

**Nadere uitwerking stormbelasting bij
dijkschadegevallen**
SWAN simulaties op de Westerschelde

Rijkswaterstaat, projectbureau Zeeweringen
Eindrapport

1266/R03125
10 september 2003

SVAS

HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS

EK

LICS

CONSULTANTS

Heer Bokelweg 145
Postbus 91
3000 AB Rotterdam
+31 (0)10 467 13 61 Telefoon
+31 (0)10 467 45 59 Fax
gautier@svasek.com E-mail
www.svasek.com Internet

Documenttitel	Nadere uitwerking stormbelasting bij dijkschadegevallen SWAN simulaties op de Westerschelde
Verkorte documenttitel	Stormbelasting bij dijkschadegevallen
Status	Eindrapport
Datum	10 september 2003
Projectnaam	Nadere uitwerking stormbelasting bij dijkschadegevallen
Projectnummer	1266
Auteur(s)	Caroline Gautier en Bas Les
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Projectbureau Zeeweringen
Referentie	1266/R03125/CG

INHOUDSOPGAVE

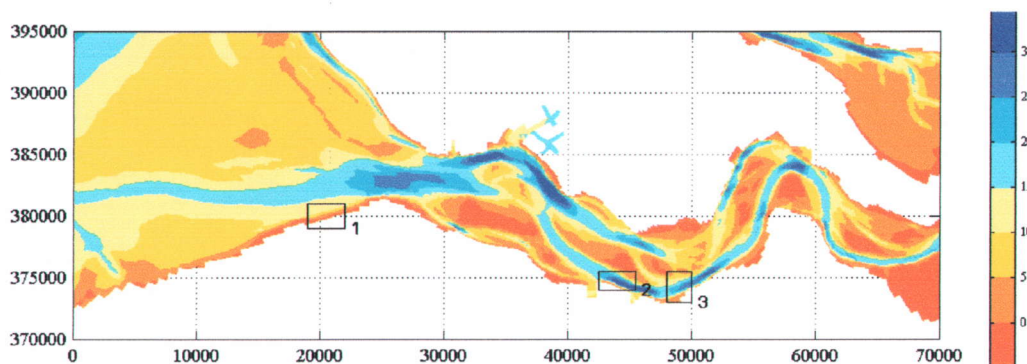
	Blz.
1 INLEIDING	1
2 VRAAGSTELLING EN VOORSTUDIE	2
2.1 Vraagstelling	2
2.2 Voorstudie	2
3 SWAN GOLFPARAMETERS NABIJ DIJK	4
3.1 Methode van simuleren	4
3.1.1 Algemeen	4
3.1.2 Golfrandvoorwaarden	4
3.1.3 Bodemschematisatie	4
3.1.4 Waterstand en stroming	5
3.1.5 Wind	5
3.2 SWAN Uitvoer	6
4 STEENDIKTE BEREKENINGEN DIJKBEKLEDING	9
4.1 Inleiding tot het programma STEENTOETS	9
4.2 Invoer voor het programma STEENTOETS	9
4.3 Berekeningen met het programma STEENTOETS	10
4.4 Resultaten van het programma STEENTOETS	12
4.4.1 Algemeen	12
4.4.2 Invloed van toetsmethode op benodigde zuildikte	13
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	14
5.1 Conclusies	14
5.2 Aanbeveling	14

Figuren

Appendices	A1: Benodigde zuildikten storm A, Case 1
	A2: Benodigde zuildikten storm A, Case 2
	A3: Benodigde zuildikten storm B, Case 1
	A4: Benodigde zuildikten storm B, Case 2
	A5: Benodigde zuildikten storm C, Case 1
	A6: Benodigde zuildikten storm C, Case 2

INLEIDING

De zware storm van oktober 2002 heeft op een aantal plaatsen langs de zuidoever van de Westerschelde schade veroorzaakt aan de dijken, namelijk - zie Figuur 1.1 - bij het Kruishoofd (1), de Nieuw Neuzenpolder dp15 (2), en de Margarethapolder (3). Voor de opdracht 'Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde' [ref 1] zijn drie zware stormen - waaronder die van oktober 2002 - gesimuleerd en de resultaten zijn vergeleken met golfmetingen. In die opdracht was echter niet de presentatie en analyse van golfparameters ter plaatse van de schadegevallen voorzien.



Figuur 1.1: Locaties schadegevallen aan de dijk (kleuren geven diepte in m onder NAP aan)

De huidige studie behelst het uitwerken van de golfcondities - op basis van de SWAN simulaties van de drie stormen - ter plaatse van de drie opgetreden schadegevallen. Bovendien worden de belastingen tijdens de drie stormen vertaald naar benodigde steendikten voor de dijkbekleding middels berekeningen met STEENTOETS.

Deze studie wordt door Svašek Hydraulics uitgevoerd, in opdracht van het projectbureau Zeeweringen van Rijkswaterstaat (Orderbon 353013 d.d. 22 mei 2003). De projectbegeleiding is in handen van het RIKZ.

De opbouw van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van de studie beschreven. Hoofdstuk 3 behandelt de golfbelastingen aan de hand van de SWAN simulaties en de resultaten. In hoofdstuk 4 worden de golfbelastingen vertaald naar benodigde steendiktes voor de dijkbekleding. Het rapport eindigt met conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 5.

2 VRAAGSTELLING EN VOORSTUDIE

2.1 Vraagstelling

In de offerteaanvraag zijn de volgende werkzaamheden genoemd:

1. Nader uitwerken van de golfcondities die opgetreden zijn tijdens de stormen van 28 mei 2000, 28 december 2001 en 27 oktober 2002 op drie van de vier locaties waar schade opgetreden is. Vissingen blijft buiten beschouwing.
2. Het uitwerken van de belasting als functie van de waterstand en windsnelheid tijdens de stormen.
3. Het vertalen van de belasting die tijdens deze stormen opgetreden is naar benodigde steendikten voor de dijkbekleding middels berekeningen met ANAMOS of STEENTOETS.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat de golfcondities bepaald worden met behulp van SWAN simulaties volgens Case 1 en Case 2, zie ook Paragraaf 2.2.

2.2 Voorstudie

De huidige studie is een aanvulling op de studie 'Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde' [ref 1]. Ter verduidelijking volgt hier een beknopte beschrijving van de werkzaamheden van die studie.

Met het SWAN golfmodel is van drie door het RIKZ geselecteerde stormen het golfverloop berekend aan de hand van vijf stationaire simulaties per storm. Voor elke simulatie waren op ongeveer 17 locaties op de Westerschelde en Noordzee golfmetingen beschikbaar om de modeluitkomsten te toetsen. Bij de analyse van de modelprestaties is o.a. rekening gehouden met de ligging van de meetlocaties door drie gebieden te onderscheiden, namelijk de Noordzee, het mondingsgebied en de Westerschelde zelf. De dijken waar schade is opgetreden aan de bekleding bevinden zich in het mondingsgebied (Kruishoofd) en op de Westerschelde (Nieuw Neuzenpolder en Margarethapolder).

De drie stormen zijn:

storm A:	28 mei 2000	(5 tijden t1-t5: 8:00; 10:00; 12:30; 14:00; 16:40)
storm B:	28 december 2001	(5 tijden t1-t5: 10:00; 13:00; 15:00; 17:00; 19:00)
storm C:	27 oktober 2002	(5 tijden t1-t5: 8:20; 12:00; 14:40; 17:20; 19:40)

Het SWAN model is op vier manieren ingezet, te weten

Case 1: versie 30.62 volgens Alkyon 1998 [ref 2]

Case 2: versie 30.62 met uitgebreide invoer (o.a. wind-, waterstands- en stroomvelden)

Case 3: versie 40.16 met invoer volgens Case 1

Case 4: versie 40.16 met invoer volgens Case 2

Doel van de studie is o.a. antwoord op de vragen "Hoe betrouwbaar zijn de in 1998 afgeleverde golfcondities (waar 'Case1' model voor staat)?" en "In hoeverre draagt de methode van simuleren bij aan de betrouwbaarheid van de golfberekening (vergelijking 'Case 2' en 'Case1')?"

Een overzicht van enkele statistische parameters die het verschil tussen de simulaties en de metingen weergeven is te vinden in Tabel 2.1.

	H _s algemeen		H _s Noordzee		H _s monding		H _s Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-6	18	-5	15	-6	12	-10	25
2	-1	23	3	15	-1	19	-18	30

Tabel 2.1.a Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, H_s

	T _{pm} algemeen		T _{pm} Noordzee		T _{pm} monding		T _{pm} Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	14	1	9	-15	12	-18	14
2	-9	14	0	8	-15	13	-19	13

Tabel 2.1.b Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, T_{pm}

	T _{m-1,0} algemeen		T _{m-1,0} Noordzee		T _{m-1,0} monding		T _{m-1,0} Westerschelde	
case	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev	bias	stdev
1	-8	12	-2	7	-13	13	-13	13
2	-7	11	-3	7	-10	12	-12	12

Tabel 2.1.c Relatieve statistische parameters [%] per case en per gebied, T_{m-1,0}

3 SWAN GOLFPARAMETERS NABIJ DIJK

3.1 Methode van simuleren

3.1.1 Algemeen

Deze paragraaf behandelt de manier van simuleren. Details hierover zijn te vinden in [ref 1].

De gebruikte SWAN versie is 30.62. Alle berekeningen zijn stationair uitgevoerd. Om de simulaties met voldoende hoge resolutie uit te voeren, en toch de beschikbare computer capaciteit niet te overschrijden, wordt er gebruik gemaakt van geneste rekenroosters die hun randvoorwaarden van voorgaande SWAN berekeningen krijgen.

