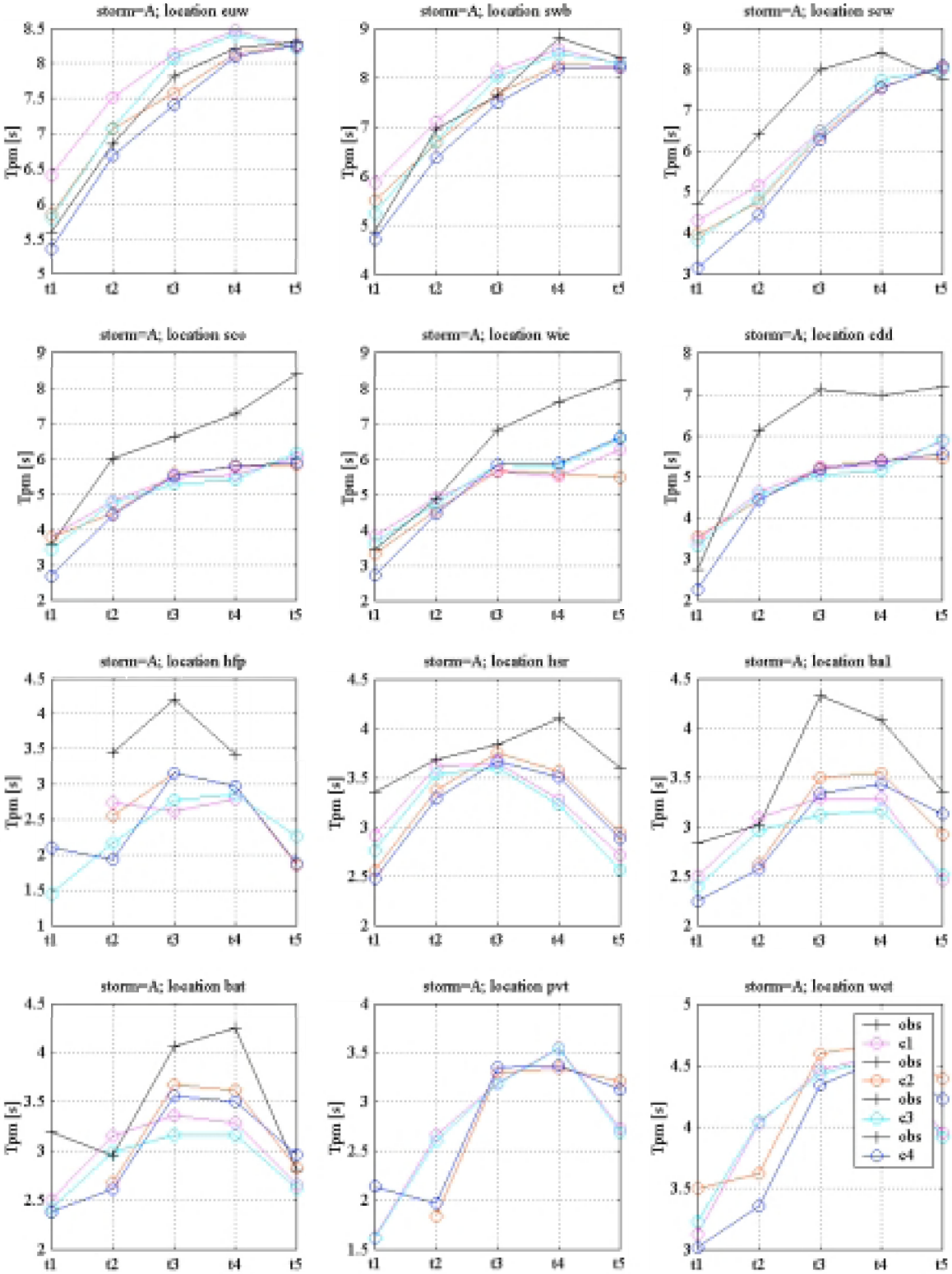
FIGUUR 6.13.a
1246
11-Jun-2003



Verloop van Hs [m] in storm B

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

FIGUUR 6.13.b
1246
11-Jun-2003

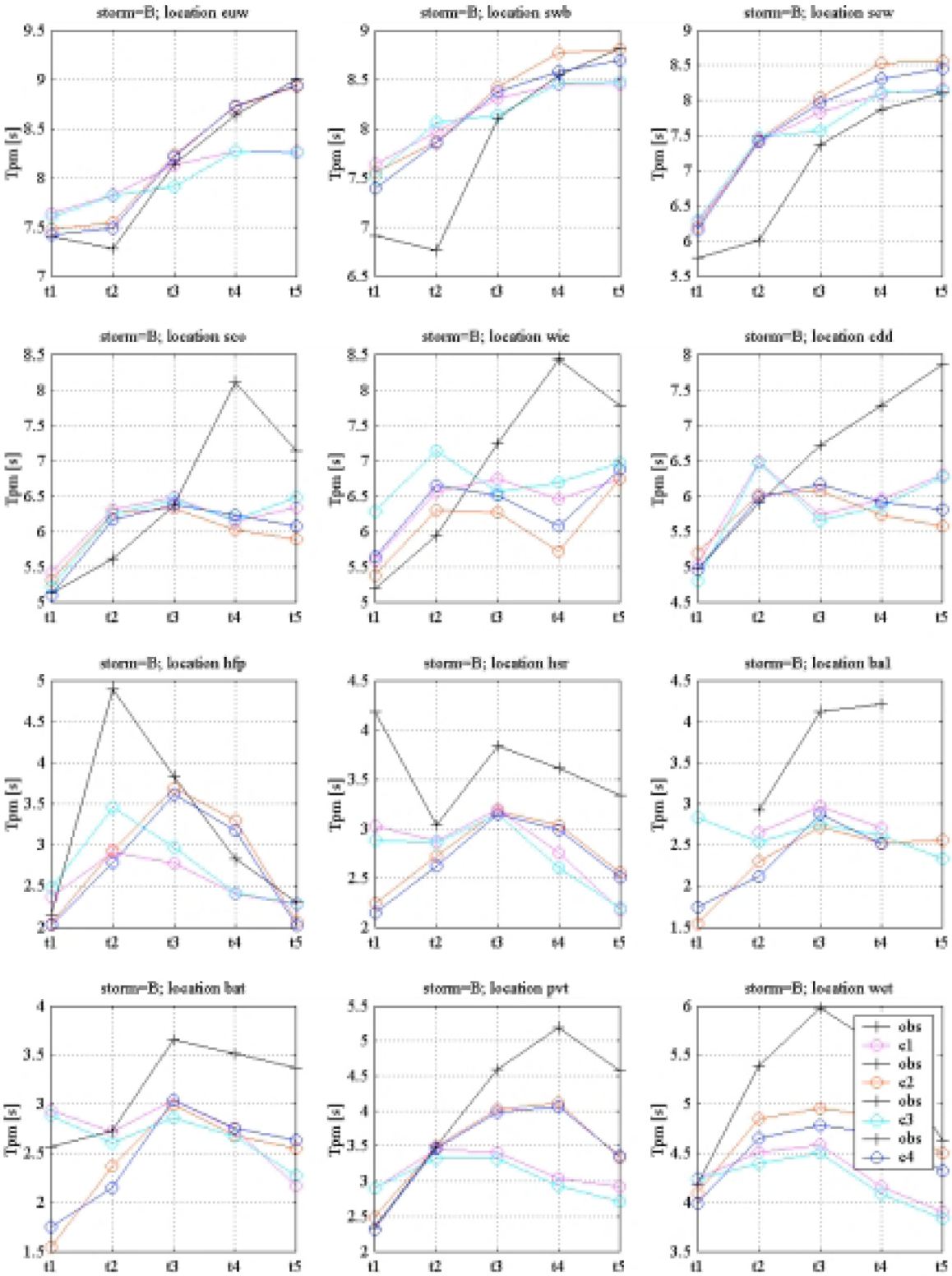


Verloop van Tpm [s] in storm A

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

FIGUUR 6.14.a
1246
11-Jun-2003

ROYAL HASKONING

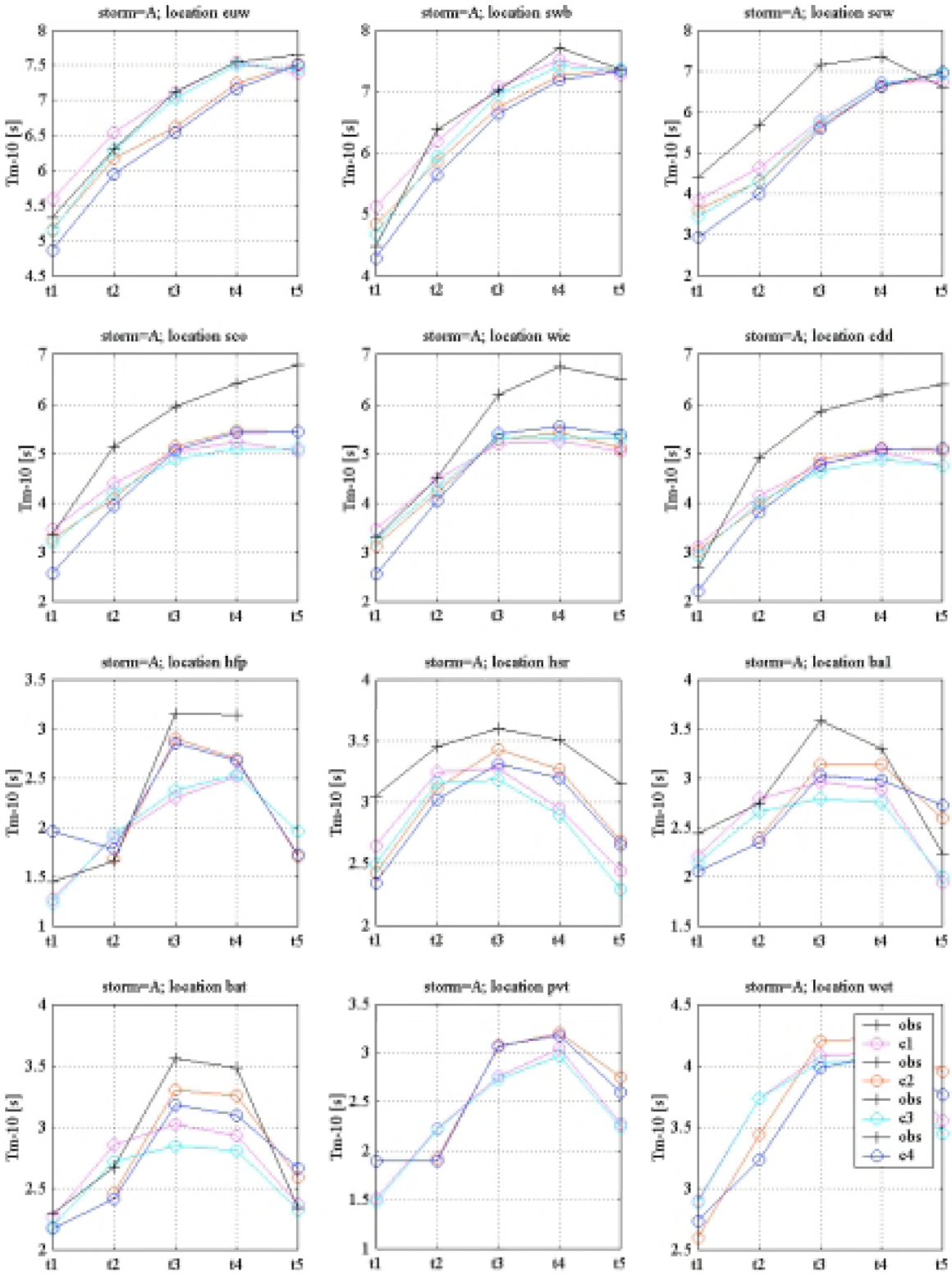


