

Opdrachtgever:

Rijksinstituut voor Kust en Zee

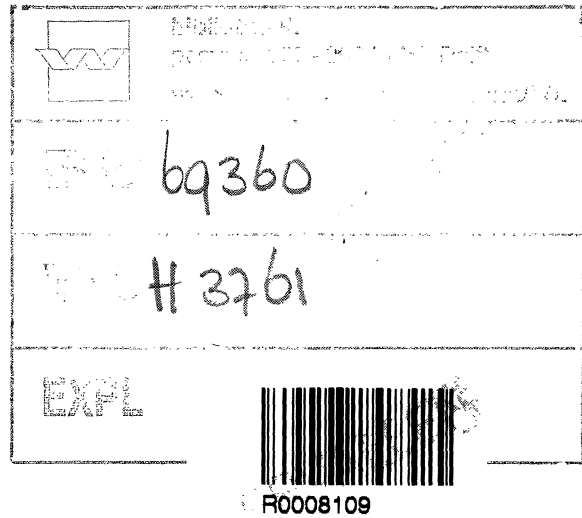
## Inzicht in extreme golfcondities

ANSCHAFBILD

Stormmetingen en SWAN berekeningen

Verslag

december 2000



# Inzicht in extreme golfcondities

Stormmetingen en SWAN berekeningen

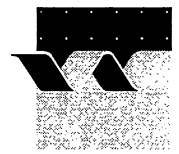
J. Dekker

Verslag

december 2000



**wl | delft hydraulics**



**OPDRACHTGEVER:**      Rijksinstituut voor Kust en Zee

**TITEL:**                      Inzicht in extreme golfcondities; Stormmetingen en SWAN berekeningen

**SAMENVATTING:**  
 Periodiek levert Rijkswaterstaat de hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van waterkeringen. Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (verder aangeduid als RIKZ) levert hiervoor de randvoorwaarden langs de Nederlandse kust, in het Waddengebied en in de estuaria. Voor de bepaling van extreme golfcondities wordt hierbij het golfvoorspellingsmodel SWAN gebruikt. De extremen die gebruikt worden voor de in de wet opgelegde veiligheidseisen, bevinden zich in een bereik waar nooit is gemeten. De randvoorwaarden zijn derhalve noodzakelijkerwijs gebaseerd op extrapolaties, hetgeen onzekerheden introduceert. De berekende golfhoogten die op basis van onder andere geëxtrapoleerde windsnelheden zijn bepaald, dienen derhalve voor zover mogelijk te worden getoetst.

Bij een vergelijking van golfmetingen bij stormcondities met de randvoorwaarden zoals opgenomen in het ‘Randvoorwaardenboek 1996’ (DWW, 1996) is gebleken dat de opgenomen randvoorwaarden in enkele gevallen lager zijn dan de gemeten waarden. De meetlocaties bevinden zich in de meeste gevallen echter op enige afstand van de locaties waar de voorspellingen gewenst zijn. Voor een goede vergelijking is derhalve een vertaling nodig van de gemeten waarden naar de locaties voor de betreffende dijksectie. Aangezien het belang van betrouwbare randvoorwaarden voor de toetsing van de waterkeringen groot is, heeft RIKZ opdracht gegeven de gemeten golfcondities met behulp van SWAN naar de locaties voor de zeewering te vertalen.

Op basis van de resultaten van deze studie kan worden geconcludeerd dat in een aantal gebieden die zijn onderzocht de golfhoogte die naar verwachting in de dijklocaties is opgetreden, vergelijkbaar is met of hoger is dan de waarde die in het Randvoorwaardenboek 1996 voor het betreffende dijkvak wordt voorgeschreven. Dit is het geval bij de Zeelandbrug, Hoogwatum en ten noorden van Delfzijl. In andere gebieden zijn golfhoogten van 75% of meer van de waarde in het Randvoorwaardenboek 1996 opgetreden (Domburg, Bath, Termunterzijl, een dijkvak bij Vlissingen). Ook de golfperiodes zijn in verschillende van de beschouwde locaties ongeveer even groot als de waarde die in het Randvoorwaardenboek 1996 wordt gegeven. In enkele gevallen, zoals ten noorden van Delfzijl en bij Domburg, ligt de periode die tijdens de stormcondities is opgetreden duidelijk boven de huidige toetswaarden.

**REFERENTIES:**      Opdrachtbonnummer 22002160 d.d. 04/08/2000  
                             Meerwerkopdracht brief dd. 5 oktober 2000, Ref. RIKZ/OS 2000/06527

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
0	Ir J. Dekker	10 november 2000	concept	Dr ir R.C. Ris	Ir W.M.K Tilmans
1	Ir J. Dekker	1 december 2000	definitief	Dr ir R.C. Ris	Ir W.M.K Tilmans

**PROJECTNUMMER:**      H3761

**TREFWOORDEN:**      golfcondities, golfvoortplanting

**INHOUD:**      **TEKST**      45      **TABELLEN**      52      **FIGUREN**      24      **APPENDICES**

**STATUS:**       VOORLOPIG       CONCEPT       DEFINITIEF

# Inhoud

## Lijst van Tabellen

## Lijst van Figuren

## Lijst van Symbolen

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	Achtergrond en opdrachtverlening .....	1-1
1.2	Doel van de studie.....	1-1
1.3	Uitvoering .....	1-1
<b>2</b>	<b>Aanpak.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	Locaties en condities.....	2-1
2.2	Algemene aanpak.....	2-2
2.3	Toegeleverde gegevens .....	2-3
2.4	Interpretatie van resultaten.....	2-3
<b>3</b>	<b>Westerschelde bij Vlissingen.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	Inleiding .....	3-1
3.2	Data .....	3-1
3.3	Modelopzet .....	3-3
3.4	Berekeningen en resultaten.....	3-5
3.5	Conclusie .....	3-6
<b>4</b>	<b>Kust Walcheren.....</b>	<b>4-1</b>
4.1	Inleiding.....	4-1
4.2	Data.....	4-1
4.3	Modelopzet .....	4-3
4.4	Berekeningen en resultaten.....	4-4
4.5	Conclusie .....	4-5

<b>5</b>	<b>Oosterschelde Zeelandbrug .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	Inleiding.....	5-1
5.2	Data.....	5-1
	5.2.2 Waterstanden .....	5-2
5.3	Modelopzet.....	5-2
5.4	Berekeningen en resultaten .....	5-3
5.5	Conclusie .....	5-5
<b>6</b>	<b>Petten .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	Inleiding.....	6-1
6.2	Data.....	6-1
6.3	Modelopzet.....	6-3
6.4	Berekeningen en resultaten .....	6-4
6.5	Conclusie .....	6-6
<b>7</b>	<b>Waddenzee / Dollard .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	Inleiding.....	7-1
7.2	Data.....	7-2
7.3	Modelopzet.....	7-3
7.4	Berekeningen en resultaten .....	7-4
7.5	Conclusie .....	7-8
<b>8</b>	<b>Westerschelde bij Bath.....</b>	<b>8-1</b>
8.1	Inleiding.....	8-1
8.2	Data.....	8-1
8.3	Modelopzet.....	8-2
8.4	Berekeningen en resultaten .....	8-3
8.5	Conclusie .....	8-4
<b>9</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>9-1</b>

## Literatuur

## Lijst van Tabellen

- 2.1 Gemeten golfcondities voor geselecteerde locaties en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996
  
- 3.1 Gemeten golfcondities voor station ZKAT en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 3.2 Windcondities in de stations Vlissingen en Cadzand op 25 en 28 januari 1990
- 3.3 Beschikbare golfgegevens Westerschelde bij Vlissingen op 25 en 28 januari 1990
- 3.4 Waterstanden voor enkele stations in de Westerschelde op 25 en 28 januari 1990
- 3.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de Westerschelde bij Vlissingen
- 3.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Westerschelde bij Vlissingen
- 3.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station ZKAT
- 3.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station ZKAT voor run f10
  
- 4.1 Gemeten golfcondities voor station DOMB en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 4.2 Windcondities in de stations Vlissingen en Cadzand op 28 februari 1990
- 4.3 Beschikbare golfgegevens Kust Walcheren op 25 januari 1990 en 28 februari 1990
- 4.4 Waterstanden voor het station Vlissingen op 28 februari 1990
- 4.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de kust van Walcheren
- 4.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de kust van Walcheren
- 4.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station DOMB
- 4.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station DOMB voor run f31
  
- 5.1 Gemeten golfcondities voor station ZLBR en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvak uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 5.2 Beschikbare golfgegevens Oosterschelde op 25 januari 1990
- 5.3 Waterstanden voor Stavenisse op 25 januari 1990
- 5.4 Locatie en dimensies van het rekenrooster voor de Oosterschelde
- 5.5 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Oosterschelde
- 5.6 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station ZLBR
- 5.7 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station ZLBR voor run c11
  
- 6.1 Gemeten golfcondities voor station MP6 en ontwerpcondities voor de Pettemer Zeewering uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 6.2 Windcondities in de stations IJmuiden en De Kooij op 2 januari 1995
- 6.3 Beschikbare golfgegevens Petten op 2 januari 1995
- 6.4 Waterstanden voor enkele stations langs de kust van Noord-Holland op 2 januari 1995
- 6.5 Locatie en dimensies van het rekenrooster
- 6.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor Petten
- 6.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor de stations MP3, MP5 en MP6
- 6.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station MP6 voor run c13
  
- 7.1 Gemeten golfcondities voor stations 88B, BWN, BWZ, en TMN en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 7.2 Windcondities in het station Huibertgat op 14 februari 1989
- 7.3 Beschikbare golfgegevens Waddenzee / Dollard
- 7.4 Waterstanden voor enkele stations Waddenzee / Dollard op 14 februari 1989

- 7.5 Locatie en dimensies van de rekenrooster voor de Waddenzee / Dollard
- 7.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Waddenzee / Dollard
- 7.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor de stations 88B, BWN, BWZ en TMN
- 7.8a Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station 88B voor run w10
- 7.8b Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BWN voor run x10
- 7.8c Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BWZ voor run y10
- 7.8d Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station TMN voor run z10
  
- 8.1 Gemeten golfcondities voor station BA1 en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996
- 8.2 Windcondities in het station Hansweert op 28 mei 2000
- 8.3 Beschikbare golfgegevens Westerschelde bij Bath
- 8.4 Waterstanden voor het station Bath op 28 mei 2000
- 8.5 Locatie en dimensies van de rekenrooster voor de Westerschelde bij Bath
- 8.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Westerschelde bij Bath
- 8.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station BA1
- 8.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BA1 voor run f11
  
- 9.1 Vergelijking van de ontwerpcondities voor enkele dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996 met condities die tijdens stormen bij deze dijkvakken zijn opgetreden

## Lijst van Figuren

- 3.1 Berekende vs gemeten spectrum voor de Westerschelde, run c10
- 3.2a Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Westerschelde, run c10
- 3.2b Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Westerschelde, run f10
  
- 4.1 Berekende vs gemeten spectrum voor Walcheren, run f31
- 4.2 Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor Walcheren, run f31
  
- 5.1 Berekende vs gemeten spectrum voor de Oosterschelde, run c11
- 5.2 Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Oosterschelde, run c11
  
- 6.1 Berekende vs gemeten spectrum voor Petten, run c13
- 6.2 Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor Petten, run c13
  
- 7.1a Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run c10 (stations SON en DG2)
- 7.1b Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run m10 (stations DG2, BWZ en TMN)
- 7.1c Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run w10 (station 88B)
- 7.1d Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run x10 (station BWN)
- 7.1e Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run y10 (station BWZ)
- 7.1f Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard, run z10 (station TMN)
- 7.2a Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run c10
- 7.2b Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run m10
- 7.2c Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run w10
- 7.2d Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run x10
- 7.2e Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run y10
- 7.2f Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor de Eems-Dollard, run z10
  
- 8.1 Berekende vs gemeten spectrum voor Bath, run c11
- 8.2a Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor Bath, run c11
- 8.2b Berekende  $H_s$ , Dir en  $T_{m-10}$  voor Bath, run f11



## Lijst van Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
$H_{0s}$	m	significante golfhoogte behorende bij het rekenpeil (DWW, 1996)
$H_{m0}, H_s$	m	significante golfhoogte
$T_{m-10}$	s	spectraal gemiddelde periode op basis van het 1 <sup>ste</sup> negatieve en 0 <sup>de</sup> -orde moment van het spectrum
$T_p$	s	piekperiode
$T_{pm}$	s	maatgevende piekperiode (Roskam, 1997)
$\theta_m$	°N	gemiddelde golfrichting (nautische conventie)
$\sigma_d$	°	richtings spreiding

# I Inleiding

## I.1 Achtergrond en opdrachtverlening

Periodiek levert Rijkswaterstaat de hydraulische randvoorwaarden voor het toetsen van waterkeringen. Het Rijksinstituut voor Kust en Zee (verder aangeduid als het RIKZ) levert hiervoor de randvoorwaarden langs de Nederlandse kust, in het Waddengebied en in de estuaria. Voor de bepaling van extreme golfcondities wordt hierbij het golfvoorspellingsmodel SWAN gebruikt. De extremen die gebruikt worden voor de in de wet opgelegde veiligheidseisen, bevinden zich in een bereik waar nooit is gemeten. De randvoorwaarden zijn derhalve noodzakelijkerwijs gebaseerd op extrapolaties, hetgeen onzekerheden introduceert. De berekende golfhoogten die op basis van onder andere geëxtrapoleerde windsnelheden zijn bepaald, dienen derhalve voor zover mogelijk te worden getoetst.

Bij een vergelijking van golfmetingen bij stormcondities met de randvoorwaarden zoals opgenomen in het 'Randvoorwaardenboek 1996' (DWW, 1996) is gebleken dat de opgenomen randvoorwaarden in enkele gevallen lager zijn dan de gemeten waarden. De meetlocaties bevinden zich in de meeste gevallen echter op enige afstand van de locaties waar de voorspellingen voor de betreffende dijksectie gewenst zijn. Voor een goede vergelijking is derhalve een vertaling nodig van de gemeten waarden naar deze dijklocaties. Aangezien het belang van betrouwbare randvoorwaarden voor de toetsing van de waterkeringen groot is, heeft het RIKZ aan WL | Delft Hydraulics opdracht gegeven voor het vertalen van de gemeten golfcondities naar de locaties voor de zeewering op basis van WL's offerte van 24 juli 2000. Deze vertaling wordt uitgevoerd met het model SWAN, dat ook voor de bepaling van de extreme golfcondities wordt gebruikt.

## I.2 Doel van de studie

Uit golfmetingen in een aantal locaties dicht bij de Nederlands kust zijn de gegevens beschikbaar van de golfcondities tijdens enkele recente stormen. Het doel van de werkzaamheden is om op basis van de metingen een zo goed mogelijke schatting te maken van de golfcondities die tijdens deze stormen zijn opgetreden in locaties die representatief zijn voor een dicht bij de betreffende meetlocatie gelegen deel van de zeewering. Hierbij is gebruik gemaakt van het golfvoortplantings- en golfvoorspellingsmodel SWAN. Hiermee zijn schematisaties opgezet van de betreffende gebieden, waarmee berekeningen voor de geselecteerde stormcondities worden uitgevoerd.

## I.3 Uitvoering

Het project is uitgevoerd in de sector Mariene-, Kust- en Industriële Infrastructuur door mw. ir. I. Wallast en drs. R.F. de Graaff onder leiding van ir. J. Dekker, die ook het rapport heeft samengesteld. Op enkele specifieke aspecten (Matlab, SWAN) is door verschillende

andere medewerkers ondersteuning verleend. Dr.ir. R.C. Ris was verantwoordelijk voor de kwaliteitsborging van het product.

In het volgende hoofdstuk wordt in algemene zin iets uitgebreider ingegaan op de aanpak die voor deze studie is gevolgd. Daarna is in de Hoofdstukken 3 tot en met 8 per gebied de aanpak verder uitgewerkt. Hierbij zijn de beschikbare meetgegevens, de modelopzet, de uitgevoerde berekeningen en de resultaten beschreven. In Hoofdstuk 9 worden enkele algemene conclusies en aanbevelingen samengevat.

In dit rapport zijn de belangrijkste resultaten in tabellen opgenomen. Waar nodig wordt de tekst verder ondersteund met enkele figuren. Een groter aantal kleurenfiguren met resultaten voor alle tijdstippen waarvoor een berekening is uitgevoerd, is opgenomen in een aparte bijlage, die in een kleinere oplage beschikbaar is.

## 2 Aanpak

### 2.1 Locaties en condities

De locaties waar het RIKZ meetgegevens voor dicht bij de zeewering gelegen stations beschikbaar heeft, zijn weergegeven in Tabel 2.1. De gemeten golfcondities voor een aantal tijdstippen tijdens vrij zware stormen zijn ook in de tabel opgenomen, evenals de randvoorwaarden van het meest nabijgelegen dijkvak uit het Randvoorwaardenboek 1996 (DWW, 1996).

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Westerschelde oost van Vlissingen	ZKAT	900125	19.30	2.24	6.9	dijkkring 30, vak 23
		900125	20.30	2.32	6.5	$H_s=2.02m$ ; $T_p=8.4s$
		900125	23.30	1.76	8.3	dijkkring 29, vak 7/8
		900128	10.30	2.45	6.0	$H_s=2.97m$ ; $T_p=9.0s$
Kust Walcheren ter hoogte van Domburg	DOMB	900125	19.00	2.63	9.7	ring 29, km 14.28
		900125	21.00	3.12	9.9	$H_s=5.0m$ ; $T_p=8.0s$
		900228	03.00	4.18	8.6	
Oosterschelde oost van haven Zierikzee	ZLBR	900125	17.30	1.81	6.0	dijkkring 26, vak 156
		900125	18.00	2.03	6.4	$H_s=1.14m$ ; $T_p=-$
		900125	18.30	1.86	5.8	
Noordzeekust Pettemer Zeewering	MP6	950102	03.40	2.93	13.7	dijkkring 13, vak 23
		950102	04.00	3.29	12.9	$H_s=4.7m$ ; $T_p=12.0s$
		950102	04.20	3.00	13.9	
		950102	04.40	3.12	15.4	
Waddenzee Emmapolder west van Eemshaven	88B	890214	07.20	0.35	6.6	dijkkring 6, paal 51
		890214	16.40	0.31	7.8	$H_s=1.4m$ ; $T_p=3.6s$
Waddenzee / Dollard noord van Hoogwatum	BWN	890214	07.40	0.61	3.4	dijkkring 6, paal 37 $H_s=0.6m$ ; $T_p=4.0s$
Waddenzee / Dollard noord van Delfzijl	BWZ	890214	07.40	0.59	3.8	dijkkring 6, paal 30 $H_s=0.4m$ ; $T_p=2.8s$
Waddenzee / Dollard Termunterzijl	TMN	890214	07.40	1.03	4.3	dijkkring 6, paal 17 $H_s=1.3m$ ; $T_p=4.8s$
Westerschelde zuid van Bath	BA1	000528	11.30	1.11	4.5	dijkkring 31, vak 70 oploop 2m → $H_s=1.5m$

Tabel 2.1 Gemeten golfcondities voor geselecteerde locaties en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996

Tabel 2.1 laat duidelijk zien dat in een aantal gevallen enige zorg met betrekking tot de gegeven randvoorwaarden in het Randvoorwaardenboek terecht is: zowel de gemeten significante golfhoogten als de perioden liggen dicht bij of boven de gegeven randvoorwaarden. Hierbij zij opgemerkt dat de randvoorwaarden in sommige gevallen van dijkvak tot dijkvak vrij grote verschillen te zien geven.

## 2.2 Algemene aanpak

Voor elk van de gebieden zijn de door het RIKZ ter beschikking gestelde meetgegevens bekeken. Naar aanleiding hiervan zijn voor enkele gebieden nog wat aanvullende gegevens opgevraagd. Op basis van de beschikbare gegevens is voor elk gebied de opzet van de basisberekening met SWAN gekozen: roosters, randvoorwaarden en uitvoerpunten. Voor de rekenroosters is over het algemeen aansluiting gezocht bij voorgaande studies. Met uitzondering van de Oosterschelde en Petten is een combinatie van fijne en grovere roosters gebruikt, waarbij de fijnere roosters in de grovere zijn genest. De meest gedetailleerde roosters, met een resolutie van 20x20m, zijn in de meeste gevallen gelijk aan de gedetailleerde roosters die bij de berekeningen voor de database Rand2001 zijn gebruikt.

Ten opzichte van de basisberekening zijn bepaalde invoerparameters gevarieerd om een betere overeenkomst in de meetlocatie te krijgen en de gevoeligheid van de berekeningen na te gaan. Hierbij zijn met name de randvoorwaarden gevarieerd om mogelijke lokale verschillen te compenseren en om de gevoeligheid van de resultaten na te gaan. Hiermee werd in de meeste gevallen een redelijke tot goede overeenkomst met de metingen bereikt. Modelinstellingen zijn daarom niet gewijzigd. Over het algemeen zijn variaties aangebracht in de volgende parameters:

- **Windsnelheid en -richting**

De meetlocaties van de wind liggen in een aantal gevallen vrij ver van het modelgebied of sterk aan één kant van het gebied. De windsnelheid en/of -richting in het modelgebied kan daarom afwijken van die in de meetlocatie.

- **Golfrichting**

In enkele gevallen is het beschikbare gemeten 1-dimensionale golfspectrum direct op de rand van het gedetailleerde rooster opgelegd. Hierbij is de golfrichting in eerste instantie gelijk aan de windrichting aangenomen. Deze kan echter van de windrichting afwijken.

- **Waterstand**

De waterstand is meestal voor één of meer locaties in het modelgebied beschikbaar. De waterstand in de meetlocatie kan daar echter iets van afwijken door verschillen in fase van het getij, lokale windopzet, golfopzet door brekende golven, etc.. Omdat een aantal meetlocaties in ondiep water ligt, waar de golfhoogte wordt beperkt door de waterdiepte, zijn de berekeningsresultaten veelal vrij gevoelig voor de waterstand. Via de waterstand kunnen ook verschillen in bodemligging ten tijde van de stormmetingen ten opzichte van de datum van loding van de SWAN bodem worden verdisconteerd.

Voor de berekening die een goede overeenkomst van de golfhoogte in de meetlocatie gaf (5% fout in  $H_s$  of minder), zijn de golfparameters in een aantal uitvoerpunten langs de dijk bepaald. Dit zijn de condities die naar verwachting tijdens de beschouwde storm(en) aan de voet van de dijk zijn opgetreden. Door het RIKZ wordt gewerkt aan nieuwe rand-

voorwaarden die op termijn een probabilistische toetsing van de waterkeringen mogelijk moet maken. Hiervoor zijn voor alle delen van de kust met het SWAN model berekeningen voor een groot aantal verschillende combinaties van windrichting, windsnelheid en waterstand (database Rand2001). De in deze studie gebruikte uitvoerpunten zijn gelijk aan de punten die in de database Rand2001 zijn opgenomen. Deze punten zijn verder als dijklocatie aangeduid. De resultaten van de berekeningen in deze dijklocaties ten opzichte van de meetlocatie zijn geanalyseerd door de verhouding van enkele golfparameters tegen elkaar uit te zetten.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met SWAN Versie 40.01 waarin de bugfixes, zoals gepresenteerd op de SWAN-homepage, zijn verwerkt. De nieuwe versie van SWAN, die begin oktober werd verwacht, werd met enige vertraging pas eind oktober vrijgegeven en was nog niet beschikbaar voor de huidige studie. In alle berekeningen zijn de standaardinstellingen van het model gebruikt. Voor het berekenen van de integrale golfparameters uit het 1D spectrum is gebruik gemaakt van de postprocessings programma's uit de testbank van SWAN.

### 2.3 Toegeleverde gegevens

Voor het opzetten van SWAN schematisaties voor het vertalen van de gemeten golfgegevens naar de nabijgelegen dijkvakken zijn behalve de waarden in Tabel 2.1 nog een groot aantal andere gegevens nodig. Bij aanvang van het project is door het RIKZ een CD-ROM met een groot aantal relevante gegevens ter beschikking gesteld. Deze bevatte onder andere gemeten golfspectra, tijdseries van de potentiële windsnelheid, waterstanden, bodemligging en coördinaten van meetlocaties en dijklocaties. Tijdens de uitvoering zijn door het RIKZ op verzoek nog enkele aanvullende gegevens per email toegezonden. Daarnaast zijn voor enkele locaties tijdreeksen van de potentiële windsnelheid via het internet bij het KNMI opgehaald ([www.knmi.nl/samenw/hydra](http://www.knmi.nl/samenw/hydra)). De beschikbare gegevens zijn in de volgende hoofdstukken per locatie in meer detail beschreven.

### 2.4 Interpretatie van resultaten

Bij de interpretatie van de resultaten is het van belang te onderkennen dat enerzijds een vergelijking wordt gemaakt tussen modelresultaten en metingen en anderzijds de resultaten weer worden vergeleken met de gegevens in het Randvoorwaardenboek 1996.

Van SWAN is bekend dat het de golfhoogte over het algemeen goed voorspelt, maar dat de periode over het algemeen wordt onderschat. Hierin kunnen zowel modeffecten (relaxatie naar evenwichtsvorm van het spectrum, bijvoorbeeld in de hoogfrequente staart) als invloed van de metingen (bijvoorbeeld reflecties van de dijk) een rol spelen. Omdat golfperioden over het algemeen een beperkte ruimtelijke variatie kennen en de meetlocaties dicht bij de dijklocaties gelegen zijn, is de gemeten golfperiode in de interpretatie als uitgangspunt genomen. Hierop zijn kleine variaties aangebracht op basis van de verschillen in met SWAN berekende periode.

Van de piekperiode  $T_p$  die in het Randvoorwaardenboek wordt gebruikt, is gebleken dat dit een minder stabiele en betrouwbare parameter is bij metingen en modelresultaten met

meertoppige spectra. In plaats hiervan worden nu  $T_{pm}$  (gemiddelde piekperiode; Roskam, 1997) en  $T_{m-10}$  (gemiddelde periode die in de buurt ligt van de piekperiode) gebruikt, die meer stabiel zijn en over het algemeen een gladder verloop hebben.

## 3 Westerschelde bij Vlissingen

### 3.1 Inleiding

In de Westerschelde zijn metingen van de golfcondities tijdens vrij zware stormcondities beschikbaar voor het station ZKAT. Dit station ligt ongeveer 1.5 km ten zuiden van de dijk van Walcheren tussen de Buitenhaven van Vlissingen en de haven van Vlissingen-Oost (locatie 32745m, 3837774m). Hier zijn vrij extreme golfhoogten gemeten tijdens een tweetal stormen in januari 1990, zoals Tabel 3.1 laat zien. De gemeten golfhoogten bereiken waarden van circa 80% van de randvoorwaarden voor de dijkvakken 7/8, de hoogste periode is meer dan 90% van de randvoorwaarde (zij het bij een lagere golfhoogte).

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Westerschelde oost van Vlissingen	ZKAT	900125	19.30	2.24	6.9	dijkkring 29, vak 7/8
		900125	20.30	2.32	6.5	$H_s=2.97m$ ; $T_p=9.0s$
		900125	23.30	1.76	8.3	vak 9: $H_s=1.68m$
		900128	10.30	2.45	6.0	vak 11: $H_s=1.51m$

Tabel 3.1 Gemeten golfcondities voor station ZKAT en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996

De windsnelheid was op 25 januari 1990 rond de 25 m/s, op 28 januari 1990 rond 20 m/s. De windrichting was op beide dagen uit zuidwest tot west ( $240^\circ N - 250^\circ N$ ).

### 3.2 Data

#### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *gridws97.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20mx20m dat de hele Westerschelde en de monding in de Noordzee omvat (ten oosten van de lijn  $x=-14450m$ ).

#### Wind

Windgegevens in het gebied zijn beschikbaar voor de stations Vlissingen (locatie 30475m, 385125m) en Cadzand (locatie 15319m, 378673m). De windsnelheidsgegevens in de beschikbare bestanden zijn potentiële windsnelheden. Dit is een waarde die op basis van de gemeten windsnelheid is bepaald en die de windsnelheid op 10m hoogte boven open terrein weergeeft. Door verschil in ruwheid van het oppervlak is de windsnelheid boven open water



ruim 12% hoger dan op land. De windsnelheid en -richting in deze stations is weergegeven in Tabel 3.2.