In principe zijn de volgende rekenroosters gebruikt:

Noordzee (resolutie 500 m x 500 m)

Westerschelde (resolutie 100 m x 100 m)

Raai detail roosters (resolutie 20 m x 20 m): R01, R02, R03 (zie Figuur 1.1 & 3.1-3.3)

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

3.1.2 Golfrandvoorwaarden

In Case 1 zijn de golfrandvoorwaarden - afkomstig van Europlatform - als geparametriseerd JONSWAP spectrum op de noordwestelijke rand van het Noordzeerooster gezet. Op de noordoost- en zuidwestrand zijn naar de kust toe afnemende golfrandvoorwaarden toegepast.

De golfrandvoorwaarden van Case 2 worden als uniform 1D spectrum op de zeewaartse rand opgegeven, gekenmerkt door frequentie en bijbehorende energie, hoofdrichting en richtings spreiding (in graden). Op de noordoost- en zuidwestrand zijn naar de kust toe afnemende golfrandvoorwaarden toegepast.

3.1.3 Bodemschematisatie

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

In Case 2 is een meer recente bodem gebruikt, en zijn geen bodemdalingen toegepast. De basisbodem is de Westerschelde bodem van 2000 gecombineerd met laseraltimetrie van 2001, afkomstig van RIKZ Middelburg. Deze bodem heeft een resolutie van 5 m x 5 m.

3.1.4 Waterstand en stroming

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

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

In Case 1 wordt niet met stroming gerekend.

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

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

3.1.5 Wind

Voor Case 1 is per geselecteerd tijdstip op basis van de uurlijkse windmetingen bij Vlissingen een tweedimensionaal windveld gemaakt voor het gehele gebied. Ten westen van de noord-zuid lijn door Vlissingen is 0.5 m/s bij de gemeten wind opgeteld, en ten oosten van die lijn 0.5 m/s afgetrokken. De resolutie van het windveld is 1000 m x 1000 m.

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

3.2 SWAN Uitvoer

Door het RIKZ zijn voor de drie gebieden waar schade is opgetreden raaien gedefinieerd als uitvoerlocaties voor de SWAN berekeningen. Voor elke raai is op circa 50 m van de teen een punt gedefinieerd waar de golfcondities bepaald worden die als invoer dienen voor de STEENTOETS berekeningen, zie Figuur 3.1 - 3.3 achter in het rapport. De coördinaten van die uitvoerpunten zijn:

raai1: x=20632 m, y=380196 m	modeldiepte circa NAP - 1.5 m
raai2: x=43548 m, y=374652 m	modeldiepte circa NAP - 11.3 m
raai3: x=49602 m, y=374061 m	modeldiepte circa NAP - 9.5 m

Op de raaien zijn om de 10 m de standaard SWAN golfparameters beschikbaar, te weten, X_p , Y_p , afstand, diepte, H_s , T_{m01} , T_{m02} , T_{peak} , Dir, Dspr, X-wind, Y-wind, U-stroming, V-stroming.

Bovendien zijn op de raaien om de 10 m de 1D golfspectra uitgevoerd, zodat ook de periode maten T_{pm} en T_{m-10} beschikbaar zijn. T_{pm} wordt als invoer gebruikt voor de steendikte berekeningen, zie Hoofdstuk 4.

Figuur 3.4 t/m 3.6 toont in raaiplots de berekende golfhoogte H_s en periode T_{pm} ter plaatse van raai 1, 2 en 3, voor Case 1 en 2, en voor alle stormen. De bodemligging is ook weergegeven, maar omwille van de duidelijkheid is de waterstand achterwege gelaten. Het sterretje in de figuren geeft de uitvoerpunten op circa 50 m van de teen van de dijk. Onderstaande tabellen 3.1.a en 3.1.b geven H_s en T_{pm} op de uitvoerpunten.

		storm A (mei 2000)		storm B (december 2001)		storm C (oktober 2002)	
		H_s [m]	T_{pm} [s]	H_s [m]	T_{pm} [s]	H_s [m]	T_{pm} [s]
1) Kruis- hoofd	t1	0.45	4.10	1.31	5.74	0.80	5.86
	t2	1.00	5.26	1.64	6.96	0.22	6.24
	t3	1.25	6.12	1.40	7.00	1.48	7.06
	t4	0.90	6.37	0.78	6.83	2.07	7.12
	t5	0.91	6.69	1.05	6.96	1.67	7.96
2) Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.09	4.29	0.45	3.01	0.29	2.77
	t2	0.31	3.60	0.74	3.52	0.22	2.96
	t3	0.57	3.35	0.71	3.46	0.74	3.63
	t4	0.76	3.60	0.51	3.11	1.06	4.10
	t5	0.36	2.80	0.51	3.05	0.92	3.77
3) Marga- retha Polder	t1	0.29	1.86	0.68	2.89	0.50	2.52
	t2	0.59	2.64	0.87	3.52	0.69	3.00
	t3	0.86	3.21	0.91	3.43	1.08	3.54
	t4	1.06	3.51	0.69	2.97	1.30	4.04
	t5	0.56	2.71	0.60	2.81	1.09	3.71

Tabel 3.1.a golfgegevens 50 m van de dijkteen volgens Case 1

		storm A (mei 2000)		storm B (december 2001)		storm C (oktober 2002)	
		Hs [m]	Tpm [s]	Hs [m]	Tpm [s]	Hs [m]	Tpm [s]
1) Kruis- hoofd	t1	0.37	3.24	1.20	5.89	0.71	6.27
	t2	0.99	4.82	1.75	6.55	0.44	6.76
	t3	1.12	6.39	1.37	6.84	1.37	6.74
	t4	0.82	6.75	0.75	6.74	2.02	6.92
	t5	0.71	6.82	0.85	7.62	1.56	7.89
2) Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.07	3.74	0.45	2.44	0.33	3.60
	t2	0.28	2.74	0.80	3.49	0.29	2.60
	t3	0.55	3.66	0.79	4.13	0.53	2.58
	t4	0.60	3.98	0.73	4.57	0.88	3.44
	t5	0.45	3.17	0.59	3.54	0.87	4.30
3) Marga- retha Polder	t1	0.02	3.76	0.46	2.19	0.52	3.59
	t2	0.44	1.86	0.82	3.36	0.60	2.89
	t3	0.86	3.50	0.86	3.75	0.64	2.42
	t4	0.87	3.94	0.76	4.09	0.94	3.37
	t5	0.77	3.30	0.74	3.34	0.92	3.85

Tabel 3.1.b golfgegevens 50 m van de dijkteen volgens Case 2

Tabel 3.1.c geeft ter indicatie weer wat de gemeten en berekende golven op de dichtstbijzijnde meetlocaties zijn. De dichtstbijzijnde meetlocaties zijn niet representatief voor de uitvoerpunten op 50 m van de dijk die in Tabellen 3.1.a en b genoemd zijn, vooral omdat hun diepteligging anders is.

CDZ is de stappenbaak van Cadzand (X=15210 m; Y=378670 m; diepte=ca. NAP - 6 m) op circa 5,6 km van de modeluitvoer bij het Kruishoofd (diepte circa NAP - 1.5 m).

De Waverider bij PVT bij de Pas van Terneuzen (X=45040 m; Y=374771 m; diepte=ca. NAP -14 m) is de meetlocatie die het dichtst bij zowel de Nieuw Neuzenpolder als bij de Margarethapolder ligt. De afstand van de meetlocatie tot de modeluitvoer van de Nieuw Neuzenpolder is circa 1,5 km, en de afstand tot het uitvoerpunt van de Margarethapolder is circa 4,5 km.

		storm A (mei 2000)				storm B (december 2001)				storm C (oktober 2002)			
		Hs [m]		Tpm [s]		Hs [m]		Tpm [s]		Hs [m]		Tpm [s]	
		SWAN	obs	SWAN	obs	SWAN	obs	SWAN	obs	SWAN	obs	SWAN	obs
CDZ	t1	0.62	0.65	3.66	3.47	1.58	1.63	5.43	5.11	1.10	1.32	4.76	5.63
	t2	1.26	1.83	4.97	6.17	1.77	1.94	6.22	5.77	1.52	1.91	5.24	7.40
	t3	1.73	1.98	5.62	6.26	1.84	1.80	6.07	6.27	2.22	2.79	6.15	7.82
	t4	1.94	1.87	5.69	6.81	1.54	1.69	6.26	7.91	2.47	-	6.76	-
	t5	1.44	1.71	6.18	7.50	1.55	2.06	6.52	8.19	2.35	-	7.36	-
PVT	t1	-				0.60	0.42	2.89	2.34	0.45	0.48	2.50	3.16
	t2					0.79	0.84	3.45	3.49	0.67	0.79	2.82	3.20
	t3					0.79	0.96	3.42	4.59	0.98	0.93	3.55	3.42
	t4					0.60	0.69	3.04	5.18	1.16	0.90	4.02	4.06
	t5					0.53	0.52	2.92	4.58	0.96	1.21	3.69	4.83

Tabel 3.1.c gemeten en berekende (Case 1) golfparameters op meetlocaties "nabij" dijkschadegevallen

Figuur 3.7 en 3.8 tonen op de drie dijklocaties voor respectievelijk Case 1 en Case 2 het verloop in de tijd van een zestal parameters tijdens storm C (oktober 2000), te weten:

1. Hs
2. Tpm
3. Hs * Tpm
4. Hs * Tpm²
5. windsnelheid
6. waterstand

De golfhoogte is zowel volgens Case 1 als volgens Case 2 het grootst op tijdstip 4 bij het Kruishoofd (2.05 m resp 2.02 m). De periode Tpm heeft zijn maximum op tijdstip 5, ook bij het Kruishoofd (7.96 s resp 7.88 s).

Voor de zwaarste belastinggevallen (tijdstip 4 en 5 van storm C) zijn de belangrijkste golfparameters volgens Case 1 in onderstaande tabellen opgenomen. De 1d spectra van Case 1 en 2 zijn te vinden in Figuur 3.9 achterin het rapport.