Verloop van Tpm (s) in storm B

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

FIGUUR 6.14.b
1246
11-Jun-2003

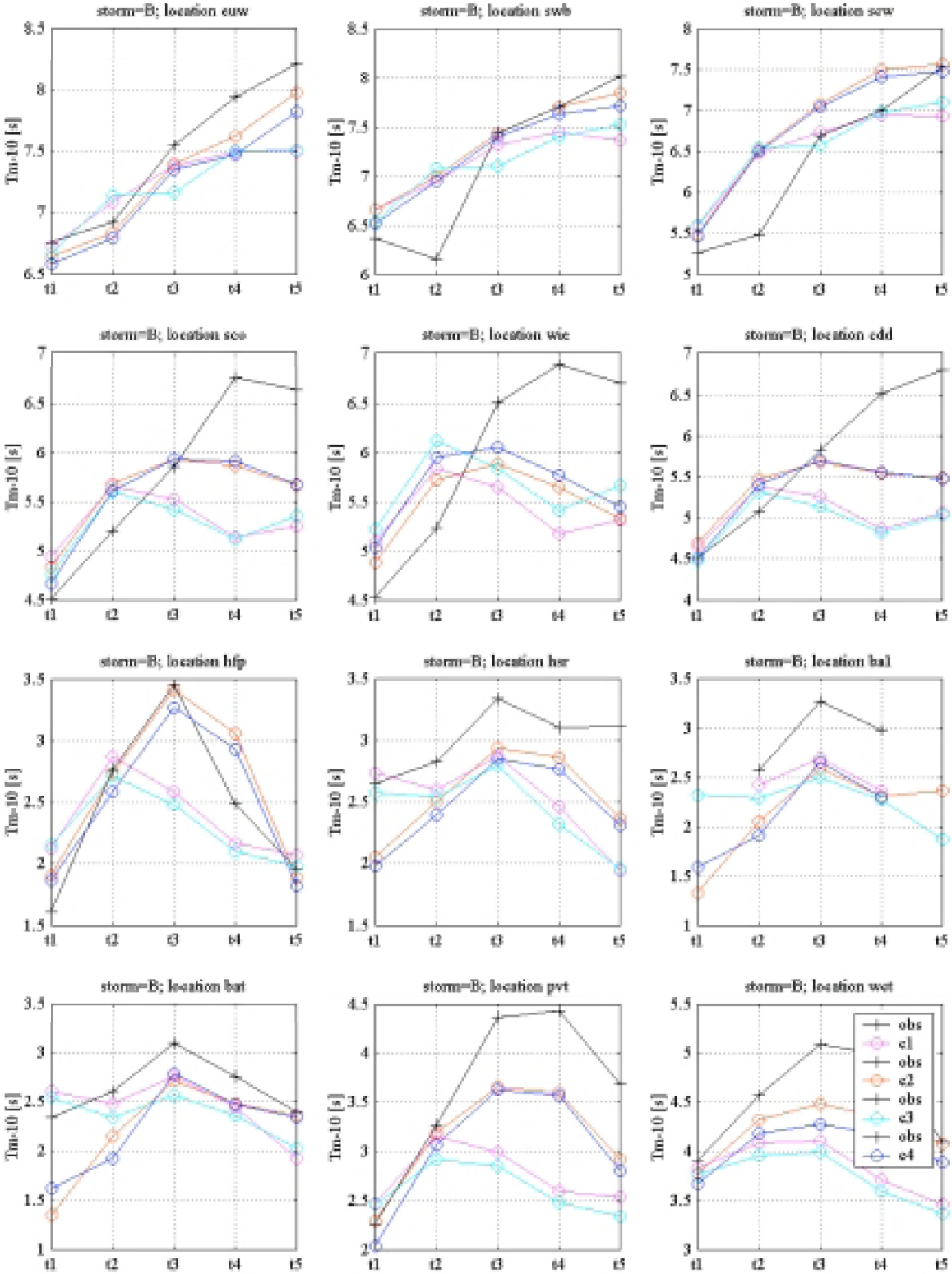
ROYAL HASKONING



Verloop van Tm-10 [s] in storm A

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

FIGUUR 6.15.a
1246
11-Jun-2003



ROYAL HASKONING

Verloop van Tm-10 [s] in storm B

Meting en SWAN Case 1, 2, 3, 4

FIGUUR 6.15.b
1246
11-Jun-2003

Appendix A: downscaled vs hirlam wind

Deze appendix is als memo verzonden d.d. 24 januari 2003 aan Sjaak Jacobse (ref 1246/03005/CG/Rott2b)

1. Introductie

We hebben drie series SWAN-berekeningen uitgevoerd op het noordrooster (N01), op de drie Westerschelde roosters (W01, W02 en W03) en op een aantal detailroosters nabij sommige van de golfmeetpunten (D01, D02, D03, D04, D05).