Datum	Tijd MET [hh:mm]	Vlissingen		Cadzand	
		Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]
25 jan 2000	12:00	200	16.1	210	18.5
	13:00	190	18.7	190	18.6
	14:00	180	21.6	210	19.6
	15:00	230	24.3	230	26.6
	16:00	230	27.6	230	27.7
	17:00	230	30.4	230	28.9
	18:00	230	27.6	230	27.2
	19:00	240	28.1	240	27.2
	20:00	240	26.0	240	24.4
	21:00	240	24.8	250	21.4
	22:00	250	21.8	250	20.3
	23:00	250	21.8	250	20.3
	24:00	250	21.3	250	19.2
	28 jan 2000	0:00	160	12.9	150
1:00		150	13.5	150	8.7
2:00		150	12.9	160	11.8
3:00		170	15.1	180	13.6
4:00		180	15.1	180	14.2
5:00		180	15.6	190	12.7
6:00		190	16.1	200	14.6
7:00		200	18.3	210	18.0
8:00		210	19.9	210	19.1
9:00		220	22.7	220	21.3
10:00		240	25.4	240	22.8
11:00		250	22.9	250	21.4
12:00		250	20.7	260	19.2

Tabel 3.2 Windcondities in de stations Vlissingen en Cadzand op 25 en 28 januari 1990

## Golven

Naast het in Tabel 3.1 genoemde station ZKAT zijn er golfgegevens beschikbaar voor de stations Scheur-Oost en Deurloo die op een raai loodrecht op de kust ter hoogte van Cadzand liggen.

Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
ZKAT	ZKT	32745	383774	1D-spec	25/1: 19.30, 20.30 23.30 28/1: 10.30
Scheur Oost	SCO	9915	381366	1D-spec	25/1: elk half uur 28/1: -
Deurloo	DRL	6071	392601	1D-spec	25/1: elk half uur 28/1: -

Tabel 3.3 Beschikbare golfgegevens Westerschelde op 25 en 28 januari 1990

## Waterstanden

Waterstandgegevens zijn beschikbaar voor enkele stations in de Westerschelde en op de Noordzee. Tabel 3.4 geeft de waarden rond het tijdstip van de golfmetingen. De meetlocatie ZKAT ligt dicht bij station Vlissingen. De waterstanden in het buitengebied lopen daar over het algemeen in fase iets voor. Tabel 3.4 laat dit ook zien: bij vloed zijn de waterstanden bij Westkapelle iets hoger dan die in Vlissingen (bijv. op 25 januari 1990 rond 23:00 u). De eerste twee beschikbare metingen vallen rond laag water met een waterstand rond NAP.

Datum	Tijd [MET hh:mm]	Vlissingen [m NAP]	Westkapelle [m NAP]	Terneuzen [m NAP]	Euro [m NAP]
25 jan 1990	18:00	0.23	0.22	0.38	0.00
	18:30	0.18	0.20	0.28	-0.07
	19:00	0.10	0.12	0.23	0.07
	19:30	0.04	0.01	0.15	0.10
	20:00	-0.08	0.01	0.07	0.23
	20:30	-0.08	0.08	-0.05	0.33
	21:00	0.04	0.21	0.00	0.37
	21:30	0.23	0.36	0.17	0.43
	22:00	0.48	0.59	0.39	0.47
	22:30	0.70	0.76	0.67	0.59
	23:00	0.96	1.09	0.93	0.75
	23:30	1.31	1.48	1.24	0.94
	0:00	1.68	1.78	1.65	1.14
28 jan 1990	9:30	-1.87			
	9:40	-1.83			
	9:50	-1.77			
	10:00	-1.64			
	10:10	-1.49			
	10:20	-1.35			
	10:30	-1.20			
	10:40	-0.97			
	10:50	-0.78			
	11:00	-0.63			
	11:10	-0.48			
	11:20	-0.36			
	11:30	-0.27			

Tabel 3.4 Waterstanden voor enkele stations in de Westerschelde op 25 en 28 januari 1990

### 3.3 Modelopzet

#### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor de Westerschelde is het detailrooster gebaseerd op het rekenrooster dat ook in eerdere studies is gebruikt (Alkyon, 1998a, 1999a). De zuidelijke rand van het rooster is echter wat verder naar het zuiden gekozen, zodat ook het station

ZKAT in het fijne model ligt. Dit fijne rooster ligt ongeveer evenwijdig aan de kust ten oosten van Vlissingen en heeft de zuidelijke rand ongeveer 750m ten zuiden van station ZKAT. Omdat de golfcondities langs de rand van dit model naar verwachting wat zullen variëren, is dit detailrooster genest in een grover rooster dat de monding van de Westerschelde bestrijkt. De zuidwestelijke rand van dit grovere model valt ruwweg samen met de raai door de stations SCO en DRL. De locatie en afmetingen van de gebruikte SWAN rekenroosters staan in Tabel 3.5 samengevat.

Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	17850	358245	19.	35000	42000	175	210	36	0.05	0.6	29
f	30500	383000	0.	5000	4000	250	150	36	0.05	0.6	29

Tabel 3.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de Westerschelde (aangeduid met c voor *coarse* grid en f voor *fine* grid)

### Randvoorwaarden

Met de gedefinieerde rekenroosters zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Dit betreft zowel de verschillende tijdstippen waarop gegevens beschikbaar zijn als variaties in de randvoorwaarden per tijdstip. Voor dit laatste zijn, uitgaande van de basisberekening voor elk tijdstip, een aantal parameters gevarieerd om een zo goed mogelijke overeenkomst in het station ZKAT te verkrijgen. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 3.6.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snelheid [m/s]	richting [°N]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	θ <sub>m</sub> [°N]	
f10	0.0	26	240	var	var	240	25/1, 19:30 spectra SCO en DRL
f11	0.0	26	260	var	var	260	25/1, 19:30 spectra SCO en DRL
f12	0.0	30	240	var	var	240	25/1, 19:30 spectra SCO en DRL
f13	0.0	26	240	2.23	5.5	240	25/1, 19:30 fijn model, spec ZKT
f20	0.0	25	245	var	var	245	25/1, 20:30 spectra SCO en DRL
f30	1.3	21.5	250	var	var	250	25/1, 23:30 spectra SCO en DRL
f40	0.6	20	250	2.44	5.3	250	28/1, 10:30 fijn model, spec ZKT

Tabel 3.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Westerschelde bij Vlissingen

### 3.4 Berekeningen en resultaten

#### Calibratie

Voor het eerste tijdstip waarvoor metingen beschikbaar zijn, zijn enkele calibratieberekeningen uitgevoerd. Uit een vergelijking van de berekende resultaten met de gemeten golfhoogten in de meetlocatie ZKAT (Tabel 3.7) blijkt dat de resultaten vooral gevoelig zijn voor de windsnelheid en de wind- en golfrichting. Van de uitgevoerde berekeningen geeft run f10 een vrij goede overeenkomst tussen gemeten en berekende golfhoogte. De berekende waarde ligt ongeveer 4% boven de gemeten waarde. Dit is voor de bepaling van de overeenkomstige condities in de dijklocaties ruim voldoende. Uit vergelijking van de 1D spectra blijkt dat het berekende spectrum de meting wel enigszins benaderd, maar wat laagfrequente energie mist terwijl de staart wat wordt overschat (Figuur 3.1). De periode gemeten  $T_{m-10}$  wordt hierdoor met 1 - 1.5 seconde onderschat. Deze spectrale vorm was vrij stabiel in de verschillende berekeningen. Ook aanpassing van de richting van de wind en de inkomende golven in een poging meer laagfrequente energie vanaf de rand naar de meetlocatie te 'sturen' had niet het gewenste effect. Ook in run f20 komt de totale golfhoogte vrij goed overeen.

Case	Gemeten		Berekend			Opmerkingen
	$H_{m0}$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$H_{m0}$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
f10	2.24	6.0	2.32	4.5	258	
f11	2.24	6.0	2.46	4.7	263	
f12	2.24	6.0	2.66	4.8		
f13	2.24	6.0	2.69	5.5	245	alleen fijn model
f20	2.32	5.8	2.29	4.5	260	
f30	1.76	5.8	2.11	4.5	262	
f40	2.45	5.6	2.58	5.3	249	alleen fijn model

Tabel 3.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station ZKAT

#### Dijklocaties

Voor een tiental dijklocaties in de buurt van de meetlocatie (zie Figuur 3.2b voor de posities) zijn de berekende golfcondities voor de verschillende berekeningen bepaald. Deze zijn voor run f10 weergegeven in Tabel 3.8. De tabel laat zien dat de berekende golfhoogte in de dijklocaties flink wat lager is dan in de meetlocatie. In een aantal dijklocaties wordt dit veroorzaakt door dieptebeperking, maar in een aantal andere locaties is de diepte geen beperkende factor. Gezien de grote verandering in de hoofdrichting van de golven, lijkt dit te worden veroorzaakt door afscherming van delen van het richtingsspectrum en refractie. Voor meer zuidelijke windrichtingen speelt dit minder een rol, zij het dat hiervoor de doordringing vanaf de Noordzee minder zal zijn en ook de strijklengte voor lokale opwekking kleiner is.

De berekeningen geven in de dijklocaties een golfperiode die vergelijkbaar is met die in de meetlocatie. Naar verwachting zal ook in de werkelijkheid de periode in de dijklocaties vergelijkbaar zijn geweest met de hogere gemeten periode in de meetlocatie.

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[sec]	[°N]	[°]
ZKT	32745	383774	13.19	2.32	5.24	5.28	4.54	258	29.1
015J	33543	385302	2.12	0.93	4.77	4.36	3.76	189	20.6
015R	33313	385135	9.20	1.37	4.77	4.33	3.79	216	25.1
015T	33165	385089	9.39	1.40	4.77	4.42	3.87	216	25.6
015U	33003	385069	2.52	1.23	5.24	4.97	4.28	197	21.6
015W	32843	385073	1.97	1.12	5.24	4.94	4.27	199	17.8
015X	32689	385073	1.86	1.06	5.24	4.84	4.22	199	17.3
014A	32644	385083	1.69	0.97	5.24	4.84	4.20	198	15.8
014M	32485	385064	2.50	1.20	5.24	4.78	4.17	199	18.9
013A	32342	385029	2.94	1.32	4.77	4.70	4.08	208	21.9
013M	31975	385042	2.37	1.17	5.24	4.81	4.24	202	18.1

Tabel 3.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station ZKAT voor run f10

### 3.5 Conclusie

Voor de beschouwde locatie ZKAT bij de Vlissingen kan worden geconcludeerd dat, startend met SWAN vanaf de Noordzee, de berekende golfcondities vrij gevoelig zijn voor de beschouwde windsnelheid en -richting. Gezien de vorm van het spectrum wordt de golfhoogte in het model vooral bepaald door windgroei. In het berekende spectrum lijken met name componenten met een langere periode die vanaf de Noordzee komen te worden onderschat. Als het model wordt afgeregeld op de golfhoogte, komt het spectrum dan ook slecht overeen. De periode wordt mede hierdoor onderschat.

Uit een vergelijking van de golfhoogten in de dijklocaties met die in de meetlocatie blijkt dat deze aanmerkelijk lager zijn dan in de meetlocatie. In een aantal gevallen wordt dit veroorzaakt door dieptebeperking, zodat de golfhoogte bij hogere waterstand ook hoger zal zijn. Ook in dijklocaties waar de diepte voldoende groot is om geen invloed op de golfhoogte te hebben is de golfhoogte tijdens de gesimuleerde stormcondities lager dan in de meetlocaties. Dit wordt veroorzaakt doordat de golfrichting op diep water voor de dijk erg schuin op de oever invallen. Hierdoor treedt sterke refractie op. Ook speelt afscherming voor een deel van het richtingspectrum een rol. Ten tijde van de onderzochte tijdstippen zal in de dijklocaties waar de diepte wat groter is, de significante golfhoogte tussen de 1.0m en 1.5m zijn geweest. De golfperiode zal vergelijkbaar zijn geweest met de in ZKAT gemeten periode.

## 4 Kust Walcheren

### 4.1 Inleiding

Aan de noordwestkust van Walcheren zijn metingen van de golfcondities tijdens vrij zware stormcondities beschikbaar voor het station DOMB. Dit station ligt ongeveer 450m uit de kust ter hoogte van Domburg (locatie 23141m, 399307m) op een diepte van ongeveer NAP-7.5m. Hier zijn vrij extreme golfhoogten gemeten tijdens een tweetal stormen in januari en februari 1990, zoals Tabel 4.1 laat zien. De hoogst gemeten golfhoogte is meer dan 80% van de randvoorwaarden voor het betreffende stuk kust, de perioden zijn ruim boven de randvoorwaarde.

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Kust Walcheren ter hoogte van Domburg	DOMB	900125	19.00	2.63	9.7	ring 29, km 14.28
		900125	21.00	3.12	9.9	$H_{0s}=5.0m$ ; $T_p=8.0s$
		900228	03.00	4.18	8.6	

Tabel 4.1 Gemeten golfcondities voor station DOMB en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996

De windsnelheid in Vlissingen was op 25 januari 1990 rond de 25 m/s, op 28 februari 1990 rond 14 m/s. De windrichting was op beide dagen uit zuidwest tot west (240°N - 250°N).

### 4.2 Data

#### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *zeeland.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20mx20m dat de Noordzee voor de Zeeuwse delta omvat.

#### Wind

Windgegevens in het gebied zijn beschikbaar voor de stations Vlissingen (locatie 30475m, 385125m) en Cadzand (locatie 15319m, 378673m). De windsnelheidsgegevens in de beschikbare bestanden zijn potentiële windsnelheden. Dit is een waarde die op basis van de gemeten windsnelheid is bepaald en die de windsnelheid op 10m hoogte boven open terrein weergeeft. Door verschil in ruwheid van het oppervlak is de windsnelheid boven open water ruim 12% hoger. De windsnelheid en -richting in deze stations op 25 januari 1990 is weergegeven in Tabel 3.2. De windcondities op 28 februari 1990 zijn gegeven in Tabel 4.2.

Datum	Tijd MET [hh:mm]	Vlissingen		Cadzand	
		Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]
28 feb 2000	0:00	270	18.5	290	20.6
	1:00	270	18.5	280	20.0
	2:00	270	19.6	270	20.0
	3:00	270	20.1	270	21.2
	4:00	270	19.6	270	21.2
	5:00	270	19.6	270	19.0
	6:00	270	19.0	270	19.0
	7:00	270	16.8	280	17.4
	8:00	270	15.7	260	15.0
	9:00	260	14.7	260	14.5
	10:00	260	13.7	250	13.5
	11:00	250	14.2	260	13.5
	12:00	230	11.6	220	8.9

Tabel 4.2 Windcondities in de stations Vlissingen en Cadzand op 28 februari 1990

## Golven

Naast het in Tabel 4.1 genoemde station DOMB zijn er golfgegevens beschikbaar voor de stations Scheur-Oost en Deurloo die op een raai loodrecht op de kust ter hoogte van Cadzand liggen.

Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
Domburg	DMB	23141	399307	1D-spec	25/1: 19.00, 21.00 28/2: 03.00
Scheur Oost	SCO	9915	381366	1D-spec	25/1: ieder half uur 28/2: -
Deurloo	DRL	6071	392601	1D-spec	25/1: ieder half uur 28/2: -

Tabel 4.3 Beschikbare golfgegevens Kust Walcheren op 25 januari 1990 en 28 februari 1990

## Waterstanden

Waterstandsgegevens zijn beschikbaar voor enkele stations in de Westerschelde en op de Noordzee. Voor 25 januari 1990 zijn deze weergegeven in Tabel 3.4. Tabel 4.4 geeft de waarden rond het tijdstip van de golfmetingen op 28 februari 1990. Op deze dag zijn alleen gegevens voor Vlissingen beschikbaar. De waterstanden in het buitengebied lopen daar over het algemeen iets voor (zie Sectie 3.2). Uit de havengetallen voor de verschillende stations wordt geschat dat het verschil in fase van het getij tussen Vlissingen en Domburg bij hoogwater 10-15 minuten bedraagt (RIKZ, 2000b). Zowel op 25 januari 1990 als op 28 februari 1990 zal de waterstand bij Domburg naar verwachting iets hoger zijn dan in Vlissingen.

Datum	Tijd [MET hh:mm]	Vlissingen [m NAP]
28 feb 1990	1:30	1.39
	1:40	1.53
	1:50	1.70
	2:00	1.87
	2:10	2.08
	2:20	2.31
	2:30	2.54
	2:40	2.79
	2:50	3.04
	3:00	3.27
	3:10	3.45
	3:20	3.58
	3:30	3.66
	3:40	3.69
	3:50	3.70
	4:00	3.68
	4:10	3.64
4:20	3.57	
4:30	3.47	

Tabel 4.4 Waterstanden voor het station Vlissingen op 28 februari 1990

### 4.3 Modelopzet

#### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor de kust van Walcheren is voor het detailrooster gebruik gemaakt van het rekenrooster dat ook in eerdere studies is gebruikt (Alkyon, 1998a, 1999a). Dit detailrooster is genest in een grover rooster dat de monding van de Westerschelde bestrijkt. Dit grovere rooster is vrijwel gelijk aan dat voor de Westerschelde. Om een betere aansluiting op het detailrooster te krijgen, ligt de noordwestelijke rand 3km verder uit de kust. De zuidwestelijke rand van dit model valt weer ruwweg samen met de raai door de stations SCO en DRL. De locatie en afmetingen van de gebruikte roosters staan in Tabel 4.5 samengevat.

Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	17850	358245	19.	35000	45000	175	225	36	0.05	0.6	29
f	20500	397500	0.	5000	2400	250	120	36	0.05	0.6	29

Tabel 4.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de kust van Walcheren



## Randvoorwaarden

Met de gedefinieerde rekenroosters zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn, uitgaande van de basisberekening, een aantal parameters gevarieerd om een zo goed mogelijke overeenkomst in het station DOMB te verkrijgen. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 4.6.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snellheid [m/s]	richting [°N]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
f10	0.20	27	240	var	var	240	spectra SCO en DRL
f11	0.20	27	260	var	var	260	spectra SCO en DRL
f12	0.20	30	240	var	var	240	spectra SCO en DRL
f13	0.75	27	240	var	var	240	spectra SCO en DRL
f20	0.00	23	250	var	var	250	spectra SCO en DRL
f21	0.20	23	270	var	var	270	spectra SCO en DRL
f22	0.45	23	270	var	var	270	spectra SCO en DRL
f30	3.25	21	270	4.18	8.1	270	fijn model, spc DMB
f31	3.55	21	300	4.18	8.1	300	fijn model, spc DMB

Tabel 4.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de kust van Walcheren

## 4.4 Berekeningen en resultaten

### Calibratie

Omdat de basiskeuze tot te grote afwijkingen in de golfhoogte leidde, zijn met de modellen enkele calibratieberekeningen uitgevoerd. Voor de berekeningen voor het eerste tijdstip bleken de resultaten vooral gevoelig voor de golf- en windrichting. Verhoging van de windsnelheid bleek nauwelijks van invloed, verhoging van de waterstand in beperkte mate. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in de beschouwde situaties refractie en dieptebeperking een belangrijke rol spelen.

Ook voor de andere tijdstippen zijn waterstand en wind- en golfrichting gevarieerd. Voor het laatste tijdstip, waar de in DOMB gemeten golfhoogte op de rand van het detailmodel is opgelegd, wordt met een variatie in de richting rekening gehouden met refractie en andere aanpassing van de golfrichting die in het buitengebied opgetreden zal zijn. Hierdoor komt voor deze run de vorm van het gemeten en berekende spectrum in de meetlocatie goed overeen (Fig. 4.1). Voor de andere tijdstippen komt de piek van het spectrum redelijk overeen, maar wordt de energie bij iets hogere frequenties door het model overschat (zie ook aparte Bijlage).

Case	Gemeten		Berekend			Opmerkingen
	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	θ <sub>m</sub> [°N]	
f10	2.63	7.6	2.63	6.1	277	
f11	2.63	7.6	2.80	6.2	287	
f12	2.63	7.6	2.63	6.1	276	
f13	2.63	7.6	2.68	6.1	277	
f20	3.12	8.2	2.56	6.2	284	
f21	3.12	8.2	2.77	6.4	294	
f22	3.12	8.2	2.85	6.4		
f30	4.18	8.1	3.74	7.4	283	alleen fijn model
f31	4.18	8.1	3.99	7.6	305	alleen fijn model

Tabel 4.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station DOMB

### Dijklocaties

Voor een tiental dijklocaties in de buurt van de meetlocatie (Fig 4.2b) zijn de berekende golfcondities voor de geselecteerde berekening bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 4.8. De tabel laat zien dat de berekende golfhoogte in de meeste dijklocaties 0.15-0.25m lager is dan in de meetlocatie. In dijklocatie W01C is het verschil groter, hetgeen kan worden verklaard uit de relatief geringe diepte: de golfhoogte is dieptebeperkt. De periodes in de dijklocaties zijn vergelijkbaar met die in de meetlocatie.

Locatie	X [m]	Y [m]	Diepte [m]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	T <sub>pm</sub> [s]	T <sub>m-10</sub> [sec]	θ <sub>m</sub> [°N]	σ <sub>d</sub> [°]
DOMB	23141	399307	10.91	3.99	9.25	8.67	7.58	305	30.3
W01C	21830	398031	6.62	3.55	9.25	8.70	7.64	310	23.5
W01D	22008	398190	8.40	3.74	9.25	8.68	7.56	307	25.3
W01E	22203	398324	8.91	3.70	9.25	8.68	7.53	309	26.6
W01F	22390	398471	10.02	3.77	9.25	8.67	7.48	308	27.5
W01M	22577	398618	9.88	3.87	9.25	8.68	7.51	306	27.7
W01U	22778	398743	9.21	3.83	9.25	8.68	7.53	307	26.6
W01V	22991	398852	7.45	3.70	9.25	8.70	7.63	311	24.7
W01W	23169	399011	8.65	3.80	9.25	8.69	7.57	309	25.9
W01X	23348	399169	9.29	3.82	9.25	8.68	7.53	307	26.6
W01Y	23543	399304	8.79	3.77	9.25	8.68	7.56	307	26.4
W01Z	23721	399463	8.75	3.77	9.25	8.68	7.61	309	28.0

Tabel 4.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station DOMB voor run f31

### 4.5 Conclusie

Voor de beschouwde locatie bij Domburg kan worden geconcludeerd dat SWAN met een kleine aanpassing van de waterstand of de wind- en golfrichting de gemeten golfcondities

vrij goed voorspeld. De periode wordt iets onderschat. Uit een vergelijking van de golfhoogten in de dijklocaties met die in de meetlocatie voor run f31 blijkt dat de golfhoogten tijdens deze stormsituatie rond  $H_s = 4.0\text{m}$  zijn geweest. Dit is ongeveer 80% van de in het Randvoorwaardenboek 1996 gegeven diep water golfhoogte  $H_{0s} = 5.0\text{m}$ .

## 5 Oosterschelde Zeelandbrug

### 5.1 Inleiding

In de Oosterschelde zijn metingen van de golfcondities tijdens vrij zware stormcondities beschikbaar voor het station ZLBR. Dit station ligt dicht voor de dijk van Schouwen-Duiveland tussen het havenkanaal van Zierikzee en de voormalige veerhaven bij Zierikzee (locatie ZLBR: 52426m, 405555m). Hier zijn tijdens de storm van 25 januari 1990 extreme golfhoogten gemeten die ver boven de randvoorwaarden voor het dijkvakken 156 liggen, zoals Tabel 5.1 laat zien. De gemeten golfhoogten zijn vergelijkbaar met de randvoorwaarden voor het dijkvak ten westen van het havenkanaal (dijkvak 158:  $H_s=2.0\text{m}$ ).

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Oosterschelde oost van haven Zierikzee	ZLBR	900125	17.30	1.81	6.0	dijkkring 26, vak 156 $H_s=1.14\text{m}$ ; $T_p=-$
		900125	18.00	2.03	6.4	
		900125	18.30	1.86	5.8	

Tabel 5.1 Gemeten golfcondities voor station ZLBR en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvak uit het Randvoorwaardenboek 1996

De windsnelheid in Vlissingen was op 25 januari 1990 rond de 25 m/s uit zuidwest tot west ( $240^\circ\text{N} - 250^\circ\text{N}$ ).

### 5.2 Data

#### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *gridos.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20mx20m dat de hele Oosterschelde omvat.

#### Wind

De dichtstbijzijnde beschikbare windgegevens in het gebied zijn die voor station Vlissingen. Deze zijn voor de betreffende tijdstippen gegeven in Tabel 3.2.

## Golven

Naast het in Tabel 5.1 genoemde station ZLBR zijn er golfgegevens beschikbaar voor een drietal andere stations in de Oosterschelde. Deze stations liggen echter vrij ver van het punt ZLBR en zijn daarmee alleen van belang als vrij grote rekenroosters worden gebruikt.

Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
Zeelandbrug	ZLBR	52426	405555	1D-spec	17.30; 18.00; 18.30
Schaar zeezijde	OS04	37837	408813		
Marollegat	MRG	71992	388510		
Galgenplaat	GALA	53607	399769		

Tabel 5.2 Beschikbare golfgegevens Oosterschelde op 25 januari 1990

### 5.2.2 Waterstanden

Waterstandsgegevens zijn beschikbaar voor het station Stavenisse (locatie 59300m, 401630m). Tabel 5.3 geeft de waarden rond het tijdstip van de golfmetingen. Het verschil in havengetal tussen de stations Stavenisse en Roompot-Binnen, dat bij de kering juist in de Oosterschelde ligt, is ongeveer 17 minuten. Bij de meetlocatie ZLBR zullen de hoogste en laagste waterstanden enkele minuten eerder optreden dan in Stavenisse. Bij vallend tij zal de waterstand bij ZLBR dus naar verwachting iets lager zijn dan in Stavenisse.

Tijd	Stavenisse
17:00	1.34
17:10	1.26
17:20	1.19
17:30	1.13
17:40	1.04
17:50	0.97
18:00	0.90
18:10	0.84
18:20	0.77
18:30	0.70
18:40	0.63
18:50	0.57
19:00	0.54

Tabel 5.3 Waterstanden voor Stavenisse op 25 januari 1990

## 5.3 Modelopzet

### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor de Oosterschelde is gebruik gemaakt van het gedetailleerde rekenrooster met een resolutie van 20mx20m dat eerdere ook voor de

bepaling van de golfcondities ten bate van de database Rand2001 is gebruikt (Alkyon, 1998b). Dit rooster ligt ongeveer evenwijdig aan de kust. Omdat niet geheel duidelijk was of de Oosterscheldekering open of dicht was, is het gemeten spectrum direct op de rand van het fijne rooster opgelegd. De locatie en afmetingen van het rooster staan in Tabel 5.4 samengevat.

Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	51000	404100	0.	4000	2300	200	115	36	0.1	0.5	29

Tabel 5.4 Locatie en dimensies van het rekenrooster voor de Oosterschelde

### Randvoorwaarden

Met het gedefinieerde rekenrooster zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn, uitgaande van de basisberekening, een aantal parameters gevarieerd om een zo goed mogelijke overeenkomst tussen SWAN en de metingen in het station ZLBR te verkrijgen. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 5.5.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snelheid [m/s]	richting [°N]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
c10	1.0	25	230	1.81	4.8	230	spectrum ZLBR
c11	1.0	25	250	1.81	4.8	250	
c12	1.0	28	230	1.81	4.8	230	
c13	1.5	25	230	1.81	4.8	230	
c14	1.0	25	210	1.81	4.8	210	
c20	0.9	27	240	2.03	5.0	240	
c30	0.7	25	240	1.87	4.8	240	

Tabel 5.5 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Oosterschelde

## 5.4 Berekeningen en resultaten

### Calibratie

Voor het eerste tijdstip waarvoor metingen beschikbaar zijn, zijn enkele calibratieberekeningen uitgevoerd. Uit een vergelijking van de berekende resultaten met de gemeten golfhoogten in de meetlocatie ZLBR (Tabel 5.6) blijkt dat de resultaten vooral gevoelig zijn voor de windsnelheid en de wind- en golfrichting. Van de uitgevoerde berekeningen geeft run c11 een goede overeenkomst van de golfhoogte. De berekende waarde ligt minder dan 3% boven de gemeten waarde. Dit is voor de bepaling van de overeenkomstige condities in de dijklocaties ruim voldoende. Uit vergelijking van de 1D spectra blijkt dat het berekende spectrum vrij goed overeenkomt met de meting (Figuur 5.1). De periode  $T_{m-10}$  wordt met

ongeveer een halve seconde onderschat. De ‘grassigheid’ van het gemeten spectrum wordt door het model niet gereproduceerd en in de staart van het spectrum wordt de energie-inhoud door het model iets overschat, hoewel het gemeten spectrum aan de modelrand is opgelegd. SWAN vult de energiedichtheid blijkbaar vrij snel op naar een evenwichtswaarde. Dit verschil in energiedichtheid in de staart verklaart ook het verschil tussen de gemeten en berekende periode  $T_{m-10}$ . Voor de twee andere tijdstippen ligt de berekende golfhoogte nog iets boven de gemeten waarde, maar met een kleine aanpassing van de windsnelheid kan eenvoudig een goede overeenkomst worden verkregen.

Case	Gemeten		Berekend			Opmerkingen
	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
c10	1.81	4.8	2.03	4.3	221	
c11	1.81	4.8	1.86	4.2	231	
c12	1.81	4.8	2.13	4.3	221	
c13	1.81	4.8	2.03	4.3	221	
c14	1.81	4.8	2.13	4.3	207	
c20	2.03	5.0	2.14	4.5	226	
c30	1.86	4.8	1.98	4.3	226	

Tabel 5.6 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station ZLBR

### Dijklocaties

Voor een tiental dijklocaties in de buurt van de meetlocatie (Fig 5.1) zijn de berekende golfcondities voor de geselecteerde berekening bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 5.7. De tabel laat zien dat de berekende golfhoogte in een aantal dijklocaties dezelfde orde van grootte heeft als in de meetlocatie. In een aantal dijklocaties waar de diepte relatief gering is, is de golfhoogte dieptebeperkt en aanzienlijk lager dan in de meetlocatie.

Locatie	X [m]	Y [m]	Diepte [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$T_{pm}$ [s]	$T_{m-10}$ [sec]	$\theta_m$ [°N]	$\sigma_d$ [°]
ZLBR	52426	405555	15.73	2.13	5.63	5.22	4.46	226	28.2
155D	54512	406191	0.34	0.15	5.63	5.30	2.67	199	9.1
155F	54289	405778	1.93	0.63	5.63	5.47	3.84	187	13.2
155W	53790	405319	5.58	2.05	5.63	5.33	4.61	221	24.8
155Y	53459	405334	10.51	2.17	5.63	5.24	4.49	228	28.3
156C	52876	405515	7.30	2.15	5.63	5.31	4.56	224	26.3
156M	52469	405627	6.96	1.90	5.63	5.18	4.40	216	25.0
156X	52062	405739	1.58	1.04	5.63	5.45	4.66	196	19.8
157Z	51385	405751	16.06	2.24	5.63	5.15	4.47	234	36.3

Tabel 5.7 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station ZLBR voor run c11

## 5.5 Conclusie

Voor de beschouwde locatie bij de Zeelandbrug kan worden geconcludeerd dat SWAN met een kleine aanpassing van de windsnelheid of de richting de gemeten golfcondities vrij goed voorspeld. De periode  $T_{m-10}$  wordt iets onderschat. Uit een vergelijking van de golfhoogten in de dijklocaties met die in de meetlocatie voor de verschillende calibratieberekeningen en voor de verschillende tijdstippen blijkt dat deze verhouding voor de beschouwde dijklocaties niet erg gevoelig is voor de onderzochte kleine variaties in de randvoorwaarden van de berekeningen. Er moet dan ook worden geconcludeerd dat in de dijklocaties 155W, 155Y en 156M de golfhoogte tijdens de beschouwde stormcondities van vergelijkbare orde van grootte is geweest als in de meetlocatie met significante golfhoogten tussen 1.80m en 2.0m. Dit is ruim anderhalf maal zo hoog als opgegeven in het Randvoorwaardenboek 1996. In de punten 156M en 156X zal de golfhoogte weliswaar lager zijn geweest dan in de meetlocatie, maar ook hier heeft de golfhoogte tijdens de onderzochte situaties de geldende randvoorwaarden uit het Randvoorwaardenboek 1996 hebben benaderd (155X) of ruim overschreden (156M).

Aangezien de berekende golfhoogten gevoelig bleken voor variaties in de windsnelheid en in een aantal dijklocaties door de diepte worden beperkt, moet worden verwacht dat de golfhoogte voor meer extreme windsnelheden of bij hogere waterstanden voor een groot deel van het betreffende dijkvak de golfhoogten nog hogere waarden zouden kunnen bereiken.



## 6 Petten

### 6.1 Inleiding

Bij de Pettemer Zeewering worden al enkele jaren vrij intensief metingen verricht van de golfcondities op verschillende locaties in het profiel en de golfloop op de dijk. Het meetpunt MP6 (locatie 105650m, 531746m) is het dichtst bij de teen van de dijk gelegen station. Tijdens de storm van 2 januari 1995 zijn hier vrij extreme golfcondities gemeten, zoals Tabel 6.1 laat zien. De hoogst gemeten golfhoogte is ongeveer 70% van de randvoorwaarde voor het betreffende stuk kust, maar belangrijker is dat de perioden ( $T_{pm}$ ) ruim boven de randvoorwaarde zijn.

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Noordzeekust Pettemer Zeewering	MP6	950102	03.40	2.93	13.7	dijkkring 13, vak 23 $H_s=4.7m$ ; $T_p=12.0s$
		950102	04.00	3.29	12.9	
		950102	04.20	3.00	13.9	
		950102	04.40	3.12	15.4	

Tabel 6.1 Gemeten golfcondities voor station MP6 en ontwerpcondities voor de Pettemer Zeewering uit het Randvoorwaardenboek 1996

De wind was op 1 januari 1995 en in de ochtend van 2 januari 1995 voor lange tijd uit noordwestelijke richting (300-340°N). In de middag van 1 januari werden al windsnelheden rond de 20 m/s bereikt. Rond middernacht nam de windsnelheid iets af, maar in de vroege morgen van 2 januari was de windsnelheid rond 17m/s.

### 6.2 Data

#### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *kusthol.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20mx20m dat de hele Hollandse kust tot ongeveer 70 km uit de kust (tussen de lijnen  $y=462500m$  en  $y=537500m$ ).

#### Wind

Windgegevens in het gebied zijn beschikbaar voor de stations IJmuiden (locatie 99800m, 495700m) en De Kooy (locatie 114450m, 549125m). De windsnelheidsgegevens in de beschikbare bestanden zijn potentiële windsnelheden. Dit is een waarde die op basis van de gemeten windsnelheid is bepaald en die de windsnelheid op 10m hoogte boven open terrein

weergeeft. Door verschil in ruwheid van het oppervlak is de windsnelheid boven open water ruim 12% hoger. De gecorrigeerde windsnelheid en de windrichting in deze stations is weergegeven in Tabel 6.2. Opgemerkt zij dat de gegevens van IJmuiden tussen 1 januari 1995, 19:00 en 2 januari 1995, 10:00 volgens de bijbehorende kwaliteitscode toegevoegde gegevens zijn. De gegevens zijn waarschijnlijk door interpolatie uit omliggende stations afgeleid.

Tijd GMT	IJmuiden		De Kooij	
	Windrichting	Windsnelheid	Windrichting	Windsnelheid
0:00	330	13.4	320	16.2
1:00	330	15.7	320	16.2
2:00	330	16.2	330	15.1
3:00	330	15.7	340	18.0
4:00	340	17.3	330	18.0
5:00	350	19.5	330	18.0
6:00	340	20.1	330	17.2
7:00	330	20.1	330	18.0
8:00	330	19.6	350	16.7
9:00	330	19.6	340	15.8
10:00	340	19.0	360	15.2
11:00	350	17.2	340	14.3
12:00	340	17.3	360	13.8

Tabel 6.2 Windcondities in de stations IJmuiden en De Kooij op 2 januari 1995

### Golven

Naast het in Tabel 6.1 genoemde station MP6 zijn er golfgegevens beschikbaar voor de stations MP3 en MP5 die met MP6 op een raai loodrecht op de kust liggen.

Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
Meetraaij Petten, punt 3	MP3	105230	531990	1D-spec	03.40, 04.00; 04.20; 04.40
Meetraaij Petten, punt 5	MP5	105520	531830	1D-spec	03.40, 04.00; 04.20; 04.40
Meetraaij Petten, punt 6	MP6	105650	531746	1D-spec	03.40, 04.00; 04.20; 04.40

Tabel 6.3 Beschikbare golfgegevens Petten op 2 januari 1995

### Waterstanden

Waterstandsgegevens zijn beschikbaar voor enkele stations langs de kust van Noord-Holland. Tabel 6.4 geeft de waarden rond het tijdstip van de golfmetingen. Station Petten Zuid komt overeen met MP3 en is daarmee het representatieve station voor de berekeningen.

Tijd	IJmuiden	Petten-Zuid	Den Helder	Texel
3:00	1.73	0.99	0.72	0.25
3:10	1.79	1.11	0.71	0.52
3:20	1.94	1.31	0.77	0.71
3:30	2.16	1.53	0.95	0.72
3:40	2.25	1.79	1.21	0.82
3:50	2.49	2.08	1.40	0.89
4:00	2.55	2.25	1.54	1.07
4:10	2.51	2.32	1.60	1.03
4:20	2.40	2.21	1.63	1.2
4:30	2.41	2.22	1.67	1.55
4:40	2.35	2.16	1.72	1.74
4:50	2.18	2.06	1.75	1.71
5:00	2.12	1.93	1.77	1.73

Tabel 6.4 Waterstanden voor enkele stations langs de kust van Noord-Holland op 2 januari 1995 (in m t.o.v. NAP)

## 6.3 Modelopzet

### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor Petten is uitgegaan van het rekenrooster dat ook in de testbank van SWAN is opgenomen. Dit rooster ligt ongeveer evenwijdig aan de kust en heeft de zeewaartse rand ter hoogte van station MP3. De resolutie in de richting evenwijdig aan de kust is verfijnd van 100m tot 50m. De locatie en afmetingen van het rooster staan in Tabel 6.5 samengevat.

Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	104546	530111	-20	1000	4000	100	80	36	0.05	0.4	27

Tabel 6.5 Locatie en dimensies van het rekenrooster voor Petten

### Randvoorwaarden

Met het gedefinieerde rekenrooster zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn, uitgaande van de basisberekening, een aantal parameters gevarieerd om een zo goed mogelijke overeenkomst in het station MP6 te verkrijgen. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 6.6.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snelheid [m/s]	richting [°N]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
c10	2.00	17	337	3.65	10.3	337	spectrum MP3 3.40
c11	2.20	17	337	3.65	10.3	337	spectrum MP3 3.40
c12	2.00	20	337	3.65	10.3	337	spectrum MP3 3.40
c13	4.00	17	337	3.65	10.3	337	spectrum MP3 3.40
c14	2.00	17	337	3.65	10.3	310	spectrum MP3 3.40
c20	2.25	18	340	4.04	10.8	340	spectrum MP3 4.00
c30	2.21	18	343	3.83	10.7	343	spectrum MP3 4.20
c40	2.16	18	346	3.95	11.2	346	spectrum MP3 4.40

Tabel 6.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor Petten

## 6.4 Berekeningen en resultaten

### Calibratie

Met het model zijn voor het eerste tijdstip enkele berekeningen uitgevoerd waarin een aantal randvoorwaarden is gevarieerd. Hierbij is getracht een zo goed mogelijke overeenkomst met de gemeten golfconditie in meetlocatie MP6 te verkrijgen. Uit een vergelijking van de berekende resultaten met de gemeten golfhoogten in de meetlocatie MP6 (Tabel 6.7) blijkt dat met kleine aanpassingen van parameters als de windsnelheid of de waterstand geen goede overeenkomst kan worden verkregen. Ook het aanpassen van de inkomende golfrichting naar loodrecht invallend op de modelrand, waardoor geen verlies van energie aan de rand optreedt, geeft geen verbetering. Alleen door de waterstand in zeer sterke mate te verhogen (met 2m extra) wordt een redelijke overeenkomst (5%) van de golfhoogte bereikt (run c13). De golfhoogte in MP5 wordt dan wat overschat. De periode wordt door het model in de locaties MP3 en MP5 onderschat met ongeveer 1 seconde, in MP6 wordt deze juist overschat. Met name het verschil in de periode aan de modelrand (MP3) is opvallend. Mogelijk spelen verschillen in de manier waarop de periodes bij de verwerking van de metingen en in SWAN worden berekend een rol.

Case	MP3				MP5				MP6			
	Gemeten		Berekend		Gemeten		Berekend		Gemeten		Berekend	
	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]
c10	3.65	10.3	3.39	8.5	3.00	9.9	2.71	8.7	2.94	11.0	2.11	9.5
c11	3.65	10.3	3.40	8.5	3.00	9.9	2.77	8.6	2.94	11.0	2.19	9.5
c12	3.65	10.3	3.39	8.5	3.00	9.9	2.73	8.6	2.94	11.0	2.11	9.5
c13	3.65	10.3	3.45	8.4	3.00	9.9	3.19	8.4	2.94	11.0	2.79	9.2
c14	3.65	10.3	3.58	8.5	3.00	9.9	2.78	8.9	2.94	11.0	2.18	9.7
c20	4.04	10.8	3.67	9.0	3.04	10.1	2.76	9.2	3.29	11.1	2.16	10.1
c30	3.83	10.7	3.45	9.1	2.96	10.3	2.71	9.2	3.00	11.2	2.14	10.0
c40	3.95	11.2	3.53	9.5	2.97	10.2	2.73	9.6	3.12	11.9	2.16	10.5

Tabel 6.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor de stations MP3, MP5 en MP6

Uit vergelijking van de gemeten spectra in MP6 blijkt dat in de runs c10, c11 en c12 de energiedichtheid rond de piek vrij goed overeen komt, maar dat het gemeten spectrum in de hoogfrequente staart veel meer energie bevat (Fig 6.1). Ook ligt de laagfrequente flank van het gemeten spectrum bij een iets lagere frequentie. In station MP5 komen juist deze twee aspecten nog vrij redelijk overeen, maar ‘mist’ wat energie rond de piek. Een verklaring voor de verschillen moet naar verwachting in een combinatie van factoren worden gezocht.

Ten eerste is het bekend dat tijdens stormcondities vrij grote veranderingen in de bodemligging kunnen optreden (RIKZ, 2000c). De extra waterstandsverhoging is in feite een vorm van compensatie voor deze veranderingen in de bodemligging. Uit de resultaten van run c13 zou volgen dat deze verandering in de orde van enkele meters zou moeten zijn om de gemeten golfhoogte te verklaren. Dit lijkt wat al te veel en naar verwachting speelt ook reflectie van de golven vanaf de dijk een rol in de slechte overeenkomst van metingen en berekeningen. Het onderste deel van het dijkprofiel bestaat uit een vrij dichte bekleding met een helling van 1:4.5. Wordt hiervoor een reflectiecoëfficiënt van 50% aangehouden, dan volgt eenvoudig dat bij verwaarlozing van een mogelijke fasekoppeling van inkomende en gereflecteerde golf de totale golfhoogte voor de dijk ongeveer 12% hoger is dan de inkomende golf. Ook lokale kleine verschillen in de waterstand tussen MP3 en MP6, bijvoorbeeld door golfopzet, kunnen een rol spelen. Gedetailleerd onderzoek van de verschillende effecten viel buiten het kader van de huidige studie. Voor de overige tijdstippen is wegens de geconstateerde onzekerheden geen calibratie meer uitgevoerd.

Er mag worden verwacht dat de veranderingen in de bodemligging tijdens een storm langs de hele Pettemer en Hondsbossche Zeewering kunnen optreden en de gemeten golfhoogte in MP6 daarmee representatief is voor de dijklocaties die worden beschouwd. Aangezien de ontwerpregels over het algemeen zijn afgeleid voor de inkomende golfhoogte, zou de gemeten golfconditie nog voor het effect van reflectie moeten worden gecorrigeerd voor vergelijking met de condities in het Randvoorwaardenboek mogelijk is.

## Dijklocaties

Voor een achttal dijklocaties in de buurt van de meetlocatie MP6 (Fig 6.2) zijn de berekende golfcondities voor de geselecteerde berekening c13 bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 6.8. De tabel laat zien dat de berekende golfhoogten iets lager zijn dan in de meetlocatie. Uit een vergelijking van de golfhoogte en de waterdiepte blijkt duidelijk dat de golfhoogte in de dijklocaties, evenals in de meetlocatie, beperkt wordt door de diepte. Dit is ook zichtbaar in de resultaten bij de lagere waterstanden zoals weergegeven in Figuur 6.2. De relatieve verschillen in diepte zijn dan nog iets groter wat tot uitdrukking komt in een kleinere verhouding tussen de golfhoogten in de dijklocatie en de meetlocatie.

De berekende golfperiodes zijn vergelijkbaar of iets hoger, met name in punten met een kleinere diepte.

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[sec]	[°N]	[°]
MP3	105230	531990	12.55	3.45	10.00	11.45	8.39	332	30.4
MP5	105520	531830	11.51	3.19	10.00	11.43	8.36	326	28.9
MP6	105650	531746	5.26	2.79	10.00	12.03	9.17	310	18.9
PET20	105228	530547	4.35	2.39	17.14	12.32	9.59	305	21.8
PET22	105339	530931	5.28	2.67	10.00	12.05	9.17	305	16.3
PET24	105455	531315	4.33	2.63	10.00	12.14	9.35	311	18.6
PET26	105627	531679	4.29	2.62	10.00	12.16	9.39	313	19.0
PET27	105723	531854	5.27	2.70	10.00	12.07	9.24	310	18.6
PET28	105815	532031	4.52	2.53	17.14	12.23	9.49	313	18.8
PET29	105957	532181	4.02	2.12	17.14	12.32	9.56	305	17.6
PET30	106048	532385	4.19	2.07	17.14	12.39	9.61	306	18.6

Tabel 6.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station MP6 voor run c13

## 6.5 Conclusie

Voor de beschouwde locatie bij Petten kan worden geconcludeerd dat de SWAN berekeningen alleen met een (erg) grote aanpassing van de waterstand de gemeten golfcondities benaderen, terwijl de periode iets wordt overschat. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn variaties in de bodemligging tijdens stormen, beïnvloeding van de metingen door reflecties vanaf de dijk en kleine verschillen in waterstand door o.a. golfopzet. Dit bemoeilijkt een vertaling van de metingen ten tijde van de beschouwde storm naar de dijklocaties met behulp van SWAN. Als echter wordt aangenomen dat veranderingen in de bodemligging tijdens een storm voor de dijklocaties vergelijkbaar is met die in de meetlocatie MP6 en ook bij de dijklocaties reflectie kan optreden, kan uit de berekeningen wel worden geconcludeerd, dat de golfhoogten en perioden in de dijklocaties van vergelijkbare grootte zijn geweest met de gemeten golfcondities in MP6.

Nader onderzoek van de genoemde variatie in bodemligging tijdens een storm en de mogelijke invloed van reflectie op de metingen wordt aanbevolen.

## 7 Waddenzee / Dollard

### 7.1 Inleiding

In de Waddenzee en Dollard zijn voor een viertal locaties golfmetingen beschikbaar tijdens de storm van 14 februari 1989. De stations liggen verspreid in het gebied zowel direct aan de Waddenzee (station 88B) als op plaatsen verder in de Eems en Dollard. Zoals Tabel 7.1 laat zien liggen de gemeten parameters in enkele gevallen dicht bij of zelfs vrij ver boven de randvoorwaarden. In station 88B (locatie 245630m, 609685m) is de golfhoogte weliswaar maar 25% van de randvoorwaarde, maar de periode ligt er ver boven. In dit geval lijkt de periode die als randvoorwaarde is gegeven duidelijk niet juist: de periode is veel te kort. Dat blijkt onder andere uit een vergelijking met de randvoorwaarde bij Termunterzijl en ook de steilheid van de opgegeven combinatie van parameters zal erg groot zijn (afhankelijk van de waterdiepte).

Uit Tabel 7.1 blijkt verder dat de gemeten golfhoogte in het station BWN (locatie 254380m, 602951m) ongeveer gelijk is aan de randvoorwaarde. De piekperiode blijft er nog iets onder. In BWZ (locatie 255735m, 597279m) zijn zowel de golfhoogte als de periode ruim boven de randvoorwaarde. In TMN (locatie 266305m, 591710m) wordt de randvoorwaarde dicht benaderd: de golfhoogte is 80%, de periode ongeveer 90% van de randvoorwaarde.

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Waddenzee Emmapolder west van Eemshaven	88B	890214	07.20	0.35	6.6	dijkkring 6, paal 51
Waddenzee / Dollard noord van Hoogwatum	BWN	890214	07.40	0.61	3.4	dijkkring 6, paal 37 $H_s=0.6m$ ; $T_p=4.0s$
Waddenzee / Dollard noord van Delfzijl	BWZ	890214	07.40	0.59	3.8	dijkkring 6, paal 30 $H_s=0.4m$ ; $T_p=2.8s$
Waddenzee / Dollard Termunterzijl	TMN	890214	07.40	1.03	4.3	dijkkring 6, paal 17 $H_s=1.3m$ ; $T_p=4.8s$

Tabel 7.1 Gemeten golfcondities voor stations 88B, BWN, BWZ, en TMN en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996

De storm van 14 februari 1989 werd veroorzaakt door een depressie die van het midden van de Atlantische Oceaan naar Noorwegen trok en enkele daar mee samenhangende randstoringen (DGW, 1990). De wind was rond middernacht in de nacht van 13 op 14 februari westelijk, kracht 8 Bft, draaiend naar west tot noordwest 9Bft rond het tijdstip van de metingen in de ochtend. In de middag (meting bij 88B) was de wind meer westelijk, ongeveer 6 Bft. Naast hoge golven veroorzaakte de storm ook een grote waterstands

verhoging in het Eems Dollard gebied. In Delfzijl was de maximale opzet ongeveer 3.10m (om 10.00 uur).

## 7.2 Data

### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *oostblad.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20mx20m dat de gehele oostelijke Waddenzee en het aansluitende deel van de Noordzee bevat (oost van de lijn  $x=190000m$ ). Omdat dit bestand erg groot is zijn hieruit twee delen geselecteerd en apart weggeschreven (bestanden *h3761wad.asc* en *waddet.asc*).

### Wind

Windgegevens in het gebied zijn alleen beschikbaar voor het station Huibertgat (locatie 221990m, 621330m). De windsnelheid in -richting in dit station is weergegeven in Tabel 7.2.

Tijd	Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]
0:00	270	18.8
1:00	280	19.9
2:00	280	19.9
3:00	290	20.5
4:00	300	22.0
5:00	310	22.5
6:00	310	22.1
7:00	310	22.5
8:00	310	20.1
9:00	300	18.5
10:00	300	17.5
11:00	300	16.5
12:00	300	15.0

Tabel 7.2 Windcondities in het station Huibertgat op 14 februari 1989

### Golven

Naast de in Tabel 7.1 genoemde stations zijn er golfgegevens beschikbaar voor de stations Schiermonnikoog Noord (SON) en Doekegat (DG2).



Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
Schiermonnikoog Noord	SON	206.527	623.483	1D-spec	06.00, 16.00
Meetlocatie 88B	88B	245.630	609.685	1D-spec	07.20, 16.40
Doekegat	DG2	249.383	612.700	1D-spec	06.40
Bocht van Watum noord	BWN	254.380	602.951	1D-spec	07.40
Bocht van Watum zuid	BWZ	255.735	597.279	1D-spec	07.40
Termunten	TMN	266.305	591.710	1D-spec	07.40

Tabel 7.3 Beschikbare golfgegevens Waddenzee / Dollard

## Waterstanden

Waterstandsgegevens zijn beschikbaar voor enkele stations in het gebied. Tabel 7.4 geeft deze voor enkele tijdstippen rond de meting van 7.20 / 7.40 uur en laat zien dat de waterstand in het Eems/Dollard gebied vrij sterk varieert. Omdat de meetlocaties in vrij ondiep water liggen, is de waterstand een belangrijke factor. Vergelijkbaar met de studie door het RIKZ is een ruimtelijk variërende waterstand opgelegd. Hiervoor is een eenvoudig rooster gedefinieerd dat ongeveer parallel met de Eems loopt. De roosterpunten komen overeen met de locaties van de waterstandsstations in Tabel 7.4. In deze roosterpunten zijn de gemeten waterstanden van 7.20 / 7.40 uur opgelegd. Op dezelfde manier is ook een waterstandsveld voor 16.40 uur aangemaakt. Deze waterstandsvelden zijn in alle overeenkomstige berekeningen opgelegd.

Tijd	Huibertgat	Eemshaven	Delfzijl	Nw Statenzijl
6:00	1.75	2.25	2.37	2.61
6:10	1.74	2.25	2.41	2.69
6:20	1.72	2.34	2.42	2.75
6:30	1.66	2.34	2.45	2.85
6:40	1.59	2.35	2.50	2.96
6:50	1.54	2.43	2.56	3.02
7:00	1.52	2.38	2.63	3.05
7:10	1.44	2.39	2.67	3.05
7:20	1.35	2.34	2.73	3.10
7:30	1.36	2.33	2.80	3.16
7:40	1.30	2.27	2.82	3.21
7:50	1.28	2.22	2.78	3.23
8:00	1.25	2.23	2.68	3.26

Tabel 7.4 Waterstanden voor enkele stations Waddenzee / Dollard op 14 februari 1989

## 7.3 Modelopzet

### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor de Waddenzee / Dollard zijn een aantal geneste roosters opgezet. De meest fijne roosters ter plaatse van de meetlocaties bij de zeekering hebben

een resolutie van 20mx20m en zijn gebaseerd op de overeenkomstige rekenroosters die in eerdere studies zijn gebruikt (Alkyon, 1999b; RIKZ, 2000a). Om combinatie met het vrij grote bodembestand *waddet.asc* mogelijk te maken, moesten de roosters iets worden verkleind. Deze fijne roosters zijn genest in een rooster met een resolutie van 100mx100m dat ongeveer evenwijdig aan de Eems ligt met de rand ter hoogte van het station DG2. Dit medium rooster is genest in een grover rooster met een resolutie van 200mx300m. Dit grovere rooster heeft de zeewaartse rand ter hoogte van station SON. De locatie en afmetingen van de rekenroosters staan in Tabel 7.5 samengevat.

Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	206576	623436	300	34000	65100	170	217	36	0.03	0.8	27
m	243400	611600	300	30000	15000	300	150	36	0.03	0.8	27
w	244800	609770	-20	5000	2700	250	135	36	0.03	0.8	27
x	256000	607500	188	2800	6000	140	300	36	0.03	0.8	27
y	257300	599700	188	2500	4500	125	270	36	0.03	0.8	27
z	264500	593785	-97	2200	3700	110	185	36	0.03	0.8	27

Tabel 7.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de Waddenzee / Dollard

## Randvoorwaarden

Met het gedefinieerde rekenrooster zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn, uitgaande van de basisberekening, een aantal parameters gevarieerd om een zo goed mogelijke overeenkomst in de meetlocaties te verkrijgen. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 7.6. De inkomende golfconditie is zowel op de zeewaartse rand als op een deel van de zijranden opgelegd.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snelheid [m/s]	richting [°N]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
c10	var1	22.5	310	6.86	12.1	310	spectrum SON 6.00u
c11	var1+0.2	22.5	310	6.86	12.1	310	spectrum SON 6.00u
c12	var1	25	310	6.86	12.1	310	spectrum SON 6.00u
c20	var2	14	290	5.02	10.9	290	spectrum SON 16.00u

Tabel 7.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Waddenzee / Dollard

## 7.4 Berekeningen en resultaten

### Calibratie

Voor het eerste tijdstip waarvoor metingen beschikbaar zijn, zijn enkele calibratie berekeningen uitgevoerd. Uit een vergelijking van de berekende resultaten met de gemeten golfhoogten in de meetlocaties (Tabel 7.7) blijkt dat de resultaten in 88B alleen gevoelig

zijn voor de waterstand en in de andere meetlocaties voor zowel de windsnelheid als de waterstand. Van de uitgevoerde berekeningen geeft de basisberekening van run c10 een goede overeenkomst van de golfhoogte. De berekende waarde ligt voor 3 van de stations minder dan 5% boven de gemeten waarde. Dit is voor de bepaling van de overeenkomstige condities in de dijklocaties ruim voldoende. Alleen in meetlocatie BWN ligt de golfhoogte vrij ver boven de gemeten waarde. Hiervoor is geen duidelijke verklaring te vinden. Mogelijk spelen verschillen in de bodemligging een rol: de metingen zijn uitgevoerd in 1989, de modelbathymetrie is ter plaatse gebaseerd op gegevens uit 1996. Uit de resultaten van de calibraties blijkt dat de resultaten in BWN gevoeliger zijn voor de windsnelheid dan voor de waterstand. Uit vergelijking van de 1D spectra blijkt echter dat het berekende spectrum in BWN vrij goed overeenkomt met de meting (Fig. 7.1d). Ook in de meetlocatie TMN komt het spectrum vrij goed overeen (Fig. 7.1f). In BWZ wordt de dichtheid in de piek door het model wat onderschat en in de staart van het spectrum wordt de energie-inhoud iets overschat (Fig. 7.1e). Ook voorspelt het model de tweede piek rond 0.2 Hz niet.

In 88B is van een goed gevormd spectrum nauwelijks sprake meer (Fig. 7.1c). Het spectrum is hier bijna uniform. Dit station ligt zeer dicht bij de dijk (zelfs dichterbij dan de dijklocaties) op een erg geringe diepte. In de berekeningen bleek dat deze meetlocatie zeer dicht bij de droogvallende oever van het model ligt. Het bleek zelfs noodzakelijk het rooster 10m te verschuiven om uitvoer in de meetlocatie te verkrijgen.

Case	88B				BWN				BWZ				TMN			
	Gemeten		Berekend		Gemeten		Berekend		Gemeten		Berekend		Gemeten		Berekend	
	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>m-10</sub> [s]
10	0.35	5.2	0.38	2.8	0.61	3.2	0.69	2.7	0.59	3.3	0.61	2.4	1.03	3.9	1.08	3.7
11	0.35	5.2	0.47	3.0	0.61	3.2	0.72	2.8	0.59	3.3	0.63	2.5	1.03	3.9	1.11	3.8
12	0.35	5.2	0.38	2.7	0.61	3.2	0.75	2.7	0.59	3.3	0.65	2.5	1.03	3.9	1.18	3.7
20	0.31	4.8	0.53	3.5	-	-	0.34		-	-	0.31		-	-	0.73	

Tabel 7.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor de stations 88B, BWN, BWZ en TMN

## Dijklocaties

Voor een aantal dijklocaties in de buurt van de meetlocaties (Fig. 7.2c - 7.2f) zijn de berekende golfcondities voor de geselecteerde berekening bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 7.8a t/m 7.8d.

Tabel 7.8a laat zien dat de berekende golfhoogten rond meetlocatie 88B over het algemeen hoger dan in de meetlocatie. Dit wordt bepaald door het verschil in waterdiepte. De golfhoogte in de dijklocaties ligt rond de  $H_s = 0.5m$ . Uitgaand van een min of meer vaste verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte, die hier ongeveer 0.4 is, mag worden verwacht dat de golfhoogte bij meer extreme waterstanden flink hoger kan zijn. Bij een waterstand van NAP+5.35m (toetspeil volgens Randvoorwaardenboek) is de diepte 3m groter, zodat de totale diepte in de dijklocaties dan rond 4.25m is. Bij een gelijke verhouding voor de golfhoogte en waterdiepte kan de golfhoogte in de dijklocaties bij

verder gelijke omstandigheden waarden rond  $H_s = 1.7\text{m}$  bereiken, een hoogte die in de huidige berekeningen op dieper water verder uit de dijk al is berekend. Dit is iets hoger dan de in het Randvoorwaardenboek opgegeven waarde van  $H_s = 1.4\text{m}$ .

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[sec]	[°N]	[°]
88B	245630	609685	0.83	0.38	4.76	3.21	2.80	341	28.3
FGNO07A	245361	609770	1.10	0.47	4.76	3.83	2.84	335	28.6
FGNO07C	245817	609728	1.29	0.52	4.76	3.76	2.71	333	30.4
FGNO07E	246247	609618	1.28	0.49	2.30	3.57	2.57	327	31.2
FGNO07G	246668	609483	1.16	0.48	2.30	3.72	2.67	336	30.4
FGNO07M	247088	609349	1.23	0.50	2.59	3.72	2.62	336	29.0
FGNO07T	247505	609204	1.24	0.50	2.59	3.70	2.64	337	29.3
FGNO07V	247896	608991	1.13	0.44	2.59	3.62	2.49	342	28.2
FGNO07X	248283	608766	1.44	0.49	2.59	3.55	2.65	345	27.1
FGNO07Z	248674	608554	1.23	0.40	2.59	3.13	2.34	330	24.4

Tabel 7.8a Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station 88B voor run w10

Tabel 7.8b laat zien dat de waarden de berekende golfhoogten rond BWN over het algemeen vergelijkbaar zijn met die in de meetlocatie. In de meeste dijklocaties is de golfhoogte tussen  $H_s = 0.6\text{m}$  en  $H_s = 0.76\text{m}$ , terwijl in de meetlocatie  $H_s = 0.69\text{m}$  wordt berekend. Deze berekende waarde in de meetlocatie ligt iets boven de gemeten waarde van  $H_s = 0.61\text{m}$ , maar uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat tijdens de beschouwde stormconditie de golfhoogte in de meeste dijklocaties rond de in het Randvoorwaardenboek genoemde golfhoogte van  $H_s = 0.6\text{m}$  moet zijn geweest. Dit geldt ook voor de golfperiodes. De berekende waarden in de dijklocaties komen overeen met die in de meetlocatie, zodat kan worden gesteld dat de periode in de dijklocaties tijdens de storm vergelijkbaar met die in de meetlocaties is geweest.

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[sec]	[°N]	[°]
BWN	254380	602951	2.71	0.69	2.93	3.00	2.70	8	31.4
FGNO11A	253972	604305	3.04	0.60	4.22	3.63	3.07	31	24.9
FGNO11C	253961	603860	2.92	0.59	4.22	3.86	3.03	28	24.6
FGNO11E	253950	603415	2.60	0.61	4.22	3.57	3.06	28	24.9
FGNO11W	254024	603365	2.66	0.66	4.22	3.36	2.88	19	32.1
FGNO11Y	254311	603067	2.84	0.70	2.93	2.99	2.71	9	33.0
FGNO12A	254437	602875	2.50	0.70	2.93	3.06	2.74	7	31.6
FGNO12M	254660	602531	2.88	0.76	3.31	3.15	2.84	9	31.8
FGNO12Z	254877	602184	4.07	0.73	3.31	3.01	2.71	5	28.4
FGNO13M	254729	601875	2.68	0.26	3.73	3.74	3.25	46	17.1
FGNO13Z	254908	601641	2.68	0.66	3.31	3.11	2.65	10	29.5

Tabel 7.8b Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BWN voor run x10

Tabel 7.8c laat zien dat ook rond BWZ de berekende golfhoogten in de dijklocaties vergelijkbaar zijn met die in de meetlocatie. In de meeste dijklocaties is de golfhoogte tussen  $H_s = 0.54\text{m}$  en  $H_s = 0.65\text{m}$ , terwijl in de meetlocatie  $H_s = 0.61\text{m}$  wordt berekend. In één dijklocatie is de golfhoogte met  $H_s = 0.76\text{m}$  duidelijk hoger dan BWZ. Dit punt ligt in wat dieper water wat verder van de dijk en vrij dicht bij de diepere geul in de Eems. De

berekende waarde in de meetlocatie komt vrijwel overeen met de gemeten waarde van  $H_s = 0.59\text{m}$ , zodat uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat tijdens de beschouwde stormconditie de golfhoogte in de meeste dijklocaties ruim boven de in het Randvoorwaardenboek genoemde golfhoogte van  $H_s = 0.4\text{m}$  moet zijn geweest. Ook rond BWZ komen de berekende waarden voor de golfperioden in de dijklocaties overeen met die in de meetlocatie, zodat kan worden gesteld dat de periode in de dijklocaties tijdens de storm vergelijkbaar met die in de meetlocaties is geweest. Ook deze is hoger dan de in het Randvoorwaardenboek gegeven waarde.

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[s]	[°N]	[°]
BWZ	255735	597279	3.05	0.61	2.93	2.79	2.45	5	26.0
FGNO15A	255449	599111	2.44	0.64	2.93	2.89	2.61	12	28.2
FGNO15M	255413	598614	2.91	0.54	2.93	2.87	2.51	18	23.4
FGNO15Z	255532	598127	3.46	0.56	3.31	2.85	2.51	14	23.0
FGNO16B	255549	597939	3.41	0.57	2.93	2.87	2.50	13	23.3
FGNO16D	255618	597554	3.15	0.58	2.93	2.84	2.47	10	23.2
FGNO16F	255748	597177	2.95	0.59	2.93	2.82	2.50	7	23.2
FGNO16M	255906	596804	2.77	0.63	2.93	2.86	2.53	3	24.2
FGNO16X	255973	596787	2.78	0.65	3.31	2.83	2.51	359	27.0
FGNO16Z	256322	596842	4.04	0.76	2.93	2.81	2.54	346	32.8

Tabel 7.8c Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BWZ voor run y10

Tabel 7.8d laat zien dat rond TMN de berekende golfhoogten in de dijklocaties iets hoger zijn dan die in de meetlocatie. In de meeste dijklocaties is de golfhoogte tussen  $H_s = 1.04\text{m}$  en  $H_s = 1.19\text{m}$ , terwijl in de meetlocatie  $H_s = 1.08\text{m}$  wordt berekend. In één dijklocatie is de golfhoogte met  $H_s = 0.53\text{m}$  duidelijk lager dan in TMN. De diepte in dit punt is ook wat kleiner, zodat de golfhoogte beperkt wordt. Ook in de andere dijklocaties lijkt de golfhoogte afhankelijk van de waterdiepte: in dijklocatie FGNO25M zijn zowel de golfhoogte als de diepte het grootst. De berekende waarde in de meetlocatie komt vrij goed overeen met de gemeten waarde van  $H_s = 1.08\text{m}$ , zodat uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat tijdens de beschouwde stormconditie de golfhoogte in de meeste dijklocaties rond  $H_s = 1.1\text{m}$  zijn geweest. Aangezien de golfhoogten enigszins door de diepte beperkt lijken te zijn, is het goed mogelijk dat bij hogere waterstand en vergelijkbare windcondities de golfhoogte in de dijklocaties hoger zal zijn. Mogelijk dat waarden van meer dan  $H_s = 1.4\text{m}$ , die nu op dieper water verder uit de oever wordt berekend, dan ook in de dijklocaties kunnen optreden.

De berekende waarden voor de golfperioden in de dijklocaties rond TMN komen weer goed overeen met die in de meetlocatie, zodat kan worden gesteld dat de periode in de dijklocaties tijdens de storm vergelijkbaar met die in de meetlocaties is geweest.

Locatie	X	Y	Diepte	$H_{m0}$	$T_p$	$T_{pm}$	$T_{m-10}$	$\theta_m$	$\sigma_d$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[s]	[s]	[°N]	[°]
TMN	266305	591710	3.20	1.08	4.22	4.07	3.71	331	20.6
FGNO24A	265321	592068	3.34	1.15	4.22	4.13	3.68	332	22.8
FGNO24C	265571	591954	3.29	1.14	4.22	4.16	3.72	332	20.7
FGNO24E	265745	591689	2.98	1.04	4.22	4.13	3.66	335	18.9
FGNO24M	265920	591720	3.06	1.09	4.22	4.10	3.67	332	20.3
FGNO24W	266363	591703	3.21	1.08	4.22	4.07	3.71	330	20.5
FGNO24Y	266805	591721	3.25	1.09	4.76	4.08	3.73	328	20.8
FGNO25A	267016	591728	3.20	1.11	4.76	4.10	3.74	327	20.9
FGNO25M	267501	591787	3.80	1.19	4.76	4.14	3.65	317	23.6
FGNO25Z	267973	591976	1.41	0.53	4.76	3.74	2.94	312	28.2

Tabel 7.8d Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station TMN voor run z10

## 7.5 Conclusie

Voor de beschouwde locaties in de Waddenzee en Eems kan worden geconcludeerd dat SWAN de gemeten golfcondities vrij goed voorspeld. De periode wordt in de meeste locaties iets onderschat.

De berekende overeenkomstige golfcondities in de dijklocaties zijn in een aantal punten vergelijkbaar met die in de meetlocatie (BWN en BWZ) of nog iets hoger (88B, TMN). Voor de dijklocaties rond BWN kan hieruit worden geconcludeerd dat de golfcondities tijdens de beschouwde storm vergelijkbaar met de opgegeven randvoorwaarden zijn geweest. Rond BWZ zijn de randvoorwaarden ruim overschreden.

Rond de locaties 88B en TMN zijn de golfhoogten tijdens de metingen in de meeste dijklocaties beperkt door de diepte. Bij hogere waterstanden zouden hier nog aanzienlijk hogere golven kunnen voorkomen.

## 8 Westerschelde bij Bath

### 8.1 Inleiding

In de oostelijke Westerschelde zijn metingen van de golfcondities tijdens vrij zware stormcondities beschikbaar voor het station BA1. Dit station ligt enkele tientallen meters ten zuiden van de dijk bij Bath (locatie 73084m, 379591m). Hier zijn vrij extreme golfhoogten gemeten tijdens een storm in mei 2000, zoals Tabel 8.1 laat zien. De gemeten golfhoogten bereiken waarden van circa 75% van de randvoorwaarden voor het dijkvakken 70.

Locatie	Gemeten golfcondities					Dijkvak en golfcondities volgens DWW, 1996
	station	datum	tijd	$H_{m0}$ [m]	$T_{pm}$ [s]	
Westerschelde zuid van Bath	BA1	000528	11.30	1.11	4.5	dijkkring 31, vak 70 oploop 2m → $H_s=1.5m$

Tabel 8.1 Gemeten golfcondities voor station BA1 en ontwerpcondities voor nabijgelegen dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996

De windsnelheid was op 28 mei 2000 rond het tijdstip van de golfmetingen tussen de 20 en 22 m/s uit zuid draaiend naar west (200°N - 270°N).

### 8.2 Data

#### Bathymetrie

Voor de bodemligging in het modelgebied is gebruik gemaakt van het door het RIKZ ter beschikking gestelde bestand *gridws97.asc*. Dit is een bestand met een resolutie van 20x20m dat de hele Westerschelde en de monding in de Noordzee omvat (ten oosten van de lijn  $y=-14450$ ). Omdat dit bestand erg groot is, is hieruit een deel geselecteerd en apart weggeschreven (bestanden *westerw3.asc*).

#### Wind

Windgegevens in het gebied zijn in grafische vorm beschikbaar gesteld voor het station Hansweert (locatie 58390m, 384990m). De uurgemiddelde windsnelheid en -richting is hieruit visueel geschat. Deze zijn weergegeven in Figuur 3.2. Rond het tijdstip van de golfmetingen is de windsnelheid met 22m/s nog iets hoger dan de hoogste waarde in de tabel. De richting is dan ongeveer 220°N.

Datum	Tijd MET [hh:mm]	Hansweert	
		Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]
28 mei 2000	9:00	200	20.0
	10:00	205	20.5
	11:00	215	21.5
	12:00	225	21.0
	13:00	230	19.5
	14:00	240	20.0
	15:00	255	18.5

Tabel 8.2 Windcondities in het station Hansweert op 28 mei 2000

## Golven

Naast het in Tabel 8.1 genoemde station BA1 zijn er geen golfgegevens in het oostelijk deel van de Westerschelde beschikbaar. De golfcondities in Bath zijn voor de beschouwde situatie echter volledig lokaal door de wind opgewekt, zodat geen randvoorwaarden voor de modellen nodig zijn.

Station	Code	Coördinaten [m]		Vorm	Tijdstippen
Bath ondiep	BA1	73084	379591	1D-spec	28/5: 11.30

Tabel 8.3 Beschikbare golfgegevens Westerschelde bij Bath op 28 mei 2000

## Waterstanden

Waterstandsgegevens voor het station Bath zijn beschikbaar voor het tijdstip van de golfmetingen.

Datum	Tijd [MET hh:mm]	Bath [m NAP]
28 mei 2000	11:30	2.99

Tabel 8.4 Waterstanden voor het station Bath in de Westerschelde op 28 mei 2000

## 8.3 Modelopzet

### Rekenrooster(s)

Voor de SWAN berekeningen voor de Westerschelde bij Bath is gebruik gemaakt van de rekenroosters die ook in eerdere studies is gebruikt (Alkyon, 1998a, 1999a). Het detailrooster met een resolutie van 20mx20m is vrijwel gelijk aan het rooster D22 uit deze studies. Dit is genest in een grover rooster met een resolutie van 100mx100m dat is afgeleid van het rooster W3. Dit rooster is aan de westelijke zijde iets ingekort.



Grid	xpc [m]	ypc [m]	alpc [°]	xlenc [m]	ylenc [m]	mxc	myc	mdc	flow [Hz]	fhigh [Hz]	msc
c	52000	371200	0.	24000	16000	240	160	36	0.17	0.8	29
f	72000	378500	0.	3200	2000	160	100	36	0.05	0.6	29

Tabel 8.5 Locatie en dimensies van de rekenroosters voor de Westerschelde

## Randvoorwaarden

Met de gedefinieerde rekenroosters zijn voor een aantal condities berekeningen uitgevoerd. Omdat de diepte in het meetpunt nog redelijk groot is ten opzichte van de golfhoogte ( $H_s/d$  rond 0.3) is in eerste instantie de windsnelheid gevarieerd. Met een kleine verhoging van de windsnelheid ten opzichte van de gemeten waarde bleek al een goede overeenkomst in het station BA1 op te leveren. Op de zijranden van het grove model zijn geen golf randvoorwaarden opgelegd. Deze liggen ver genoeg van Bath om voor de beschouwde situatie geen invloed op de resultaten te hebben. De randvoorwaarden van de verschillende berekeningen staan samengevat in Tabel 8.6.

Case	Water stand [m NAP]	Wind		Golfcondities			Opmerkingen
		snelheid [m/s]	richting [°N]	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
c10/f10	3.00	21.7	220	-	-	-	
c11/f11	3.00	23.0	220	-	-	-	
c12/f12	3.00	25.0	220	-	-	-	

Tabel 8.6 Randvoorwaarden van de SWAN berekeningen voor de Westerschelde bij Bath

## 8.4 Berekeningen en resultaten

### Calibratie

Met de modellen zijn enkele berekeningen voor verschillende windsnelheden uitgevoerd. Uit een vergelijking van de berekende resultaten met de gemeten golfhoogten in de meetlocatie BA1 (Tabel 8.7) blijkt dat een windsnelheid van 23 m/s een goede overeenkomst van de golfhoogte geeft. De berekende waarde ligt minder dan 4% onder de gemeten waarde. Dit is voor de bepaling van de overeenkomstige condities in de dijklocaties ruim voldoende. Uit vergelijking van de 1D spectra blijkt dat het berekende spectrum minder gepiekt is dan de meting (Figuur 8.1). De plaats van de piek komt vrij goed overeen, in de staart van het spectrum wordt de energie-inhoud door het model iets overschat. De laagfrequente energie die in de meting aanwezig is, kan niet door het model worden weergegeven.

Case	Gemeten		Berekend			Opmerkingen
	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$H_s$ [m]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	
f10	1.11	4.3	1.01	3.0	215	
f11	1.11	4.3	1.07	3.0	214	
f12	1.11	4.3	1.17	3.2	214	

Tabel 8.7 Vergelijking van de metingen en de SWAN resultaten voor station BA1

## Dijklocaties

Voor een tiental dijklocaties in de buurt van de meetlocatie (Fig. 8.2b) zijn de berekende golfcondities voor de geselecteerde berekening bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 8.8. De tabel laat zien dat de berekende waarden dezelfde orde van grootte hebben als in de meetlocatie. In het merendeel van de dijklocaties is de golfhoogte zelfs iets hoger dan in de meetlocaties. In de punten waar dat niet het geval is, is de diepte kleiner en de golfhoogte daardoor dieptebeperkt.

Locatie	X [m]	Y [m]	Diepte [m]	$H_{m0}$ [m]	$T_p$ [s]	$T_{pm}$ [s]	$T_{m-10}$ [s]	$\theta_m$ [°N]	$\sigma_d$ [°]
BA1	73084	379591	3.51	1.07	3.64	3.51	3.05	214.3	30.1
BAT	73098	379510	6.63	1.21	3.64	3.56	3.13	223.9	33.2
P01	73852	379346	3.50	1.14	3.64	3.53	3.12	225.1	31.5
P02	73640	379397	4.29	1.14	3.64	3.50	3.07	221.1	32.6
P03	73462	379496	3.43	1.11	3.64	3.55	3.12	217.4	30.5
P04	73285	379597	2.76	1.05	3.64	3.57	3.15	214.3	28.4
P05	73056	379625	3.13	1.08	3.64	3.56	3.12	213.6	29.3
P06	73034	379625	3.21	1.09	3.64	3.57	3.13	213.9	29.6
P07	72786	379646	3.51	1.16	3.84	3.60	3.14	220.8	30.3
P08	72705	379853	2.49	0.98	3.64	3.62	3.16	218.3	21.8
P09	72604	380040	1.96	0.83	3.64	3.61	3.07	214.6	17.9
P10	72504	380226	1.03	0.54	3.64	3.63	2.96	212.9	15.2

Tabel 8.8 Berekende golfcondities in enkele dijklocaties bij station BA1 voor run f11

## 8.5 Conclusie

Voor de beschouwde locatie bij Bath kan worden geconcludeerd dat SWAN de gemeten golfhoogte vrij goed voorspeld. De periode wordt onderschat. De overeenkomstige golfcondities in de dijklocaties zijn in een aantal punten nog iets hoger dan in de meetlocatie. Daaruit moet worden geconcludeerd dat de significante golfhoogte tijdens de storm van 28 mei 2000 in een groot deel van de beschouwde dijklocaties 1.10m of meer is geweest. Hiermee zijn de condities ca 75% van de randvoorwaarde die uit de gegeven oploop in het Randvoorwaardenboek kan worden afgeleid ( $H_s = 1.5m$ ). Aangezien de

resultaten vrij gevoelig bleken voor de windsnelheid, moet worden verwacht dat de golfhoogte voor meer extreme windsnelheden aanzienlijk hoger zou kunnen zijn.

## 9 Conclusies

Uit golfmetingen in een aantal locaties dicht bij de Nederlands kust zijn de gegevens beschikbaar van de golfcondities tijdens enkele recente stormen. De meetlocaties bevinden zich in de meeste gevallen weliswaar relatief dichtbij, maar toch op enige afstand van de locaties die als representatief voor de betreffende dijkvakken worden beschouwd. Met behulp van SWAN zijn de golfcondities tijdens deze stormcondities gesimuleerd om voor de betreffende dijksecties een relatie tussen de golfcondities in de meetlocatie en een aantal dijklocaties te bepalen. Op basis van de gemeten golfcondities is met behulp van de resultaten van deze berekeningen een schatting gemaakt van de condities die tijdens de beschouwde stormen langs de dijkvakken zijn opgetreden. Deze geschatte stormcondities zijn in Tabel 9.1 vergeleken met de overeenkomstige randvoorwaarden in het Randvoorwaardenboek 1996 (DWW, 1996).

Locatie en dijkvak	Randvoorwaardenboek 1996			Stormcondities dijklocaties		
	Reken- of toetspeil [m+NAP]	H <sub>s</sub> [m]	T <sub>p</sub> [s]	Water- stand [m+NAP]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>pm</sub> [s]
Westerschelde Vlissingen, dijkkring 29						
vak 7/8 (x=31981 - 32582)	3.25/3.30	2.97	9.0	0.0	1.27	5.8
vak 9 (x=32582 - 32839)	5.35	1.68	9.0	0.0	1.02	6.0
vak 10 (x=32839 - 33161)	3.30	2.94	9.0	0.0	1.19	6.1
vak 11 (x=33161 - 33550)	5.35	1.51	9.0	0.0	1.35	5.5
Kust Walcheren Domburg, dijkkring 29						
km 15.50 - 15.71	5.30	5.20	8.0	3.55	3.98	8.6
Oosterschelde Zierikzee, dijkkring 26						
vak 155	3.45	1.28	-	0.9	2.06	5.1
vak 156	3.45	1.14	-	0.9	2.03	5.2
vak 157	3.45	1.18	-	0.9	2.12	5.0
Noordzeekust Petten, dijkkring 13						
paal 20.5 - 21	4.70	4.7	12.0	2.0	2.85	11.6
Waddenzee / Dollard, Emmapolder, dijkkring 6						
dijkpaal 51 - 48.5	5.35	1.4	3.6	2.34	0.48	7.7*
Waddenzee / Dollard, noord van Hoogwatum, dijkkring 6						
dijkpaal 36.3 - 38	5.65	0.6	4.0	ca. 2.6	0.62	3.6
Waddenzee / Dollard, noord van Delfzijl, dijkkring 6						
dijkpaal 31 - 29	5.90	0.4	2.8	ca. 2.8	0.74	3.7
Waddenzee / Dollard, Termunterzijl, dijkkring 6						
dijkpaal 17 - 15	6.30	1.3	4.8	ca. 2.9	1.10	4.3
Westerschelde Bath, dijkkring 31						
vak 70	6.50	1.5	-	3.00	1.18	4.0*

\* waarde voor T<sub>p</sub> (T<sub>pm</sub> niet beschikbaar)

Tabel 9.1 Vergelijking van de ontwerpcondities voor enkele dijkvakken uit het Randvoorwaardenboek 1996 met condities die tijdens stormen bij deze dijkvakken zijn opgetreden

Hierbij is uitgegaan van de dijklocatie in het dijkvak waar naar verwachting de grootste golfhoogte is opgetreden. Waar de begrenzing van het betreffende dijkvak niet geheel duidelijk was, is in plaats hiervan de dijklocatie gekozen die het dichtst bij de meetlocatie ligt. In de schatting van de golfcondities is rekening gehouden met de verschillen tussen gemeten en berekende waarden en met verschillen in berekende waarden in de dijklocaties en de meetlocatie.