Ct4 (27 okt 2002, 17:20)	Kruishoofd	Nieuw Neuzenpolder	Margarethapolder
Hs [m]	2.05	1.07	1.30
Tm01 [s]	5.12	3.26	3.23
Tm02 [s]	4.41	2.80	2.85
Tp [s]	6.45	4.17	4.17
Tpm [s]	7.12	4.10	4.03
Dir [° Cartesisch;]	310	315	340

Tabel 3.2.a: golfparameters storm C tijdstip 4

Ct5 (27 okt 2002, 19:40)	Kruishoofd	Nieuw Neuzenpolder	Margarethapolder
Hs [m]	1.67	0.94	1.09
Tm01 [s]	4.88	3.00	3.00
Tm02 [s]	4.17	2.59	2.66
Tp [s]	6.45	3.82	3.86
Tpm [s]	7.96	3.78	3.70
Dir [° Cartesisch]	305	315	335

Tabel 3.2.b: golfparameters storm C tijdstip 5

4 STEENDIKTE BEREKENINGEN DIJKBEKLEDING

4.1 Inleiding tot het programma STEENTOETS

Ten behoeve van de veiligheidstoetsing van steenzettingen is in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde een Excel-programma gemaakt door het Waterloopkundig Laboratorium, genaamd STEENTOETS [ref 3]. In het programma kunnen alle relevante gegevens omtrent de dijk worden ingevoerd, waarna de toetsing door het programma wordt uitgevoerd.

De invoer omvat o.a. de helling van het talud, dikte en soortelijke massa toplaag, mate van inklemming van de toplaagelementen, en de laagdikte van de filterlagen, de significante golfhoogte H_s en de piekperiode T_{pm} . Het programma STEENTOETS en de invoergegevens met betrekking tot de dijkligging en dijkmaterialen zijn ons beschikbaar gesteld door het Projectbureau Zeeweringen.

Voor de huidige studie beperken wij ons tot de gedetailleerde toetsing van de stabiliteit van de toplaag. De formules in STEENTOETS hiervoor komen overeen met het programma ANAMOS 2.21. Bij een gedetailleerde toetsing wordt, in tegenstelling tot de eenvoudige toetsing, de doorlatendheid van de toplaag en het filter in de berekening meegenomen.

In principe is het resultaat van STEENTOETS een beoordeling, namelijk 'onvoldoende', 'twijfelachtig' of 'goed'. Het bepalen van de benodigde steengrootte is dus een iteratief proces waarbij de kleinste steengrootte gezocht wordt die het predikaat 'goed' verdient. Om dit automatisch uit te laten voeren hebben wij aan STEENTOETS een macro toegevoegd.

4.2 Invoer voor het programma STEENTOETS

De volgende gegevens zijn als invoer gebruikt voor het programma:

Algemeen

Soortelijke massa water:	1025 kg/m ³
Invloedsfactor strijkgolven:	1.0 (=geen invloed strijkgolven)
Minimale dikte filterlaag:	0.03 m
Locatie aan zee/meer:	zee

Dijkgegevens algemeen

Opbouw onderlaag:	Puin, Vlijlaag, Klei
Dikte kleilaag:	0.80 m
Bovenste filterlaag	
dikte:	0.20 m
d15:	30 mm
porositeit:	40%

Toplaag

type:	Basalt (code 26)
open oppervlak:	10%
soortelijke massa:	2900 kg/m ³
ingewassen:	nee

goed ingeklemd: nee
 slib: nee
 waterdicht ingegoten: nee

Dijkgegevens variërend per locatie

	Kruishoofd (1)	Neuzenpolder (2)	Margaretha pol.(3)
Tangens taludhelling:	0.263	0.278	0.244

De golfgegevens zijn opgenomen in Tabel 3.1.a (voor Case 1) en Tabel 3.1.b (voor Case 2) in Hoofdstuk 3. Let wel dat het programma uitgaat van een minimale golfhoogte van 0.50 m. Lagere golfhoogtes worden verhoogd tot 0.50 m.

4.3 Berekeningen met het programma STEENTOETS

De benodigde zuildikte is op vier manieren berekend, variërend in golfvoer en predikaat van de toetsing.

Ten aanzien van de golven zijn (naast variatie in Case 1-golven en Case 2-golven) voor de volgende twee situaties de zuildikten berekend:

- 1) op basis van berekende golven ter plaatse van de drie locaties
- 2) op basis van berekende golven, verhoogd met de relatieve bias (beter gezegd: op basis van berekende golven minus de relatieve bias. Omdat de bias meestal negatief is resulteert dit in een verhoging van de berekende golf.)
 Door de berekende golven te verhogen met de relatieve bias wordt gecompenseerd voor het gemiddelde verschil dat bestaat tussen de berekende en gemeten golfparameters (zie ook [ref 1]). De relatieve bias is gedefinieerd als:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x}$$

$\bar{x}$ is het gemiddelde van de waarnemingen

$\bar{y}$ is het gemiddelde van de berekeningen

De bias is bepaald voor het mondingsgebied (te gebruiken voor locatie Kruishoofd) en voor de Westerschelde (te gebruiken voor de overige twee locaties), zie Tabel 4.1 (gegevens afkomstig uit [ref 1]).

In Tabel 4.1 is slechts ter indicatie ook de relatieve standaarddeviatie gegeven, om enig idee te krijgen hoe de bias zich tot de spreiding verhoudt.

		bias b [%]		standaarddeviatie s [%]	
		Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
algemeen	H _s	-5.65	-0.84	18.43	23.38
	T _{pm}	-8.29	-9.01	14.23	13.84
monding	H _s	-5.89	-1.07	12.13	19.03
	T _{pm}	-14.98	-15.25	12.50	12.83
Westerschelde	H _s	-10.49	-18.15	25.27	29.90
	T _{pm}	-17.87	-18.67	13.76	12.90

Tabel 4.1: statistische gebiedsafhankelijke parameters voor H_s en T_{pm}

Ten aanzien van de toetsing zijn voor de volgende twee situaties de steendiktes berekend:

- 1) minimale steendiktes die het predikaat 'goed' verdienen.
 - 2) maximale steendiktes die het predikaat 'onvoldoende' verdienen.
- Het programma STEENTOETS wordt in deze opdracht ingezet om te achterhalen of de al dan niet opgetreden schade aan de bekleding een logisch gevolg was van de aanwezige steendikte in combinatie met de opgetreden golfaanval. Het gaat dus zowel om situaties waarbij geen schade is opgetreden (storm A en B) als situaties waarbij wel schade is opgetreden (storm C). In het eerste geval zoek je dus naar de grens van zuildiktes die net onvoldoende zijn, zonder veiligheidsmarge en dergelijke. In het tweede geval gaat het er om dat de zuildikte die het predikaat 'goed' verdient ook werkelijk groter is dan de bestaande zuildikte.
- Daarom bepalen we zowel de minimale 'goede' steendikte als de maximale 'onvoldoende' steendikte.

De vier manieren waarop de zuildikten berekend zijn, zijn dus:

- 1) op basis van berekende golf en predikaat 'goed'.
- 2) op basis van berekende golf en predikaat 'onvoldoende'.
- 3) op basis van berekende golf verhoogd met bias, en predikaat 'goed'.
- 4) op basis van berekende golf verhoogd met bias, en predikaat 'onvoldoende'.

4.4 Resultaten van het programma STEENTOETS

4.4.1 Algemeen

De benodigde steendikten van de dijkbekleding volgens de STEENTOETS berekeningen zijn te vinden in Appendix A achter in het rapport. Daarbij gaat het om de minimale steendikten met het predikaat 'goed' en de maximale steendikten met het predikaat 'onvoldoende'.

Zowel op basis van de uitkomsten van de SWAN golfberekeningen van Case 1 als van Case 2 is de opgetreden golfbelasting op de schadelocaties tijdens de drie geselecteerde stormen lager dan wat de dijkbekleding zou moeten kunnen weerstaan (kolom 5 van de tabellen van Appendix A). Volgens deze berekeningen lag schade aan de dijkbekleding dus niet in de lijn der verwachting.

Echter, het is goed mogelijk dat de werkelijk opgetreden golfbelasting zwaarder was dan de berekende golfbelasting. Indien we de berekende golven corrigeren met een factor die het gemiddelde verschil aangeeft tussen vele metingen en berekeningen, dan blijkt dat in sommige gevallen de benodigde zuildikte groter is dan de aanwezige zuildikte (laatste twee kolommen van de Tabellen van Appendix A). Schade is dan een logisch gevolg.

In onderstaande tabel (Tabel 4.2) is het tijdstip en gebied opgenomen waarin de volgens STEENTOETS benodigde zuildikte groter of gelijk is aan de werkelijke zuildikte. Alleen bij het Kruishoofd tijdens storm C, tijdstip 4, is de benodigde zuildikte gelijk aan de bestaande zuildikte (0.30 m). Inderdaad heeft het Kruishoofd tijdens die storm schade geleden. Voor alle overige gesimuleerde stormmomenten en locaties is de benodigde zuildikte kleiner dan de huidige zuildikte.

	storm & tijd	case	H_s [m]	T_{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
					o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
					'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	Ct4	1	2.07	7.12	0.27	0.24	0.30	0.27
$d_{\text{huidig}} =$ 0.30 m	Ct4	2	2.02	6.92	0.26	0.23	0.28	0.25

Tabel 4.2: Enig geval waarbij de volgens STEENTOETS benodigde steendikte groter of gelijk is dan de aanwezige steendikte (o.b.v.=op basis van; -b=-relatieve bias)

Van de drie locaties heeft het Kruishoofd, nabij Cadzand, de zwaarste bekleding nodig gehad, en wel met een steendikte van 0.30 m voor de oktoberstorm van 2002.

De resultaten van de STEENTOETS berekeningen geven aan dat de stabiliteit van de dijkbekleding op de drie locaties tijdens storm A (mei 2000) en storm B (december 2001) 'goed' was. Dit komt overeen met het feit dat er toen geen schade is opgetreden.