Het tijdstip van de drie simulatie series was 28 mei 2000 om 13:00 MET. Dit tijdstip noemen we t6 van storm A. Er is alleen met hoogwater gerekend, te weten 2.16 m bij Bath. Overigens was op datzelfde moment de waterstand in Cadzand slechts 0.79 m.

De drie simulatieseries verschillen van elkaar in windinvoer:
run c: Downscaled wind (resolutie 1 km x 1 km)
run e: Hirlam wind (oorspronkelijke resolutie 11 km x 11 km, omgezet naar 1 km x 1 km)
run g: Op basis van de gemeten wind bij Vlissingen ten westen daarvan 0.5 m/s erbij opgeteld, en ten oosten ervan 0.5 m/s er van af getrokken, de zogeheden Case 1 methode.

2. Uitkomsten SWAN berekeningen

	wind U [m/s]			Wind V [m/s]			Hs [m]			
	downsc	hirlam	case 1	downsc	hirlam	case 1	downsc	hirlam	case 1	meting
cdd	18.30	23.20	20.1	2.30	1.50	7.3	2.31	2.69	2.40	1.94
cdz	18.40	23.50	20.1	2.20	1.70	7.3	2.15	2.49	2.19	2.08
hfp	20.10	25.10	19.2	4.20	5.70	7.0	0.77	1.05	0.71	0.49
bat	10.70	13.60	19.2	10.10	9.10	7.0	0.75	0.88	1.01	1.33
ba1	10.60	13.70	19.2	10.00	9.10	7.0	0.67	0.77	0.87	1.02
hsr	18.90	18.90	19.2	7.70	8.60	7.0	1.25	1.31	1.24	1.16
hs1	18.90	18.80	19.2	7.70	8.60	7.0	1.14	1.18	1.13	0.79
wct	19.70	24.30	19.2	5.30	6.00	7.0	1.80	2.14	1.82	
wie	19.00	23.20	20.1	3.10	2.00	7.3	2.53	2.84		2.29
drl	18.90	21.80	20.1	2.70	1.50	7.3	3.24	3.57		3.60
sco	18.90	22.60	20.1	2.30	0.90	7.3	2.54	2.87		2.44
scw	18.50	21.00	20.1	0.60	-0.70	7.3	3.08	3.32		3.63
euw	13.40	16.50	20.1	5.60	6.30	7.3	3.79	4.12	4.56	4.35
leg	17.00	16.20	20.1	7.30	6.80	7.3	3.80	3.97	4.57	4.05
swb	18.60	20.70	20.1	4.70	4.40	7.3	4.10	4.53	4.71	4.79

Let wel dat de vergelijking met de metingen niet helemaal opgaat vanwege de lokaal aanzienlijke waterstandsverschillen. Zie de figuren aan het eind van deze memo voor het golfveld (let op verschillende kleurenassen).

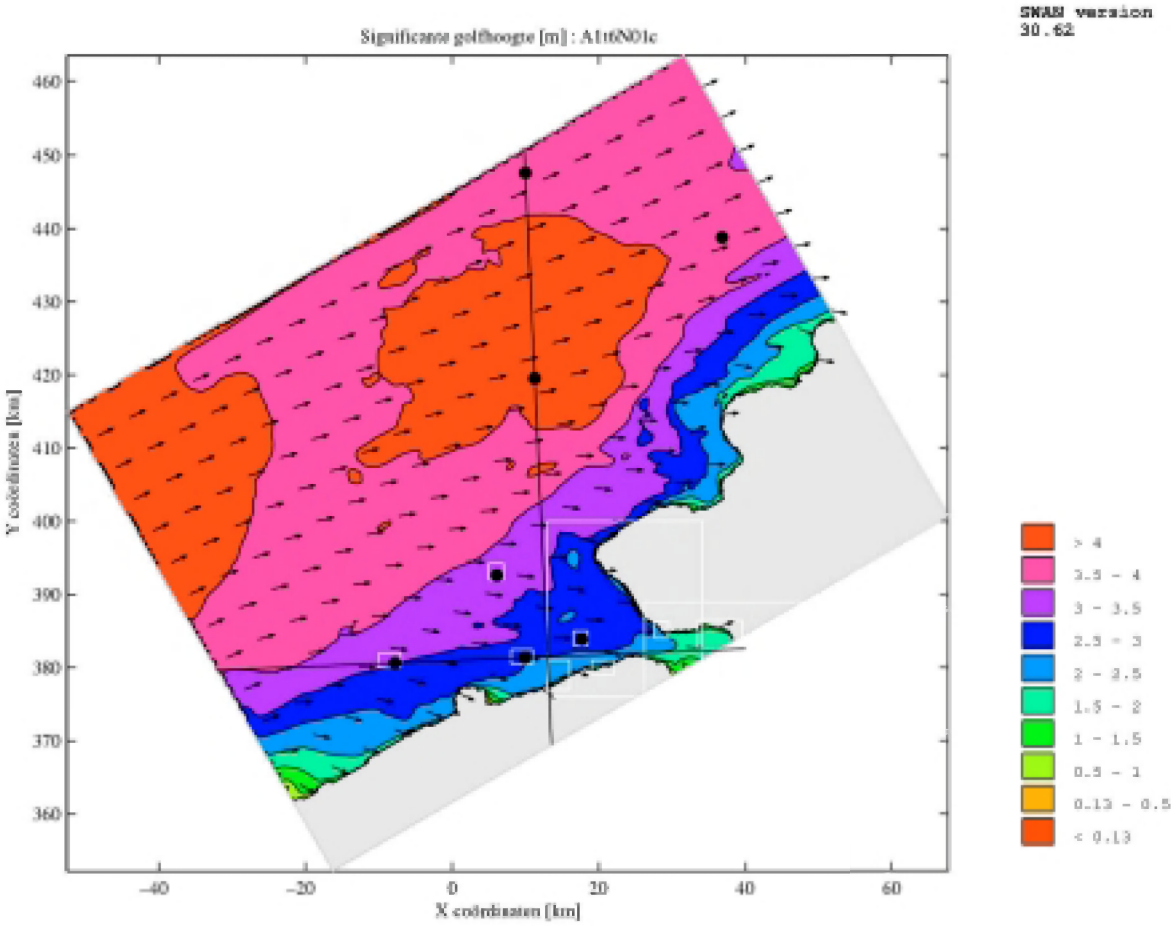
3. Reden voor de verschillen in golfhoogte