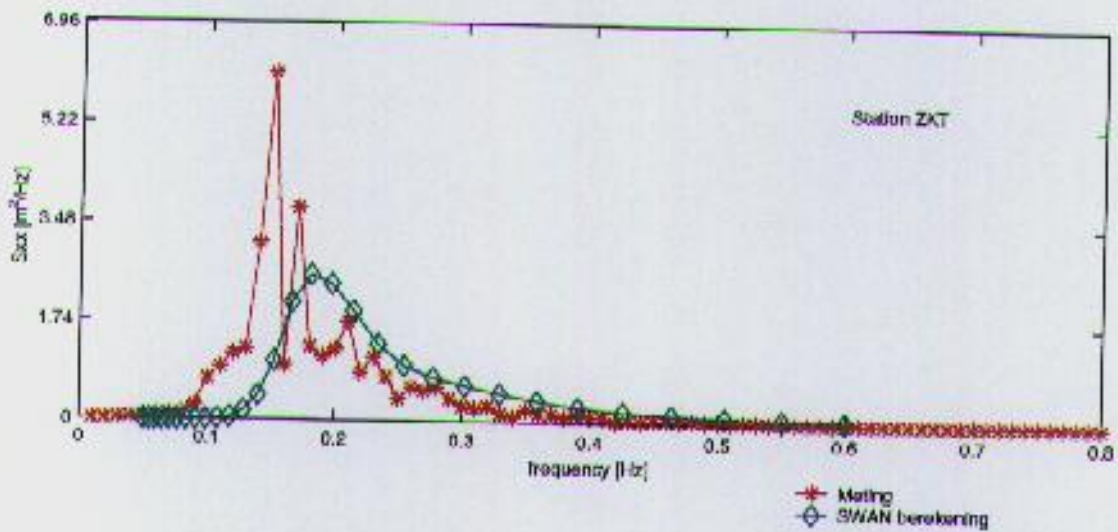
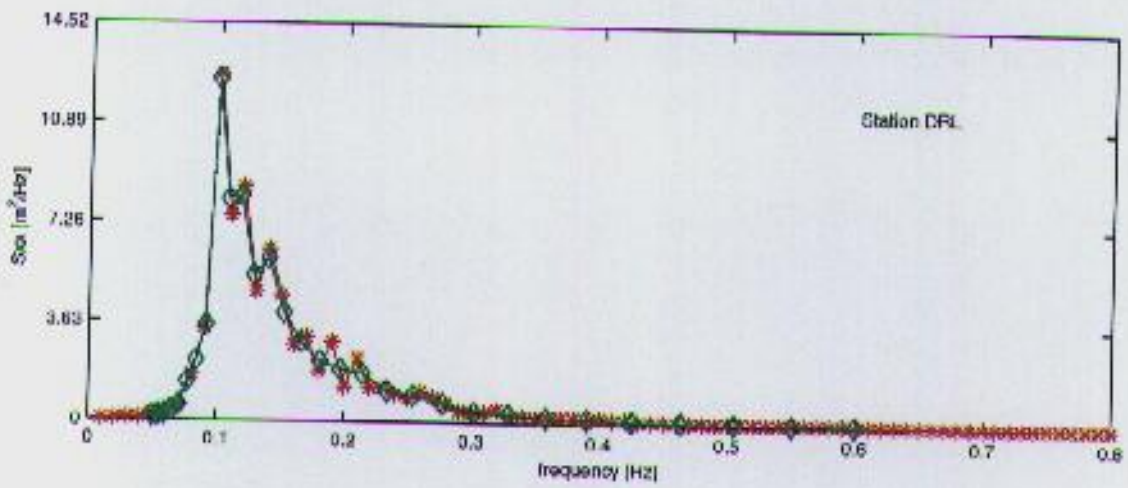
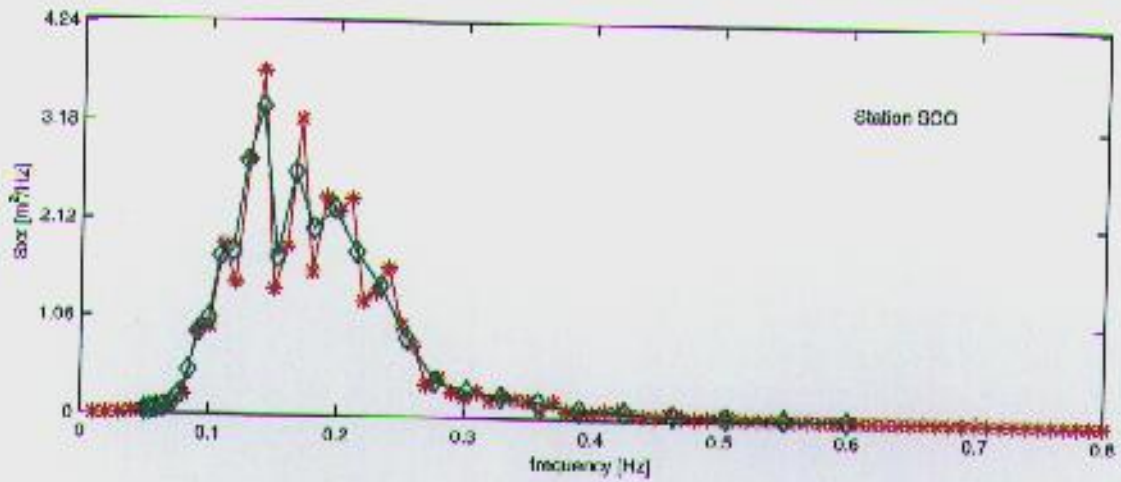
Op basis van de resultaten van deze studie kan worden geconcludeerd dat in een aantal gebieden die zijn onderzocht de golfhoogte die naar verwachting in de dijklocaties is opgetreden, vergelijkbaar is met of hoger is dan de waarde die in het Randvoorwaardenboek 1996 voor het betreffende dijkvak wordt voorgeschreven. Dit is het geval bij de Zeelandbrug, Hoogwatum en ten noorden van Delfzijl. In andere gebieden zijn golfhoogten van 75% of meer van de waarde in het Randvoorwaardenboek 1996 opgetreden (Domburg, Bath, Termunterzijl, een dijkvak bij Vlissingen). Ook de golfperiodes zijn in verschillende van de beschouwde locaties ongeveer even groot als de waarde die in het Randvoorwaardenboek 1996 wordt gegeven. In enkele gevallen, zoals ten noorden van Delfzijl en bij Domburg, ligt de periode die tijdens de stormcondities is opgetreden duidelijk boven de huidige toetswaarden.

In een aantal andere gebieden, zoals bij Domburg, Petten, Emmapolder en Termunterzijl, zijn de golfhoogten in de onderzochte stormsituaties dieptebeperkt. Bij hogere waterstanden kunnen de hogere golven die nu op dieper water verder uit de dijk zijn opgetreden, dichterbij de dijk optreden. Wordt een vergelijkbare verhouding voor de golfhoogte ten opzichte van de waterdiepte verondersteld, dan kunnen bij het geldende toetspeil bij Emmapolder en Termunterzijl golfhoogten optreden die vergelijkbaar of groter zijn dan de waarde die in het Randvoorwaardenboek 1996 voor het betreffende dijkvak wordt voorgeschreven.

Bij de bovenstaande conclusies dient nog te worden opgemerkt dat de geschatte golfcondities zijn opgetreden tijdens stormen met een windkracht van 9 tot 11 Beaufort en relatief lage waterstanden. Dit zijn condities die veel milder zijn dan de superstormcondities met een kans van voorkomen van 1:4000 tot 1:10000 waarvan in het Randvoorwaardenboek 1996 wordt uitgegaan.

## Literatuur

- ALKYON, 1998a. Golfberekeningen Westerschelde 2. Rapport A224, Maart 1998.
- ALKYON, 1998b. Golfberekeningen Oosterschelde. Rapport A246, Juli 1998.
- ALKYON, 1999a. SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen. Rapport A384, Februari 1999.
- ALKYON, 1999b. Wave computations in the Waddenzee. Rapport A352, November 1999.
- DGW, 1990. Verslag van de stormvloed van 14 februari 1989 (SR 61). Rijkswaterstaat, Dienst Getijdenwateren, april 1990, 20 p.
- DWW, 1996. Hydraulische randvoorwaarden voor de primaire waterkeringen. Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 221 p.
- RIKZ, 2000a. Validatie toepassing van SWAN in de Waddenzee; simulatie storm 14 februari 1989 in de Eems-Dollard met SWAN. Werkdocument RIKZ/OS-99.167x, concept mei 2000.
- RIKZ, 2000b. Getijtafels voor Nederland 2001. Sdu Uitgeverij, Den Haag, 162 p.
- RIKZ, 2000c. Persoonlijke communicatie J.H. Andorka Gal.
- Roskam, A.P., 1997. Piekperiode van brede of meertoppige spectra, RIKZ/OS-97.130x



Berekende vs gemeten spectrum voor de Westerschelde

Run c10

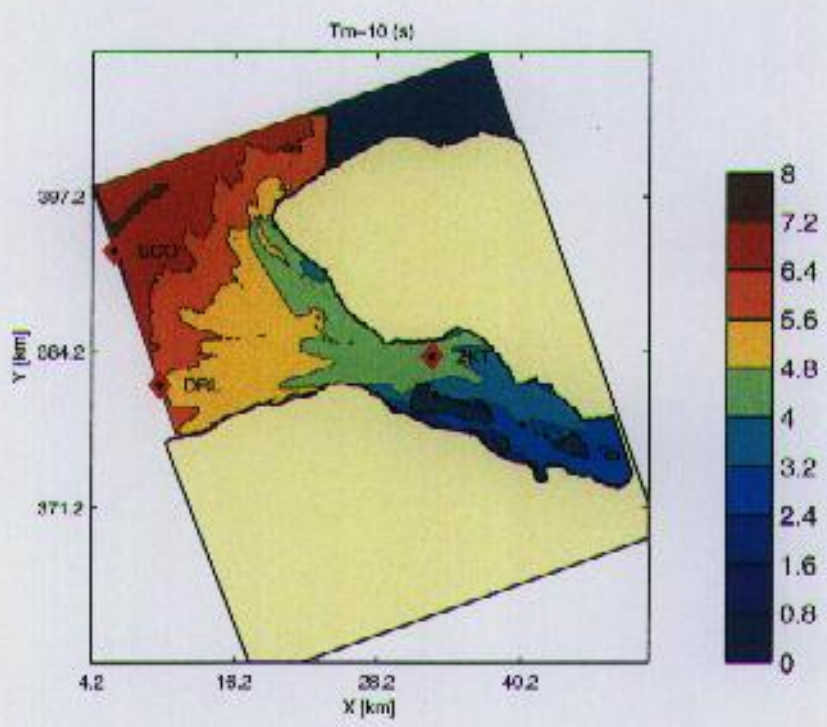
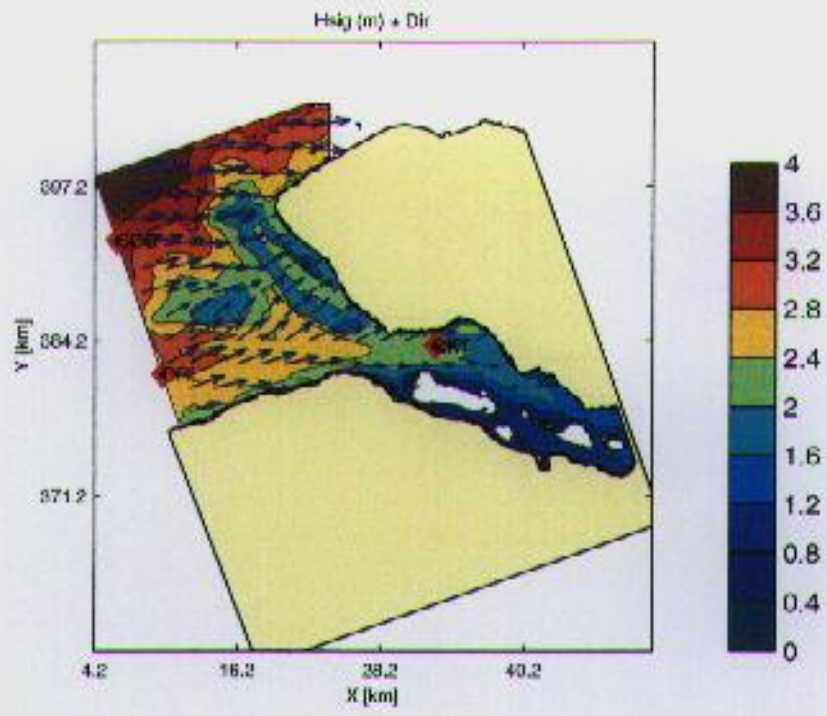
900125 19:30

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 3.1



Berekende Hs, Dir en Tm-10 voor de Westerschelde

Run c10

900125 19:30

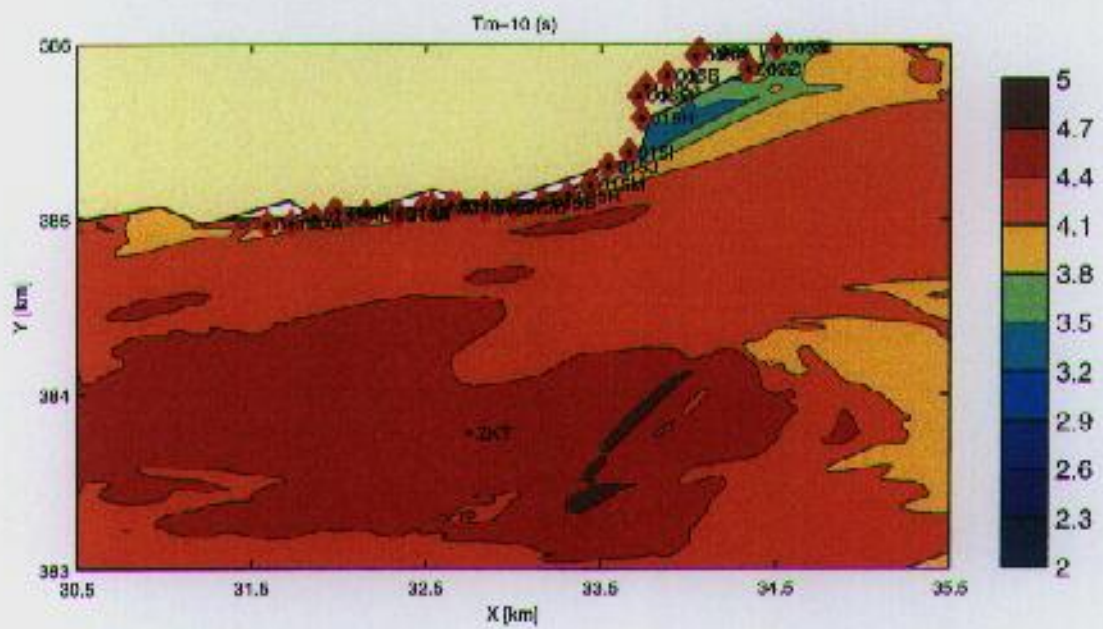
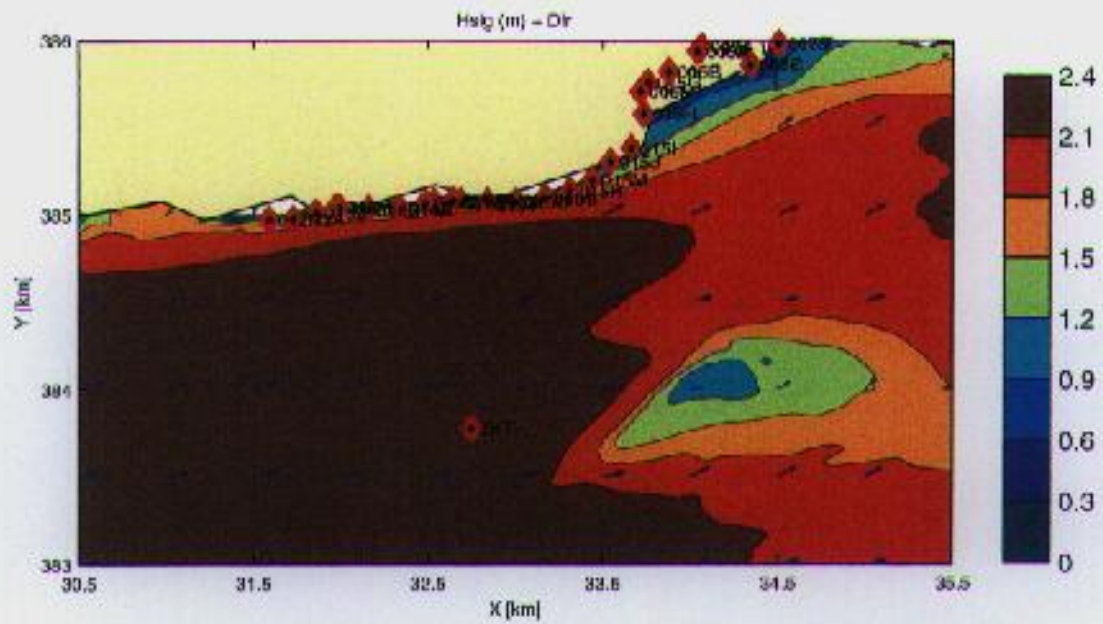
SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 3.2a





Berekende Hs, Dir en Tm-10 voor de Westerschelde

Run f10

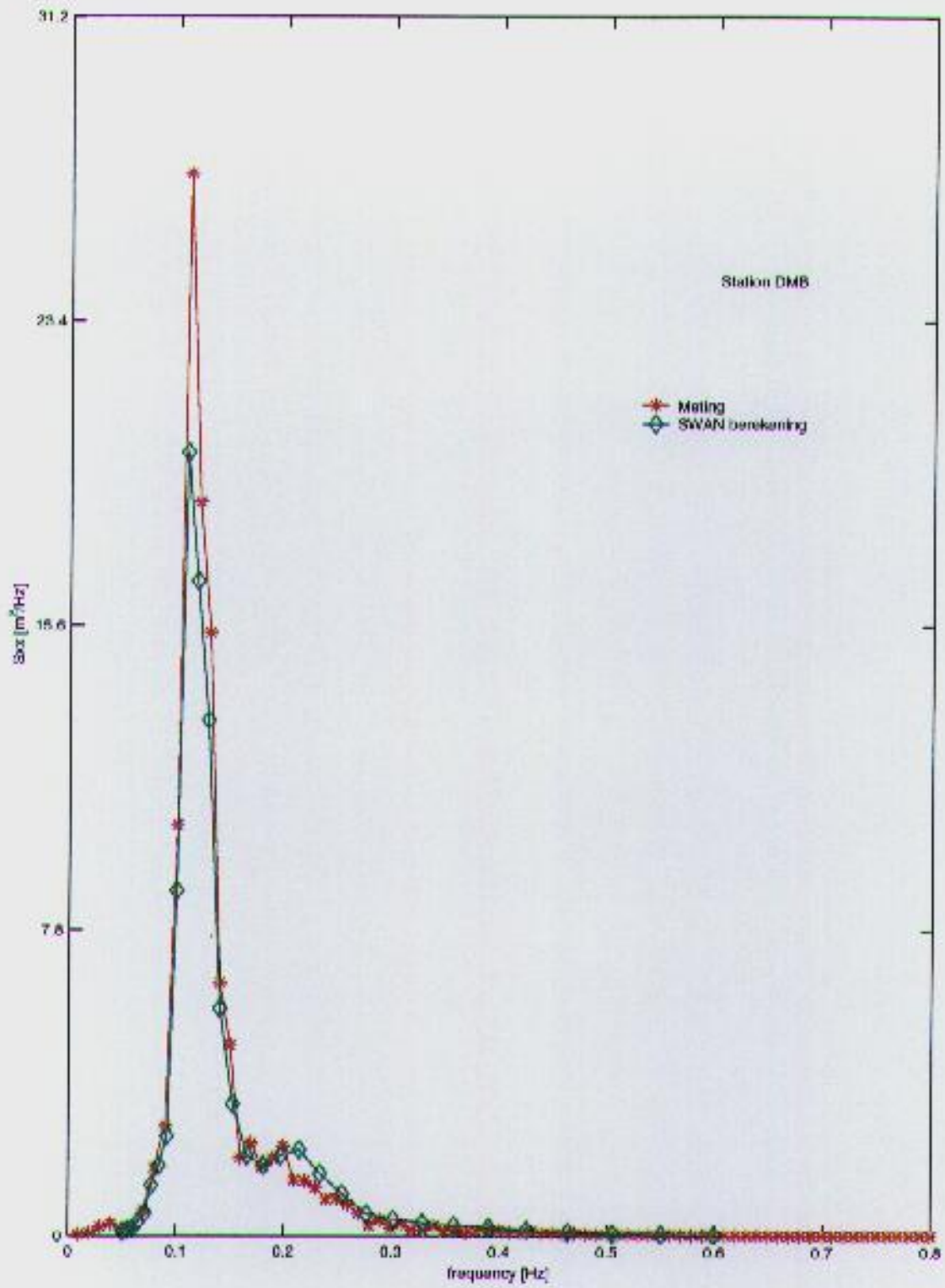
900125 19:30

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 3.2b



Berekende vs gemeten spectrum voor Walcheren

Run f31

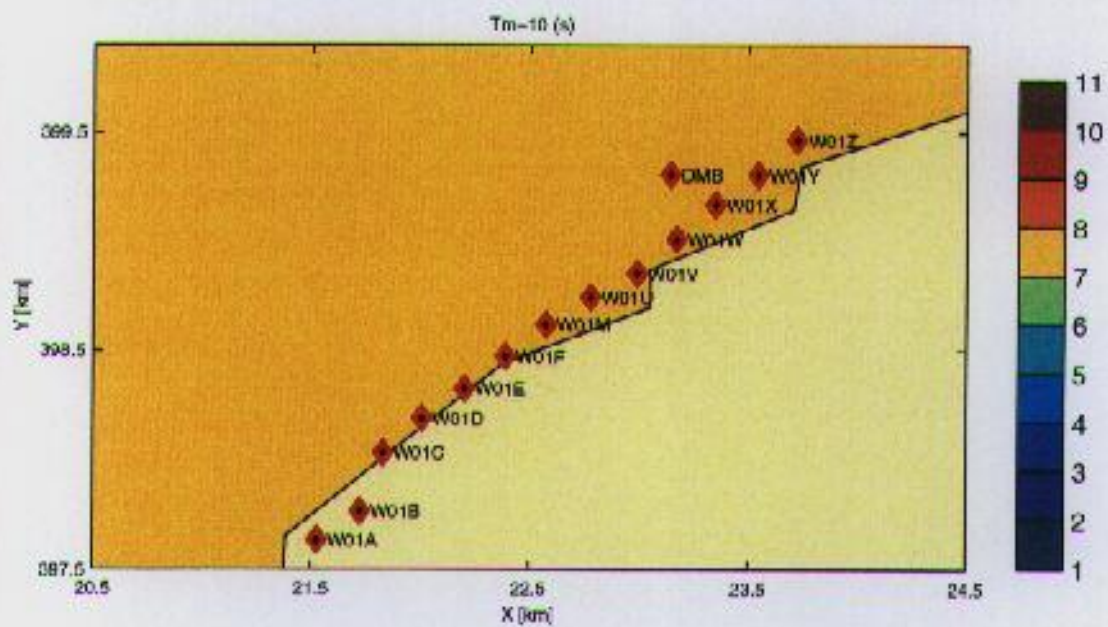
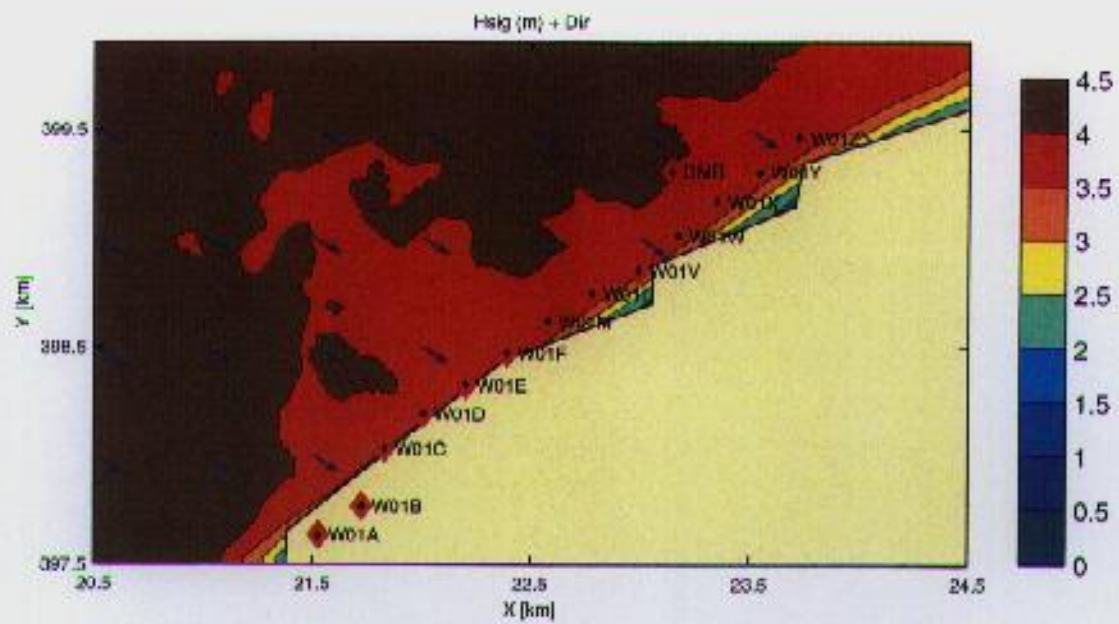
900228 03:00

SWAN v10.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 4.1



Berekende Hs, Dir en Tm-10 voor Walcheren

Run f31

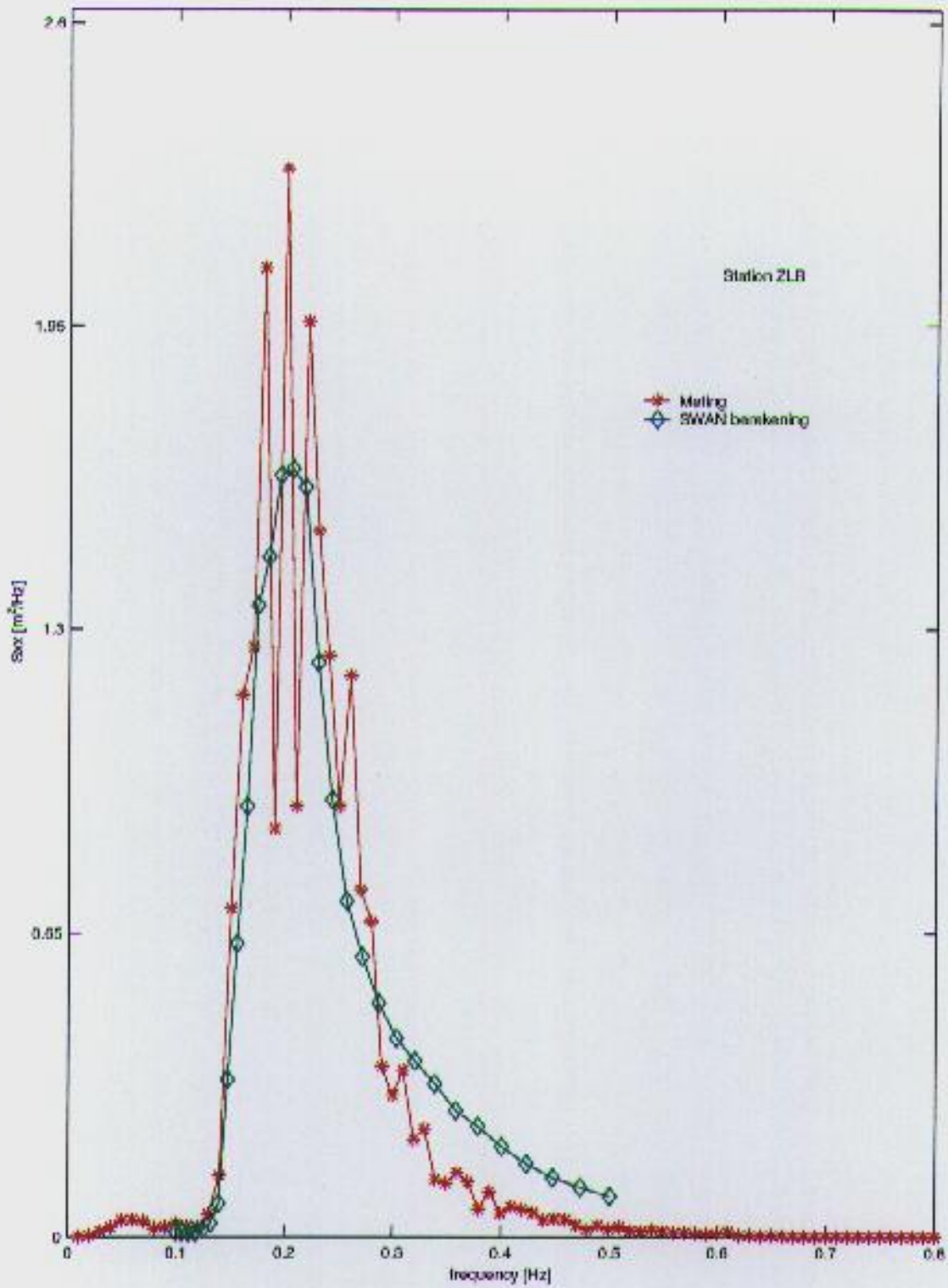
900228 03:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 4.2