De benodigde steendikten van de dijkbekleding bij de Nieuw Neuzenpolder en de Margarethapolder zijn volgens de SWAN en STEENTOETS berekeningen bij storm C kleiner dan de werkelijke toplaag van de dijken daar. Volgens de berekeningen zou op beide plaatsen 0.17 m dikke 'goed' moeten zijn geweest (Margarethapolder tijdstip 4, op basis van Case 1 berekeningen) maar toch was er schade aan de 0.29 m respectievelijk 0.30 m dikke toplaag van de dijken.

De vraag rijst natuurlijk hoe het mogelijk is dat er toch schade is opgetreden bij de Nieuw Neuzenpolder en de Margarethapolder terwijl de werkelijke steendikte van de bekleding op de meeste plaatsen groter was dan de berekende minimaal benodigde steendikte.

Mogelijke antwoorden zijn:

- A. De schade is ontstaan op andere tijdstippen dan die vijf momenten die per storm gesimuleerd zijn
- B. STEENTOETS kent op basis van de gebruikte invoer aan te kleine steendiktes al het predikaat 'goed' toe.
- C. Andere schademechanismen spelen een rol dan waar STEENTOETS rekening mee houdt.
- D. De golfbelasting was in werkelijkheid zwaarder dan de SWAN berekeningen (zelfs met correctie voor bias) aangeven.

Nader onderzoek naar het juiste antwoord valt buiten de opzet van deze studie.

4.4.2 Invloed van toetsmethode op benodigde zuildikte

De verschillen tussen de minimale steendikte voor het predikaat 'goed' en de maximale steendikte met het predikaat 'onvoldoende' liggen over het algemeen in de orde van een paar centimeter (circa 20%).

Het verhogen van de golfparameters met de relatieve bias leidt uiteraard tot hogere benodigde zuildiktes. De verschillen bedragen enkele centimeters (orde 10%).

De verschillen tussen de benodigde steendikte op basis van de golven van Case 1 of Case 2 zijn over het algemeen klein (circa 1 à 2 cm, 0-25%). Uitzondering hierop is tijdstip 1 van storm A in de Margarethapolder vanwege een aanzienlijk verschil in golfperiode, resulterend in steendiktes van 0.08 m (Case 1) respectievelijk 0.18 m (Case 2). Deze situatie is weinig representatief omdat de berekende golf van Case 2 slechts 2 cm bedraagt.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Tijdens de oktoberstorm van 2002 (gedurende circa 8 uur ZW 8 à 9) is op een drietal plaatsen schade ontstaan aan de dijkbekleding van de Westerscheldedijken, namelijk bij Kruishoofd (nabij Cadzand), de Nieuw Neuzenpolder en de Margarethapolder (laatste twee nabij Terneuzen). De benodigde zuildikten op deze locaties die het programma STEENTOETS berekende op basis van de golfaanval volgens de SWAN simulaties zijn echter kleiner dan de werkelijke zuildikte (circa 0.30 m).

Echter, het is goed mogelijk dat de werkelijk opgetreden golfbelasting zwaarder was dan de berekende golfbelasting. Het verhogen van de golfparameters met de relatieve bias leidt uiteraard tot hogere benodigde zuildiktes. De verschillen in zuildikte bedragen enkele centimeters (orde 10%). Hierdoor overschrijdt tijdens storm C bij het Kruishoofd de benodigde zuildikte de werkelijke dikte van de bekleding. Schade is dan een logisch gevolg.

De benodigde steendikte van de dijkbekleding was voor de oktoberstorm van 2002 groter dan voor de stormen in mei 2000 en december 2001.

De resultaten van de STEENTOETS berekeningen geven aan dat de stabiliteit van de dijkbekleding op de drie locaties tijdens storm A (mei 2000) en storm B (december 2001) 'goed' was. Dit komt overeen met het feit dat er toen geen schade is opgetreden.

De verschillen tussen de minimale steendikte voor het predikaat 'goed' en de maximale met het predikaat 'onvoldoende' liggen over het algemeen in de orde van een paar centimeter (circa 20%).

De verschillen tussen de benodigde steendikte op basis van de golven van Case 1 of Case 2 zijn over het algemeen klein (circa 1 à 2 cm, 0-25%).

5.2 Aanbeveling

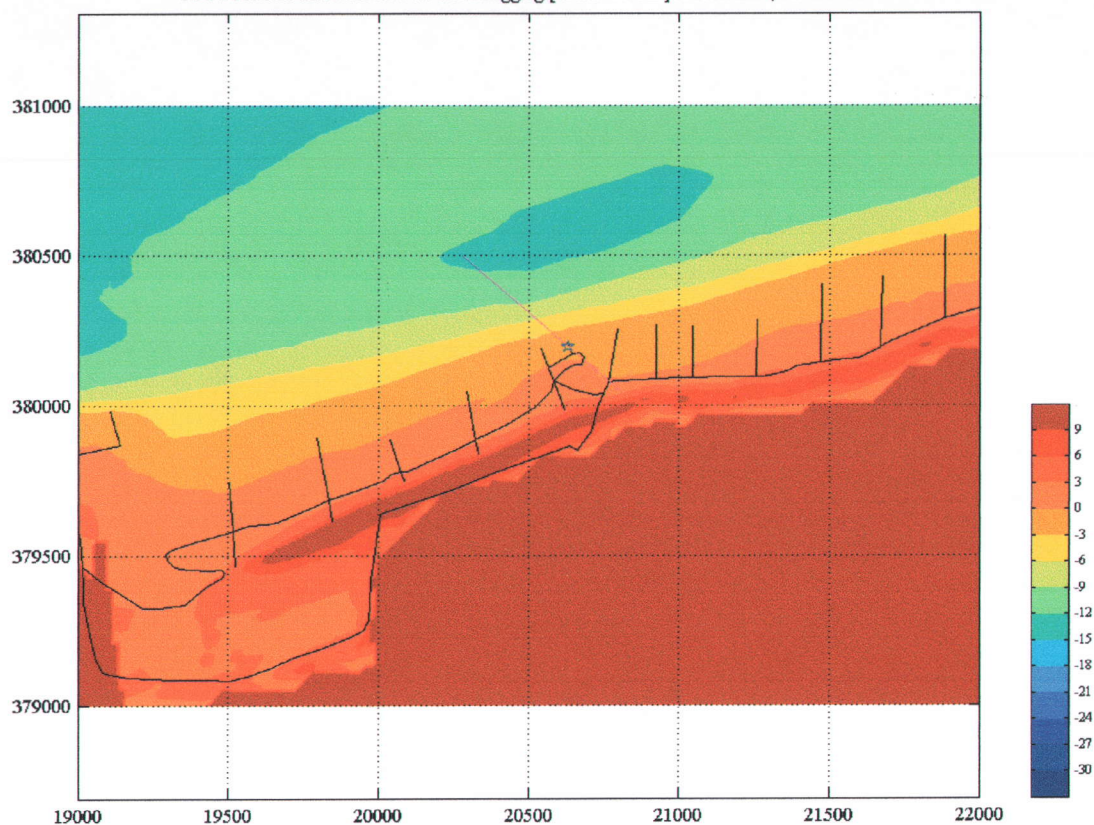
Indien STEENTOETS wordt gebruikt om een ontwerp of een bestaande dijkbekleding te toetsen, dan is het verstandig om de benodigde steendikte aan de hand van het predikaat 'goed' te bepalen. In de huidige opdracht waarbij men geïnteresseerd is of de in werkelijkheid wel of juist niet opgetreden schade aan de dijkbekleding ook volgt uit STEENTOETS berekeningen is het logisch om ook de maximale steendikte met het predikaat 'onvoldoende' te bepalen. Het volgende voorbeeld geeft daar uitleg voor.

Stel dat bij een bepaalde storm de benodigde zuildikte met het predikaat 'goed' 40 cm is, dat de werkelijke zuildikte 30 cm is, en dat er toch geen schade is opgetreden. Dit hoeft niet met elkaar in tegenspraak te zijn omdat er in die 40 cm een zekere veiligheidsmarge zit. Maar als volgens STEENTOETS bij een bepaalde storm een zuildikte van 40 cm 'onvoldoende' is, terwijl de werkelijke zuildikte 30 cm is, en er toch geen schade is opgetreden, dan is dat vreemd en vergt dat nader onderzoek.