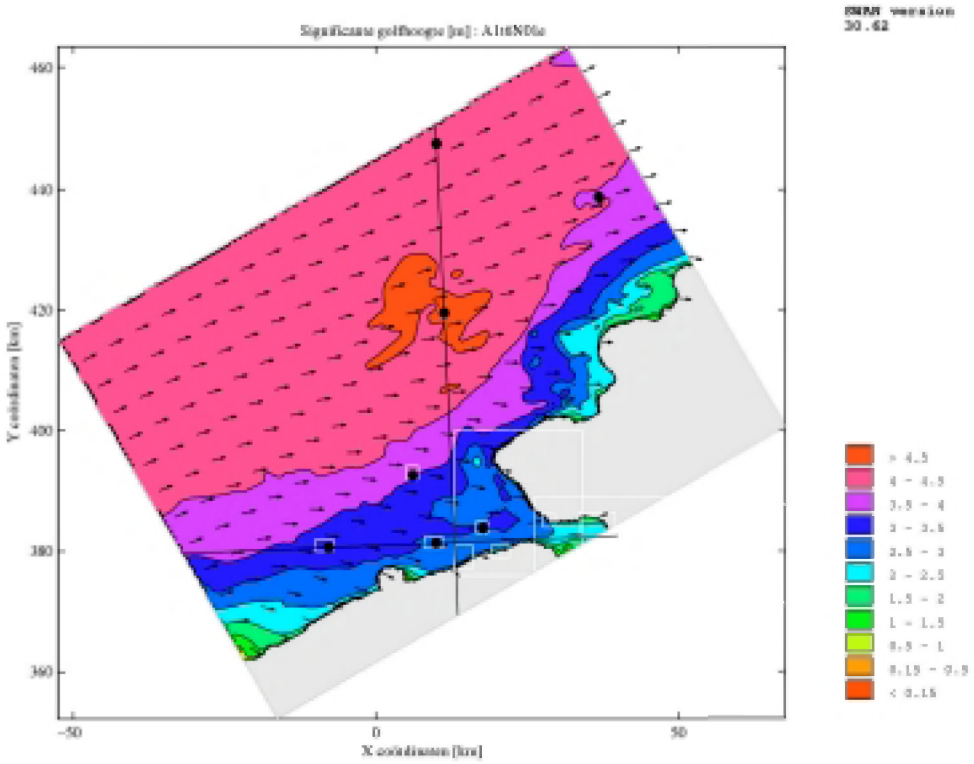
De wind van hirlam en van de downscale methode verschilt nabij de Westerschelde niet alleen in gridgrootte maar ook aanzienlijk in grootte van de windsnelheid, zie figuur 3.1 (tijden in GMT). Bovendien zijn de verschillen met de gemeten wind bij Vlissingen ook fors, zie figuur 3.2.