Berekende vs gemeten spectrum voor de Oosterschelde

Run c11

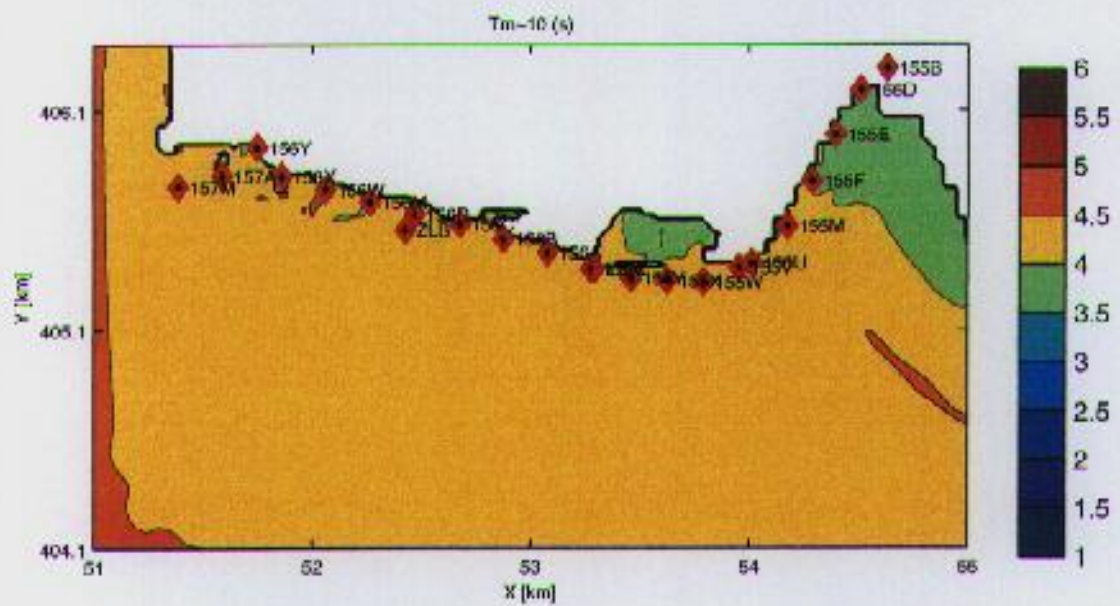
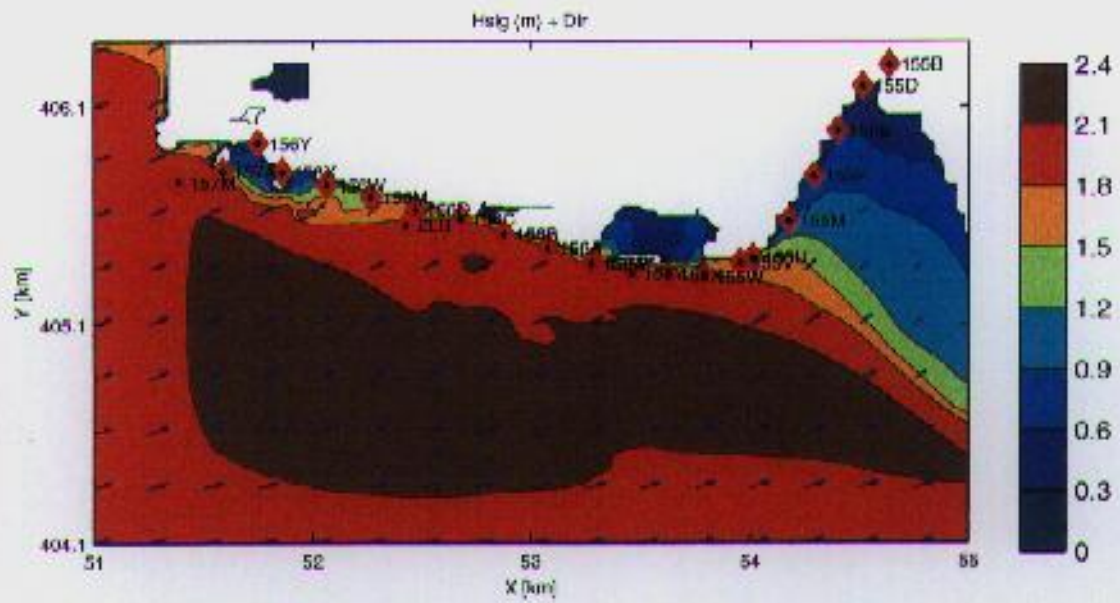
900125 17:30

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 5.1



Berekende Hs, Dir en Tm-10 voor de Oosterschelde

Run c11

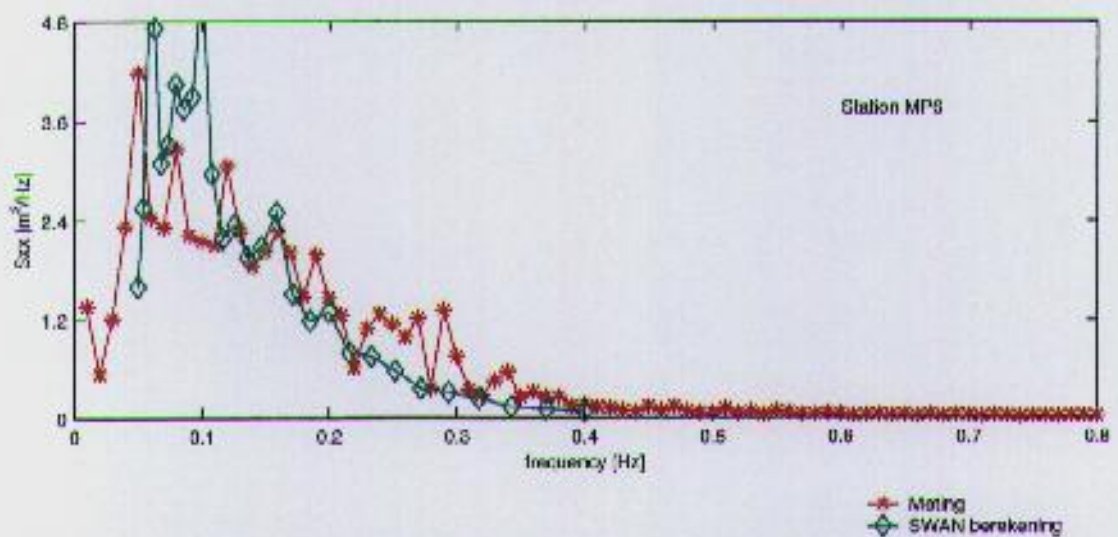
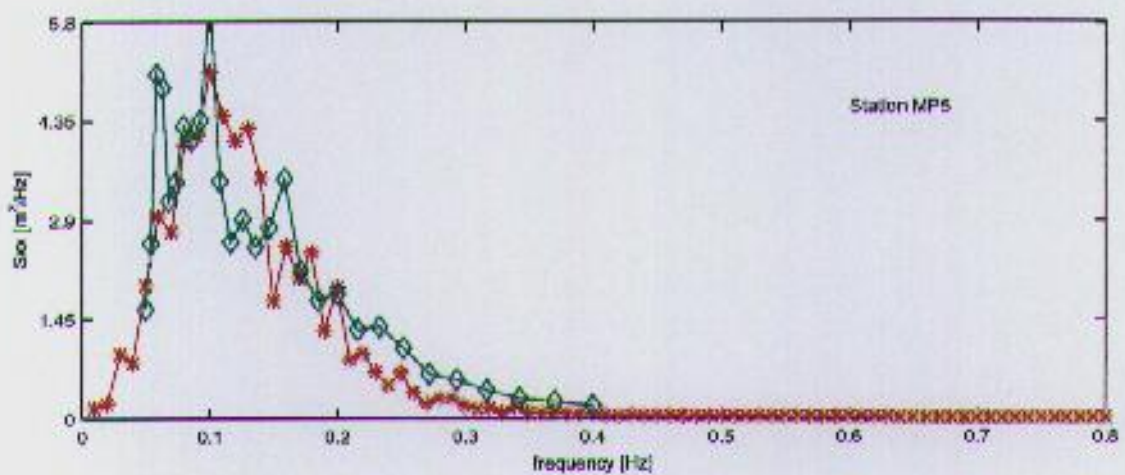
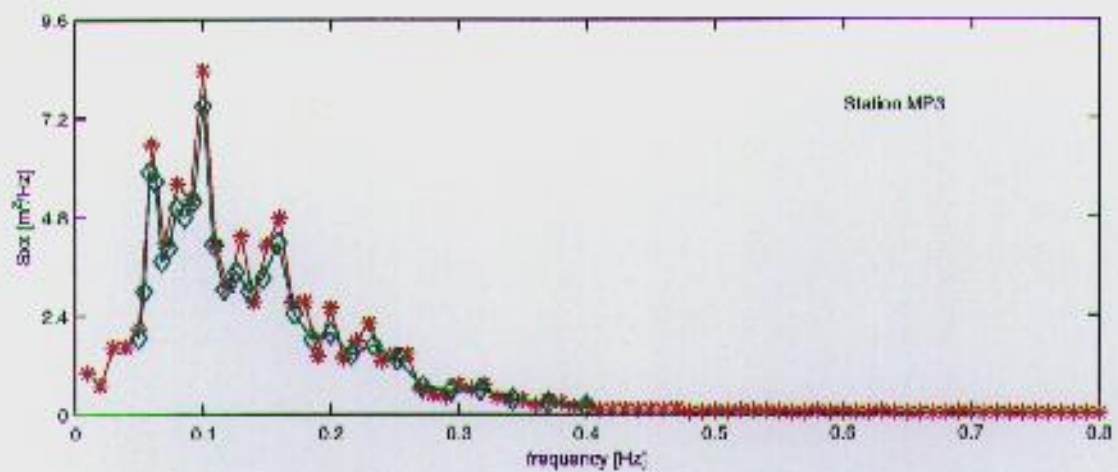
900125 19:30

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 5.2



Berekende vs gemeten spectrum voor Petten

Run c13

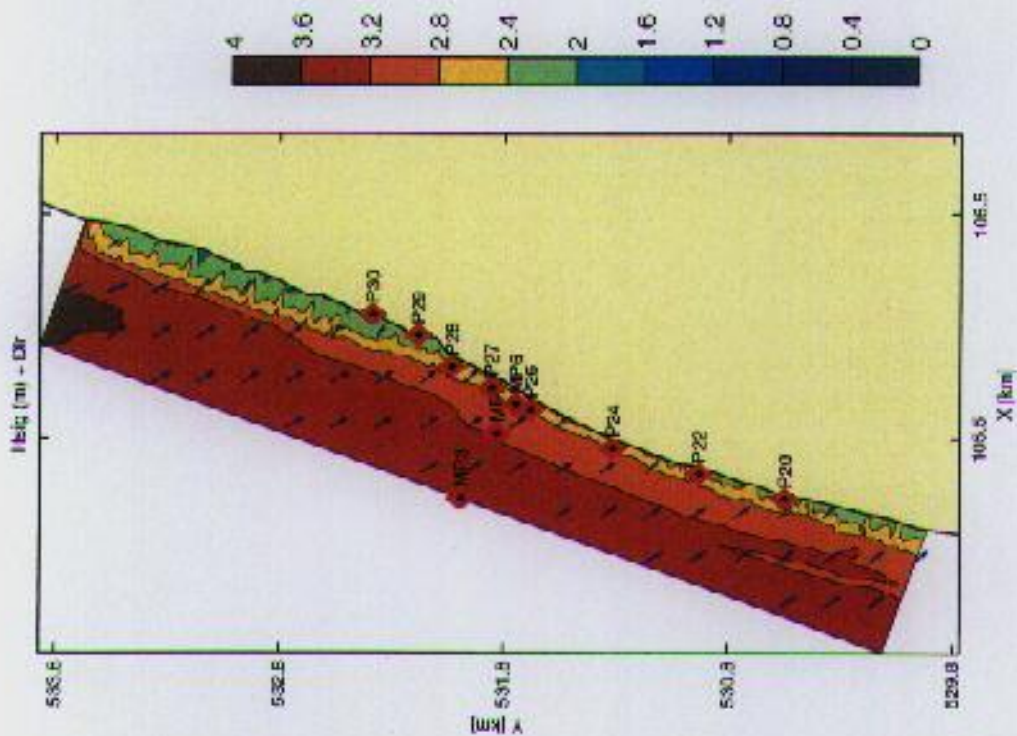
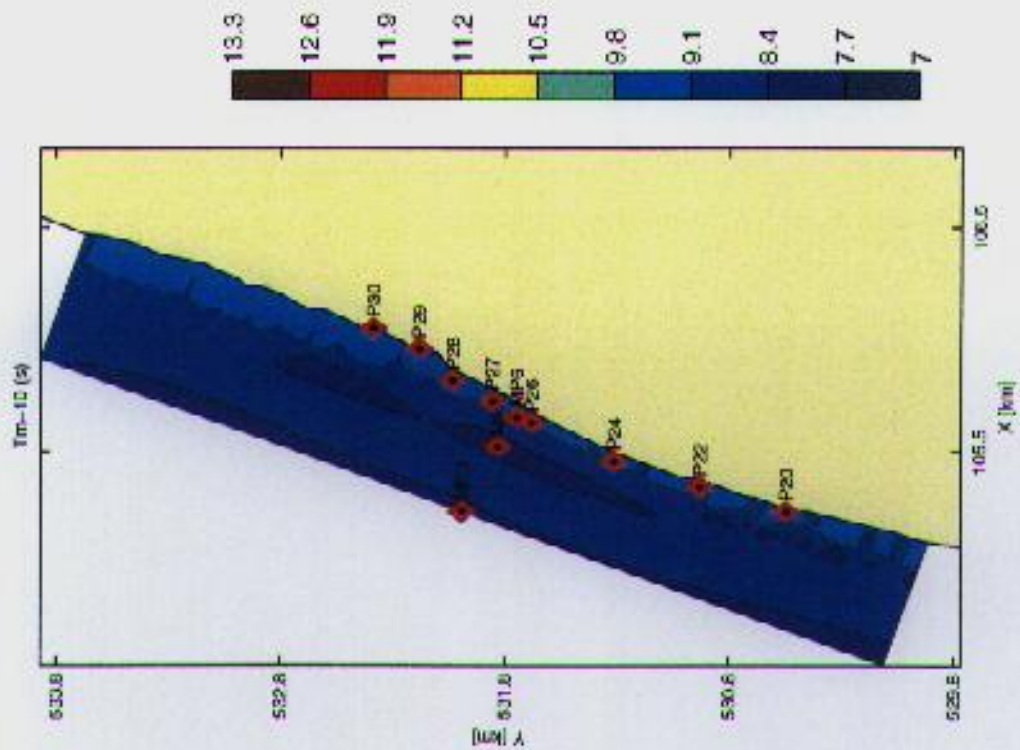
950201 03:40

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 6.1



Berekende  $H_s$ ,  $D_{ir}$  en  $T_m-10$  (s) voor Pelten

Run c13

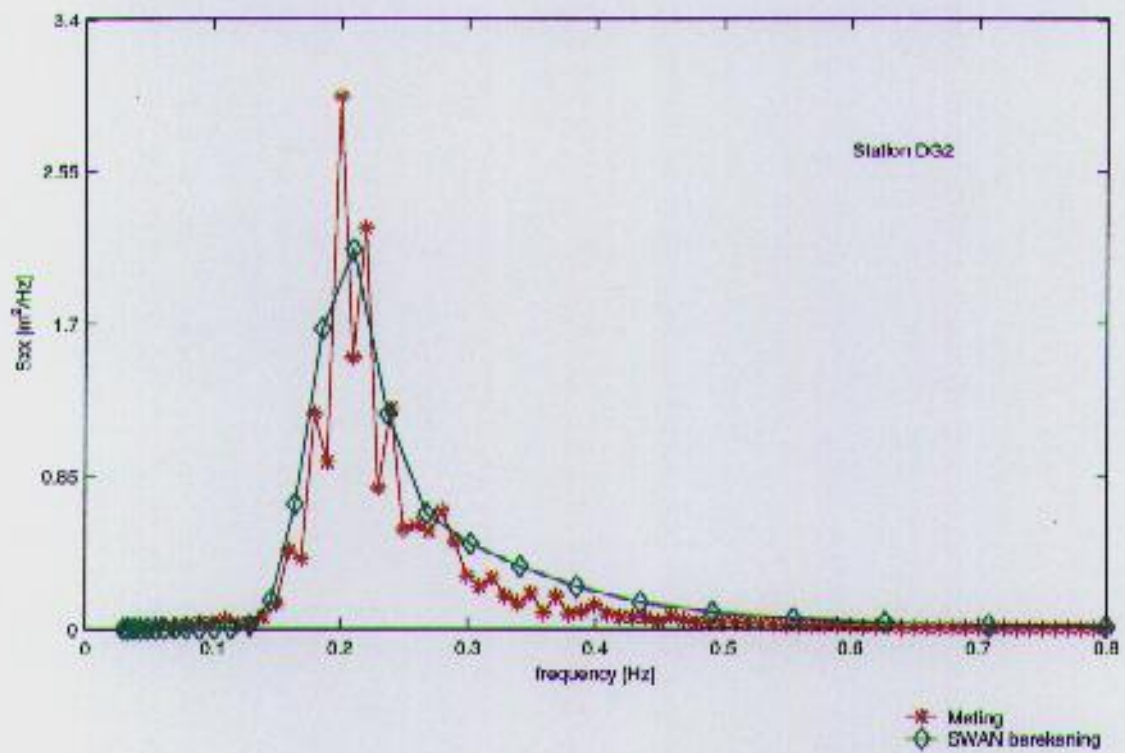
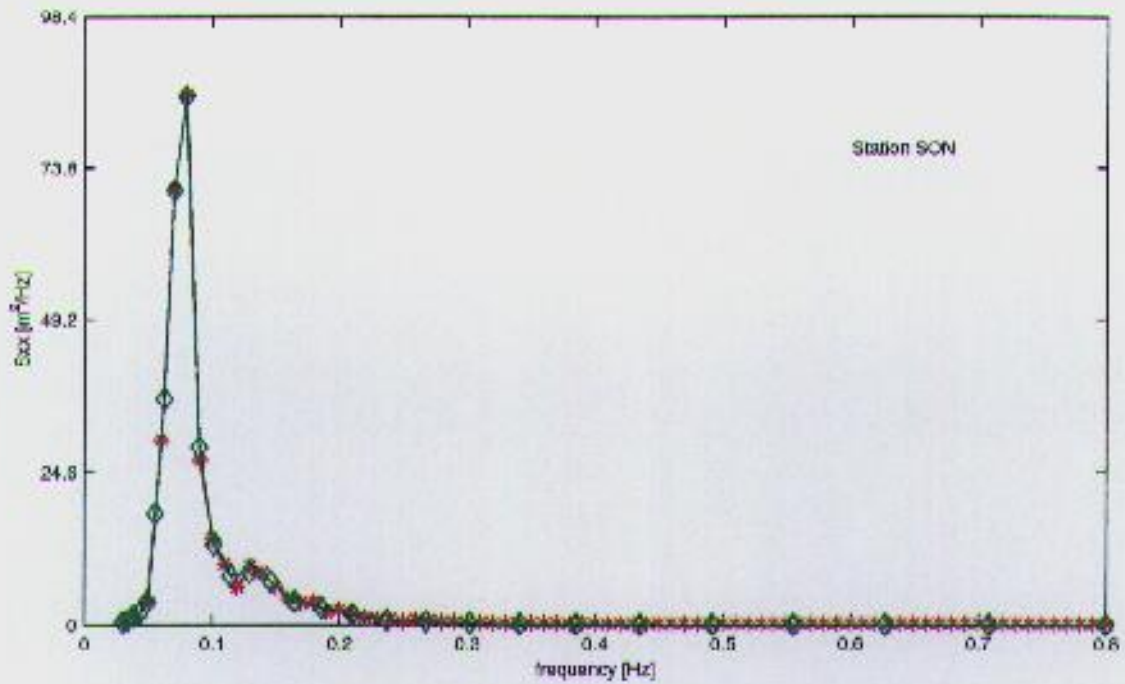
950201 03:40

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 6.2



Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard

Run c10

890214 06:00

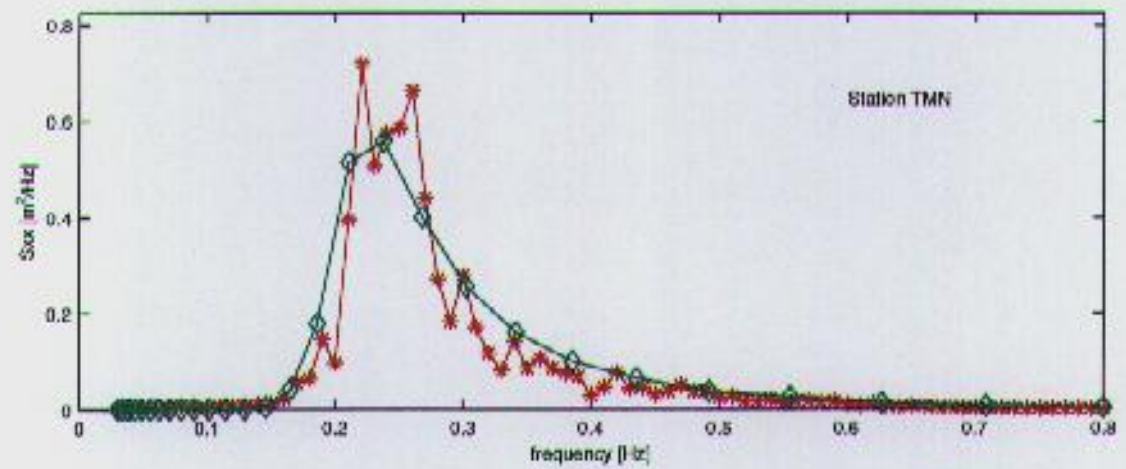
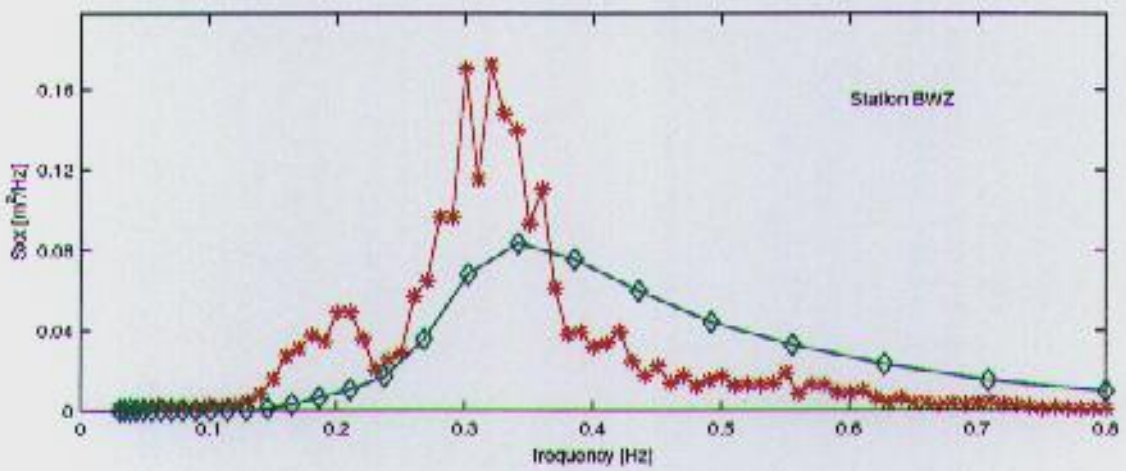
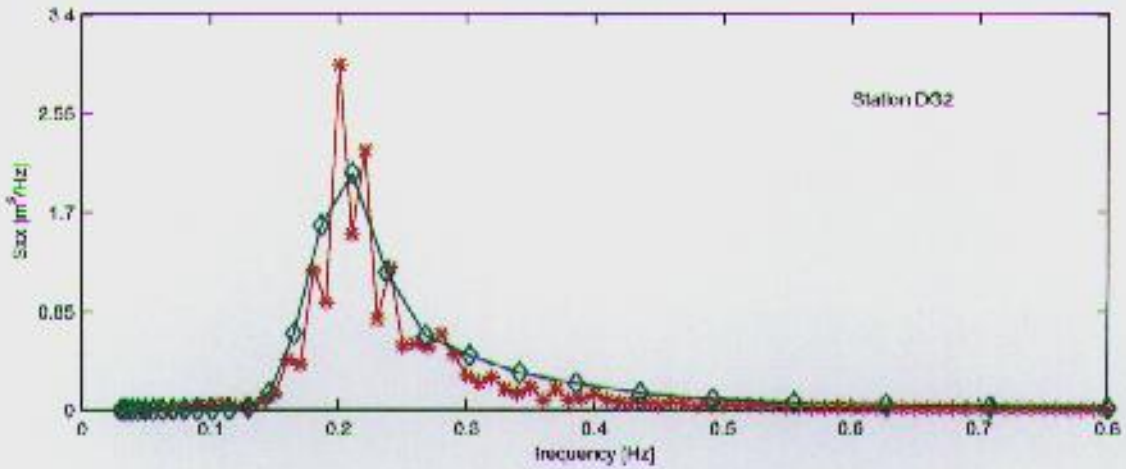
SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

- H3761

Fig. 7.1a





★ Meiking  
◆ SWAN berekening

Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard

Run m10

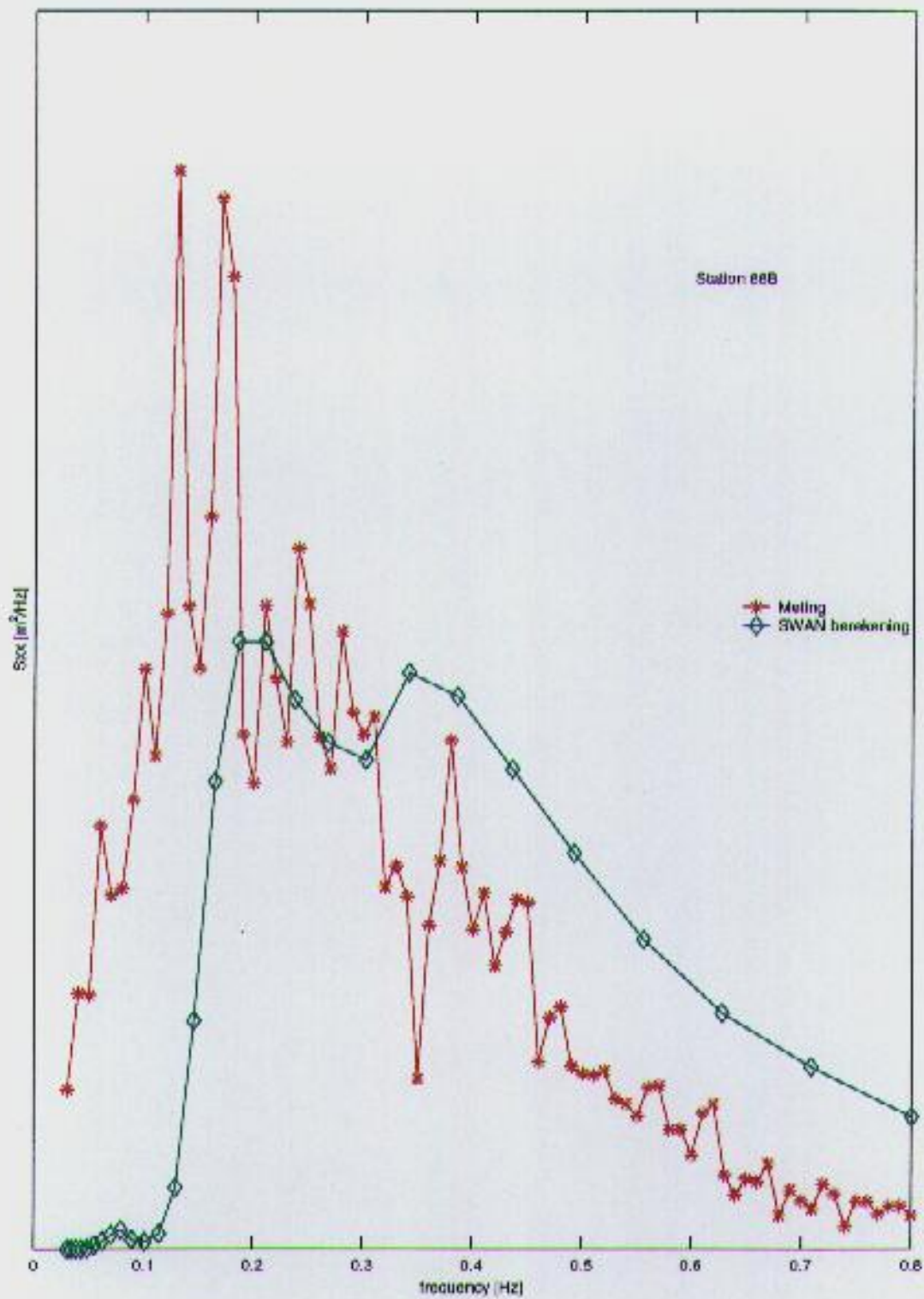
890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.1b



Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard

Run w10

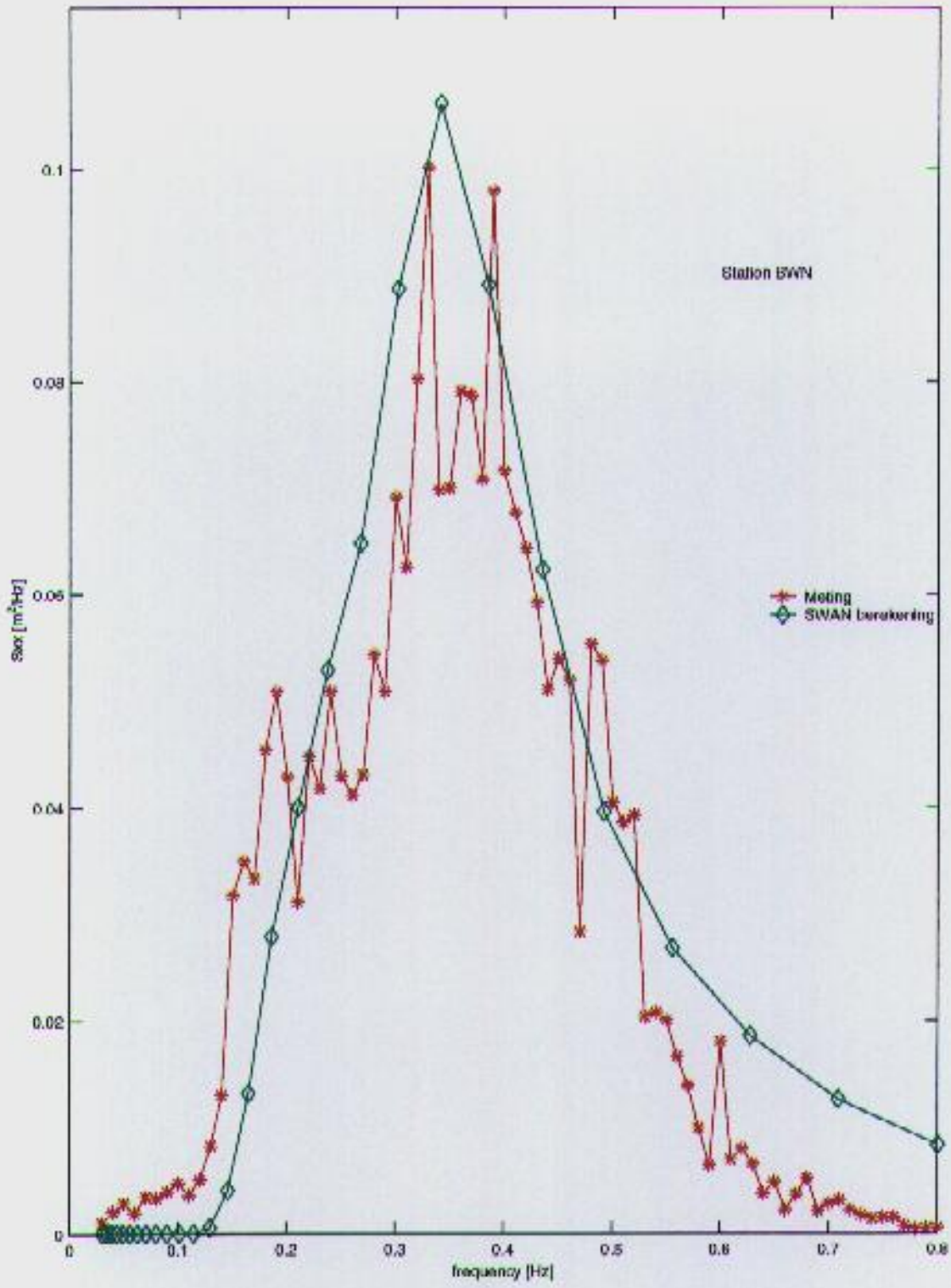
890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.1c



Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard

Run x10

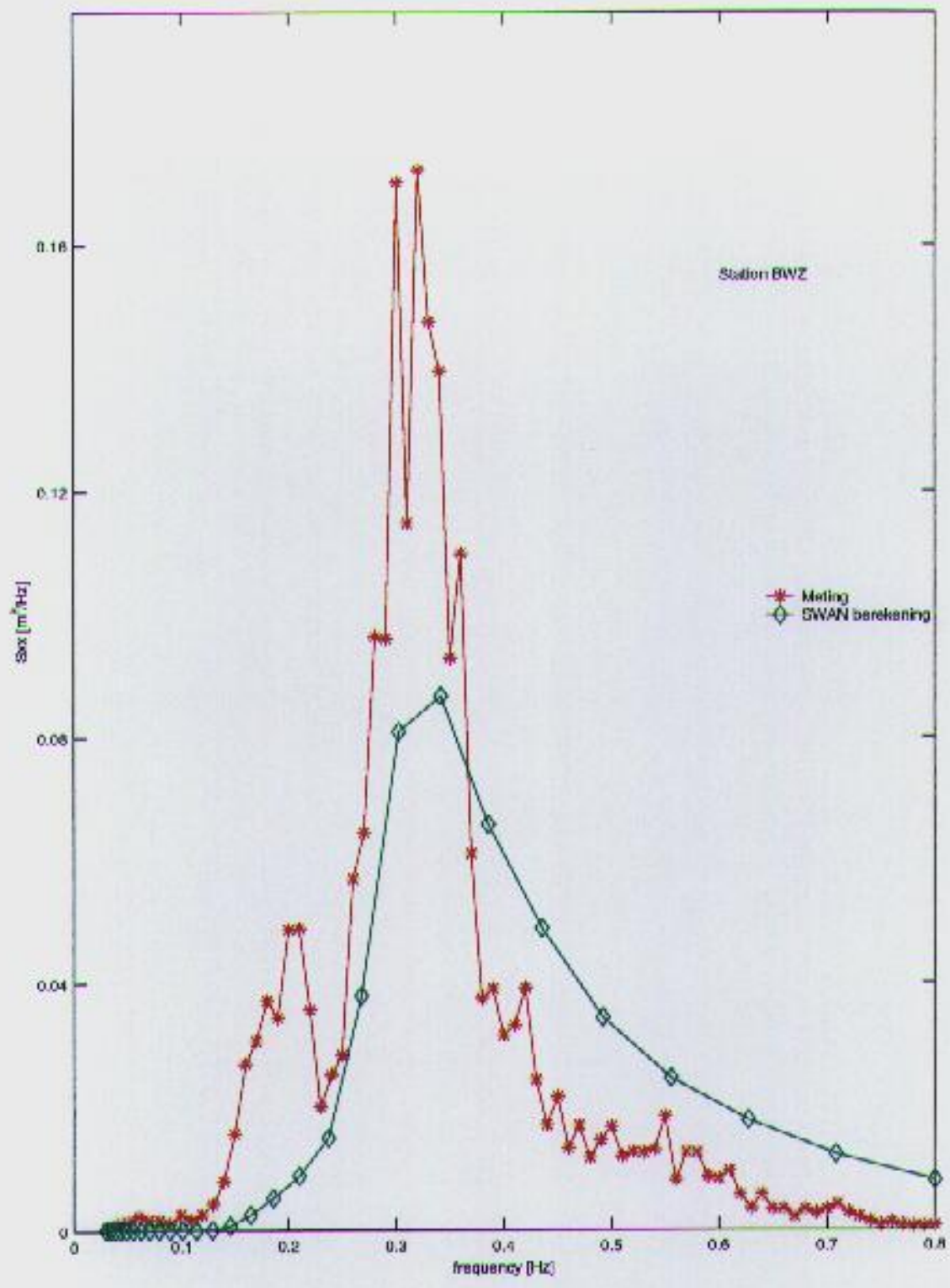
890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.1d



Berekende versus gemeten spectra in de Eerns-Dollard

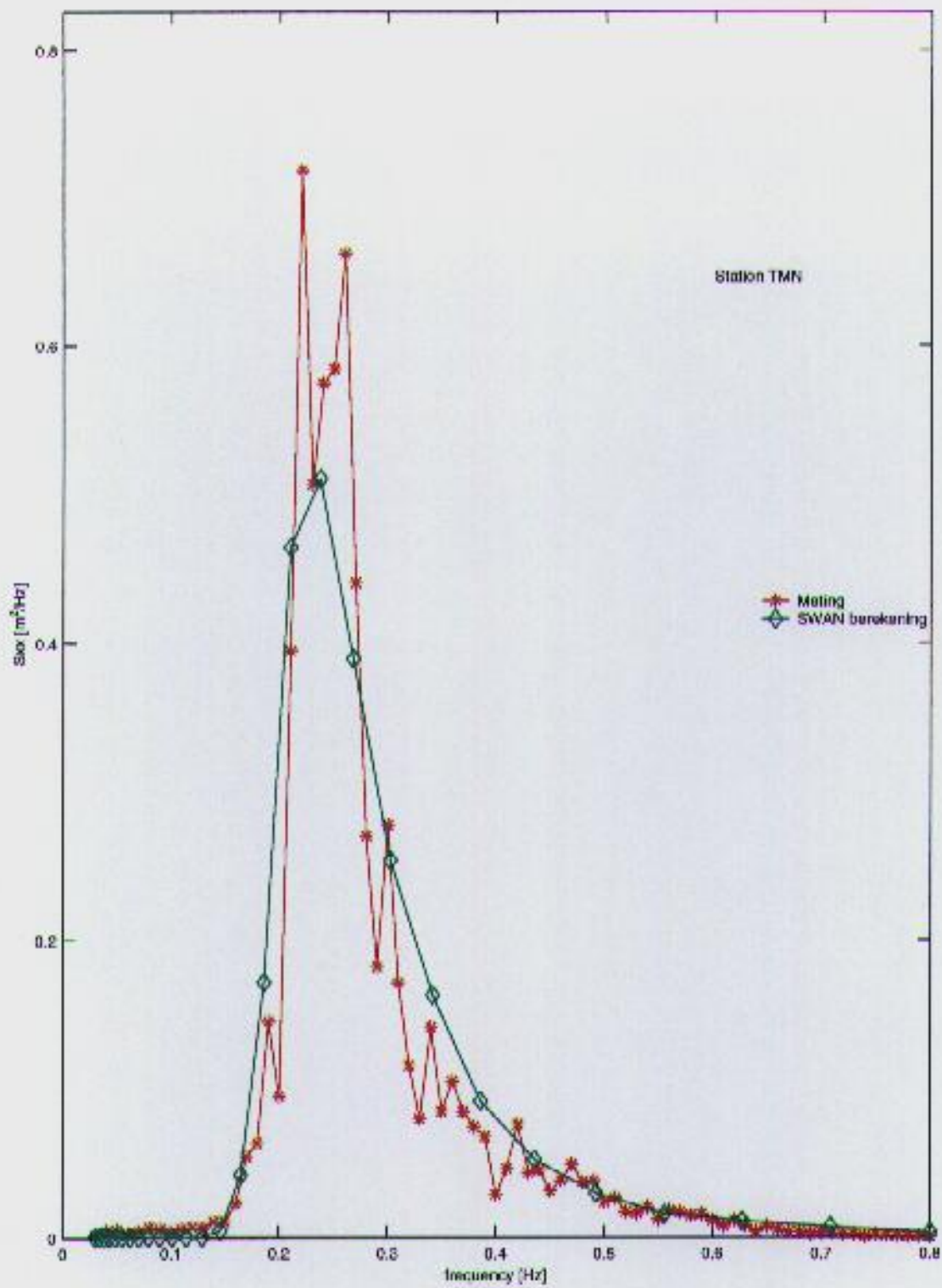
Run y10 890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.1e



Berekende versus gemeten spectra in de Eems-Dollard

Run z10

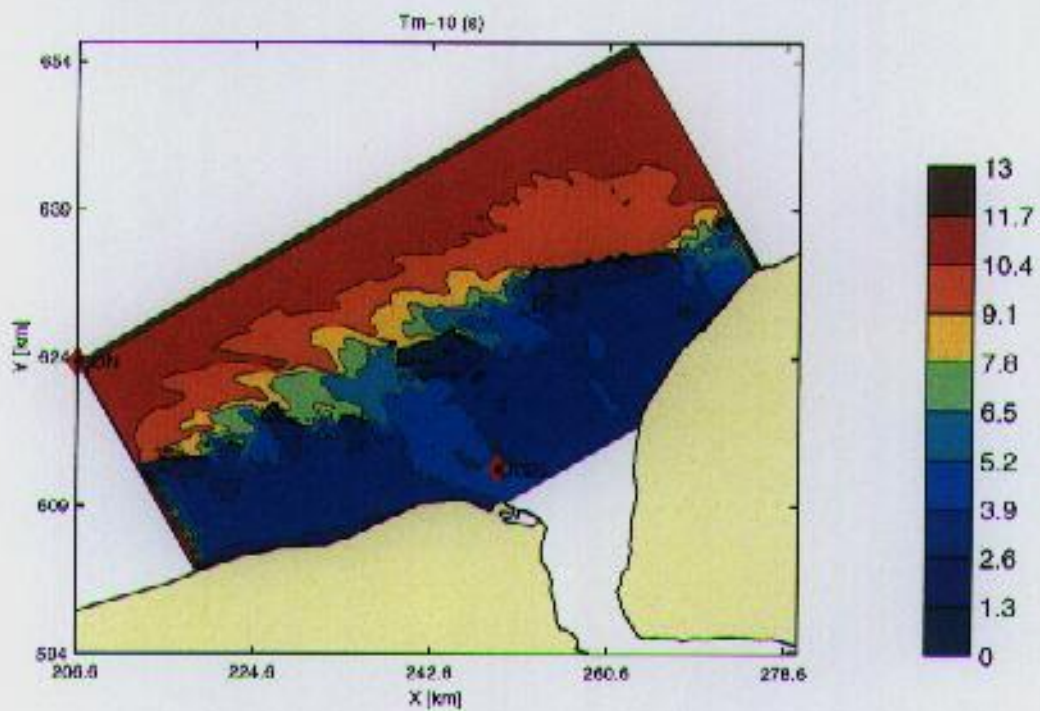
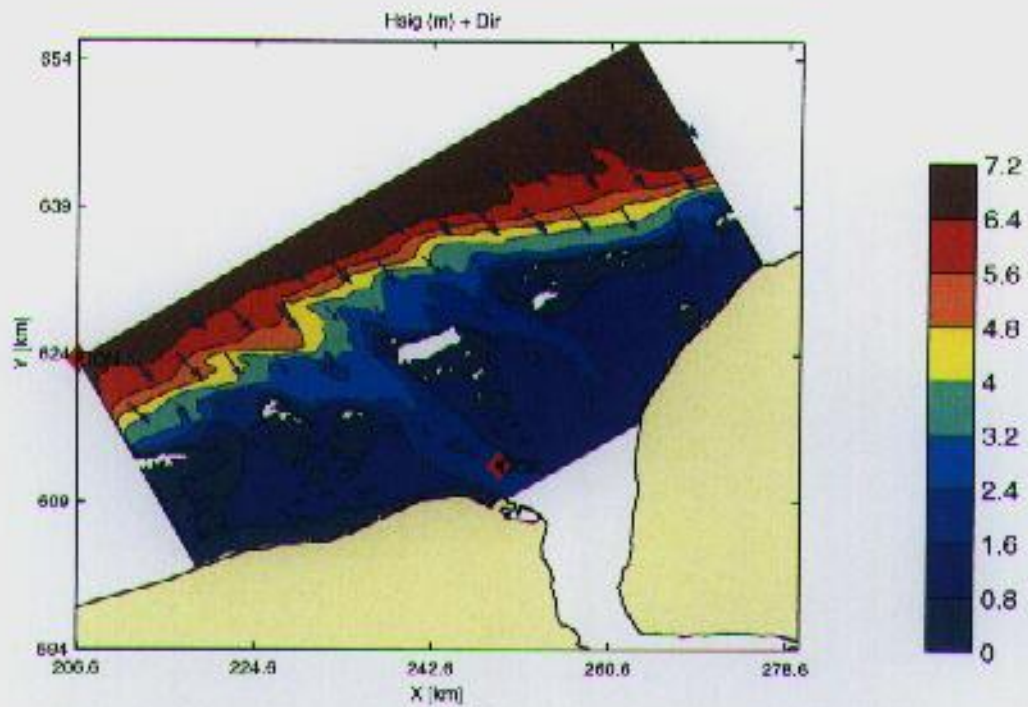
890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.1f



Berekende H<sub>s</sub>, Dir en T<sub>m-10</sub> (s) voor de Eems-Dollard

Run c10

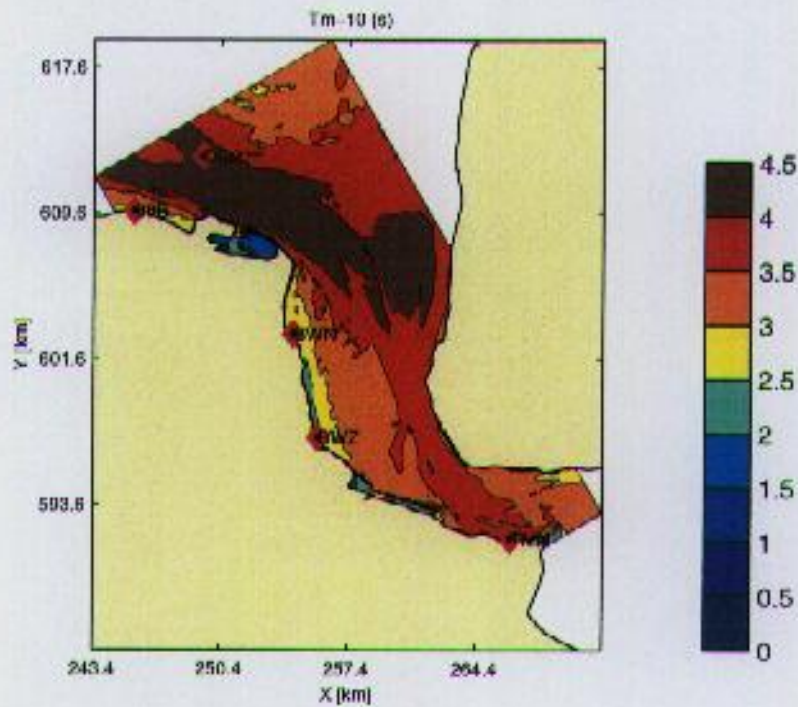
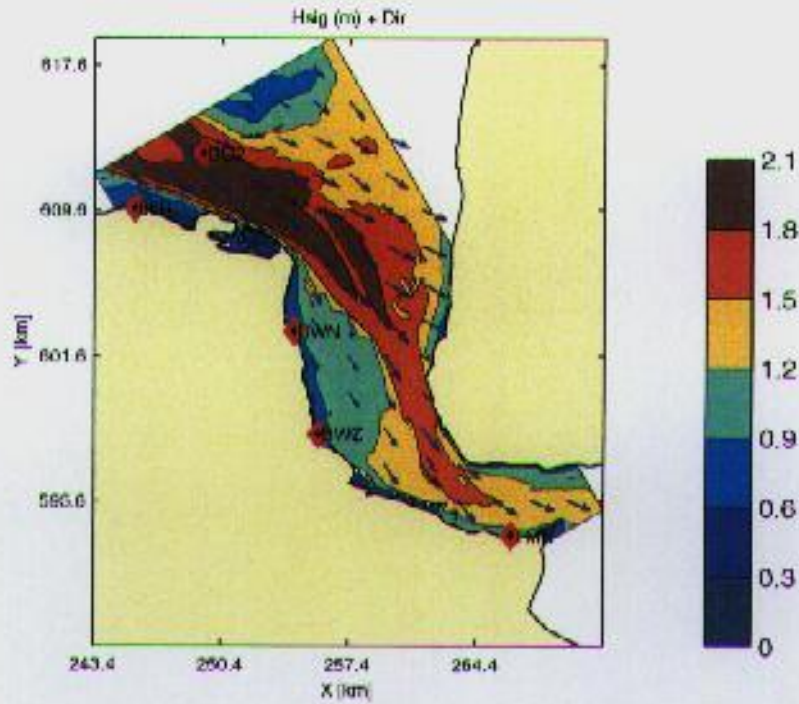
890214 06:00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.2a



Berekende H<sub>s</sub>, Dir en T<sub>m-10</sub> (s) voor de Eems-Dollard

Run m10

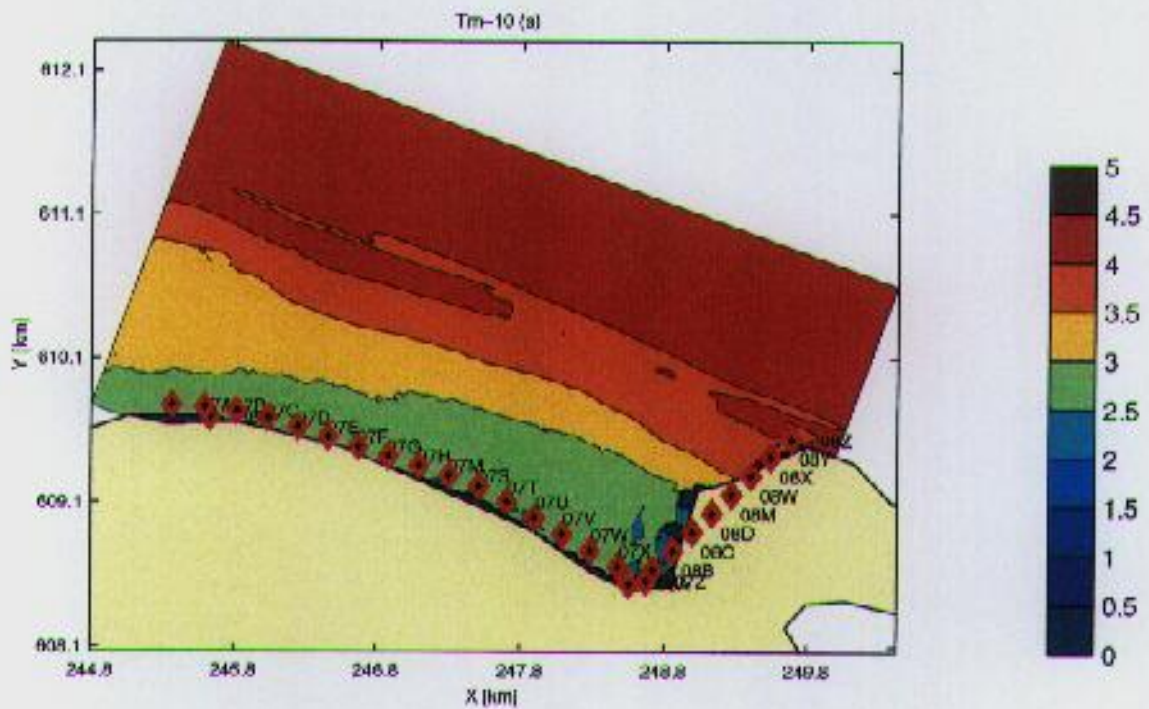
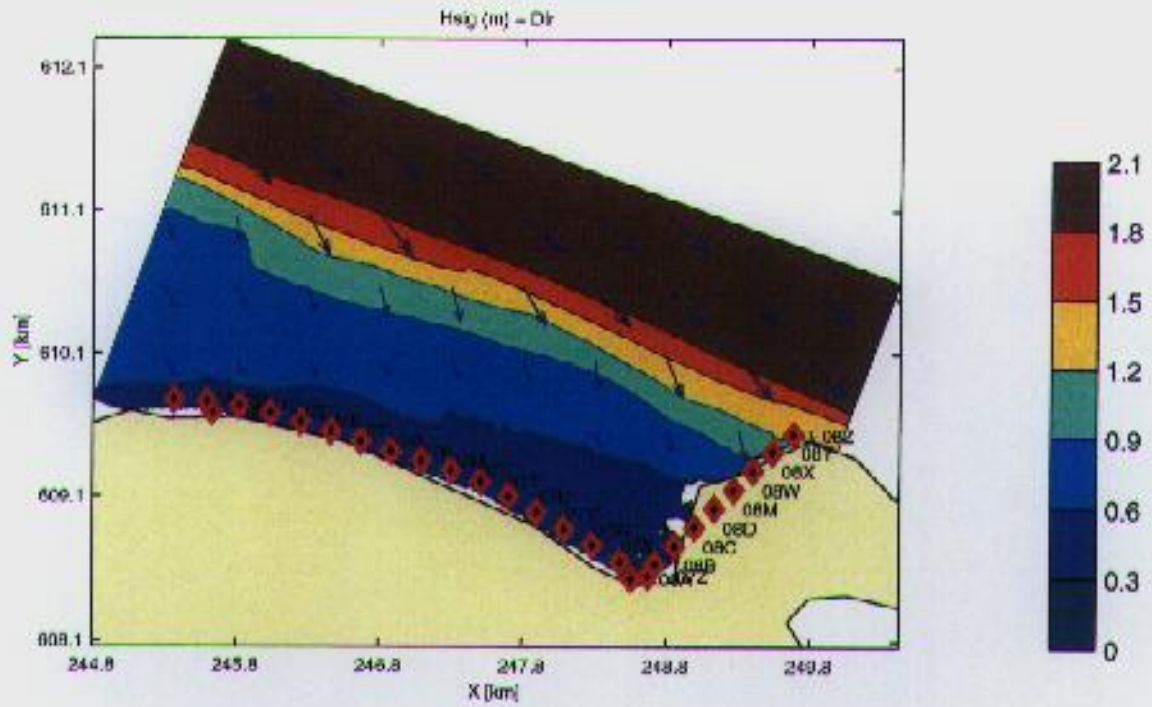
890214 06.00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.2b



Berekende Hs, Dir en Tm-10 (s) voor de Eems-Dollard

Run w10

890214 06:00

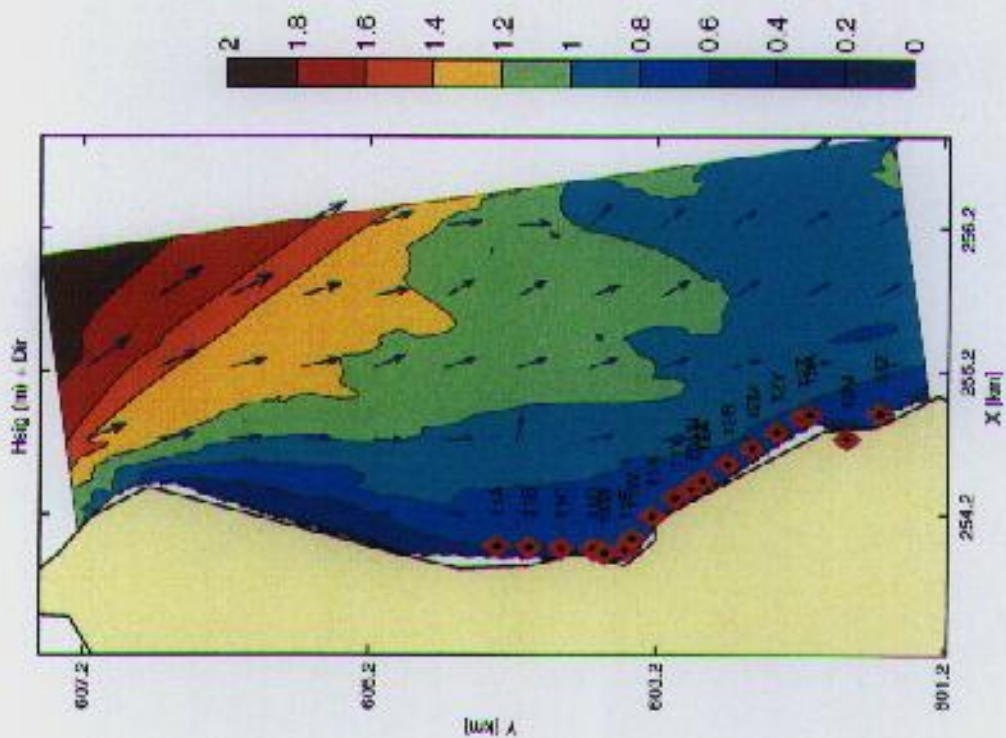
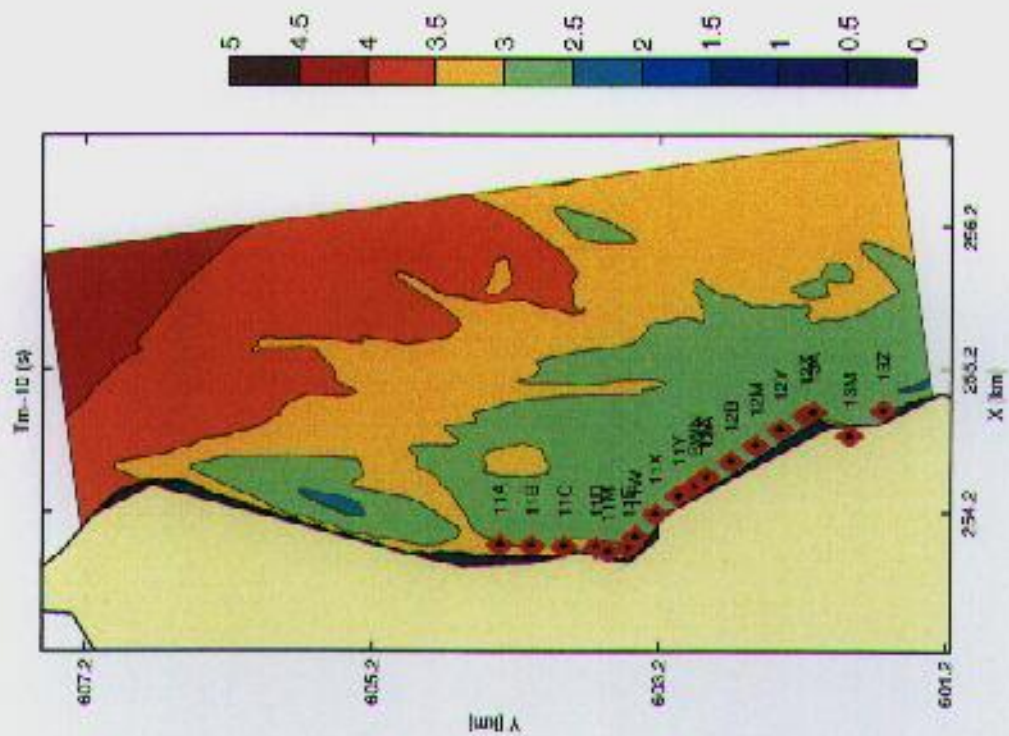
SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.2c





Berekende  $H_s$ ,  $Dir$  en  $T_{m-10}$  (s) voor de Eems-Dollard

Run x10

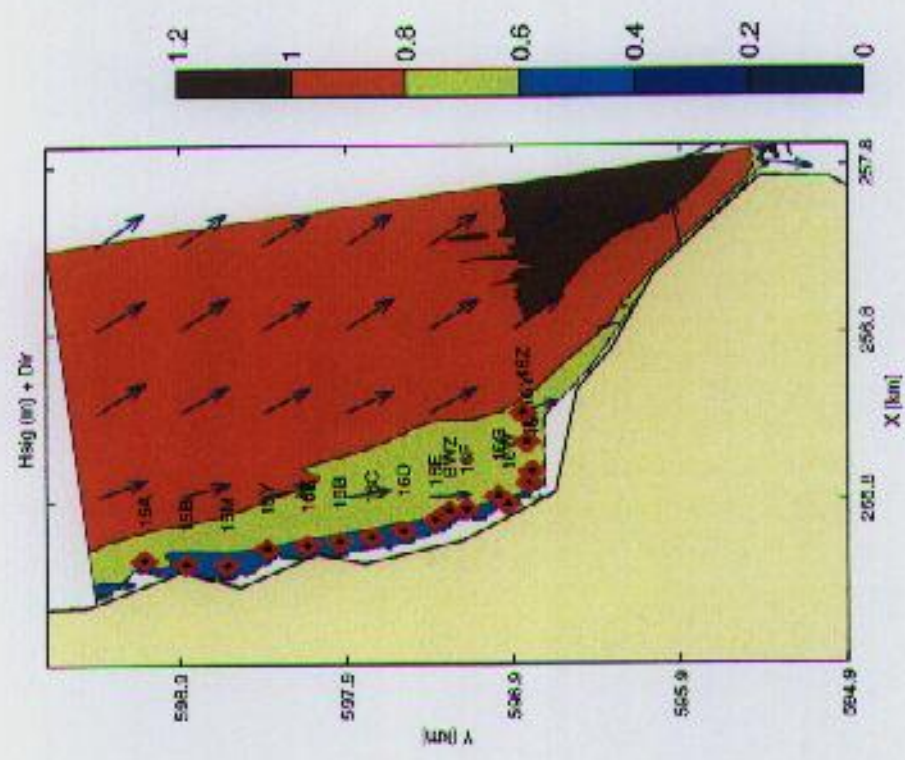
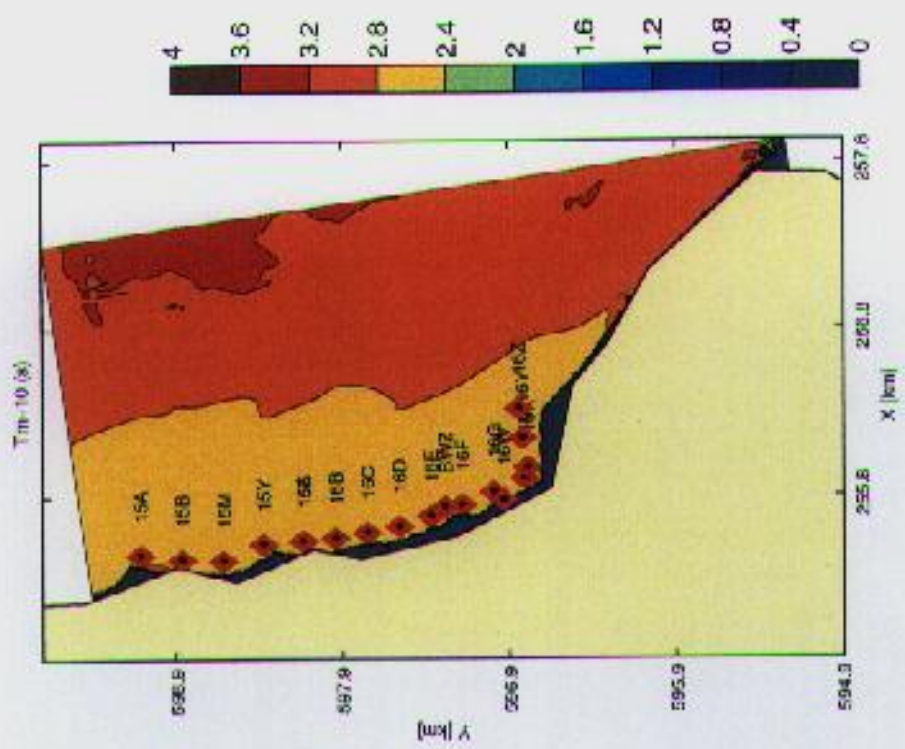
890214 06.00

SWAN v40.01

WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.2d



Berekende Hs, Dir en Tm-10 (s) voor de Eems-Dollard

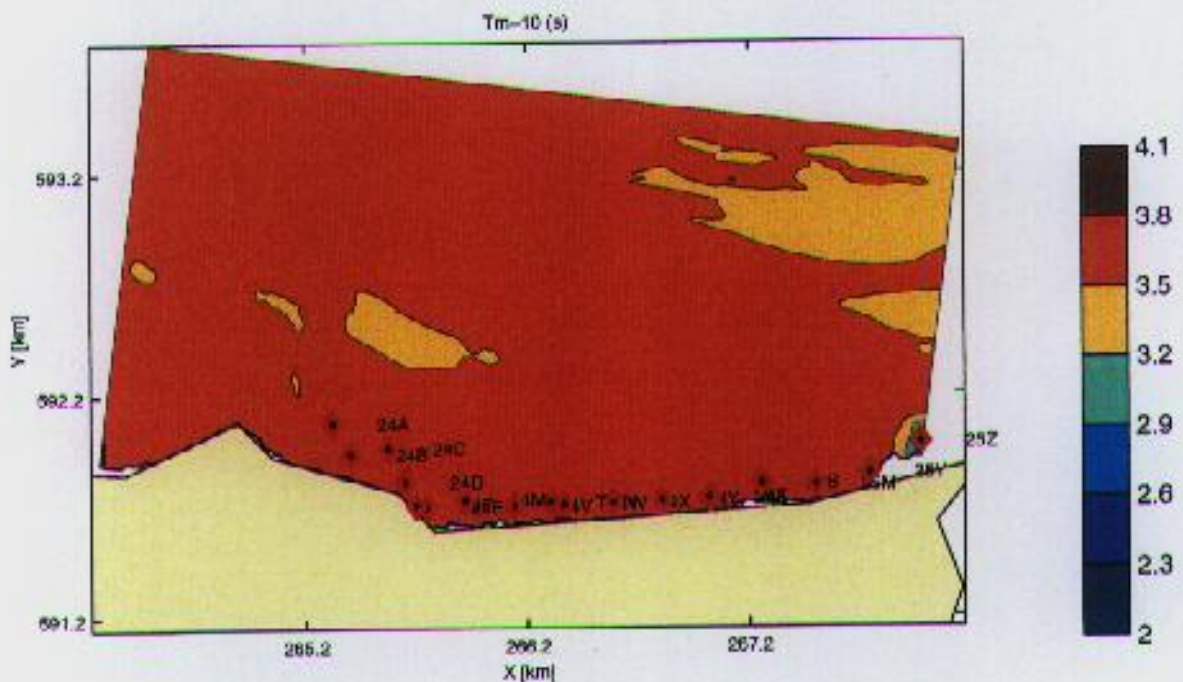
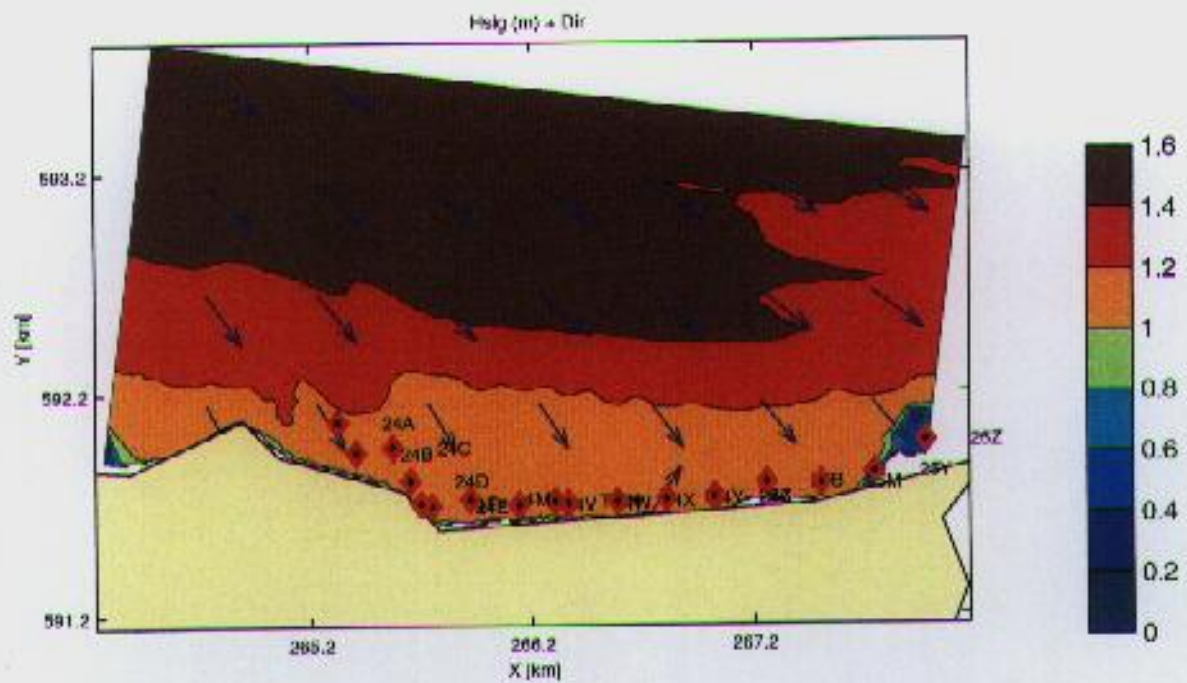
Run y10 890214 06:00

SWAN v40.01

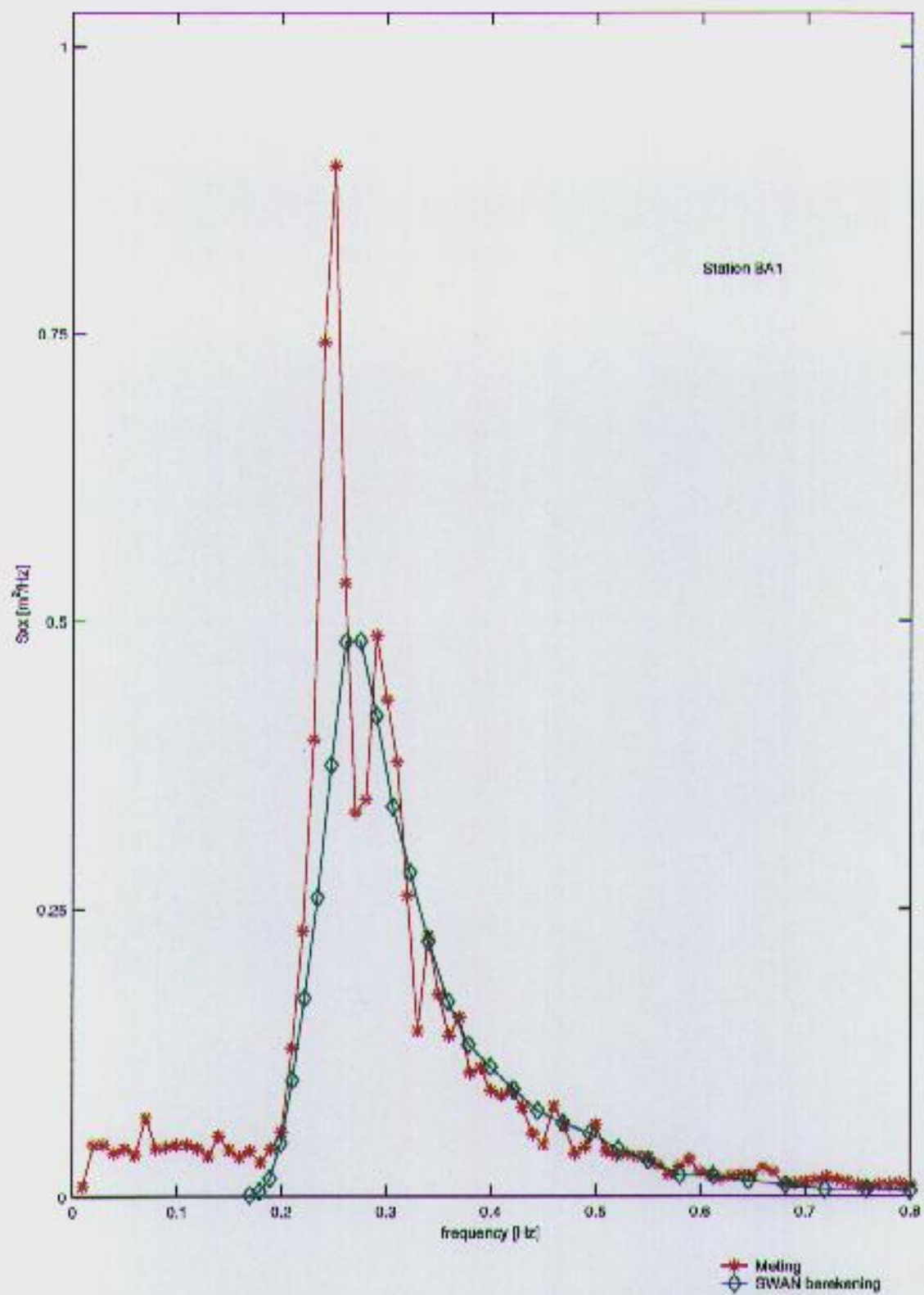
WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 7.2e



Berekende Hs, Dir en Tm-10 (s) voor de Eema-Dollard	Run z10	890214 06:00
	SWAN v40.01	
<b>WL   DELFT HYDRAULICS</b>	H3761	Fig. 7.2f



Berekende vs gemeten spectrum voor Bath

Run c11

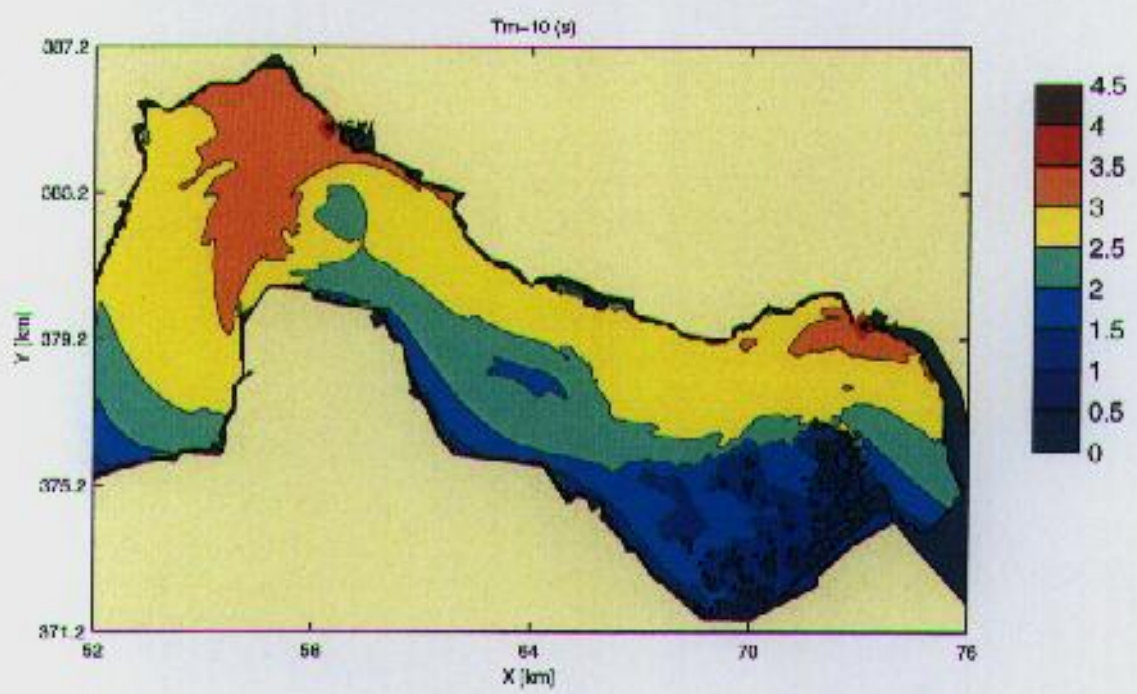
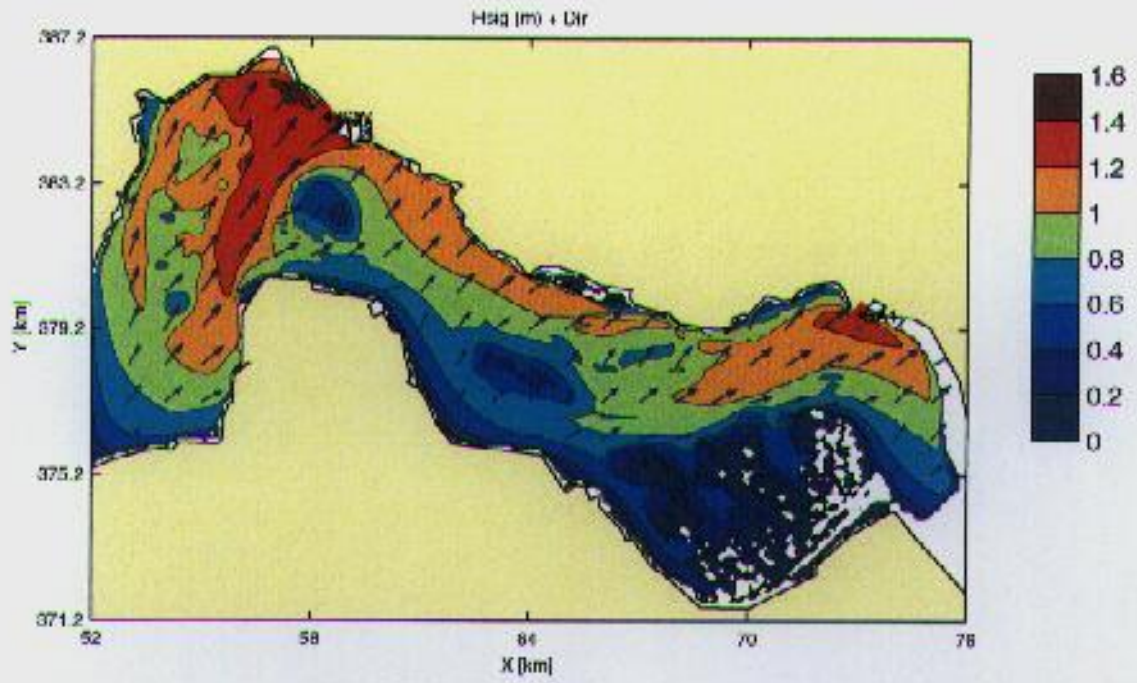
000528 11:30

SWAN v40.01

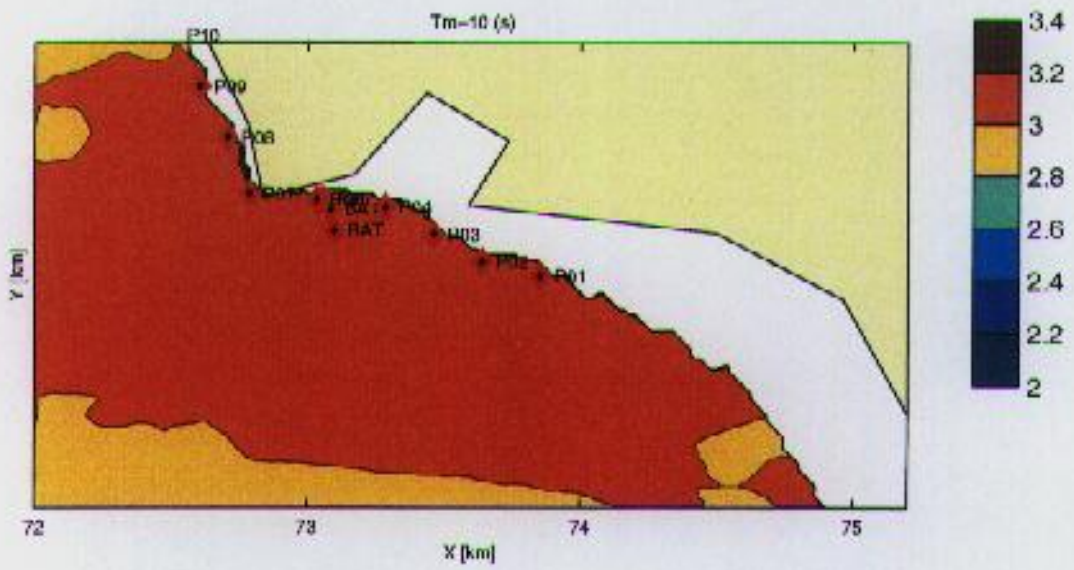
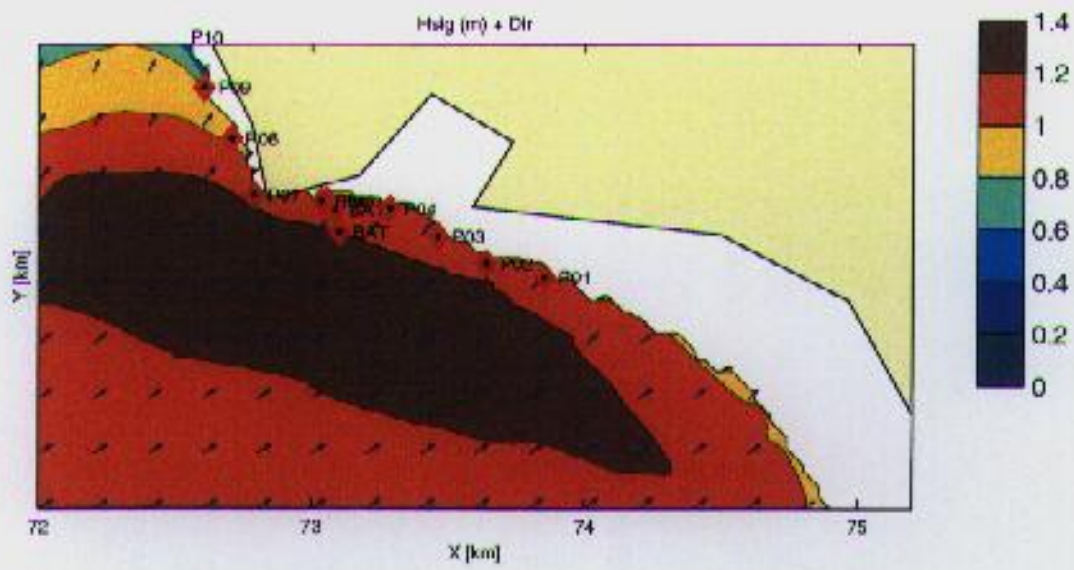
WL | DELFT HYDRAULICS

H3761

Fig. 8.1



Berekende Hs, Dir en Tm-10 (s) voor Bath	Run c11	000528 11:30
	SWAN v40.01	
WL   DELFT HYDRAULICS	H3761	Fig. 8.2a



Berekende Hs, Dir en Tm-10 (s) voor Bath	Run f11	000528 11:30
	SWAN v40.01	
WL   DELFT HYDRAULICS	H3761	Fig. 8.2b