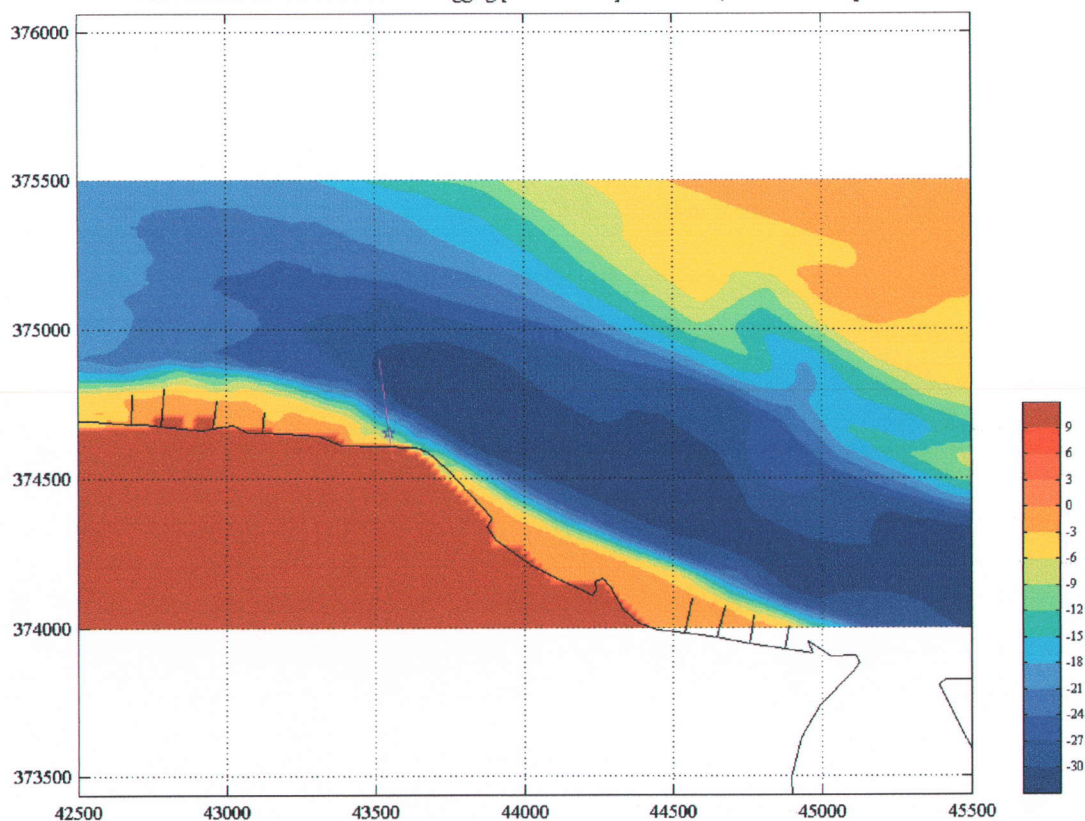
literatuur

- [1] Royal Haskoning: *Betrouwbaarheid SWAN in de Westerschelde, Vergelijking golfberekeningen en metingen*, d.d. 16 juni 2003, ref 9M5697/R03035
- [2] Alkyon: *SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen*, Rapport A384 d.d. Februari 1999
- [3] DWW: *Handleiding STEENTOETS 3.32*, Oktober 2002
- [4] RIKZ: *Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid (deel 2)*, Rapport RIKZ-98.018, 14 juli 1998

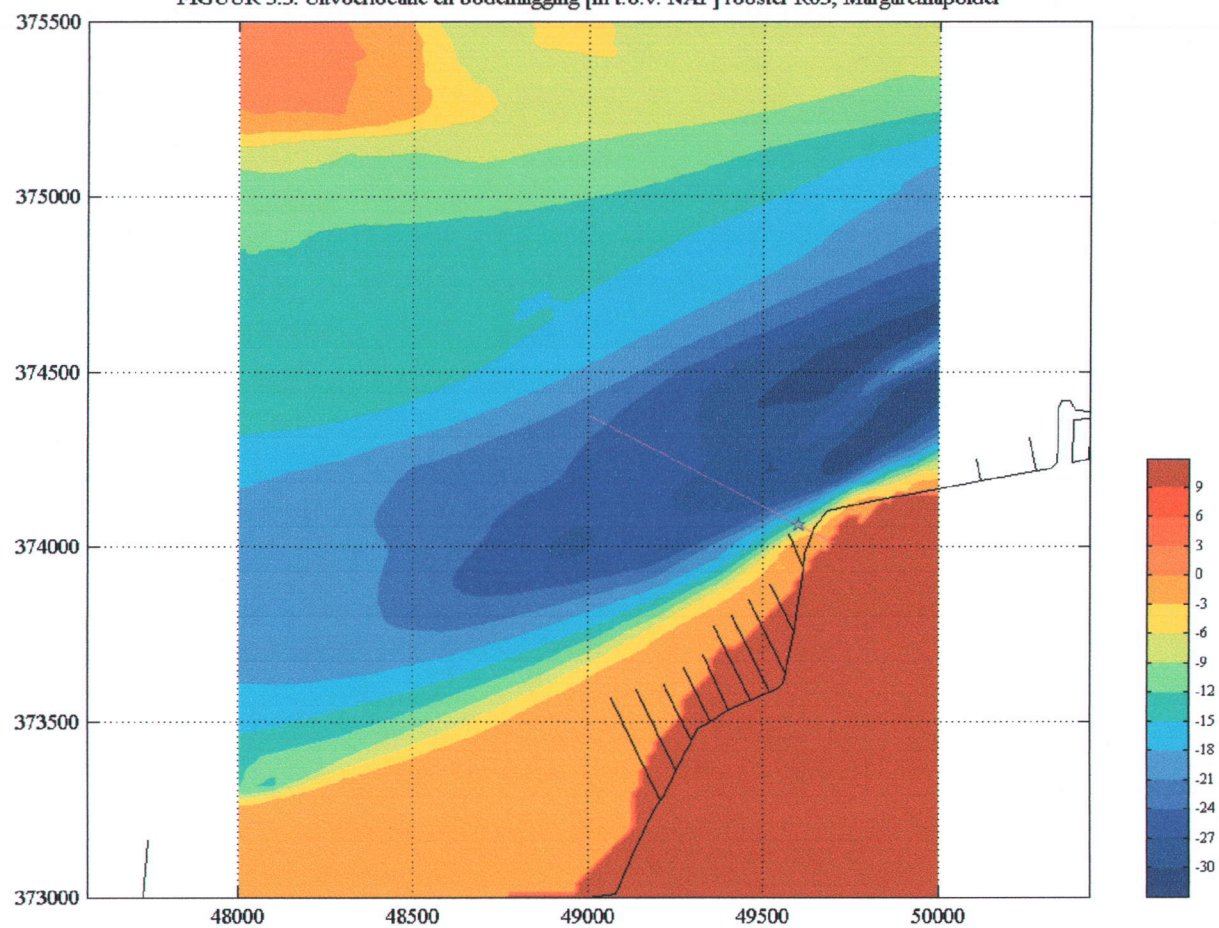
FIGUUR 3.1: Uitvoerlocatie en bodemligging [m t.o.v. NAP] rooster R01, Kruishoofd