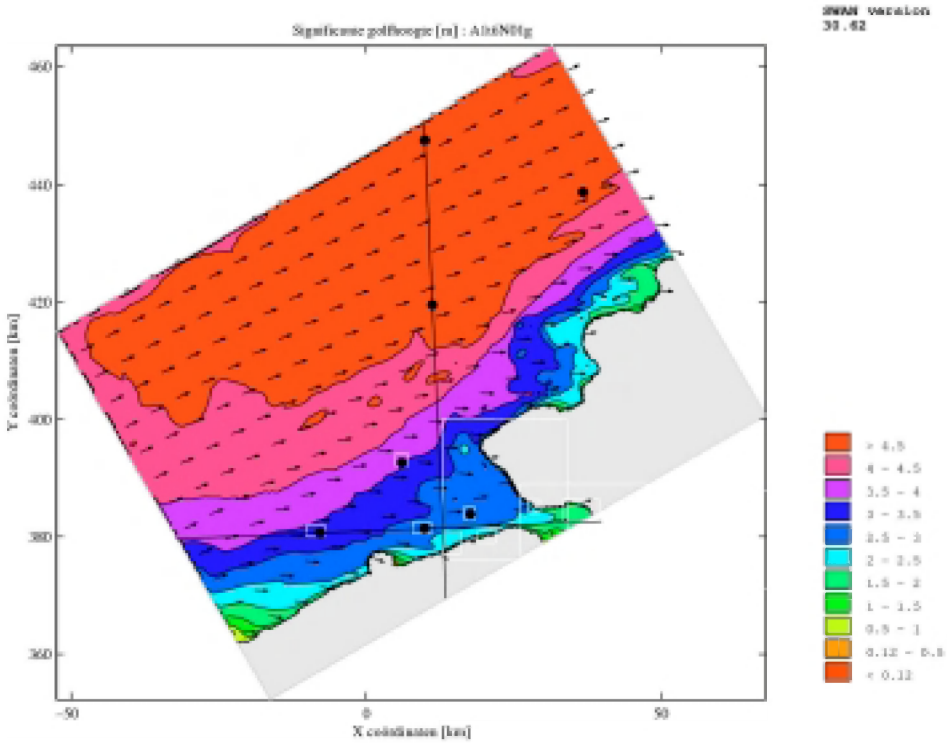
De drie runs zijn dus met behoorlijk verschillende windsnelheden uitgevoerd, en dan is het niet verwonderlijk dat de berekende golven ook behoorlijk verschillen.

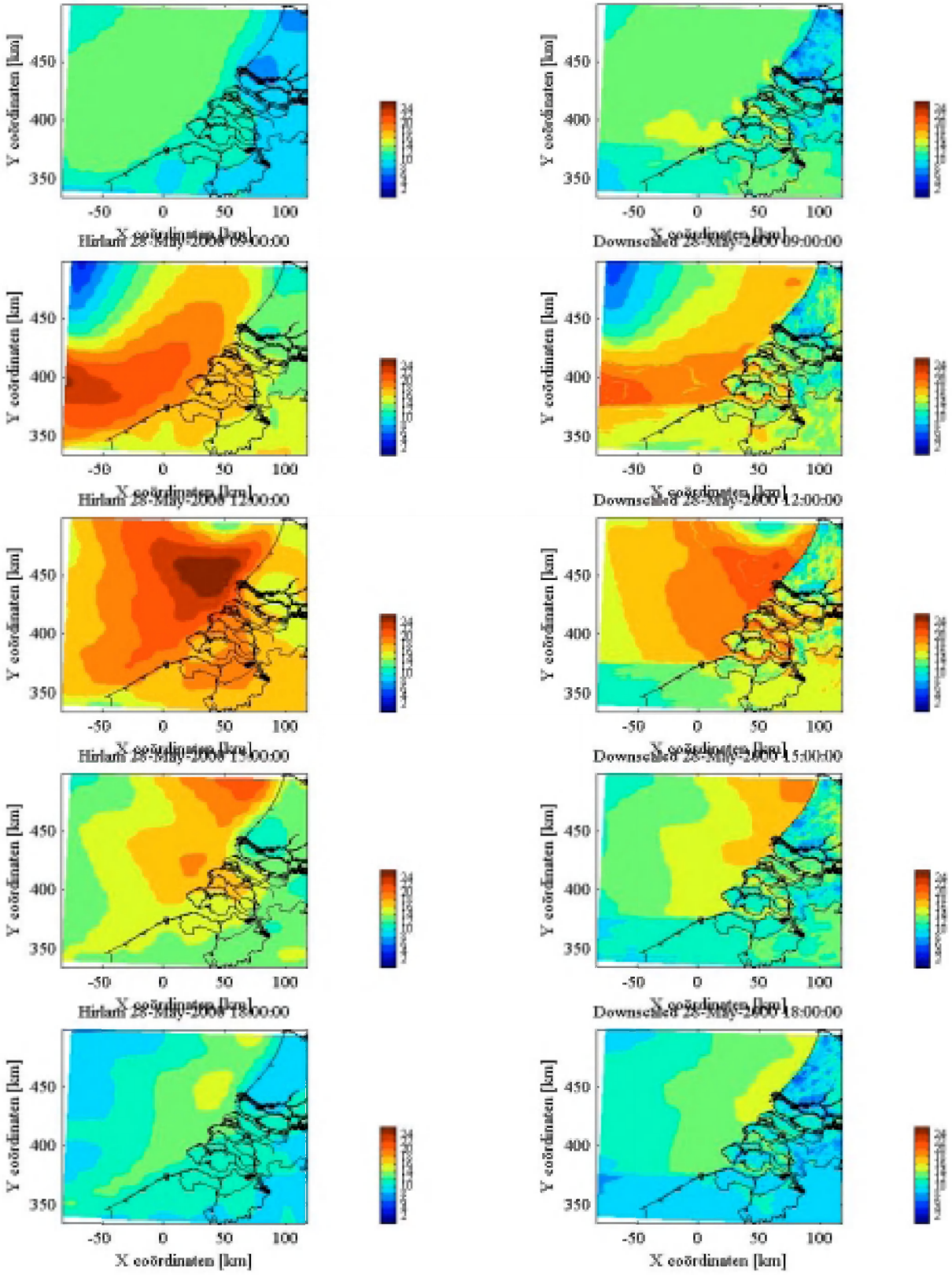
4. Hoe nu verder?

Wij vragen het RIKZ te beslissen of we Case 2 van de studie met de hirlam of de downscale wind zullen uitvoeren. Aangezien ik heb begrepen dat de downscale wind niet van alle drie de stormen beschikbaar is raad ik aan voor de hirlam wind te kiezen zodat de stormen eenduidig behandeld kunnen worden.