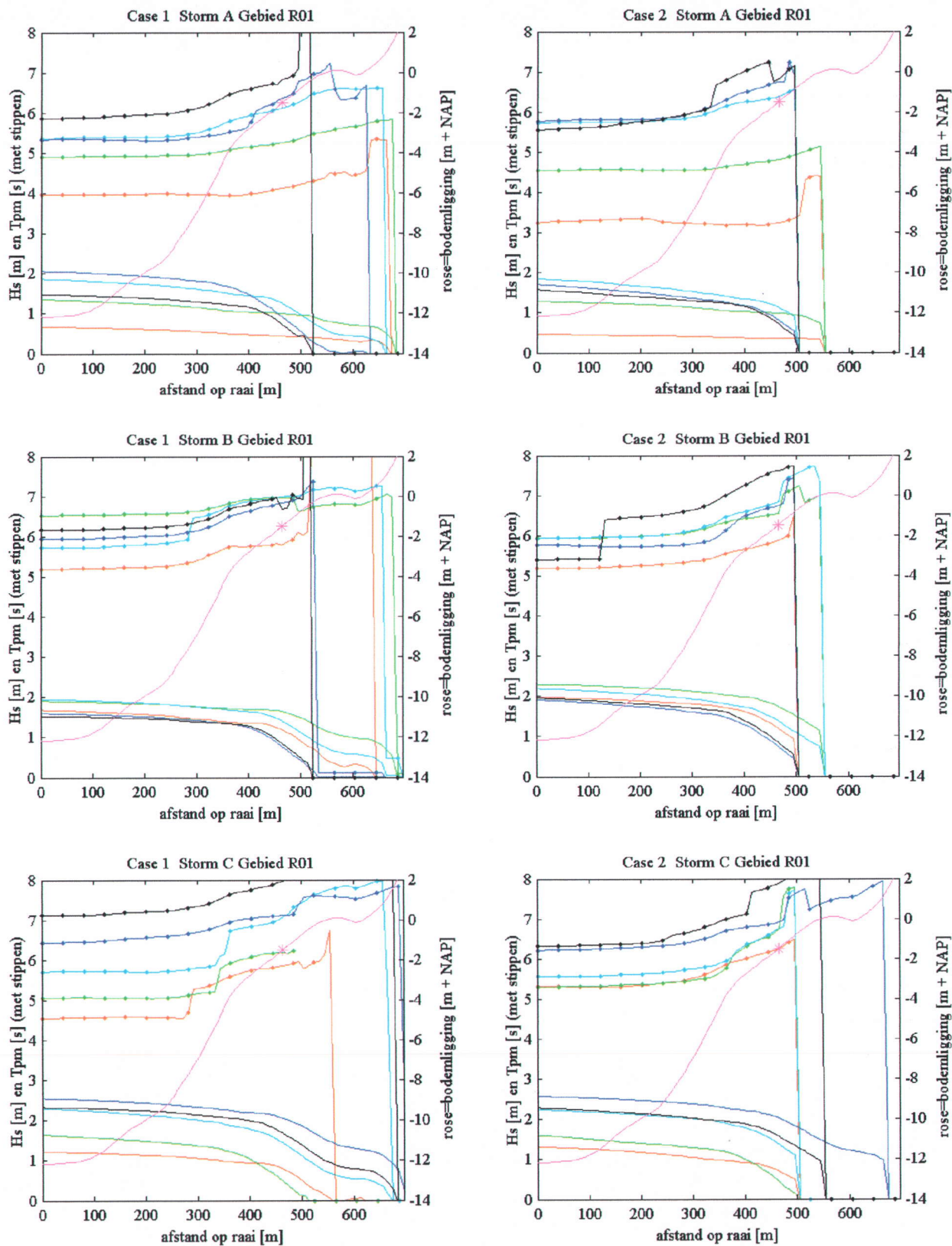


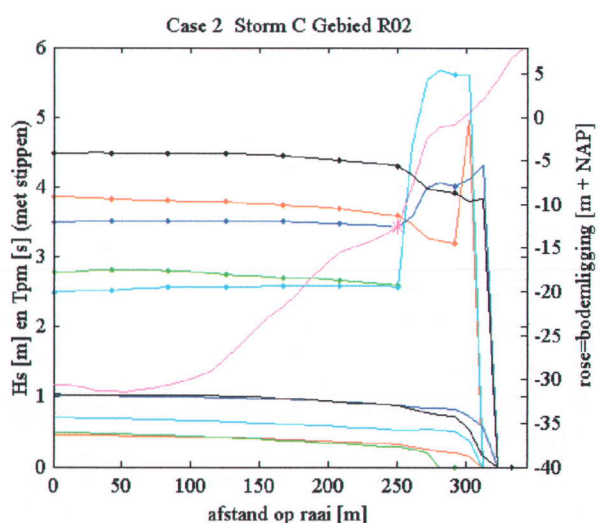
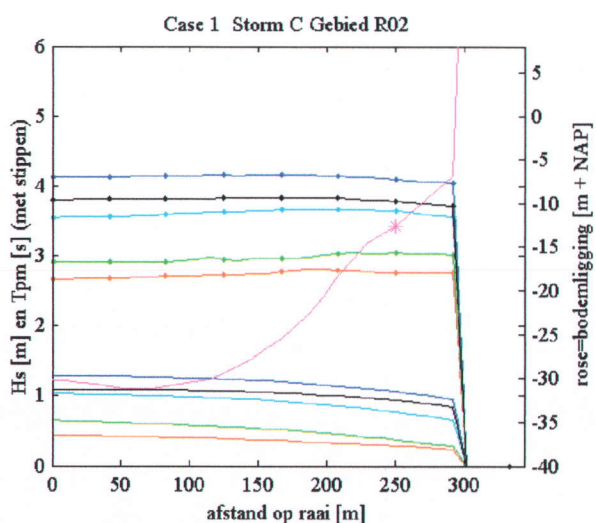
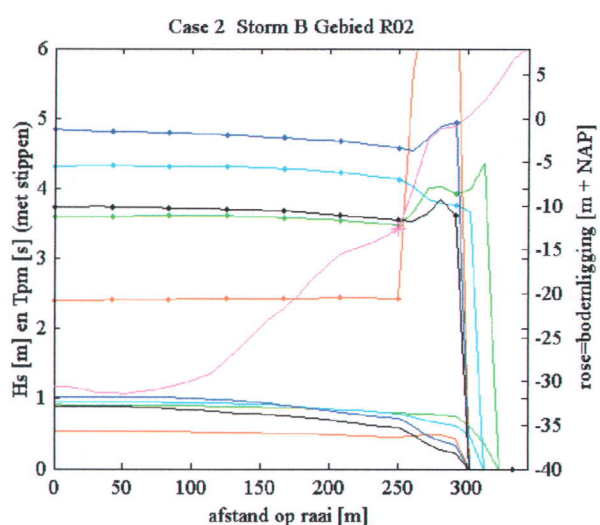
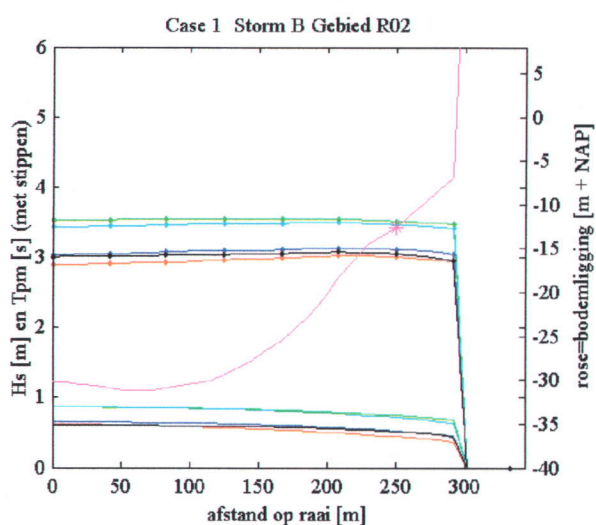
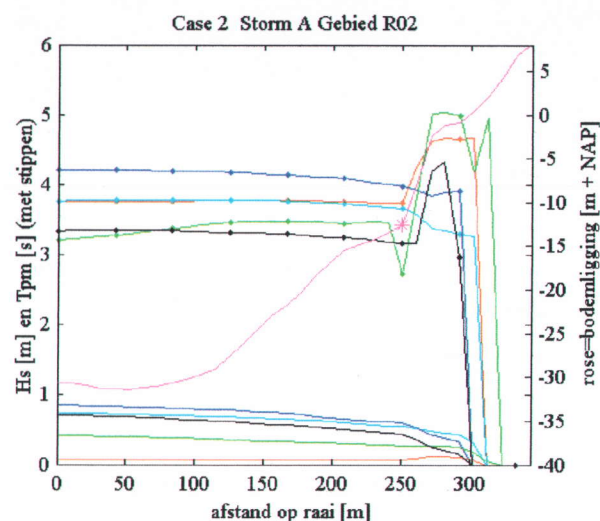
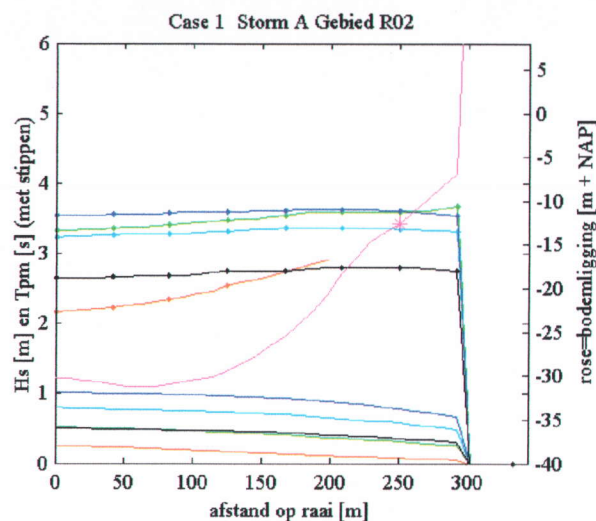
FIGUUR 3.2: Uitvoerlocatie en bodemligging [m t.o.v. NAP] rooster R02, Nieuwe Neuzenpolder