Significante golfhoogte [m] : A1t6N01c
SWAN version
30.62
460
450
440
430
420
410
400
390
380
370
360
Y coördinaten [km]
-40
-20
0
20
40
60
X coördinaten [km]
> 4
3.5 - 4
3 - 3.5
2.5 - 3
2 - 2.5
1.5 - 2
1 - 1.5
0.5 - 1
0.13 - 0.5
< 0.13


SWAN version
30.62
460
440
420
400
380
360
Y coördinaten [km]
-50
0
50
X coördinaten [km]
> 4.5
4 - 4.5
3.5 - 4
3 - 3.5
2.5 - 3
2 - 2.5
1.5 - 2
1 - 1.5
0.5 - 1
0.15 - 0.5
< 0.15

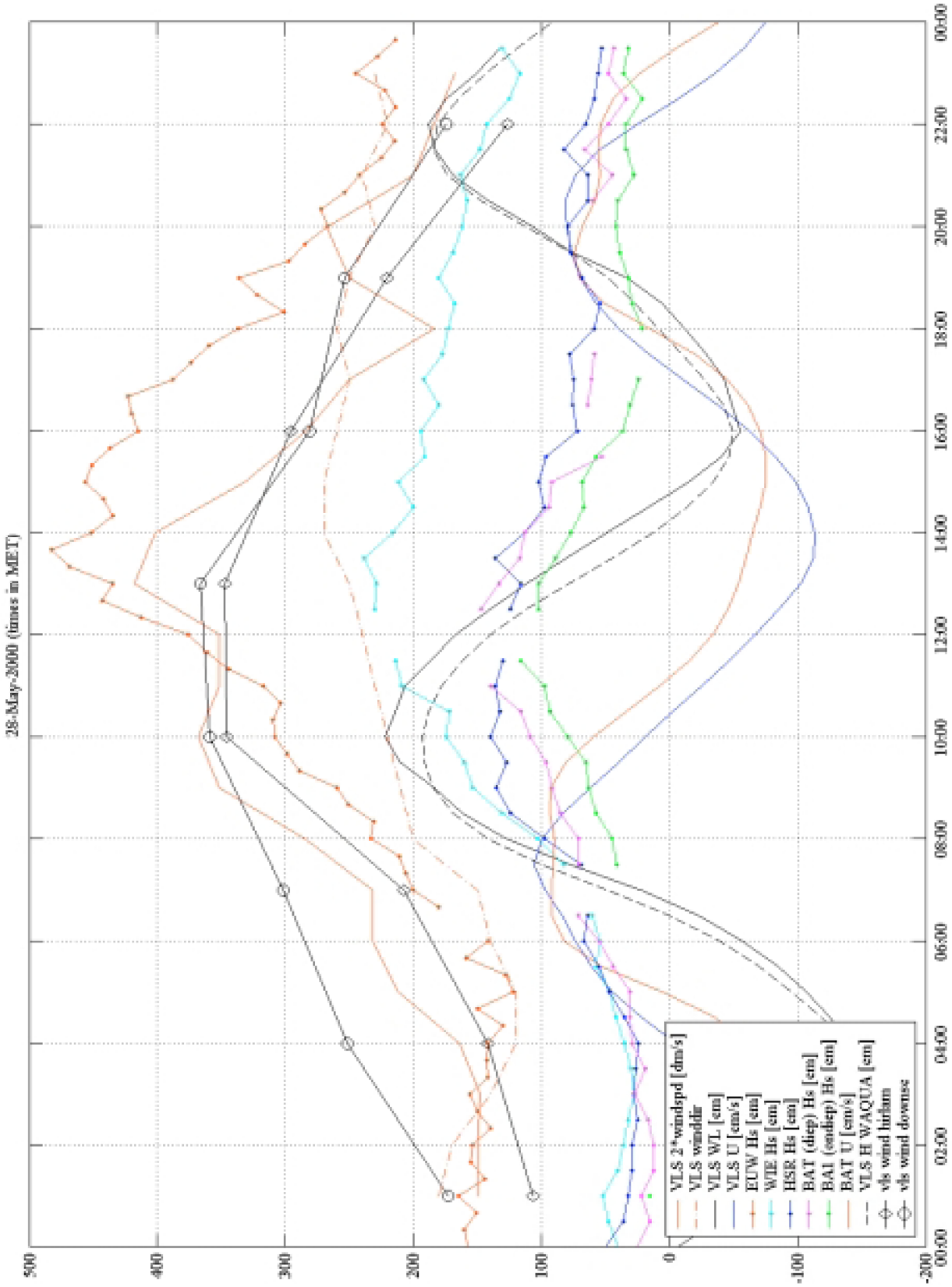

SWAN version
30.62
460
440
420
400
380
360
Y coördinaten [km]
-50
0
50
X coördinaten [km]
> 4.5
4 - 4.5
3.5 - 4
3 - 3.5
2.5 - 3
2 - 2.5
1.5 - 2
1 - 1.5
0.5 - 1
0.12 - 0.5
< 0.12



Comparison Hirlam & Downscaled wind fields

wind in [m/s]

FIGUUR 3.1
1246
24-Jan-2003


28-May-2000 (times in MET)
500
400
300
200
100
0
-100
-200
00:00
02:00
04:00
06:00
08:00
10:00
12:00
14:00
16:00
18:00
20:00
22:00
00:00
VLS 2*windspd [dm/s]
VLS winddir
VLS WL [cm]
VLS U [cm/s]
EUW Hs [cm]
WIE Hs [cm]
HSR Hs [cm]
BAT (diep) Hs [cm]
BAI (ondiep) Hs [cm]
BAT U [cm/s]
VLS H WAQUA [cm]
vls wind hirlam
vls wind dowmse

Appendix B: Statistische parameters

• BIAS en STDEV

$$BIAS = \frac{(\bar{y} - \bar{x})}{x} * 100\% \qquad \text{(A1)}$$

$$STDEV = STD\left(\frac{(y_i - x_i)}{x_i}\right) * 100\% \qquad \text{(A2)}$$

$$STD(a) = \sqrt{\frac{n\sum a^2 - (\sum a)^2}{n(n-1)}}$$

met N het aantal gemeten (en berekende) waarden,
x_i is de meting op locatie *i* en
y_i is de berekende waarde op locatie *i*.

$\bar{x}$ is het gemiddelde van de waarnemingen, gegeven door:

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \qquad \text{(A3)}$$

$\bar{y}$ is het gemiddelde van de berekeningen, gegeven door:

$$\bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i \qquad \text{(A4)}$$

• GEMIDDELDE FOUT

Er zijn twee belangrijke maten voor de gemiddelde fout, te weten de relatieve gemiddelde absolute fout (*relative mean absolute error RMAE*) and the root mean square error (*MSE*).De MAE wordt gegeven door:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{y_i - x_i}{x_i} * 100\% \qquad \text{(A5)}$$

en de root mean square error wordt gedefinieerd als volgt:

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (x_i - y_i)^2 \right\}^{1/2} \qquad \text{(A6)}$$

• RELATIEVE FOUT

We gebruiken drie relatieve fout definities, te weten de Scatter Index (SCI), the Model Performance Index (MPI) and the Operational Performance Index (OPI).

The Scatter Index wordt gedefinieerd als de root mean square error, genormaliseerd met het gemiddelde van de waarnemingen, en wordt gegeven door:

$$SCI = \frac{RMSE}{x} * 100\% \qquad \text{(A7)}$$

De Model Performance Index geeft de mate waarin het model de veranderingen in golfparameters reproduceert, en wordt gegeven door:

$$MPI = 1 - \frac{RMSE}{RMS_{changes}} \qquad \text{(A8)}$$

De definitie van de $RMS_{changes}$ is identiek aan die van $RMSE$ behalve dat alle berekende y_i vervangen dienen te worden door de waargenomen binnenkomende waarde x_{inc}. Deze Model Performance Index is een geschikte maat om de prestatie van een model weer te geven in situaties waar golfcondities binnen in het gebied sterk variëren van de randvoorwaarden. Het voordeel van de Model Performance Index ten opzichte van de Scatter Index is dat het de waargenomen verandering gebruikt om de berekeningen te beoordelen. The Scatter Index gebruikt de golven zelf voor deze beoordeling.

De Operational Performance Index (*OPI*) wordt gedefinieerd als de $RMSE$ genormaliseerd met de waarde van de golfparameters op de modelrand:

$$OPI = \frac{RMSE}{x_{inc}} \qquad \text{(A9)}$$

In de tabellen van hoofdstuk 5 van het rapport zijn alle simulatietijdstippen samen genomen om de statistiek op een grote hoeveelheid data te kunnen baseren. Voor het berekenen van de MPI en de OPI dient rekening gehouden te worden met de golfrandvoorwaarden die per simulatie natuurlijk verschillen. Daarom zijn de totale MPI en OPI berekend als het rekenkundig gemiddelde van de verschillende MPI's en OPI's per simulatie.

• CORRELATIE EN REGRESSIE COEFFICIENTEN

De coëfficiënt van lineaire correlatie is gedefinieerd als de verhouding tussen de covariantie enerzijds en het product van beider standaarddeviaties anderzijds. Een correlatie coëfficiënt van één betekent dat x en y perfect gecorreleerd zijn. De correlatie coëfficiënt wordt gegeven door:

$$corr = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - x)(y_i - y)}{\left\{\sum_{i=1}^{N}(x_i - x)^2\right\}^{1/2}\left\{\sum_{i=1}^{N}(y_i - y)^2\right\}^{1/2}} \qquad \text{(A12)}$$

Een perfect model dat de waarnemingen exact reproduceert levert een scatter diagram met alle punten op een lijn die een hoek van 45 graden met de horizontaal maakt. Dit is vrij onwaarschijnlijk. Als eerste schatting kan de relatie tussen metingen en modelresultaten met een lineaire regressie lijn worden weergegeven. Deze lijn geeft de relatie tussen meting en swanmodel (swan= a + b*meting). De coëfficiënten voor het snijpunt a en de helling b worden geschat op basis van de kleinste kwadraten methode.

$$\chi^2(a,b) = \sum_{i=1}^{N}(y_i - a - bx_i)^2 \qquad \text{(A13)}$$

De regressie coëfficiënten a en b worden als volgt berekend (NB: b stond verkeerd gegeven in de testbank):

$$a = \frac{\sum x_i^{\,2}\sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{N\sum x_i^{\,2} - \left(\sum x_i\right)^2} \qquad \text{(A14)}$$

$$b = \frac{\sum (x_i - x)(y_i - y)}{\sum (x_i - x)^2} \qquad \text{(A15)}$$