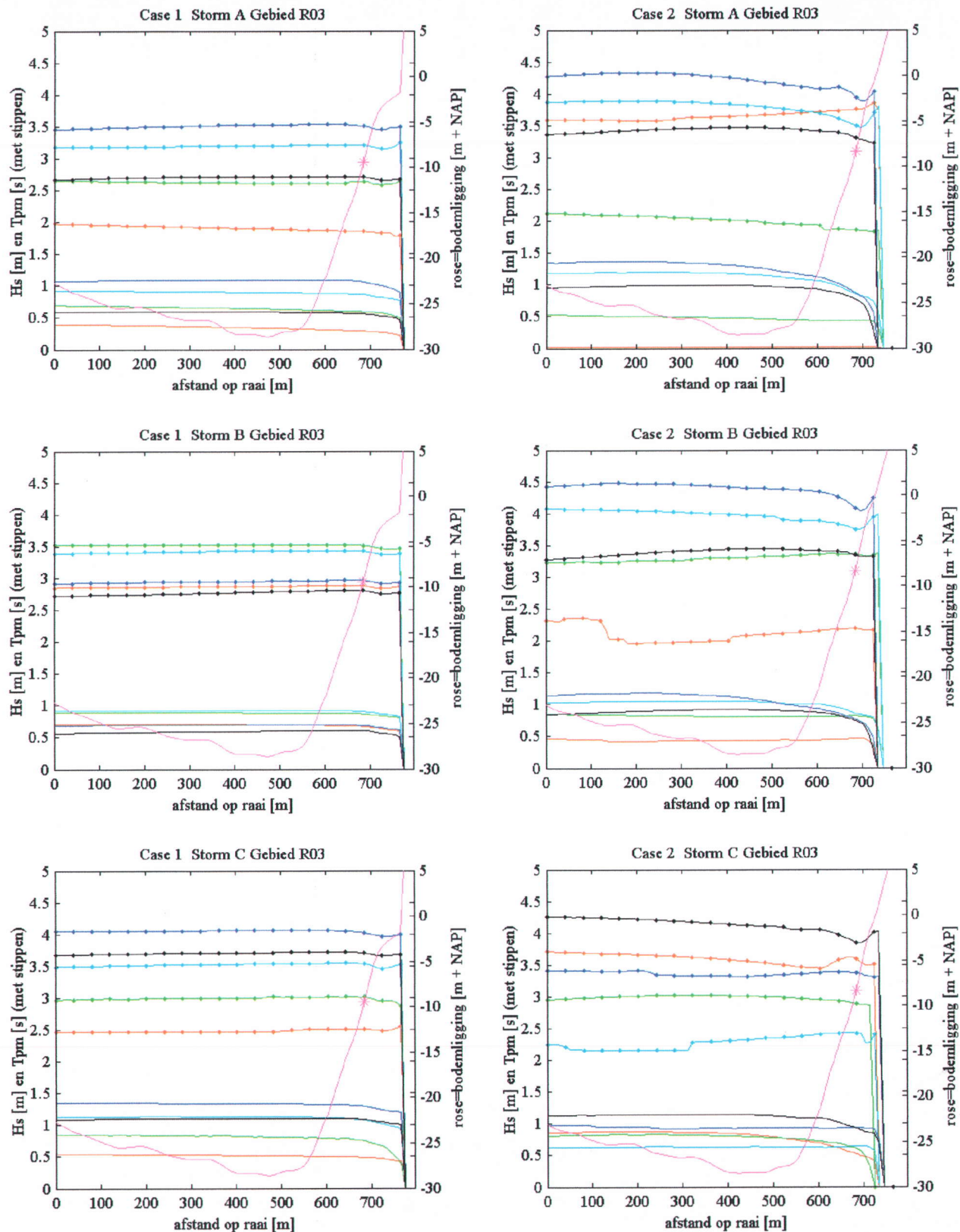


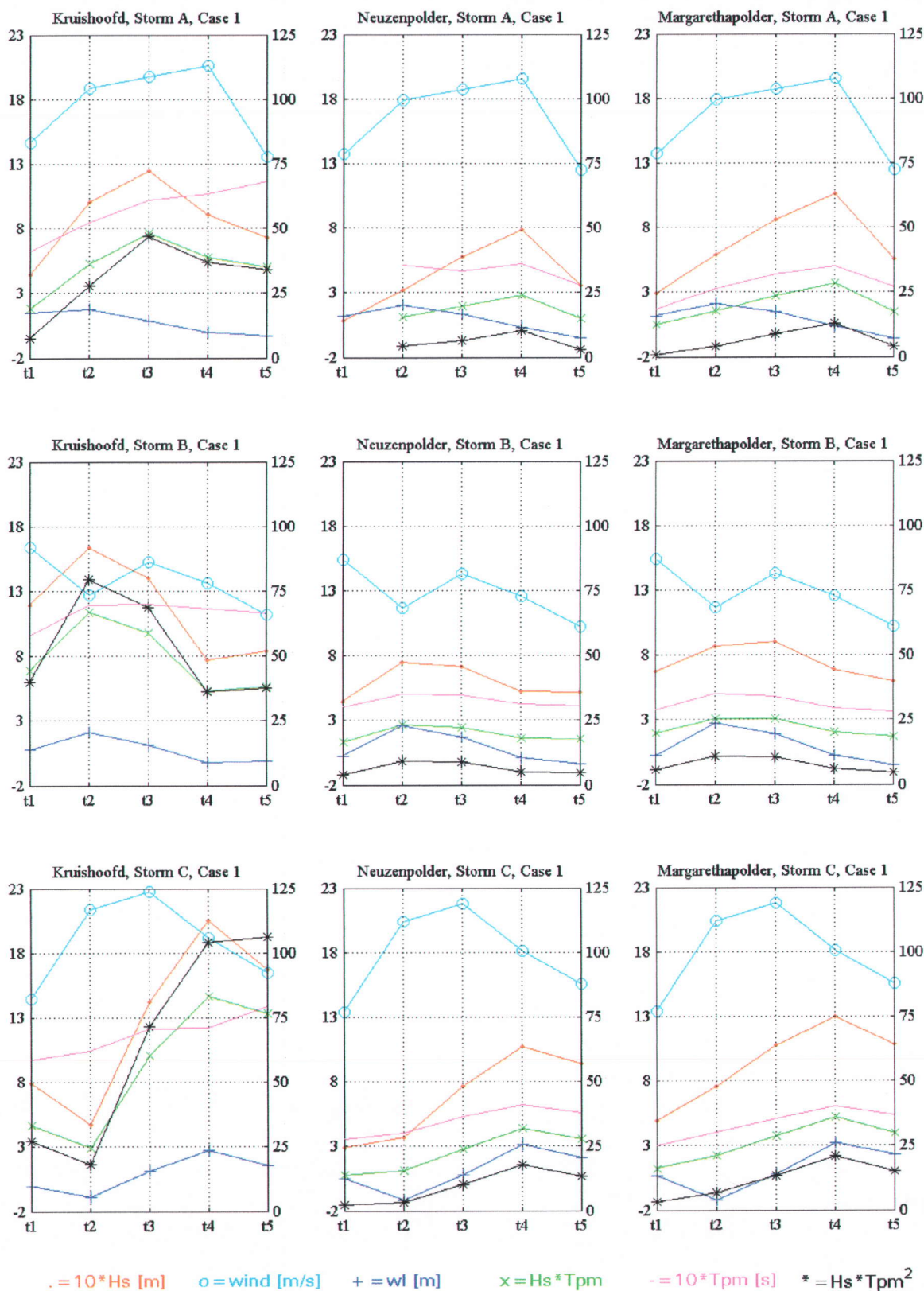
FIGUUR 3.3: Uitvoerlocatie en bodemligging [m t.o.v. NAP] rooster R03, Margarethapolder

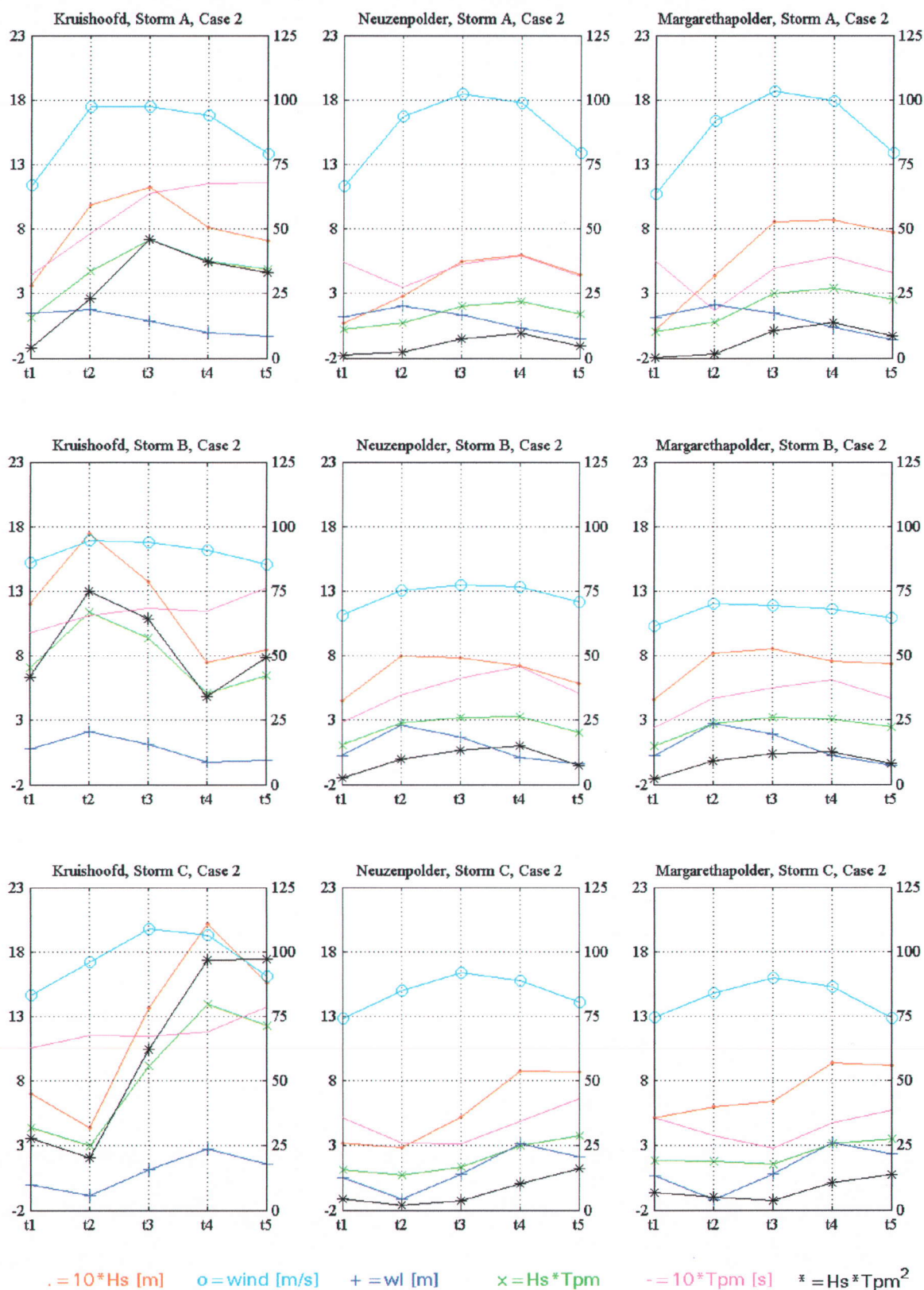


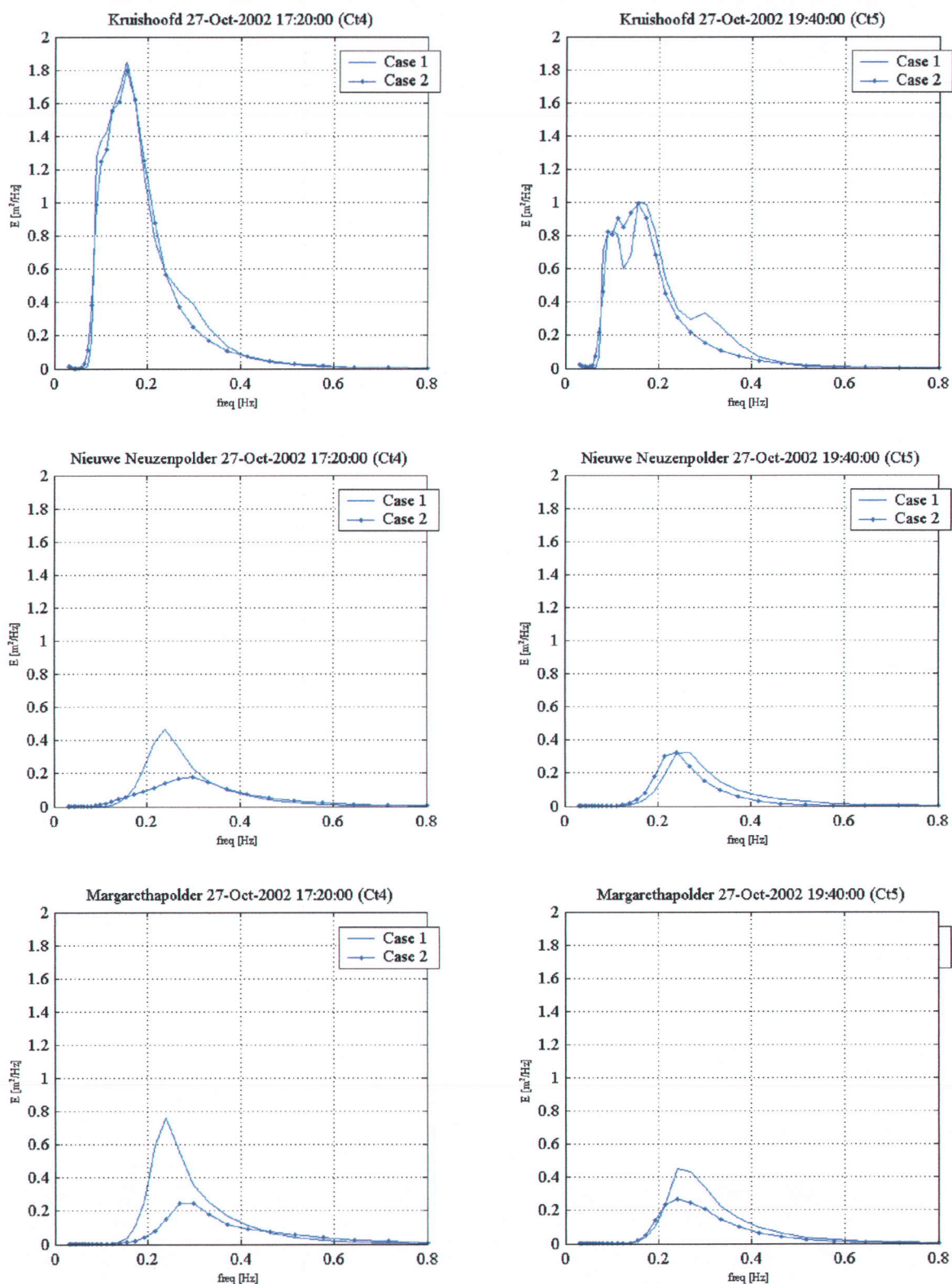












APPENDIX A

		Case 1 storm A (mei 2000)					
		H_s [m]	T_{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	0.45	4.10	0.11	0.06	0.11	0.07
	t2	1.00	5.26	0.15	0.12	0.17	0.13
	t3	1.25	6.12	0.18	0.15	0.20	0.17
	t4	0.90	6.37	0.16	0.12	0.18	0.14
	t5	0.91	6.69	0.16	0.13	0.18	0.14
$d_{\text{huidig}} = 0.30$ m							
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.09	4.29	0.16	0.10	0.17	0.10
	t2	0.31	3.60	0.11	0.07	0.12	0.07
	t3	0.57	3.35	0.10	0.06	0.11	0.07
	t4	0.76	3.60	0.12	0.08	0.13	0.09
	t5	0.36	2.80	0.10	0.06	0.10	0.07
$d_{\text{huidig}} = 0.29$ m							
Marga- retha Polder	t1	0.29	1.86	0.08	0.05	0.08	0.05
	t2	0.59	2.64	0.09	0.06	0.10	0.06
	t3	0.86	3.21	0.11	0.07	0.13	0.08
	t4	1.06	3.51	0.13	0.08	0.14	0.10
	t5	0.56	2.71	0.09	0.05	0.10	0.06
$d_{\text{huidig}} = 0.30$ m							

		Case 2 storm A (mei 2000)					
		H_s [m]	T_{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	0.37	3.24	0.10	0.06	0.11	0.06
	t2	0.99	4.82	0.15	0.11	0.16	0.12
	t3	1.12	6.39	0.18	0.15	0.19	0.16
	t4	0.82	6.75	0.16	0.12	0.17	0.12
	t5	0.71	6.82	0.15	0.10	0.16	0.11
$d_{\text{huidig}} = 0.30$ m							
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.07	3.74	0.15	0.09	0.16	0.10
	t2	0.28	2.74	0.10	0.06	0.11	0.06
	t3	0.55	3.66	0.11	0.06	0.12	0.08
	t4	0.60	3.98	0.11	0.07	0.13	0.09
	t5	0.45	3.17	0.10	0.06	0.11	0.06
$d_{\text{huidig}} = 0.29$ m							
Marga- retha Polder	t1	0.02	3.76	0.18	0.13	0.18	0.14
	t2	0.44	1.86	0.06	0.05	0.07	0.05
	t3	0.86	3.50	0.12	0.07	0.13	0.09
	t4	0.87	3.94	0.12	0.08	0.14	0.10
	t5	0.77	3.30	0.11	0.06	0.13	0.08
$d_{\text{huidig}} = 0.30$ m							

Tabel A.1 & A.2: Benodigde zuildikten storm A

*) o.b.v. is: op basis van; (-b) is: - relatieve bias

APPENDIX A

		Case 1 storm B (december 2001)					
		H _s [m]	T _{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	1.31	5.74	0.18	0.15	0.20	0.17
	t2	1.64	6.96	0.23	0.20	0.26	0.23
	t3	1.40	7.00	0.21	0.18	0.23	0.20
	t4	0.78	6.83	0.15	0.11	0.17	0.12
	t5	1.05	6.96	0.18	0.15	0.20	0.16
d _{huidig} = 0.30 m							
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.45	3.01	0.10	0.06	0.10	0.06
	t2	0.74	3.52	0.12	0.07	0.13	0.09
	t3	0.71	3.46	0.11	0.07	0.13	0.09
	t4	0.51	3.11	0.10	0.06	0.11	0.06
	t5	0.51	3.05	0.10	0.06	0.11	0.06
d _{huidig} = 0.29 m							
Marga- retha Polder	t1	0.68	2.89	0.10	0.06	0.11	0.07
	t2	0.87	3.52	0.12	0.07	0.13	0.09
	t3	0.91	3.43	0.12	0.07	0.13	0.09
	t4	0.69	2.97	0.10	0.06	0.11	0.07
	t5	0.60	2.81	0.09	0.06	0.10	0.06
d _{huidig} = 0.30 m							

		Case 2 storm B (december 2001)					
		H _s [m]	T _{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	1.20	5.89	0.18	0.14	0.19	0.16
	t2	1.75	6.55	0.23	0.20	0.25	0.22
	t3	1.37	6.84	0.20	0.18	0.22	0.19
	t4	0.75	6.74	0.15	0.11	0.16	0.11
	t5	0.85	7.62	0.17	0.12	0.18	0.12
d _{huidig} = 0.30 m							
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.45	2.44	0.09	0.05	0.10	0.06
	t2	0.80	3.49	0.12	0.08	0.14	0.10
	t3	0.79	4.13	0.13	0.09	0.15	0.11
	t4	0.73	4.57	0.13	0.09	0.15	0.11
	t5	0.59	3.54	0.11	0.06	0.12	0.08
d _{huidig} = 0.29 m							
Marga- retha Polder	t1	0.46	2.19	0.07	0.05	0.08	0.05
	t2	0.82	3.36	0.11	0.07	0.13	0.09
	t3	0.86	3.75	0.12	0.08	0.14	0.10
	t4	0.76	4.09	0.12	0.08	0.14	0.10
	t5	0.74	3.34	0.11	0.06	0.12	0.08
d _{huidig} = 0.30 m							

Tabel A.3 & A.4: Benodigde zuildikten storm B

*) o.b.v is: op basis van; (-b) is: - relatieve bias

APPENDIX A

		Case 1 storm C (oktober 2002)					
		H _s [m]	T _{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	0.80	5.86	0.15	0.11	0.16	0.12
	t2	0.22	6.24	0.15	0.09	0.16	0.10
	t3	1.48	7.06	0.21	0.19	0.24	0.21
	t4	2.07	7.12	0.27	0.24	0.30	0.27
	t5	1.67	7.96	0.25	0.22	0.28	0.25
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.29	2.77	0.10	0.06	0.11	0.06
	t2	0.22	2.96	0.11	0.07	0.12	0.07
	t3	0.74	3.63	0.12	0.07	0.13	0.09
	t4	1.06	4.10	0.14	0.10	0.16	0.13
	t5	0.92	3.77	0.13	0.09	0.15	0.11
Marga- retha Polder	t1	0.50	2.52	0.08	0.05	0.09	0.05
	t2	0.69	3.00	0.10	0.06	0.11	0.07
	t3	1.08	3.54	0.13	0.09	0.14	0.10
	t4	1.30	4.04	0.15	0.11	0.17	0.13
	t5	1.09	3.71	0.13	0.09	0.15	0.11

		Case 2 storm C (oktober 2002)					
		H _s [m]	T _{pm} [s]	benodigde zuildikte [m]			
				o.b.v. berekende golf		o.b.v. golf + (-b)*	
				'goed'	'onvoldoende'	'goed'	'onvoldoende'
Kruis- hoofd	t1	0.71	6.27	0.14	0.10	0.15	0.10
	t2	0.44	6.76	0.13	0.08	0.14	0.08
	t3	1.37	6.74	0.20	0.17	0.22	0.19
	t4	2.02	6.92	0.26	0.23	0.28	0.25
	t5	1.56	7.89	0.24	0.21	0.26	0.23
Nieuwe Neuzen Polder	t1	0.33	3.60	0.11	0.07	0.11	0.07
	t2	0.29	2.60	0.10	0.06	0.10	0.06
	t3	0.53	2.58	0.09	0.06	0.10	0.06
	t4	0.88	3.44	0.12	0.08	0.14	0.10
	t5	0.87	4.30	0.14	0.10	0.16	0.12
Marga- retha Polder	t1	0.52	3.59	0.10	0.06	0.11	0.07
	t2	0.60	2.89	0.10	0.06	0.11	0.06
	t3	0.64	2.42	0.08	0.06	0.11	0.06
	t4	0.94	3.37	0.12	0.08	0.14	0.10
	t5	0.92	3.85	0.13	0.08	0.14	0.10

Tabel A.5 & A.6: Benodigde zuildikten storm C

*) o.b.v is: op basis van; (-b) is: - relatieve bias



COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS