

# Herbepaling golftransmissie Oosterscheldekering

Eindrapport

1755/U14183/D/MB

21 juli 2014

SWAS

HYDRAULICS

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS



Schiehaven 13G

3024 EC Rotterdam

Nederland

☎ +31 - 10 - 467 13 61

✉ +31 - 10 - 467 45 59

✉ info@svasek.com

🌐 www.svasek.com

Document titel    Herbepaling golftransmissie Oosterscheldekering  
Verkorte Titel    Golftransmissie OSkering  
Status            Eindrapport  
Datum            21 juli 2014  
Project nummer    1755  
Opdrachtgever    Deltares  
Referentie        1755/U14183/D/MB

Auteur            Bas van Leeuwen, Marloes van den Boomgaard,  
                         Pol van de Rest  
Gecontroleerd door    Bram Blik





## INHOUDSOPGAVE

	Pag.	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doelstelling	2
1.3	Leeswijzer	2
2	METHODIEK	3
3	OPZET SWAN TRANSMISSIE TESTMODELLEN	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Model domein en rekenroosters	5
3.3	SWAN versie	7
3.4	Obstakels	7
3.5	Bathymetrie	8
3.6	Uitgevoerde SWAN simulaties met de transmissie testmodellen	10
3.7	Instellingen	10
3.8	Golfrandvoorwaarden	12
3.9	Windsnelheden en windrichtingen	12
4	TUNEN RANDVOORWAARDEN VOOR DE TRANSMISSIE TESTMODELLEN	13
4.1	Methodiek	13
4.2	Tuning resultaat noordelijk transmissie testmodel	13
4.3	Tuning resultaat zuidelijk transmissie testmodel	15
4.4	Conclusie tuning	16
5	GEVOELIGHEIDSONDERZOEK	17
5.1	Algemeen	17
5.2	Jonswap ruwheid 0.038 (30.75 – fr=0.038)	18
5.3	Richtingsspreiding 40° (30.75 – drsp=40)	19
5.4	Roosterresolutie 20 x 20 m <sup>2</sup> (30.75 – 20m x20m)	19
5.5	SWAN versie 40.72ABCDE WTI 2011 KOMEN (40.72 – KOMEN)	20
5.6	SWAN versie 40.72ABCDE WTI 2011 - WESTHUYSEN (40.72 – WESTH)	21
5.7	Gevoeligheid met de opnieuw getunede randvoorwaarden	22
5.7.1	SWAN versie 40.72ABCDE WTI WESTHUYSEN (40.72 – WESTH tuned)	22
5.7.2	Roosterresolutie 20 x 20 m <sup>2</sup> (40.72 – Westh, 20x20m tuned)	23
5.8	Conclusie gevoeligheidsonderzoek	25
6	AFLEIDING GOLFTRANSMISSIE DOOR DE OOSTERSCHELDEKERING	27
6.1	Geselecteerde simulaties voor bepaling transmissiecoëfficiënten	27
6.2	Bepaling frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënten op basis van geselecteerde simulaties	27
7	INVLOED BOVENBALK OOSTERSCHELDEKERING	31
8	EFFECTBEREKENINGEN MET SWAN HR2006 OOSTERSCHELDE MODEL EN NIEUWE TRANSMISSIE DOOR KERING	37
8.1	Inleiding	37
8.2	Rekenroosters	37
8.3	Toegepaste SWAN versies	38

8.4	Schematisering Oosterscheldekering	39
8.5	Instellingen	41
8.6	Golfrandvoorwaarden	41
8.7	Windsnelheden en windrichtingen	42
8.8	Uitgevoerde SWAN effectberekeningen	42
8.9	SWAN output en naamgeving outputbestanden	42
8.9.1	SWAN output	42
8.9.2	Naamgeving	43
9	INDICATIE EFFECT NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENTEN OP TOETS- EN ONTWERPWAARDEN	45
9.1	Inleiding	45
9.2	Vergelijking ruimtelijke schaal	45
9.3	Vergelijking maatgevende golfcondities per dijkvak	47
9.3.1	Analyse effect nieuwe implementatie kering op significante golfhoogte	54
9.3.2	Analyse effect nieuwe implementatie kering op golfperiode	55
9.3.3	Analyse effect nieuwe implementatie kering op belastingsfunctie Z1	55
9.4	Conclusie	55
10	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	57
10.1	Conclusies	57
10.2	Aanbevelingen aangaande het berekenen van afleiding transmissiecoëfficiënten	57
10.3	Aanbevelingen aangaande het SWAN HR2006 Oosterschelde model	58
	LITERATUUR	61
A	RESULTAAT RANDVOORWAARDEN SWAN NA TUNING	63
B	RESULTAAT GEVOELIGHEIDSANALYSE	67
C	VERHOUDING GOLFSPECTRA	85
D	REKENROOSTERS S1, S4, K4 D01 T/M D04 EN D34 T/M D40	91
E	FOUTIEVE IMPLEMENTATIE GOLFTRANSMISSIE DOOR DE KERING IN ALKYON (2005B)	93
F	CODERING VOOR DE HERBEPAALENDE TRANSMISSIE DOOR DE KERING	97
G	VOORBEELD SWAN INVOERBESTAND MET HET K4 REKENROOSTER	99
H	GOLFRANDVOORWAARDEN BIJ EUROPLATFORM EN WIND VOOR WINDKLASSE 2	101
I	RUIMTELIJKE VERSCHILPLOTS $H_5$ INVLOED NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENT	103
J	RUIMTELIJKE VERSCHILPLOTS $T_p$ INVLOED NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENT	124

## 1 INLEIDING

### 1.1 Aanleiding

Het Project Bureau Zeeweringen (PBZ) coördineert de uitvoering van de dijkversterkingen in Zeeland. Hierbij wordt onder andere onderzoek verricht naar de veiligheid van de bekledingen van alle dijkvakken langs de Oosterschelde (en Westerschelde) en waar nodig worden deze versterkt. Na de periodieke toetsing door de beheerder (Waterschap Scheldestromen) met de randvoorwaarden uit het Hydraulische Randvoorwaardenboek (HR2006) wordt de dijkbekleding door PBZ nogmaals getoetst met de golfcondities zoals beschreven in de zogenaamde detailadviezen. Deze toetsing van PBZ is maatgevend boven die van het waterschap en vindt dus plaats met ontwerprandvoorwaarden. De golfcondities uit de HR2006 en de detailadviezen zijn beide gebaseerd op golfcondities uit de database 'KustDB2006-Steen'. De nabewerking van deze getallen is echter verschillend. Een groot verschil is dat de maatgevende golfbelastingen uit de HR met behulp van een probabilistische benadering worden bepaald en de golfbelastingen uit de detailadviezen met een deterministische benadering. De totstandkoming en de achtergrond van de detailadviezen is beschreven in het zogenaamde Kookboek (Svašek en Royal Haskoning, 2011).

De golfrandvoorwaarden voor de Oosterschelde uit de database 'KustDB2006-Steen' zijn afkomstig van SWAN berekeningen uit 1998 en 2005 (Alkyon, 1998 & 2005b). In het vervolg van deze studie wordt het SWAN model uit Alkyon (1998 & 2005b) het SWAN HR2006 Oosterschelde model genoemd.

Projectbureau Zeeweringen vermoedt dat de golfrandvoorwaarden ten oosten van de Oosterscheldekering op dit moment worden overschat. Een mogelijke oorzaak ligt in de opgelegde hoge transmissiecoëfficiënten van de Oosterscheldekering die zijn gebruikt bij het berekenen van de golfhoogten met SWAN. De op dit moment gehanteerde transmissiecoëfficiënten zijn afkomstig van Alkyon (2005a). In Alkyon (2005a) is op basis van golfmetingen in vier meetlocaties de transmissie door de kering bepaald. De vier meetlocaties zijn gepresenteerd in Figuur 1-1. De metingen zijn een selectie uit de periode december 2003 t/m maart 2004.



Figuur 1-1: Ligging meetlocaties (gele punten).

Hierbij is de frequentieafhankelijke transmissie door de kering ( $K_T(f)$ ) bepaald door het quotiënt te nemen van  $K_{TB}$  en  $K_B$ , waarbij  $K_{TB}$  de verhouding is tussen de gemeten golfenergie (met kering)

binnen en buiten als functie van de frequentie en  $K_B$  de verhouding tussen de door SWAN berekende golfenergie (zonder kering) binnen en buiten als functie van de frequentie.

In Alkyon(2005a) is te zien dat het laagfrequente deel van de SWAN spectra aan de zeezijde veelal niet goed overeen komt met de gemeten spectra. Hierdoor is de betrouwbaarheid van  $K_B$  (bepaald obv. de door SWAN berekende golfenergie) en daarmee de totale transmissiecoëfficiënten in het geding. Om deze reden is een herbepaling van de transmissiecoëfficiënten van de Oosterscheldekering gewenst, waarbij nieuwe SWAN berekeningen uitgevoerd worden.

Dit rapport beschrijft die herbepaling van de transmissiecoëfficiënten van de Oosterscheldekering. Hierbij dient opgemerkt te worden dat op verzoek van Deltares de SWAN berekeningen zoveel mogelijk conform Alkyon (1998 & 2005a/b) zijn uitgevoerd, zie voor meer detail hoofdstuk 0. De opdracht is uitgevoerd door Svašek Hydraulics op verzoek van Deltares (e-mail met kenmerk 1208045-005-HYE-0003 d.d. 18 februari 2014).

## 1.2 Doelstelling

Het doel van deze studie is tweeledig:

- a) Het op verbeterde wijze afleiden van de transmissiecoëfficiënten voor de Oosterscheldekering.
- b) Een indicatie geven van het effect van deze verandering in coëfficiënten op de huidige toets-ontwerpgetallen van de golven in het westelijke deel van de Oosterschelde.

## 1.3 Leeswijzer

De opbouw van dit rapport is als volgt. Na de inleiding van Hoofdstuk 1 wordt in Hoofdstuk 2 de methodiek besproken, waarop deze studie is gebaseerd. Hoofdstuk 3 richt zich op de opzet van de nieuwe SWAN modellen van de Oosterscheldekering inclusief de toegepaste instellingen, bathymetrie, uitgevoerde simulaties etcetera. De tuning van de randvoorwaarden voor de SWAN modellen wordt besproken in Hoofdstuk 4. Een korte gevoeligheidsanalyse staat beschreven in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 beschrijft de afleiding van de nieuwe golftransmissiecoëfficiënten door de Oosterscheldekering op basis van de metingen en de nieuwe SWAN resultaten. Een kort literatuur onderzoek is uitgevoerd naar de invloed van de bovenbalk van de Oosterscheldekering, dit is beschreven in hoofdstuk 7. Om een indicatie te geven van het effect van de nieuwe transmissiecoëfficiënten op de huidige toets- en ontwerpwaarden in het westelijke deel van de Oosterschelde zijn effectberekeningen uitgevoerd. De opzet van deze berekeningen is gepresenteerd in hoofdstuk 0. In hoofdstuk 0 is het effect van de aangepaste transmissie door de kering geanalyseerd. Tenslotte zijn de conclusies en aanbevelingen te vinden in hoofdstuk 10.

## 2 METHODIEK

De bepaling van transmissiecoëfficiënten is gebaseerd op het volgende principe (Alkyon 2005a), dat in beginsel nu weer is gevolgd (schematische weergegeven in Figuur 2-1):

- a) Aan beide zijden van de kering zijn golfmetingen uitgevoerd. Het verschil in energie tussen de locaties wordt veroorzaakt door de kering en door andere processen (onder andere de bodem, maar ook bijvoorbeeld windgroei). De ratio tussen de energie gemeten binnen en buiten de kering kan worden gevangen in de frequentieafhankelijke coëfficiënt  $K_{TB}$ .  $K_{TB}$  is gedefinieerd als het quotiënt van de wortel van de gemeten energiedichtheid ten oosten (Oosterschelde zijde) van de kering als functie van de frequentie ( $E_{\text{Gemeten OS}}$ ) en de wortel van de gemeten energiedichtheid ten westen (Noordzeezijde) van de kering als functie van de frequentie ( $E_{\text{Gemeten Zee}}$ )<sup>1</sup>:

$$K_{TB}(f) = \frac{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten Zee}}}} \quad \text{Verg. 2.1}$$

- b) Nu kan met SWAN een model(len) worden gemaakt zonder kering. De randvoorwaarden van het SWAN model(len) zijn zodanig getuned dat in de twee meetlocaties aan de zeezijde van de kering het gemeten spectrum door SWAN zo goed mogelijk wordt gereproduceerd. De verandering tussen de twee punten buiten de kering en die er binnen, wordt gevangen in de frequentieafhankelijke coëfficiënt  $K_B$ .  $K_B$  is gedefinieerd als het quotiënt van de wortel van de berekende energiedichtheid ten oosten van de kering als functie van de frequentie ( $E_{\text{SWAN OS}}$ ) en de wortel van de berekende energiedichtheid ten westen van de kering als functie van de frequentie ( $E_{\text{SWAN Zee}}$ ):

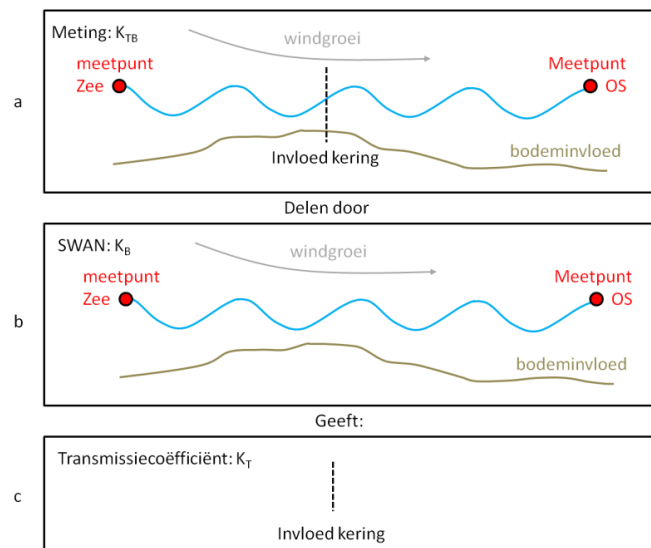
$$K_B(f) = \frac{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN Zee}}}} \quad \text{Verg. 2.2}$$

De aanname is dat hierin alle processen zitten als in  $K_{TB}$ , behalve het effect van de kering.

- c) Als nu  $K_{TB}$  wordt gedeeld door  $K_B$  wordt  $K_T$  verkregen.  $K_T$  is de frequentie afhankelijke transmissiecoëfficiënt van de kering.

$$K_T(f) = \frac{K_{TB}(f)}{K_B(f)} \quad \text{Verg. 2.3}$$

<sup>1</sup> Het wortelteken is nodig om de transmissiecoëfficiënt uit te drukken in termen van de golfhoogte (wat het meest gebruikelijk is) in plaats van de energie.



Figuur 2-1: Schematische weergave methodiek bepaling transmissiecoëfficiënt.

Allereerst zijn twee SWAN modellen opgezet voor de herbepaling van de frequentie afhankelijke transmissiecoëfficiënt van de Oosterscheldekering. Één voor het noordelijke deel van de kering en één voor het zuidelijke deel (zie Figuur 3-1). De opzet en de instellingen van deze SWAN modellen zijn zoveel mogelijk conform het SWAN HR2006 Oosterschelde model (Alkyon 1998, 2005b). In het vervolg van deze studie worden deze SWAN modellen de transmissie testmodellen genoemd.

Vervolgens zijn met de SWAN transmissie testmodellen berekeningen uitgevoerd voor de in Alkyon (2005a) geselecteerde 15 tijdstippen (geselecteerd voor de bepaling van de transmissie door de kering). Hierbij zijn allereerst de randvoorwaarden van de testmodellen voor de 15 tijdstippen getuned, zodanig dat de berekende spectra aan de zeezijde van de Oosterscheldekering (OS4 en RO9) zo goed mogelijk overeenkomen met de gemeten spectra in deze locaties (met extra aandacht op het laagfrequente gedeelte, <0.2Hz, van het spectrum).

Op basis van de SWAN resultaten van de getuned berekeningen zijn de tijdstippen geselecteerd die daadwerkelijk het gevolg lijken te zijn van de transmissie door de kering en niet uitsluitend zijn veroorzaakt door ongerelateerde verschillen tussen SWAN en werkelijkheid (zie paragraaf 6.1).

Door de resultaten van de uiteindelijk geselecteerde berekeningen te analyseren en de zichtbare trends in formulevorm te beschrijven is een nieuwe formulering voor de transmissiecoëfficiënt door de Oosterscheldekering verkregen.

De berekeningen met de SWAN HR2006 Oosterschelde model (Alkyon, 2005b) zijn vervolgens opnieuw uitgevoerd met als verschil de nieuwe formulering van de transmissiecoëfficiënt door de kering (zie paragraaf 6.2) en een beter geïmplementeerde Oosterscheldekering (zie paragraaf 3.4). In het vervolg van deze studie worden deze berekeningen de effectberekeningen genoemd. Tot slot zijn de ongecorrigeerde  $H_{m0}$  en  $T_{pm}$  volgend uit de effectberekeningen vergeleken met die uit Alkyon (2005a), waardoor de verschillen als gevolg van de nieuwe transmissiecoëfficiënt van de Oosterscheldekering inzichtelijk worden.

Opgemerkt dient te worden dat bekend is dat in Alkyon (2005a/b) enkele onvolkomenheden naar voren zijn gekomen, zie Svašek (2010). Maar aangezien de bedoeling van de huidige studie is om de SWAN transmissie testmodellen van de Oosterscheldekering zoveel mogelijk gelijk te houden aan het SWAN HR2006 Oosterschelde model waarmee de huidige toets- en ontwerpwaarden in het westelijk deel van de Oosterschelde zijn bepaald (Alkyon 1998, 2005a/b) en dus waar  $K_T$  uiteindelijk weer in wordt toegepast, zijn in de berekeningen met de transmissie testmodellen dezelfde fouten gemaakt worden, waardoor – zo veel mogelijk – deze fouten in de uiteindelijke effectberekeningen worden gecompenseerd.

### 3 OPZET SWAN TRANSMISSIE TESTMODELLEN

#### 3.1 Inleiding

Voor de herbepaling van de transmissiecoëfficiënt van de Oosterscheldekering zijn twee SWAN detailmodellen opgezet van het gebied in de omgeving van de Oosterscheldekering. Zoals beschreven in Hoofdstuk 1 is de modelopzet in de huidige studie zoveel mogelijk conform het SWAN HR2006 Oosterschelde model (Alkyon 1998, 2005b) dat ten grondslag ligt aan de database 'KustDB2006-Steen' en daarmee aan de detailadviezen en de HR2006. De modelopzet van de huidige studie is gericht op het bepalen van transmissie door de Oosterscheldekering specifiek voor het genoemde SWAN HR2006 Oosterschelde model.

Het is bekend dat er wat betreft het SWAN HR2006 Oosterschelde model veel verbetering mogelijk is gegeven de huidige kennis en mogelijkheden (zie bijvoorbeeld Svašek, 2010). De nieuwe transmissiecoëfficiënten zijn – conform de wens van Deltares – in deze studie toegepast in het SWAN HR2006 Oosterschelde model om een indicatie te geven van het effect van andere transmissie coëfficiënten op de golfcondities in de uitvoerpunten.

#### 3.2 Model domein en rekenroosters

Op verzoek van Deltares zijn twee aparte modeldomeinen gekozen, één voor de noordelijke twee delen van de kering en één voor het zuidelijke deel van de kering, zie Figuur 3-1.



Figuur 3-1: Domein van model Noord (rood) en Zuid (blauw). Bron luchtfotografie: Google Earth.



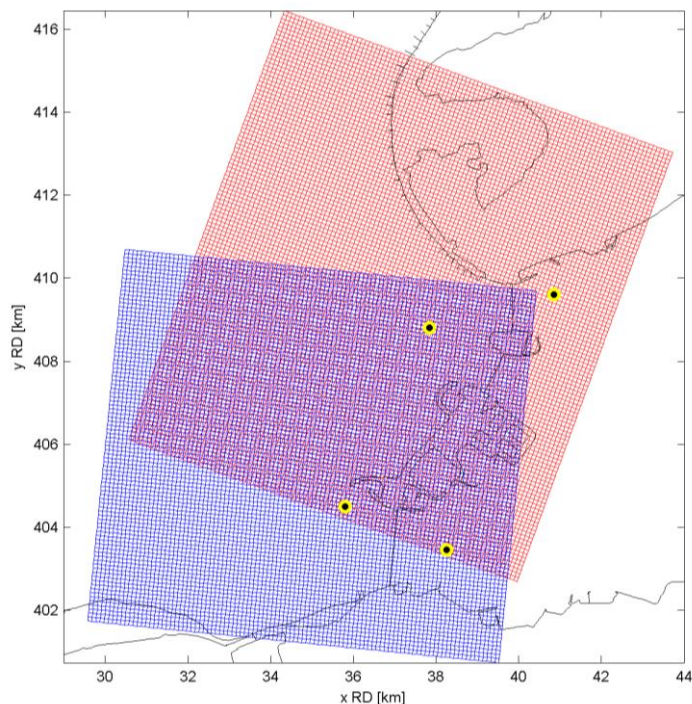
De modelranden zijn redelijk dicht bij de meetpunten gekozen zodat eventuele tuning van de randvoorwaarden – met als doel het reproduceren van de gemeten spectra in de meetpunten – relatief eenvoudig is. Immers, hoe dicht de modelrand bij het meetpunt aan de zee kant ligt hoe simpeler de SWAN output is te tunen door de randvoorwaarden aan te passen. Echter, hoe dicht de modelrand bij het uitvoerpunt komt hoe meer de noordwest rand door banken en geulen heen loopt, waardoor de effecten van die banken en geulen slechts beperkt worden meegenomen (omdat die buiten het model vallen). Op basis van de afweging tussen deze twee zaken zijn - in opdracht van Deltares - de rekenroosters zoals afgebeeld in Figuur 3-1 toegepast.

In Figuur 3-1 zijn de 4 golfmeetlocaties, die gebruikt zijn voor de bepaling van de transmissie door de Oosterscheldekering, weergegeven (OS4, RO9, HM7 en RO7). De exacte coördinaten zijn te vinden in Tabel 3-1.

Tabel 3-1: RD coördinaten van de gebruikte golfmeetlocaties

Meetlocatie	Afkorting	X-coördinaat RD [m]	Y-coördinaat RD [m]
Oosterschelde 4	OS4	37837	408813
Roompot West	RO9	35800	404500
Hammen Oost	HM7	40850	409600
Roompot Oost	RO7	38260	403451

Als basis is gerekend met een resolutie van 100 m x 100 m conform het SWAN HR2006 Oosterschelde model (Alkyon 1998 & 2005b), zie Figuur 3-2. Dit wijkt af van het model waarmee in Alkyon (2005a) de transmissiecoëfficiënten zijn berekend (40 m x 40 m), maar is conform het eerder beschreven uitgangspunt zoveel mogelijk het SWAN HR2006 Oosterschelde model (Alkyon 1998 & 2005b) te volgen. Tijdens de gevoeligheidsanalyse zal worden getoetst wat het effect in de uitvoerpunten is van een fijnere resolutie.



Figuur 3-2: Rekenroosters, Noord wederom in rood, Zuid in blauw, Meetlocaties gele punten.



### 3.3 SWAN versie

SWAN versie 30.75 (april 1998) is toegepast, conform Alkyon (2005b)<sup>2</sup>. Er is met een 32 bit compilatie gerekend onder Windows 7 64 bit<sup>3</sup>, waarbij – ten behoeve van enkele runs met hogere resolutie – de *data pool* (zie TU Delft, 1998) grootte is vergroot tot 320 miljoen.

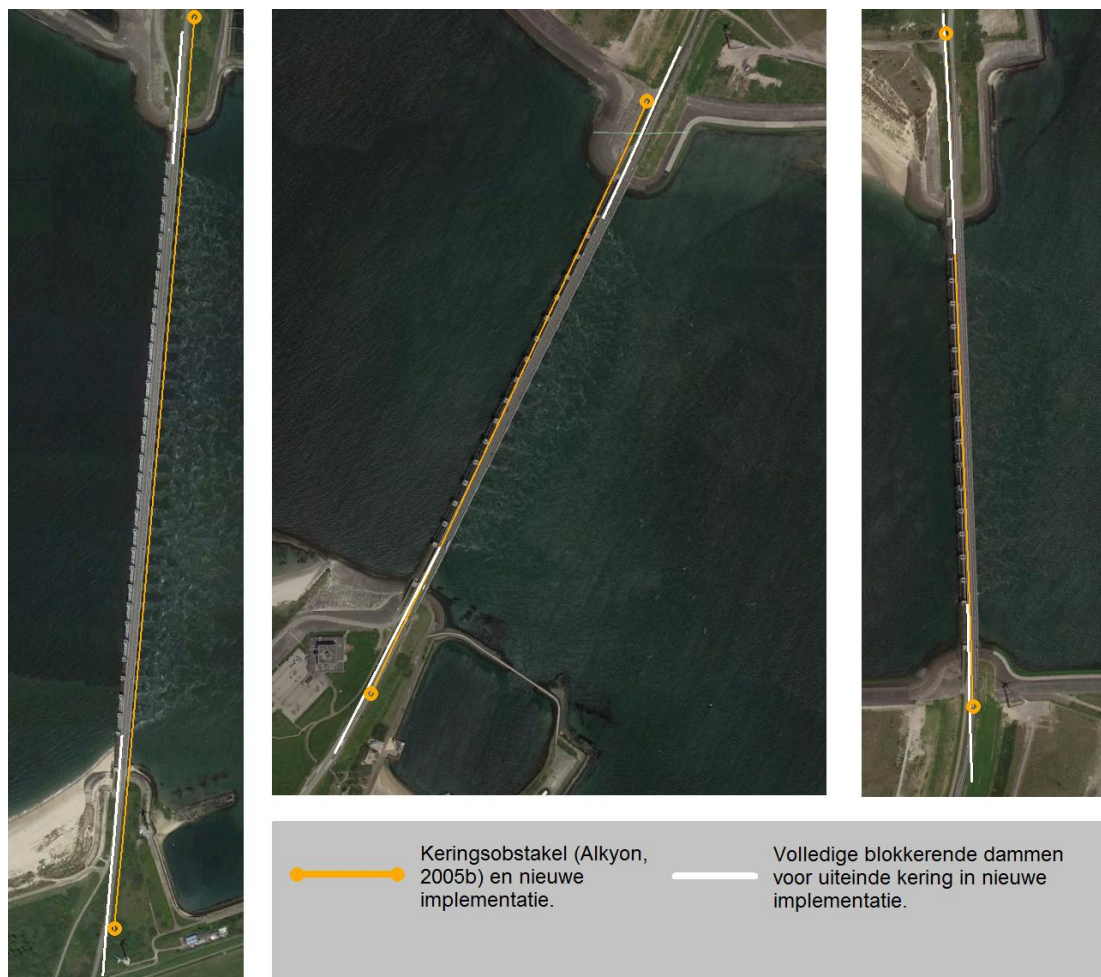
### 3.4 Obstakels

In Alkyon (1998 & 2005b) zijn de eindpunten van de keringen als open kering meegenomen, terwijl hier in werkelijkheid (Bron: Google Earth) geen openingen zijn (met andere woorden: de kering is breder in het SWAN HR2006 model dan in werkelijkheid). De transmissie in SWAN ter plaatse van de dam zal door de bredere kering te hoog zijn. In samenspraak met Deltares is in de huidige studie gekozen om de uiteinden van de kering en enkele dammen rond de kering mee te nemen als obstakel, zie witte lijnen in Figuur 3-3. SWAN neemt de transmissie door de uiteinden van deze dammen dan mee door een deel van de energie (naar rato van de blokkade) door te laten en een deel te blokkeren. Door de uiteinden van deze dammen komt geen golfenergie, maar doordat deze uiteinden niet samenvallen met de roosterpunten kan dit effect op de wijze worden verdisconteerd. Let wel: de precieze dimensies van de kering zijn door de grove resolutie van het rekenrooster (100 m x 100 m) nog steeds lastig mee te nemen.

---

<sup>2</sup> In de SWAN berekeningen van Alkyon 1998 is gebruikt gemaakt van SWAN versie 30.62, welke versie qua fysica en numerieke zaken vrijwel gelijk is aan versie 30.75, echter is bij het versie 30.75 mogelijk om spectrale invoer op de rand van het model in te lezen, wat benodigd is voor de uit te voeren berekeningen in Alkyon 2005b en in de huidige studie.

<sup>3</sup> Deze versie van SWAN compileert niet zonder uitgebreide aanpassingen onder 64 bit Linux systemen. Aangezien dergelijke aanpassingen buiten de scope van dit project vallen is onder Windows gerekend.



Figuur 3-3: Google Earth met de nieuwe(witte lijnen) en oude (oranje lijnen) obstakels rond de Oosterscheldekering.

### 3.5 Bathymetrie

Bodembestanden zijn aangemaakt voor respectievelijk het noordelijke en zuidelijke rekenrooster. De bodem zoals toegepast in Alkyon (1998, 2005b) is de bodem van 1998, welke plaatselijk is aangepast om rekening te houden met mogelijke bodemdalingen in de periode tot 2060. In de huidige studie dient de bodem van 2004 te worden toegepast, het jaar waarin de metingen zijn uitgevoerd. Deze bodem is samengesteld waar beschikbaar uit de vaklodingen van Oosterschelde Buiten (2004) en de Oosterscheldemeting Rijkswaterstaat (2001). Het gebied dichtbij de kering zelf is in geen van beide bestanden aanwezig. Hiervoor zijn de bodemdata van het Nederlandse Noordzee Hydrografische Dienst (2004) gebruikt.

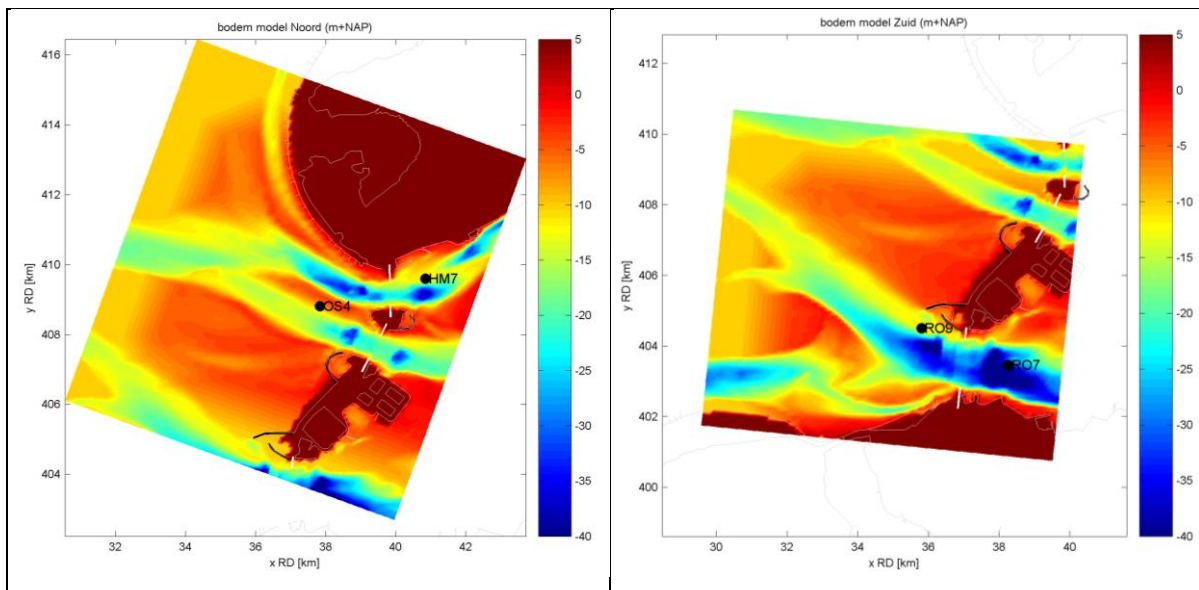
Tot slot zijn de volgende aanpassingen uitgevoerd:

- De locatie van de kering is uit de bodem verwijderd (dit betreft immers de drempel, die door de transmissiecoëfficiënt wordt gesimuleerd) maar randen van bodembescherming zijn behouden. Het verwijderde deel is opgevuld door interpolatie haaks op de kering.
- Vegetatielijn, duinen en dammen zijn op hoogte NAP+ 2m gesteld, gebieden tussen deze 'lijnen' en bodembestanden zijn opgevuld door middel van interpolatie.
- Elementen van de 'hoofden' van de kering zijn uit de bodem verwijderd door middel van interpolatie, de blokkerende werking van deze hoofden wordt immers gesimuleerd door

middel van obstakels (zie sectie 3.4). Hetzelfde geldt voor overige dammen die door obstakels zijn gesimuleerd.

- Vrijwel ingesloten gebieden (zoals havens op Neeltje Jans) zijn uit de bodem verwijderd door de bodem op 6 m +NAP te zetten, hetzelfde geldt voor landgebieden.
- Langs de zeeranden (noord, west en zuid) is een minimale diepte aangehouden van 10 meter over een breedte van één kilometer. Deze minimale diepte verloopt naar 0 over de volgende kilometer. Op deze wijze is de rand van het model op diepte gebracht zodat er geen onrealistische golfrandvoorwaarden op zeer ondiepe gebieden gelegd worden.

Het resultaat van het samenvoegen van de genoemde bestanden en het uitvoeren van de aanpassingen is voor de twee modelgebieden weergegeven in Figuur 3-4.



Figuur 3-4: Bodem modeldomein noord (linker paneel) en zuid (rechterpaneel). Obstakels behorende bij de kering zijn weergegeven in wit, overige obstakels in zwart.

NB. Het is van belang dat de meetparen (voor en achter de kering) in elkaars verlengde liggen. 'Overige' invloeden die niet door SWAN worden gesimuleerd kunnen dan immers aan de kering worden toegeschreven. Mogelijkerwijs is de ligging van het puntenpaar OS4 en HM7 in deze problematisch, zie Figuur 1-1. Gegeven de bodemligging (Figuur 3-3) ligt OS4 namelijk aan de andere zijde van de geul dan HM7. Bovendien zullen de meeste golven uit noordelijke en westelijke richting HM7 uitsluitend via veel diffractie bereiken. Om dit door SWAN te laten berekenen lijkt problematisch, hier dient rekening mee te worden gehouden in de uiteindelijke bepaling van de transmissiecoëfficiënten.

### 3.6 Uitgevoerde SWAN simulaties met de transmissie testmodellen

Alle 15 geselecteerde tijdstippen uit Alkyon (2005a) zijn in de huidige studie opnieuw uitgevoerd, zie Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Overzicht geselecteerde tijdstippen (Bron: tabel 2.1 Alkyon, 2005a)

Code	Datum	Golven OS4		Golven R09		Wind OS4		Waterstand Roompot
		Hs OS4	Tm10_OS4	Hs_R09	Tm01_R09	Uwi	Dwi	WL
S1	21-12-2003 6:00	1.33	4.5	1.02	4.1	18.9	253	-0.33
G2	21-12-2003 16:30	1.71	NaN	1.51	NaN	15.6	302	0.81
G3	23-12-2003 3:00	1.16	6.1	1	5.9	9.2	298	1.33
G4	29-12-2003 8:00	1.11	6	0.93	5.8	8	253	1.37
G5	5-1-2004 1:30	0.73	6.1	0.63	6	5	268	1.16
G6	11-1-2004 11:30	0.79	2.9	0.71	3.1	16.6	237	-0.13
G7	12-1-2004 6:00	1.15	4.9	0.97	5.1	9.4	234	1.82
G8	30-1-2004 9:00	1.28	5.2	1.11	5.3	10.2	290	1.19
G9	1-2-2004 0:00	1.95	5.6	1.48	4.8	22.4	262	1.31
S10	1-2-2004 4:30	1.12	4.4	0.86	4.1	16	237	0
S11	8-2-2004 5:00	1.96	5.4	1.59	5.1	20	272	1.88
G12	8-2-2004 20:00	1.88	NaN	1.6	NaN	19.1	317	0.83
G13	28-2-2004 8:00	0.66	6.9	0.6	6.2	3.1	286	1.19
G14	2-3-2004 12:00	0.67	4.3	0.61	4.4	6.2	314	0.91
S15	20-3-2004 21:00	1.33	4.2	1.02	3.7	21.2	240	-0.65

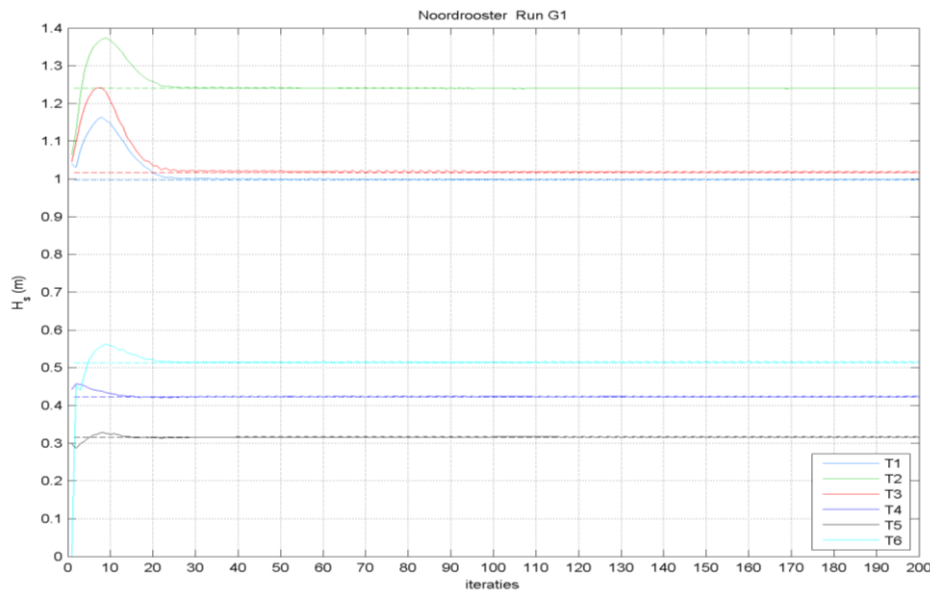
De berekeningen zijn stationair uitgevoerd. Aangezien in Alkyon 2005a meetmomenten zijn gekozen met lage stroomsnelheden < 1,3 m/s, is de stroming in de SWAN berekeningen niet meegenomen, conform Alkyon (2005a).

### 3.7 Instellingen

Instellingen zijn wederom zoveel mogelijk conform Alkyon (1998, 2005a/b) gekozen:

```
GEN3 KOMEN
BREAK 1. 0.73
FRIC JONSWAP
TRIAD
```

Aangepast ten opzichte van Alkyon (1998 & 2005a/b) zijn de iteratiecriteria en het frequentiebereik. In 1998 is 98% *accuracy* criterium aangehouden. Met deze instelling had de simulatie circa 7 iteraties nodig, maar dat blijkt onvoldoende te zijn. Het iteratiegedrag is voor twee simulatiecondities getest in zes testpunten. Figuur 3-5 laat het verloop van de significante golfhoogte in de 6 testpunten als functie van het aantal iteraties zien.



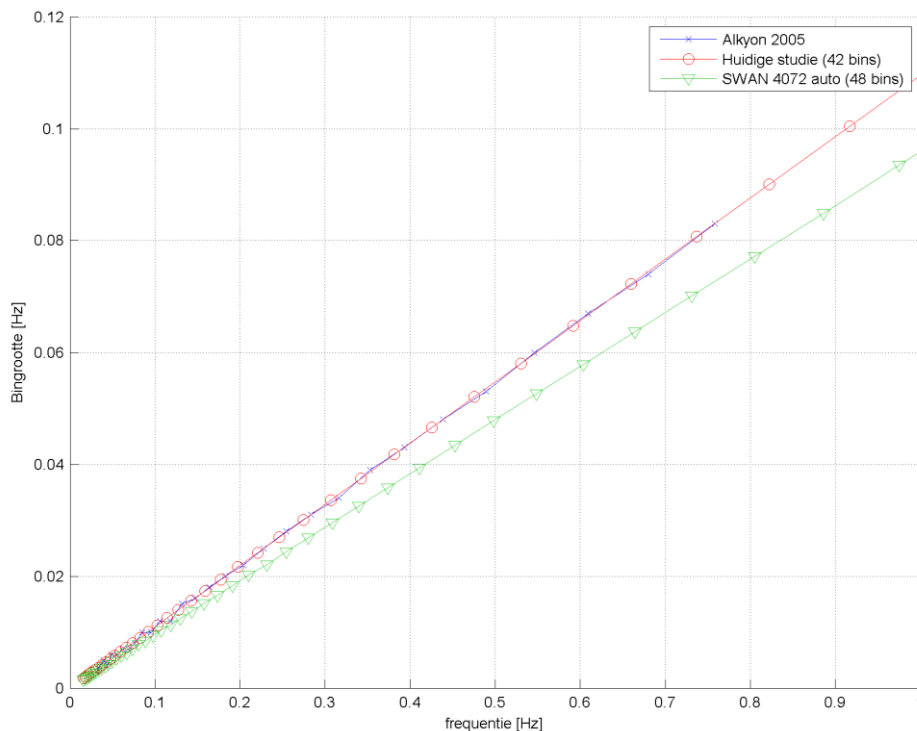
Figuur 3-5: Verloop significante golfhoogte in 6 testpunten als functie van het aantal iteraties

Uit Figuur 3-5 blijkt dat voor dit tijdstip na ongeveer 25 iteraties het evenwicht bereikt is. Meerdere tijdstippen zijn bekeken en gegeven de resultaten is in overleg met Deltares gekozen 40 iteraties te forceren:

```
NUM ACCUR 0.03 0.03 0.3 101 40
```

Tevens is hierbij steeds gecontroleerd of de berekeningen zijn geconvergeerd. Het aantal iteraties is - op verzoek van Deltares - niet toegepast in de uiteindelijke effectberekeningen met het SWAN HR2006 Oosterschelde model voor de uitvoerlocaties langs de oevers van de Oosterschelde, omdat dan niet zuiver het effect van de transmissiecoëfficiënt bepaald kan worden..

Op verzoek van Deltares is bij de berekeningen voor de herbepaling van de transmissiecoëfficiënt het frequentiebereik vergroot van 0.03Hz - 0.80 Hz tot 0.015Hz - 1.5 Hz. Hierbij is het aantal frequentiebins zodanig bepaald dat de bingrootte ten opzichte van de sommen uit Alkyon (1998) en Alkyon (2005b) in het originele bereik van 0.03-0.80 gelijk zijn. De middens zijn hierbij wel iets verschoven (dit laatste is niet te voorkomen als het bereik 0.015-1.5 wordt aangehouden). In Figuur 3-6 zijn de middens van de frequentiebins versus de bingrootte uit de Alkyon studies (blauwe kruisen) en de nieuw gekozen frequentiebins (rode cirkels) gepresenteerd. Dit resulteerde voor de in het toepassen van 42 frequentiebins. Indien SWAN automatisch het aantal bins bepaald bij het vergrootte frequentiebereik resulteert dit in 48 frequentiebins. Op verzoek van Deltares is het vergrootte frequentiebereik niet doorgevoerd in de effectberekeningen met het SWAN HR2006 model (zie hoofdstuk 0).



*Figuur 3-6: Frequentiebins versus de bingrootte (Blauw: Alkyon 1998, 2005b Rood: huidige studie Groen: SWAN automatisch bepaald)*

### 3.8 Golfrandvoorwaarden

Golfrandvoorwaarden zijn opgelegd op de noordelijke, westelijke en zuidelijke rand voor het noordelijke model en alleen op de noordelijk en westelijke rand voor het zuidelijk model. De golfrandvoorwaarden bestaan uit 1D spectra gebaseerd op metingen. Voor de door te rekenen tijdstippen is geen golfrichting en de richtings spreiding bekend, evenmin zijn de gehanteerde waarden in Alkyon (2005b) te achterhalen. Om deze reden is in overleg met Deltares gekozen om de golfrichting gelijk te houden aan de windrichting gemeten in OS4 en een richtings spreiding van 30 graden te hanteren. De precieze randvoorwaarden volgen uit het tuningproces zoals beschreven in Hoofdstuk 4. Tijdens het tuningproces is de golfrichting en de richtings spreiding niet gevarieerd.

### 3.9 Windsnelheden en windrichtingen

De SWAN simulaties zijn uitgevoerd met uniforme windvelden. Hiervoor is de gemeten wind bij OS4 gehanteerd. De grootte van de windsnelheid en de bijhorende windrichtingen voor de verschillende tijdstippen zijn te vinden in Tabel 3-2.

## 4 TUNEN RANDVOORWAARDEN VOOR DE TRANSMISSIE TESTMODELLEN

### 4.1 Methodiek

De randvoorwaarden voor de SWAN transmissie testmodellen zijn voor elk tijdstip getuned zodanig dat de berekende spectra aan de zeezijde van de Oosterscheldekering (OS4 en RO9) zo goed mogelijk overeenkomen met de gemeten spectra in deze locaties (met extra aandacht op het laagfrequente gedeelte, <0.2Hz, van het spectrum).

De toegepaste methodiek is als volgt: allereerst is het gemeten spectrum direct opgelegd op de rand van het testmodel, zie paragraaf 3.8. Vervolgens is het uitvoerspectrum in de meetpunten aan zeezijde (OS4 en RO9) vergeleken met de metingen. Het absolute verschil tussen gemeten en gemodelleerd is vervolgens per frequentie bij de randvoorwaarde opgeteld. In een aantal gevallen is het verschil op basis van de uitkomsten vermenigvuldigd met een factor (1-10) zodat sneller tot een goede overeenkomst tussen model en meting is gekomen. Dit proces wordt iteratief herhaald, totdat het resultaat goed is bevonden dan wel niet meer verbetert. Hierbij is aan het einde ook wat handwerk (wel vastgelegd in matlabscrip) verricht om tot de meest optimale resultaten te komen. Voor het noordelijke model zijn circa vijf iteraties nodig geweest, voor het zuidelijke model tot maximaal tien. De resultaten zijn in de volgende paragraaf beschreven.

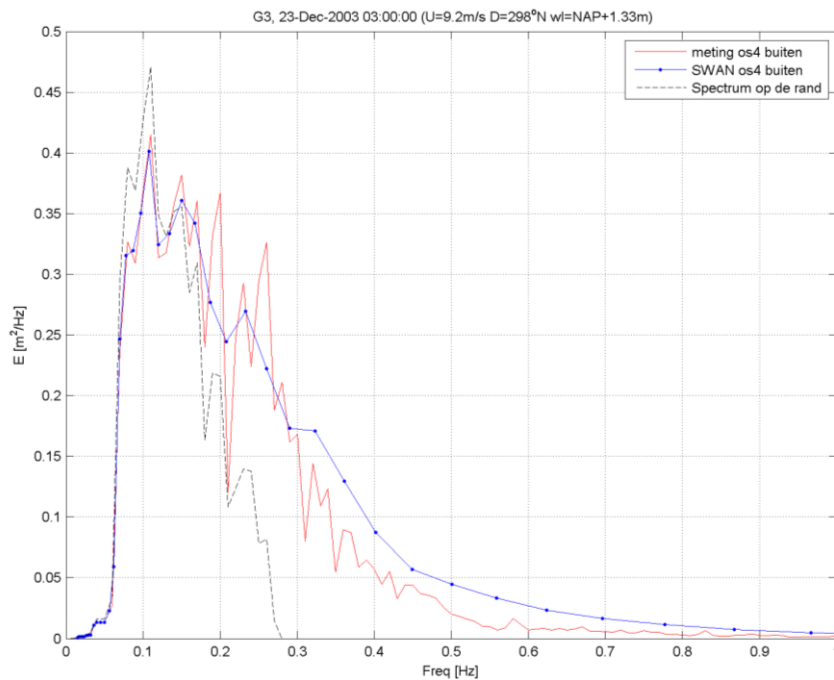
### 4.2 Tuning resultaat noordelijk transmissie testmodel

Het meetpunt OS4 ligt relatief open (zie Figuur 3-4) en tuning op basis van randvoorwaarde is daardoor effectief. Voor alle vijftien geselecteerde meetmomenten zijn de eindresultaten van de tuning weergegeven in Bijlage A.1 & A.2. Voor ieder moment is zowel meting (rood) als SWAN resultaat (blauw) gegeven en de bij de laatste behorende randvoorwaarde (zwart onderbroken). Voor een aantal simulaties lijkt de randvoorwaarde zeer veel op de meting, bijvoorbeeld G5 en G14, tunen is in die gevallen beperkt geweest. Voor de meeste andere punten zijn significantere aanpassingen op de rand opgelegd, een representatief geval (situatie G3, zie ook Tabel 3.2) is gegeven in Figuur 4-1. Deze simulatie is representatief omdat:

1. Het laag frequente deel relatief goed overeenkomt zonder grote aanpassingen in de randvoorwaarden.
2. Door de beperkte frequentieresolutie in de SWAN modellen – overigens conform Alkyon (1998 & 2005b) – zijn niet alle individuele pieken van de meting te representeren.
3. Hogere frequenties worden – door windgroei – snel te hoog in het SWAN model. De randvoorwaarde is daarom bij hogere frequenties naar nul gebracht. Desondanks geeft SWAN voor die frequenties hogere energieën dan de meting.

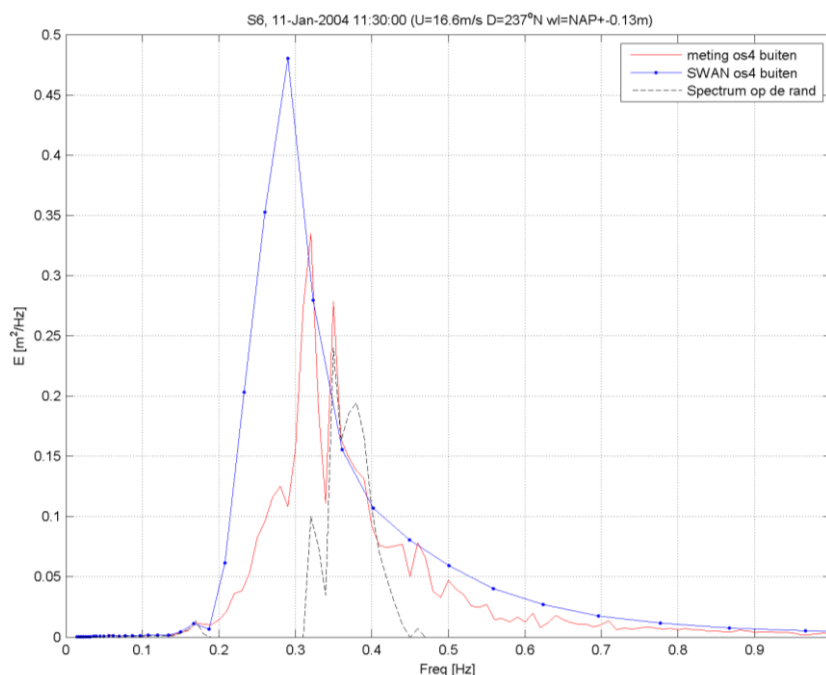
Dit laatste punt kan niet worden opgelost door de rand verder aan te passen. Die staat voor de hogere frequenties immers al op nul. Een lagere windsnelheid ligt voor de hand. Deze zou echter ook de golfvoortplanting tussen het meetpunt aan de zee kant en meetpunt aan de binnenzijde beïnvloeden, wat onwenselijk is. Op basis van dit gegeven – en het feit dat juist de lage frequenties van belang zijn in deze studie – worden het model als voldoende getuned beoordeeld.





Figuur 4-1: Voorbeeld van het resultaat van het tunen noordelijke model situatie G3. Rood: meting Blauw: getuneerde SWAN resultaat Ondoorboken zwart: randvoorwaarde. Volledige set figuren in Bijlage A.1 & A.2.

Voor het noordelijk transmissie testmodel is er één geval waar niet tot een bevredigend eindantwoord is gekomen en dat is tijdstip S6, zie Figuur 4-2. Dit is een van de condities waarbij golven uit het Westzuidwesten komen. In het frequentiebereik waar SWAN te hoge waarden geeft (0.2 – 0.3 Hz) is de randvoorwaarde al nul. Het is dus niet mogelijk de piek in SWAN – die wordt veroorzaakt door windgroei – te corrigeren. Aangezien er niet voldoende overeenkomst is tussen meting en SWAN, en dat dit ook niet kan worden verkregen met het hier gekozen tuningproces, is het advies deze situatie niet mee te nemen bij het afleiden van de nieuwe transmissiecoëfficiënten.



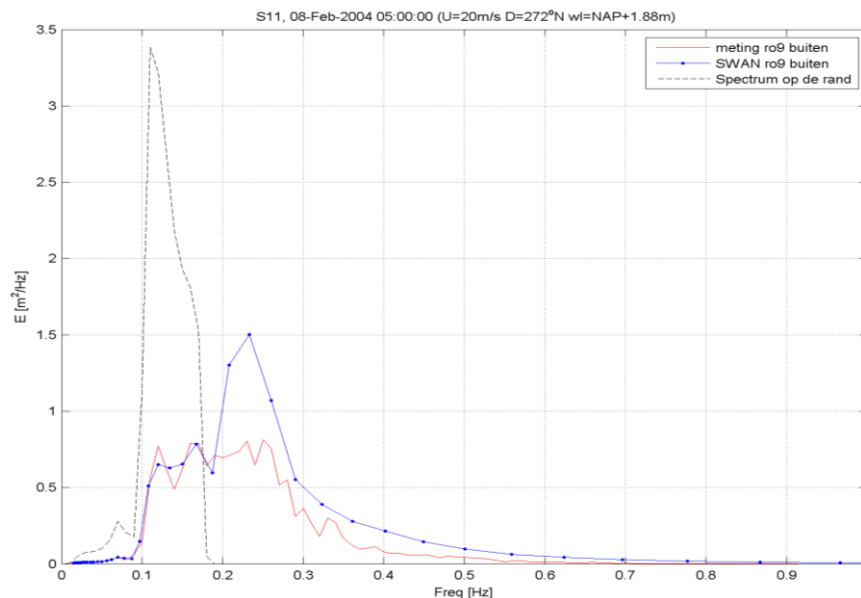
Figuur 4-2: Tuning noordelijk transmissie testmodel situatie S6. Rood: meting Blauw: getuneerde SWAN resultaat Ondoorboken zwart: randvoorwaarde. Volledige set figuren in Bijlage A.1 & A.2.



### 4.3 Tuning resultaat zuidelijk transmissie testmodel

Het meetpunt aan de noordzeezijde van de kering in het zuidelijke transmissie testmodel (RO9) ligt enigszins beschut achter een zandbank die ten westen ligt van de kering. Zie bijvoorbeeld Figuur 3-3 maar ook de luchtfotografie van Figuur 3-1, waar de zandbank daadwerkelijk dicht aan het oppervlak te zien is. De schaduw werking van deze bank betekent dat het minder eenvoudig is het resultaat in het SWAN transmissie testmodel te tunen. Dit punt ligt immers dikwijls in de 'schaduw' van de zandbank.

Dit is terug te zien in de resultaten van de tuning die op eenzelfde wijze zijn weergegeven in Bijlage A.3 & A.4 als dat voor het noordelijke transmissie testmodel is gebeurd. De randvoorwaarden wijken sterk af van de meting; over het algemeen dient er hogere energie bij lagere frequenties op de rand te worden opgelegd en geen energie bij hogere frequenties (gelijk aan het noordelijk transmissie testmodel). Ondanks dit laatste wordt de energie vooral bij hoge frequenties dikwijls overschat in het SWAN transmissie testmodel. Tijdstip S11 is representatief voor veel van de simulaties, zie Figuur 4-3. Ook voor het zuidelijk transmissie testmodel geldt dat soms de individuele pieken in het gemeten spectrum niet kunnen worden gereproduceerd door een beperkte frequentieresolutie in het SWAN transmissie testmodel.



*Figuur 4-3: Voorbeeld van het resultaat van het tunen van het zuidelijk transmissie testmodel S11. Rood: meting Blauw: (getunede) SWAN resultaat Onderbroken zwart: randvoorwaarde. Volledige set figuren in Bijlage A.3 & A.4.*

Er wordt gerekend met een enkele hoofdrichting (gelijk aan de windrichting zie paragraaf 3.8). In werkelijkheid is het mogelijk dat bepaalde delen van het gemeten spectrum in bijvoorbeeld RO9 uit een andere richting komen. In het geval van Figuur 4-3 geldt een hoofdrichting van 272°N. In Figuur 3-4 is te zien dat circa twee kilometer direct ten westen van RO9 een ondiepe zandbank ligt. Door de tuning methodiek wordt nu een zeer hoge golf op de rand opgelegd tussen de 0.1 en 0.2 Hz om de meting te reproduceren, de meeste energie wordt immers geblokkeerd door de plaat. In werkelijkheid is het zeer goed mogelijk dat de gemeten energie bij RO9 uit het noordwesten komt. Van een noordwestelijke golf komt weer minder energie in RO7 (wat ten westen van RO9 ligt) terecht wat weer leidt tot een te laag ingeschatte transmissiecoëfficiënt. Dit is een aandachtspunt voor verdere analyse voor eventuele vervolgstappen.

#### 4.4 Conclusie tuning

Over het algemeen is het noordelijke transmissie testmodel goed te tunen door de open ligging van meetpunt OS4. Uitsluitend voor één situatie (S6) is het onmogelijk om met behulp van aanpassing van de golfrandvoorwaarde de meting te representeren. Deze situatie is dan ook niet meegenomen bij de uiteindelijke bepaling van de transmissie door de kering. Voor de overige situaties geldt vaak dat voor hogere frequenties de windgroei in SWAN wordt overschat.

Het zuidelijk transmissie testmodel is lastiger te tunen, deels door de blokkerende werking van een zandbank ten noordwesten van meetpunt R09. Dit heeft als gevolg dat er vaak een hoge lange golf op de rand dient te worden gelegd, wat wellicht voor problemen in de uiteindelijke analyse kan zorgen. Ook voor het zuidelijke transmissie testmodel geldt dat overschatting van de hogere frequenties een aandachtspunt is. De uiteindelijk berekende spectra komen, met name bij de lagere frequenties, redelijk goed overeen met de gemeten spectra.

## 5 GEVOELIGHEIDSONDERZOEK

### 5.1 Algemeen

De gevoeligheid van de transmissie testmodellen is voor enkele instellingen en SWAN versies onderzocht in een gevoeligheidsanalyse. Deze analyse is gericht op de frequentie afhankelijke ratio van de spectra ter plaatse van de meetpunten. De volgende variaties zijn getoetst:

1. Jonswap ruwheid van 0.038 (deining) ten opzichte van 0.067 (windgolven) (zie paragraaf 5.2)
2. Richtingsverspreiding van 40° in plaats van 30° (zie paragraaf 5.3).
3. Roosterresolutie van 20x20 m<sup>2</sup> in plaats van 100x100 m<sup>2</sup> en een bodemresolutie van 100 x 100 m<sup>2</sup> (zie paragraaf 5.4).
4. SWAN versie 40.72ABCDE met de Westerschelde WTI instellingen<sup>4</sup> (Westhuysen whitecapping) in plaats van SWAN 30.75 (met instelling zoals beschreven in paragraaf 3.7) (zie paragraaf 5.5).
5. SWAN versie 40.72ABCDE met de Westerschelde WTI instellingen met uitzondering de whitecapping formulering deze is hier volgens KOMEN in plaats van SWAN 30.75 (met instelling zoals beschreven in paragraaf 3.7) (zie paragraaf 5.6).
6. SWAN versie 40.72ABCDE met de Westerschelde WTI instellingen in plaats van SWAN 30.75 (met instellingen zoals beschreven in paragraaf 3.7) met opnieuw getunede randvoorwaarden (zie paragraaf 5.7).
7. Als 7 maar nu ook met een 20x20m<sup>2</sup> rekenrooster en wederom opnieuw getunede randvoorwaarden (zie paragraaf 5.7).

De randvoorwaarden van de eerste 5 gevoeligheidsruns zijn niet opnieuw getuned. Afwijkingen in de ratio worden dus veroorzaakt door verschillen in golfvoortplanting tussen de meetpunten binnen en buiten, en door niet-lineairiteiten in die golfvoortplanting (een 20% hogere golfhoogte in RO9 leidt bijvoorbeeld niet per definitie tot een 20% hogere golfhoogte in RO7).

In de gevoeligheidsruns 1, 2, 4, 5 en 6 is gerekend met een roosterresolutie van 100 m x 100 m en de gevoeligheidsruns 3, en 7 met een roosterresolutie van 20 m x 20 m.

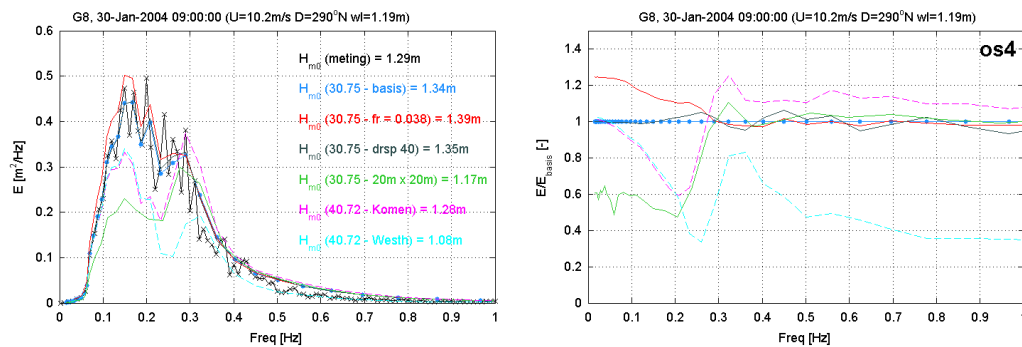
Bij de gevoeligheidsruns 6 en 7 zijn de randvoorwaarden opnieuw getuned. Deze tuning is op dezelfde wijze uitgevoerd als beschreven in hoofdstuk 4. Op deze manier kan bekeken worden wat de gevoeligheid is van de transmissie coëfficiënt voor een andere SWAN versie en roosterresolutie

In paragraaf 5.2 t/m 5.6 zijn de resultaten van de gevoeligheidsruns zonder getunede randvoorwaarden te vinden. De gevoeligheidsruns met de opnieuw getunede randvoorwaarden zijn besproken in paragraaf 5.7. Voor de detailresultaten wordt verwezen naar Appendix B.

Zo zijn de resulterende spectra van de vijftien gesimuleerde tijdstippen voor de (ongetuned) gevoeligheidsruns 1 t/m 6 weergegeven in Bijlage B.1 t/m B.3 (locatie OS4, noordelijk transmissie testmodel) en B.4 t/m B.6 (locatie RO9, zuidelijk transmissie testmodel). In deze bijlagen zijn de uitkomsten gepresenteerd zoals Figuur 5-1.

<sup>4</sup> Westerschelde WTI instellingen:

```
GEN3 WESTH  
WCAP WESTH cds2=5.00000e-05 br=0.00175000 p0=4.00000 powst=0.00000 powk=0.00000 &  
  nldisp=0.00000 cds3=0.800000 powfsh=1.00000  
QUAD iquad=2 lambda=0.250000 CnI4=3.00000e+07  
LIMITER ursell=10.0000 qb=1.00000  
FRIC JONSWAP cfjon=0.0380000  
BREA WESTH alpha=0.960000 pown=2.50000 bref=-1.39630 shfac=500.000  
TRIAD trfac=0.10000 cutfr=2.50000
```

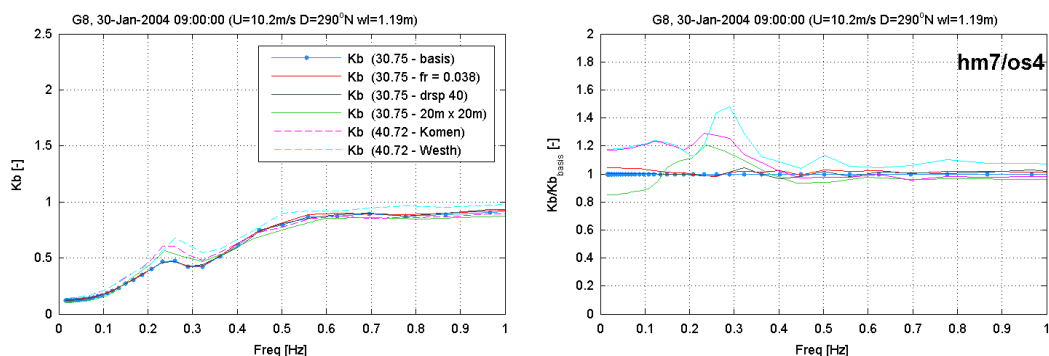


Figuur 5-1: Spectra per gevoeligheidsrun (links) en relatieve afwijking ten opzichte van basisrun (rechts) voor simulatie G8 in locatie OS4. Volledige set figuren is te vinden in Bijlage B.1 t/m B.6.

Figuur 5-1 laat in het linker paneel de gemeten en berekende spectra zien van de zeewaartse locaties (OS4 of RO9). Tevens is in het linker paneel de significante golfhoogte (berekend uit de spectra) gepresenteerd waarbij is aangegeven welke kleur welke gevoeligheidsrun representeert. De zwarte kruisjeslijn heeft betrekking op het gemeten spectrum en de blauwe punten lijn op de uit hoofdstuk 4 volgende “getuned” run (= basisrun). Het rechterpaneel laat met dezelfde kleuren de relatieve afwijking t.o.v. de basisrun zien.

Het verloop van de quotiënten  $K_B$  (zie vergl 2.2) a.g.v. bodemeffecten in het golfveld tussen de westelijke en het oostelijke meetstation zijn voor de verschillende gevoeligheidsruns van de vijftien gesimuleerde tijdstippen voor de 5 verschillende gevoeligheidsruns weergegeven in Bijlage B.7 t/m B.9 (noordelijke transmissie testmodel, locaties HM7 en OS 4) en B10 t/m B12 (zuidelijke transmissie testmodel, locaties RO9 en RO7). In deze bijlagen zijn de uitkomsten gepresenteerd zoals Figuur 5-2.

Figuur 5-2 laat in het linker paneel het verloop van  $K_B$  zien, waarbij de kleurstelling identiek is als toegepast in Figuur 5-1. De rechterpanelen laten de relatieve afwijking t.o.v. de basisrun zien.



Figuur 5-2: Verloop van de quotiënt  $K_B$  (vergl 2.2) per gevoeligheidsrun (links) en relatieve afwijking ten opzichte van basisrun (rechts) voor simulatie G8 in locatie OS4. Volledige set figuren in Bijlage B.7 t/m B.12.

Op gelijke wijze is het verloop van de coëfficiënten  $K_T$  (zie verg 2.3) gepresenteerd in Bijlage B.13 t/m B.18.

## 5.2 Jonswap ruwheid 0.038 (30.75 – fr=0.038)

In de WTI 2011 Westerschelde sommen is gerekend met een ruwheid behorende bij deininggolven (0.038). Hoewel een dergelijke ruwheid past bij de deining is de keuze voor een hogere ruwheid (0.067) waarschijnlijk gepaster voor het narekenen van de meetcondities zoals uitgevoerd in de huidige studie. Desondanks is de gevoeligheid van deze instelling getoetst.

Voor vrijwel alle simulaties geldt dat een lagere ruwheid leidt tot meer energie voor lage frequenties. Dit is verklaarbaar doordat langere golven een grotere orbitaalbeweging bij de bodem hebben en dus sterker worden beïnvloed door ruwheid. Daarbij leidt een lagere ruwheid uiteraard tot minder wrijvingsverlies.

Deze hogere energie bij lage frequenties is ook terug te vinden in punten aan de Oosterscheldezijde van de kering (HM7 en RO9), zodat de ratio tussen binnen en buitenzijde in SWAN ( $K_B$ ) niet significant verandert. Geconcludeerd kan worden dat de uiteindelijke transmissiecoëfficiënten  $K_T$  ( $=K_{TB}/K_B$ ) nauwelijks worden beïnvloed door de ruwheid.

### 5.3 Richtings spreiding 40° (30.75 – drsp=40)

In de huidige studie is een richtings spreiding van 30° aangehouden, welke geschat is op basis van metingen bij Deurlo (zie paragraaf 3.8). Deze schatting is onzeker, vandaar dat er in de gevoeligheidsanalyse ook gevarieerd is met een hogere richtings spreiding van 40°.

Het effect van de grotere richtings spreiding is zeer beperkt, zowel in spectra als de daarop gebaseerde ratio's. De uiteindelijke te berekenen transmissiecoëfficiënten zijn dus vrijwel ongevoelig voor de gekozen richtings spreiding.

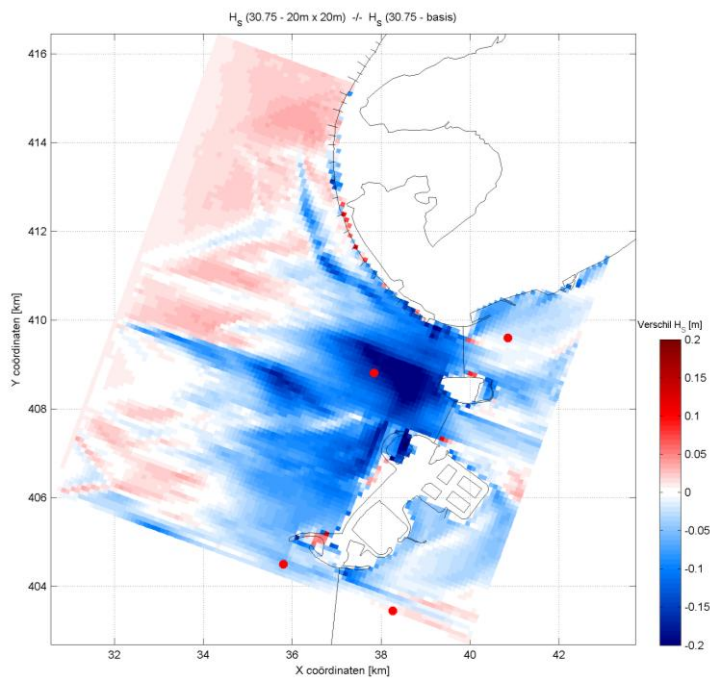
### 5.4 Roosterresolutie 20 x 20 m<sup>2</sup> (30.75 – 20m x20m)

In dit onderzoek is gerekend met een ruimtelijke resolutie van 100 x 100 m<sup>2</sup> (bodem en rooster) conform de berekeningen uit Alkyon (1998, 2005b). Dit is veel grover dan tegenwoordig als wenselijk wordt gezien voor een detailstudie als deze. In deze paragraaf wordt daarom bekeken wat het effect is van een fijnere roosterresolutie en gelijkblijvende bodemresolutie<sup>5</sup>. Voldoende resolutie is niet alleen nodig om details in de bodem mee te nemen, maar ook om golfvoortplanting over steile gradiënten goed te simuleren. Door de geulen in de Oosterscheldemonding zijn veel van die overgangen in het interessegebied aanwezig.

Uit de resultaten blijkt dat de simulatie met de hogere ruimtelijke resolutie een significante vermindering van energie geeft bij lagere frequenties; een hogere ruimtelijke resolutie lijkt hierdoor hogere golven te geven dan een fijnere ruimtelijke resolutie. De golfhoogte wordt, gebruikmakende van een hogere ruimtelijke resolutie (zoals in Alkyon, 1998 & 2005b), hierdoor waarschijnlijk overschat. Figuur 5-3 laat het ruimtelijk verschil in golfhoogte zien tussen de simulatie met de fijnere roosterresolutie en de basisrun ( $H_{m0}(20 \times 20m) - H_{m0}(basis)$ ). Het maximale verschil van de significante golfhoogte tussen beide runs bedraagt - voor tijdstip G8 en het noordelijke transmissie testmodel – maximale 48 cm.

---

<sup>5</sup> Tevens een fijnere bodemresolutie was niet mogelijk omdat SWAN 30.75 deze simulaties niet aan omdat de maximum in te stellen poolsize lager is dan de benodigde poolsize



Figuur 5-3: Verschil tussen de significante golfhoogte berekend met resolutie 20 x 20 m en de basisrun voor tijdstip G8 (30-jan-2004 9:00), noordelijk transmissie testmodel.

De significante veranderingen in de golfspectra buiten vertalen zich voor het noordelijk transmissie testmodel ook in significante veranderingen in de ratio tussen binnen en buiten ( $K_b$ ). Wellicht komt dit doordat HM7 relatief afgeschermd ligt en veranderingen door resolutiekeuze daar door bijvoorbeeld een relatief dominante windgroei anders zijn dan in OS4. Over het algemeen leidt rekenen met een hogere resolutie tot lagere waarden van  $K_b$  voor frequenties lager dan 0.1 Hz en een hogere  $K_b$  voor frequenties tussen de 0.1 Hz en circa 0.3 Hz (zie B.7 t/m B.12). In de uiteindelijke transmissiecoëfficiënt ( $K_T$ ) zal dit het omgekeerde effect hebben, een hogere transmissie bij zeer lage frequenties en een lagere transmissie bij gemiddelde frequenties.

Voor het zuidelijk model is het effect minder groot en ook minder eenduidig. Blijkbaar werkt het effect van een fijnere resolutie hier gelijkwaardig door, wat ook verklaarbaar is doordat RO7 en RO9 veel meer in elkaars verlengde liggen.

De sommen met een hogere resolutie zijn met 30 in plaats van 42 frequentiebins uitgevoerd. Dit omdat SWAN 30.75 de benodigde geheugenhoeveelheid niet aankon.

## 5.5 SWAN versie 40.72ABCDE WTI 2011 KOMEN (40.72 – KOMEN)

Deze set gevoeligheidsberekeningen betreft een andere SWAN versie uit 2008, waarop het WTI 2011 is gebaseerd, namelijk versie 40.72ABCDE.

De instellingen zijn gelijk aan de instellingen toegepast voor de Westerschelde WTI 2011<sup>6</sup> met dat verschil dat voor de windgroei en *whitecapping* gekozen is voor derde generatie instellingen volgens KOMEN (i.p.v. Westhuijsen):

```

GEN3 KOMEN
QUAD          iquad=2          lambda=0.250000      Cn14=3.00000e+07
LIMITER      ursell=10.0000        qb=1.00000

```

<sup>6</sup> Voor de gebruikte instelling in de basisrun wordt verwezen naar paragraaf 3.7.

```

FRIC JONSWAP cfjon=0.0380000
TRIAD          trfac=0.10000          cutfr=2.50000

NUM STOPC     dabs=0.00  drel=0.01  curvat=0.001  npnts=101. &
STAT          mxitst=80  alfa=0.001

```

Deze set simulaties betreft dus een onderzoek van gevoeligheid voor een combinatie van instellingen, onder andere wat betreft ruwheid, maar ook op het gebied van de verbeteringen die de SWAN code tussen 1998 en 2008 heeft doorgemaakt, zowel qua verbetering van de fysica als *bugfixes*. De roosterresolutie van 100 m x 100 m<sup>2</sup> is vastgehouden.

Uit de spectrale figuren blijkt dat de nieuwe code en nieuwe instelling tot significante afwijkingen leiden. Bij de simulaties met het noordelijke transmissie testmodel is dit vooral te zien dat dit resulteert in lagere energieën bij lage frequenties, bij het zuidelijke transmissie testmodel als minder eenduidige afwijkingen, hoewel ook de daar de verschillen vooral bestaan voor lagere frequenties.

Voor het noordelijk transmissie testmodel leiden de lagere golven in OS7 tot hogere  $K_B$  waarde, vooral tot circa 0.3 Hz. Deze verhoging zal juist leiden tot een lagere transmissiecoëfficiënt bij die frequenties. In het zuidelijk model leidt deze toepassing juist tot lagere  $K_B$  bij frequenties tot 0.2 Hz, daarna wordt het beeld minder uitgesproken en eenduidig. Voor het meetpunten paar RO9 & RO7 komt hierdoor juist een hogere transmissiecoëfficiënt uit de berekeningen voor lagere frequenties.

## 5.6 SWAN versie 40.72ABCDE WTI 2011 - WESTHUYSEN (40.72 – WESTH)

Gelijk aan voorgaande paragraaf is ook gerekend met de Westerschelde SWAN WTI 2011 versie 40.72ABCDE, maar nu *met* alle WTI 2011 instellingen geactiveerd. Deze instellingen hebben voornamelijk effect op de windgroei. Dit betekent dus dat de fysica voor golfopwekking en dissipatie door whitecapping geactiveerd is op basis van de derde generatie instellingen volgens Westhuysen. De SWAN invoer ziet er als onderstaand uit:

```

GEN3 WESTH
WCAP WESTH
          cds2=5.00000e-05 br=0.00175000 p0=4.00000
          powst=0.00000 powk=0.00000 &
          nldisp=0.00000 cds3=0.800000 powfsh=1.00000
QUAD      iquad=2 lambda=0.250000 Cn14=3.00000e+07
LIMITER  ursell=10.0000 qb=1.00000
FRIC JONSWAP cfjon=0.0380000
BREA WESTH alpha=0.960000 pown=2.50000 bref=-1.39630 &
          shfac=500.000
TRIAD     trfac=0.10000 cutfr=2.50000

NUM STOPC     dabs=0.00  drel=0.01  curvat=0.001  npnts=101. &
STAT          mxitst=80  alfa=0.001

```

Voor lage frequentie vertonen de WTI WESTHUYSEN simulaties grote overeenkomst met de WTI KOMEN simulaties. Bij hogere frequentie – waar windgroei een rol begint te spelen – laten de WTI Westhuysen simulaties significant lagere energieën zien in vergelijking met de WTI KOMEN simulaties.

Dit vertaalt zich - voor lage frequenties - in een invloed op  $K_B$  die gelijk is aan de invloed vastgesteld bij de WTI KOMEN berekeningen, zie paragraaf 5.5. Voor hogere frequentie leidt WTI WESTH vrijwel altijd tot een hogere  $K_B$  dan berekent met de basisrun. Dit zal zich vertalen in een hogere transmissiecoëfficiënt voor die frequenties.

## 5.7 Gevoeligheid met de opnieuw getunede randvoorwaarden

De gevoeligheidsanalyse is tot nu toe gericht op de gevoeligheid van de modelresultaten in de verschillende locaties. De verhouding tussen die locaties is in kwalitatieve zin besproken, maar doordat de randvoorwaarden niet opnieuw getuned zijn is een kwantitatieve gevoeligheidsanalyse van transmissiecoëfficiënten niet mogelijk.

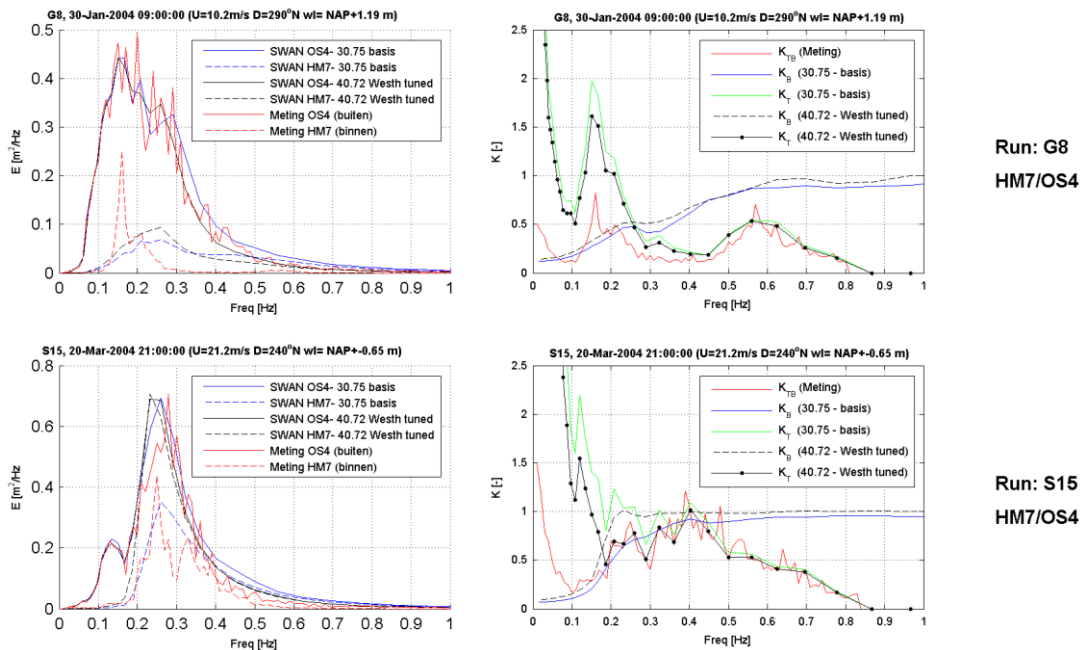
In deze paragraaf wordt een dergelijk tuning uitgevoerd voor twee gevallen:

- SWAN versie 40.72ABCDE Westhuysen whitecapping (met de Westerschelde WTI 2011 instellingen) in plaats van SWAN 30.75 (met instellingen zoals beschreven in paragraaf 3.7) met opnieuw getunede randvoorwaarden.
- Als bovenstaande maar nu met een  $20 \times 20 \text{ m}^2$  rekenrooster en opnieuw getunede randvoorwaarden.

In samenspraak met Deltares zijn alleen de tijdstippen G8 en S15 hiervoor geselecteerd. De resultaten zijn hieronder kort besproken.

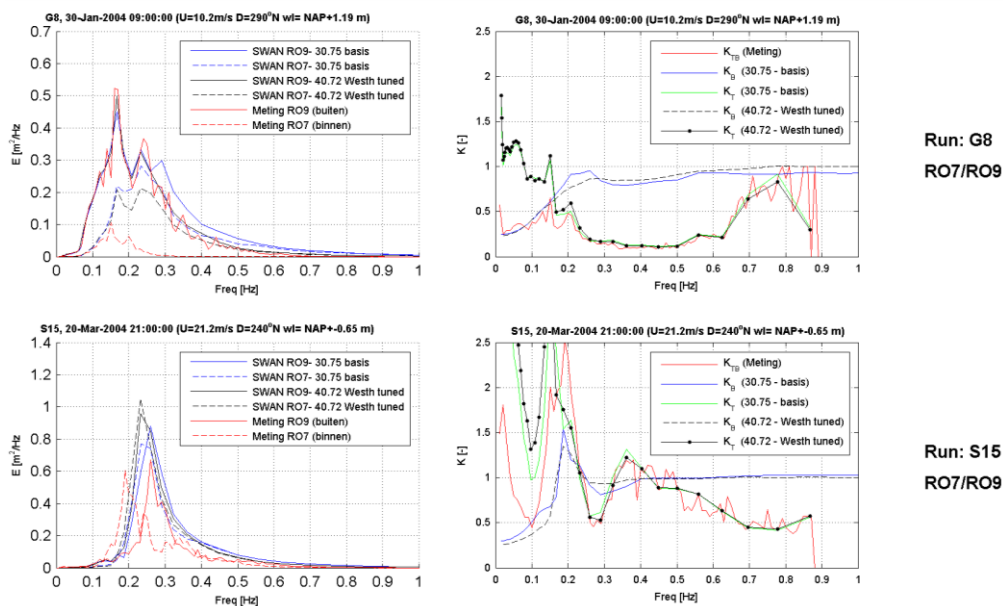
### 5.7.1 SWAN versie 40.72ABCDE WTI WESTHUYSEN (40.72 – WESTH tuned)

De randvoorwaarden zijn op gelijke wijze getuned als beschreven in hoofdstuk 4. Het noordelijke transmissie testmodel is in vijf iteraties getuned, het zuidelijk transmissie testmodel in zes iteraties. Dit is minder dan in hoofdstuk 4 doordat de getuned spectra zoals bepaald in hoofdstuk 4, als startpunt zijn gebruikt. Het resultaat kan worden gezien in onderstaande figuren door het SWAN resultaat in respectievelijk OS4 en RO9 te vergelijken met de metingen. De kwaliteit van de tuning is van de dezelfde orde als die van de tuning van de basisrun.



Figuur 5-4: Resultaten gevoeligheidsanalyse met getunede randvoorwaarden "SWAN 40.72 Westhuyjsen tuned" (run 7, zie paragraaf 5.1) noordelijk transmissie testmodel ( $100 \times 100 \text{ m}^2$ ).





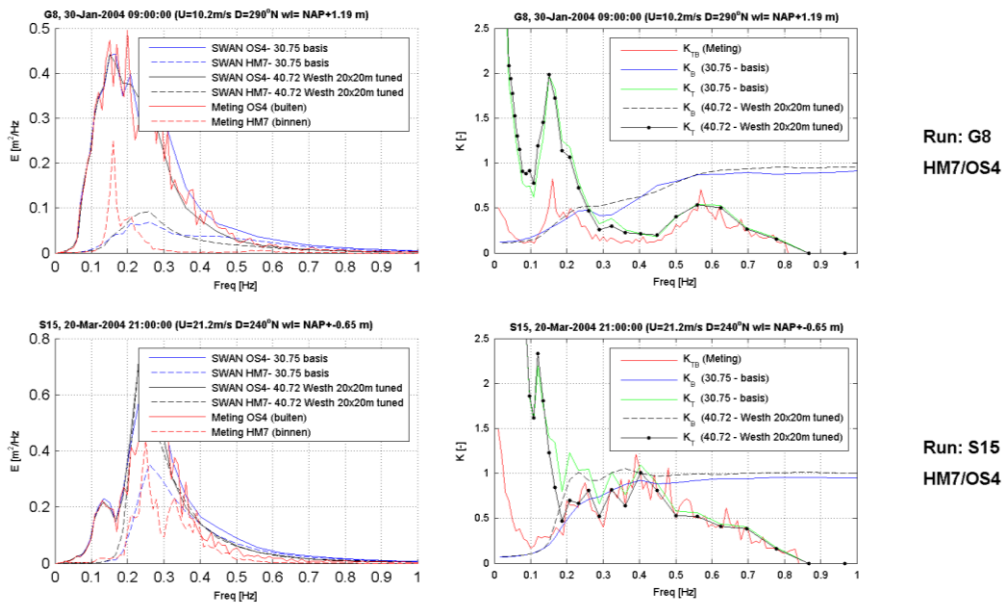
Figuur 5-5: Resultaten gevoeligheidsanalyse met getunede randvoorwaarden “SWAN 40.72 Westhuijsen tuned” (run 7, zie paragraaf 5.1) zuidelijke transmissie testmodel (100 x 100 m<sup>2</sup>).

Voor iedere simulatie zijn de resultaten vertaald naar  $K_T$  per frequentiebin. De resultaten zijn relatief gelijk voor de locaties buiten (OS4 en RO9), daarvoor is immers zowel de basisrun als de nieuwe run getuned met de meting. Voor de locatie binnen zijn de afwijkingen soms beperkt (zie G8, locatie HM7) en soms aanzienlijk (zie S15, locatie HM7). Doordat eerst de wortel van de energiedichtheden wordt genomen alvorens te delen voor het verkrijgen van de transmissiecoëfficiënten, leiden verschillen in het uitvoerpunt binnen tot kleinere afwijkingen van  $K_T$ .

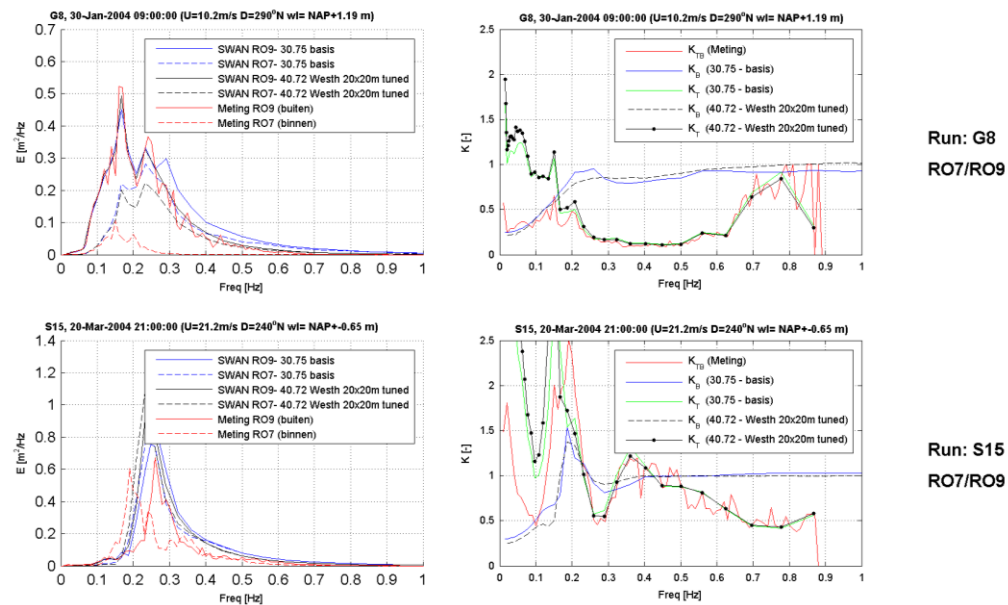
Voor het noordelijke transmissie testmodel geeft de SWAN 40.72 WTI Westhuijsen code en instellingen een lagere transmissiecoëfficiënt voor alle frequenties, met een maximum van 50% lager rond 0,2 Hz voor S15. In het zuidelijk transmissie testmodel zijn de afwijkingen minder eenduidig en ligt de maximale afwijking eerder rond de 10-20%. HM7 ligt in vergelijking met RO7 lastiger, doordat een groot deel van de golfenergie door diffractie op dit punt dient aan te komen. Diffractie wordt zowel in Alkyon (2005b) en in het transmissie testmodellen niet meegenomen. Het is echter goed mogelijk dat nieuwere versies van SWAN golven in dergelijke gebieden anders afhandelen (bijvoorbeeld door een verschil in golfenergie-diffusie). Dit kan een mogelijk oorzaak zijn van de hogere golven (en daardoor lagere transmissie) in geval van SWAN 40.72 WTI voor het noordelijke transmissie testmodel.

### 5.7.2 Roosterresolutie 20 x 20 m<sup>2</sup> (40.72 – Westh, 20x20m tuned)

Eenzelfde exercitie is uitgevoerd met een ruimtelijk rekenresolutie van 20x20 m<sup>2</sup>, waarbij de bodemresolutie gelijk is gehouden (100 x 100 m<sup>2</sup>). Ook hier zijn de randvoorwaarden getuned, echter in vier iteraties. Dit is nog minder dan voor het 100 x 100 m<sup>2</sup> model, doordat nu met het getunedede resultaat van dat laatste model is begonnen.



Figuur 5-6: Resultaten gevoeligheidsanalyse met getunede randvoorwaarden SWAN 40.72 WTI met 20x20m<sup>2</sup> rekenresolutie noordelijk transmissie testmodel.



Figuur 5-7: Resultaten gevoeligheidsanalyse met getunede randvoorwaarden SWAN 40.72 WTI met 20x20m<sup>2</sup> rekenresolutie zuidelijk transmissie testmodel.

Het vergroten van de rekenresolutie heeft ten opzichte van het veranderen van de SWAN versie weinig effect. Dit komt waarschijnlijk doordat de resultaten nu getuned zijn voor het meetpunt buiten de kering waardoor de vele ondiepe gebieden tussen dat punt en de rand van het model geen invloed meer hebben op de resultaten.

## 5.8 Conclusie gevoeligheidsonderzoek

Het gevoeligheidsonderzoek kan worden gesplitst in twee delen: ongetuned en getuned. Omdat in het eerste deel de randvoorwaarden niet zijn getuned kan geen goede vergelijking worden gemaakt met de basis run en is het moeilijk duidelijk conclusies te trekken over hoe gevoelig de uiteindelijk berekende transmissie coëfficiënt is. De analyse geeft echter wel indicaties en geeft ook aan hoe gevoelig de modelresultaten (en dus SWAN HR2006 Oosterschelde berekeningen) zijn voor bepaalde instellingen:

- Een lagere ruwheid leidt tot meer energie voor lage frequenties. Lagere ruwheid leidt immers tot minder wrijvingsverlies en langere golven worden door hun grotere orbitaalsnelheid bij de bodem meer beïnvloed door een andere ruwheid.
- Een grotere richtingsverspreiding heeft nauwelijks effect op de SWAN resultaten.
- Een fijnere ruimtelijke roosterresolutie leidt tot significante afwijkingen, vooral waar het de lange golven (lage frequenties < 0,2 Hz) betreft. Dit vertaalt zich voor het noordelijke transmissie testmodel in een hogere transmissiecoëfficiënt voor lage frequenties en een lagere voor gemiddelde frequenties; voor het zuidelijke transmissie testmodel zijn de effecten minder eenduidig.
- Over het algemeen geven de berekeningen met een vernieuwde SWAN versie in combinatie met andere instellingen (set 4 en 5) significante afwijkingen m.b.t. de spectrumvorm in de meetpunten ten opzichte van de basissimulatie. Bij de berekeningen met het noordelijke transmissie testmodel is dit vooral zichtbaar bij de voor lage frequenties en bij de berekeningen met het zuidelijke transmissie testmodel is dit ook bij de hoge frequentie te zien. Zo laten de berekeningen met het noordelijke transmissie testmodel bij de lagere frequenties (<0,2 Hz) duidelijk minder energie zien dan de basisrun. Bij de berekeningen met het zuidelijke transmissie testmodel is het beeld juist omgekeerd (meer energie berekend bij de lage frequenties)
- SWAN 40.72ABCDE WTI -WESTH (set 5) geeft voor lagere frequentie min of meer dezelfde resultaten als SWAN 40.72ABCDE – KOMEN (set 4). Voor hogere frequenties leidt de aangepaste windgroei tot significant lagere golven.

Er zijn ook een aantal gevoeligheidssimulaties gedaan waarbij de randvoorwaarden wel opnieuw zijn getuned (set 6 en 7):

- Al met al kan worden geconcludeerd dat – in geval van tuning – de berekende transmissiecoëfficiënten enigszins gevoelig zijn voor de gekozen SWAN versie (voor bepaalde runs tot 50%, over het algemeen tussen de 10 en 20%), en in veel mindere mate voor de resolutie.

Tot slot dienen deze gevoeligheden in perspectief te worden geplaatst. De transmissie testmodellen zijn zoveel mogelijk gelijk gekozen aan het HR2006 Oosterschelde model. 'Fouten' die in de transmissie testmodellen worden gemaakt in de berekening van de voortplanting van golven door de kering uitsluitend beïnvloed door de bodem ( $K_B$ ), worden ook gemaakt in de effectberekeningen. Aangezien deze fouten worden verwerkt in een  $K_T$ , corrigeren ze uiteindelijk de fouten in de effectberekeningen. Aangenomen wordt dat het effect van die fouten op de uitvoerlocaties bij extreme omstandigheden (ten behoeve van afleiding toets en ontwerprandvoorwaarden) in relatieve zin gelijk is, aan de werking van die fouten die nu gemaakt zijn in de testmodellen bij normale omstandigheden (zoals beschouwd in de meetsituaties). Deze aanname is zeer onzeker.



## 6 AFLEIDING GOLFTRANSMISSIE DOOR DE OOSTERSCHELDEKERING

In dit hoofdstuk worden de frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënten afgeleid. Dit zal mede gebeuren op basis van de figuren in Bijlage C. Hier is de ratio tussen zeewaartse punten (OS4 en RO9) en de punten binnen de kering (HM7 en RO7) voor zowel SWAN als metingen gepresenteerd. De eerste ratio ( $K_B$ ) is het quotiënt van de berekende frequentieafhankelijke energiedichtheid van de locaties oost- en westwaarts van de kering (zie vergl 2.2). De tweede ratio ( $K_{TB}$ ) is het quotiënt van de gemeten frequentieafhankelijke energiedichtheid tussen de locaties oost- en westwaarts van de kering (zie vergl 2.1). Door de  $K_{TB}$  door  $K_B$  te delen, verkrijgen we  $K_T$ , ofwel de transmissiecoëfficiënt (zie vergl 2.3).

### 6.1 Geselecteerde simulaties voor bepaling transmissiecoëfficiënten

Er kan uitsluitend een transmissiecoëfficiënt worden bepaald op basis van een consistent beeld tussen verschillende runs. Een voorbeeld van inconsistentie is bijvoorbeeld dat vrijwel alle noordelijke runs een hoge transmissie laten zien bij hoge frequenties, maar dat deze piek steeds op andere frequentie valt: rond de 0.6 Hz voor G2-4 en G12 maar juist rond de 0.3 Hz voor S6, G9 en G11. Deze verschillen zijn niet te correleren met richtingen en waterstanden. Ook dient duidelijk te zijn dat de afgeleide transmissiecoëfficiënt daadwerkelijk het gevolg is van transmissie en niet uitsluitend wordt veroorzaakt door ongerelateerde verschillen tussen SWAN en werkelijkheid. Een groot deel van de simulaties zijn om deze reden uitgesloten. In Bijlage C, zijn dergelijk runs gemarkeerd met een rood kruis, simulaties die wel zijn meegenomen zijn aangegeven met een groene vink.

Besloten is alle simulaties van het noordelijke transmissie testmodel niet mee te nemen. HM7 ligt deels in de luwte van Schouwen-Duivenland en OS4 ligt op een ondiepte tussen de twee noordelijke keringopeningen in en dan nog wel op de zuidelijke kant daarvan. Er is geen reden om aan te nemen dat het verschil in ratio tussen OS4 en HM7 tussen meting en simulatie grotendeels wordt veroorzaakt door transmissie van golven door de kering. Dit blijkt ook als de uitgerekende transmissiecoëfficiënten met elkaar worden vergeleken. Er is geen consistentie tussen de verschillende tijdstippen, noch voor lage frequenties, noch voor hogere frequenties waar de invloed van wind duidelijk de uitgerekende transmissiecoëfficiënten 'vervuilt'.

Voor het zuidelijke transmissie testmodel zijn alle simulaties uitgesloten met een windsnelheid boven de 11 m/s. Dit is overigens consistent met Alkyon (2005a), waar dezelfde runs ook niet zijn meegenomen. Het is namelijk duidelijk dat voor iets hogere frequenties de afwijkingen door windgroei de transmissiecoëfficiënten 'vervuilen'. Ze komen dikwijls boven de 1 uit (voor momenten S1, G2, S6, G9, S10, S11, G12 en S15) en valt er weinig consistentie te ontdekken tussen de verschillende simulaties met hoge winden.

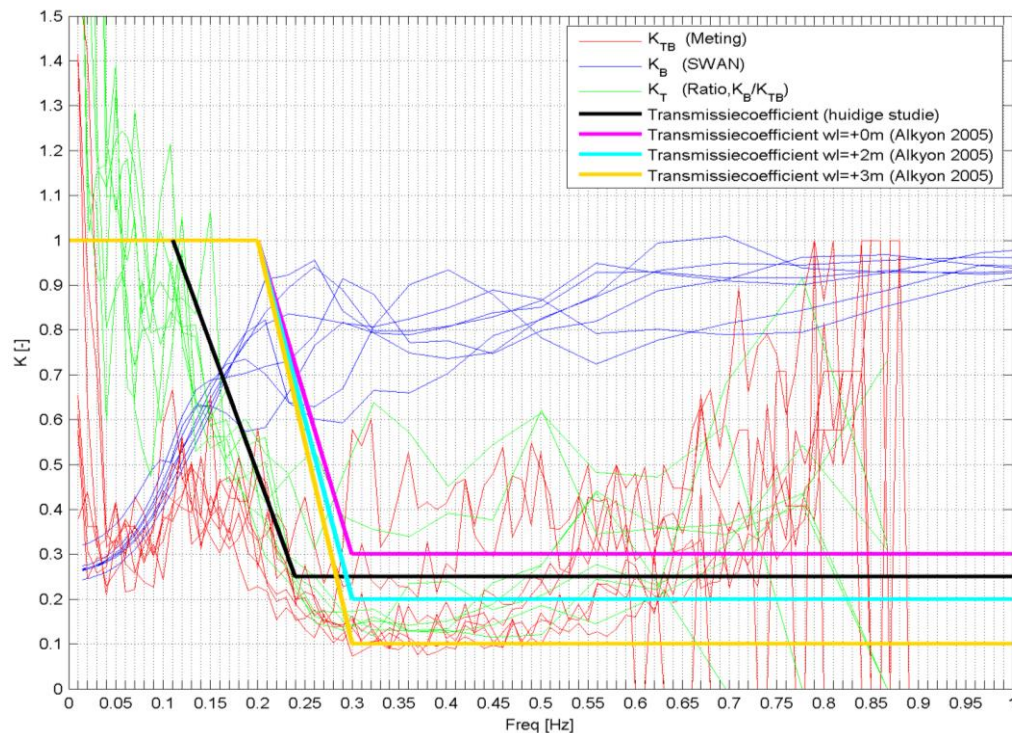
Zo zijn uiteindelijk 7 tijdstippen geselecteerd om de transmissiecoëfficiënten te bepalen te weten; G3, G4, G5, G7, G8, G13 en G14 met het zuidelijke transmissie testmodel.

Door het uitsluiten van zoveel simulaties is het onmogelijk om onderscheid te maken tussen verschillende waterstanden en/of winden. Daarvoor is de variatie van condities binnen de overgebleven simulaties simpelweg te klein.

### 6.2 Bepaling frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënten op basis van geselecteerde simulaties

De quotiënten van de 7 overgebleven gesimuleerde momenten (zuidelijk transmissie testmodel, met windsnelheden lager dan 11 m/s), zijn allen weergegeven in Figuur 6-1. Er zijn een aantal duidelijke

trends zichtbaar. Zo zijn voor lage frequenties de transmissiecoëfficiënten hoog (zelfs groter dan 1, wat uiteraard niet realistisch is). Bij hogere frequenties is er een snelle afname, waarna de coëfficiënten ongeveer constant blijven bij frequenties boven 0,25 Hz.



Figuur 6-1: Nieuwe frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënten geplot met de daarvoor geselecteerde simulaties en de coëfficiënten van Alkyon (2005a).

Bij de het kiezen van een frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënt zijn de volgende overwegingen meegenomen:

- De resultaten zoals weergegeven in Figuur 6-1 geven voor frequenties boven de 0.25 Hz over het algemeen een transmissiecoëfficiënt lager dan 0.25. Twee simulaties geven in deze range significant hogere transmissies: G5 en G14. Deze situaties betreffen samen met G13 de kleinste golven uit de set (significante golfhoogte van 0.63 m en 0.61 m voor resp. G5 en G14). Aan de resultaten van deze simulaties wordt daarom minder gewicht toegekend.
- Na 0.55 Hz geven veel simulatiemomenten weer hogere transmissiecoëfficiënten. Er is geen fysische reden dat de kering daadwerkelijk meer van dergelijke golven doorlaat. Het is waarschijnlijk dat het hier gaat om lokale golven door windgroei. Er wordt dan ook geen hogere transmissiecoëfficiënt opgegeven voor hogere frequenties.

De trends in Figuur 6-1 zijn – met behulp van bovenstaande overwegingen en – ‘op het oog’ in formulevorm gezet, waardoor de onderstaande nieuwe set transmissiecoëfficiënten wordt verkregen:

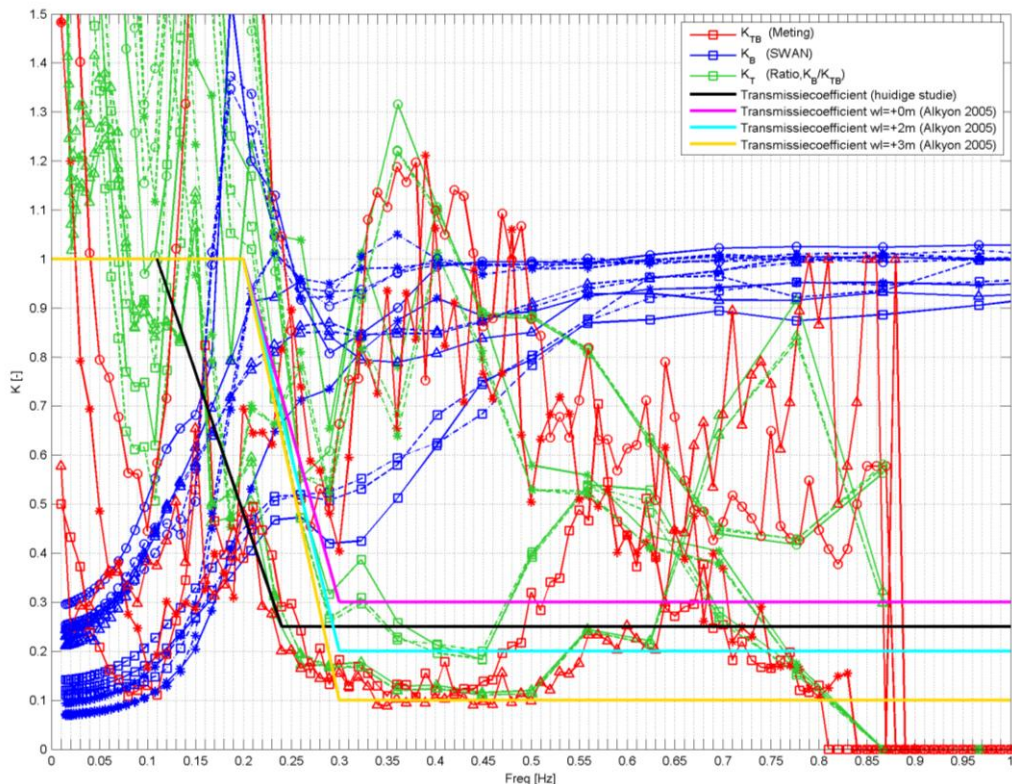
$$K_t(freq) = \begin{cases} 1 & \text{voor } freq < 0.11 \\ -5.77freq + 1.63 & \text{voor } 0.11 \leq freq < 0.24 \\ 0.25 & \text{voor } freq \geq 0.24 \end{cases} \quad \text{Verg. 6.1}$$

Zoals eerder gezegd kan er geen onderscheid worden gemaakt op basis van de metingen tussen situaties met andere waterstanden en winden. Daarvoor is de variatie binnen de momenten simpelweg te klein. Het onderscheid dat Alkyon(2005a) heeft gemaakt tussen verschillende waterstanden is gebaseerd op eerdere theoretische inzichten en wordt niet ondersteund door de



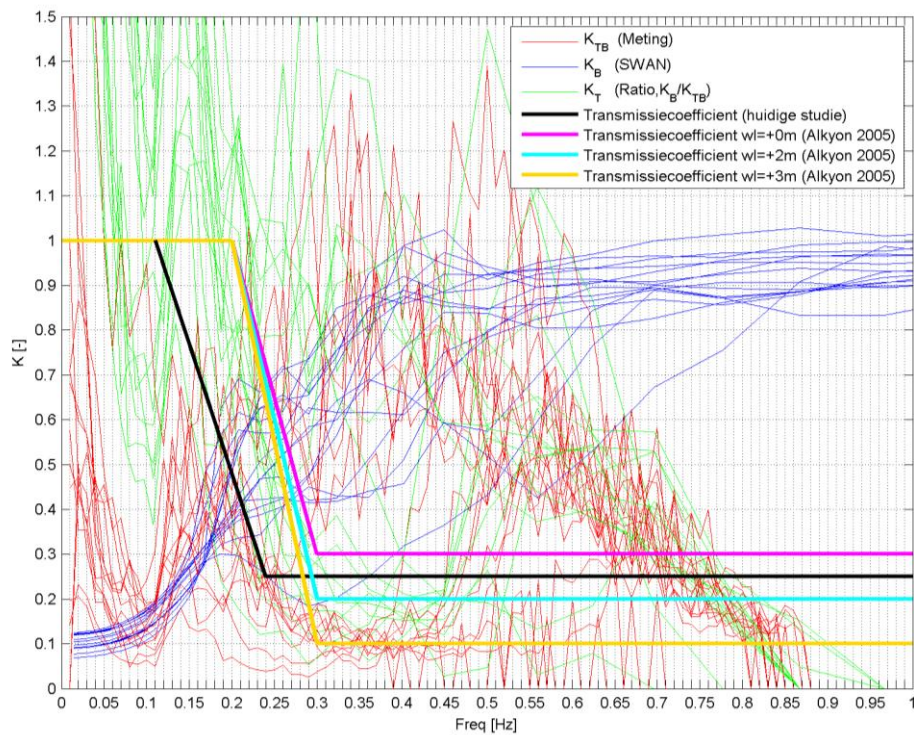
beschikbare data. Mogelijkheden om ook een dergelijke verfijning te maken op basis van analytische en semi-analytische overwegingen zijn verkend in het volgende hoofdstuk.

Bovenstaande formulering kan worden vergeleken met de resultaten van de eerder uitgevoerde gevoeligheidsanalyse, zie Figuur 6-2. De getunede gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd met de situaties G08 en S15. Hierbij dient te worden opgemerkt dat uitsluitend G08 voor het zuidelijk transmissie testmodel is weergegeven in Figuur 6-1 en dus is gebruikt voor de afleiding van de transmissiecoëfficiënten (tijdstip S15 is niet geselecteerd als bruikbaar tijdstip voor de afleiding van de transmissiecoëfficiënt, zie paragraaf 6.1). Zoals eerder opgemerkt in Hoofdstuk 5 is gevoeligheid van de gevonden transmissiecoëfficiënten voor de onderzochte factoren klein. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat door gebruik te maken van een ander model (SWAN 40.72 WTI) of een hogere ruimtelijke resolutie (20x20 m<sup>2</sup>) een andere set transmissiecoëfficiënten wordt gevonden.

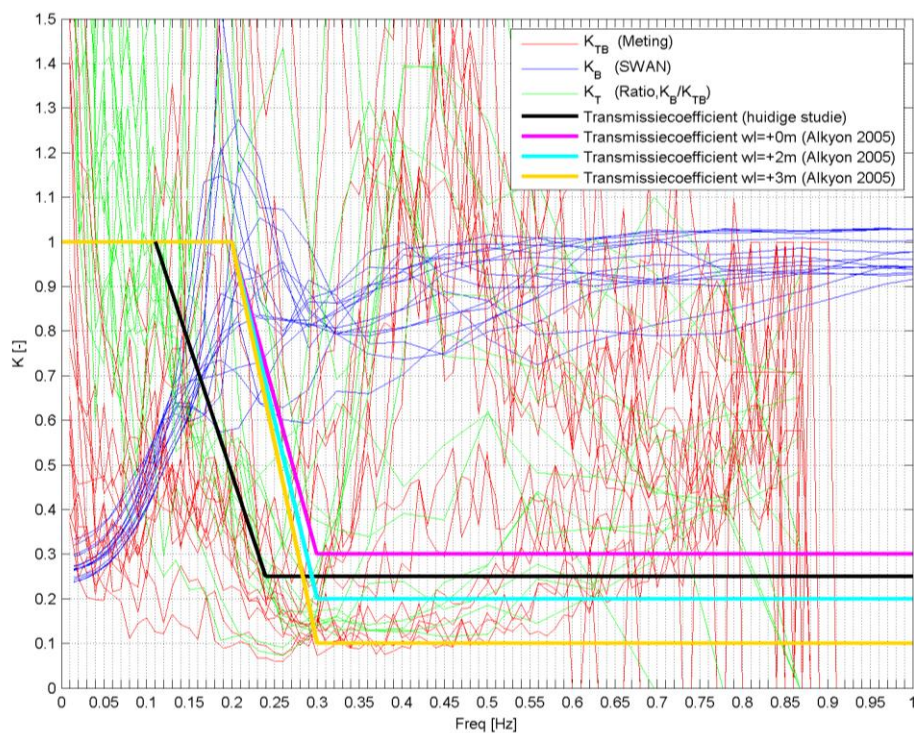


*Figuur 6-2: Gevonden transmissiecoëfficiënten ten opzichte van de vier geselecteerde momenten voor de getunede gevoeligheidsanalyse: G08 noordelijk ( $\square$ ), S15 noordelijk (\*), G08 zuidelijk ( $\Delta$ ) en S15 zuidelijk (o). Het lijntype geeft de modelinstellingen: 30.75-basis (doorgetrokken), 40.72-westh (onderbroken), en 40.72-westh 20x20 (punt streep).*

Voor de volledigheid zijn alle simulaties samen (apart voor het noordelijke en zuidelijke transmissie testmodel, ook de 'afgekeurde') weergegeven in de onderstaande figuren samen met de opnieuw bepaalde transmissiecoëfficiënt en die van Alkyon (2005a).



Figuur 6-3: Gevonden transmissiecoëfficiënten ten opzichte van alle 15 simulatiemomenten met het noordelijk transmissie testmodel.



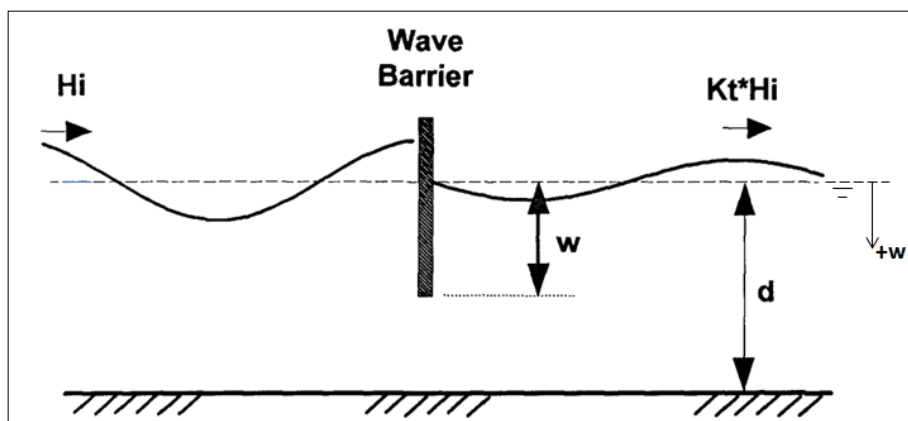
Figuur 6-4: Gevonden transmissiecoëfficiënten ten opzichte van alle 15 simulatiemomenten met het zuidelijk transmissie testmodel.



## 7 INVLOED BOVENBALK OOSTERSCHELDEKERING

De Oosterscheldekering is – wat betreft de transmissie van golven – complex doordat golven ook van de bovenkant worden geblokkeerd door de aanwezigheid van de bovenbalk van de kering, welke zich bevindt op ongeveer 1m + NAP. Dit betekent dat golven bij een hogere waterstand dan NAP+1m extra uitdemping ondergaan. Ook bij waterstanden lager dan 1m + NAP kunnen golftoppen weerstand ondervinden van de verticale blokkering van de bovenkant van de kering. Door het geringe aantal meetgegevens, en de beperkte variatie van waterstand daarbinnen, is het lastig om op basis van empirie (van de Oosterscheldekering) uitspraken te doen over de invloed van de bovenkant van de kering. In dit hoofdstuk is kort ingegaan op theoretische en eerdere empirische onderzoeken in deze, en de mogelijke gevolgen die dit kan hebben voor de in Hoofdstuk 0 afgeleide transmissiecoëfficiënten. Het belangrijkste doel van dit hoofdstuk is om te onderzoeken of er wellicht een maximum zit aan de transmissie onder een balk, welke – eventueel voor verschillende waterstanden - in de formulering kan worden gebracht. In dit hoofdstuk wordt uitsluitend gekeken naar een verticaal obstakel van boven (bovenbalk) en niet van onder (de drempel op de bodem van de kering).

Eén van de eerste en meest invloedrijke onderzoekers die zich met het probleem van golftransmissie onder verticale obstakels door heeft bezig gehouden is Wiegel (1960). Zijn concept is gebaseerd op het blokkeren van het bovenste gedeelte van de kinetische energie in een golf. De methodiek gaat uit van de geschematiseerde situatie als afgebeeld in Figuur 7-1.



Figuur 7-1: Definitie van golfinteractie met een verticaal obstakel (aangepast van Kriebel en Bollmann 1996).

De formulering van de transmissie van golfhoogte is dan als volgt:

$$K_t = \sqrt{T_f} \quad \text{verg. 7.1}$$

$$T_f = \frac{2k(d-w) + \sinh 2k(d-w)}{2kd + \sinh 2kd} \quad \text{verg. 7.2}$$

Met:

$K_t$  : transmissiecoëfficiënt zoals veroorzaakt door obstakel (-).

$T_f$  : transmissiefunctie (-)

$k$  : golfgetal (-) =  $2\pi/\lambda$

$\lambda$  : golflengte (m)

$d$  : waterdiepte (m)

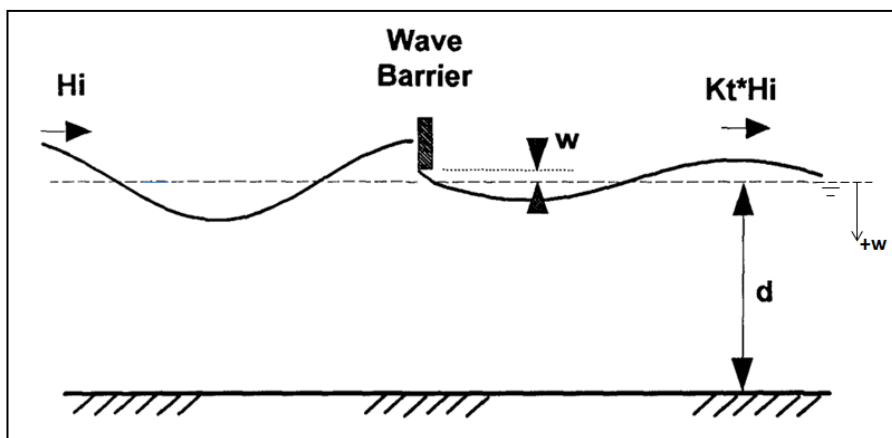
$w$  : diepgang van obstakel ten opzichte van waterspiegel (m)

Sinds 1960 zijn meer meetgegevens ter beschikking gekomen en heeft men ingezien dat de formulering van Wiegel over het algemeen de transmissie overschat (Kriebel en Bollmann, 1996). Als reactie op Wiegel (1960) zijn verschillende - vaak relatief complexe - oplossingsmethoden voorgesteld, zie bijvoorbeeld Porter en Evans (1995). Gegeven de beperkte scope van deze studie is

hier gekozen voor een aangepaste formulering van Wiegel, namelijk die van Kriebel en Bollman (1996), welke is gevalideerd voor drie verschillende empirische datasets (hierin is  $T_f$  als in verg. 7.2):

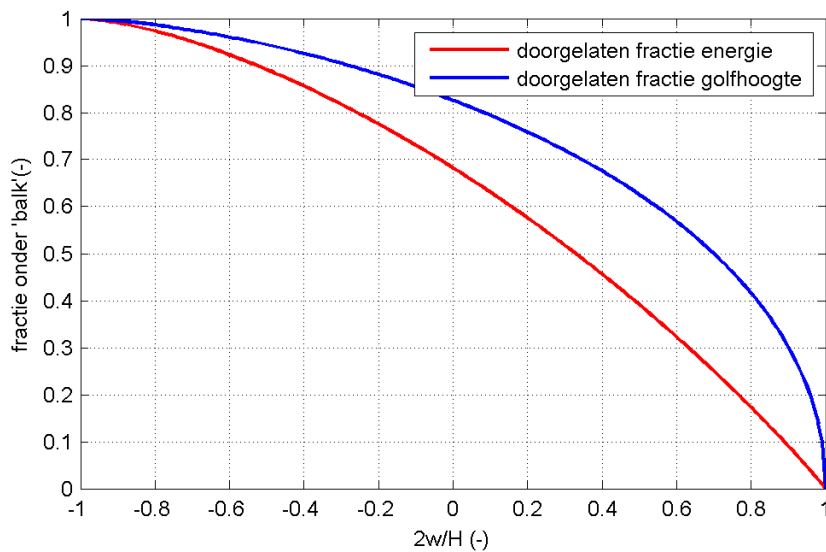
$$Kt = \frac{2T_f}{1+T_f} \quad \text{verg. 7.3}$$

In beginsel geeft bovenstaande formulering informatie over de frequentieafhankelijke transmissie van golven onder de Oosterschelde schuiven door. Er is echter een complicatie: in de transmissiefunctie is de diepgang van het obstakel ten opzichte van de gemiddelde waterstand gedefinieerd. Dit zou, in geval van de Oosterscheldekering, betekenen dat bij een waterstand van 0.90m + NAP – nog tien centimeter onder de bovenbalk van de kering – bij een golf van drie meter een transmissie van 100% worden berekend. Dit is niet realistisch, maar juist wel van groot belang voor de Oosterscheldekering waar de waterstand vaak in de buurt van de bovenbalk komt. De formulering dient te worden uitgebreid voor negatieve waarden van de diepgang van obstakel tot een maximum van de halve golfhoogte, zie Figuur 7-2.



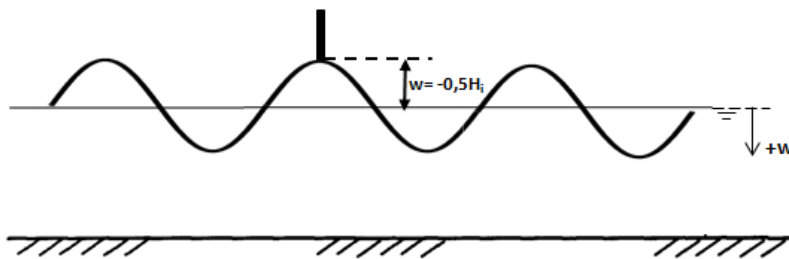
Figuur 7-2: Definitie van golfinteractie met een verticaal obstakel met negatieve  $w$  (aangepast van Kriebel en Bollmann 1996).

De methodiek van Wiegel (en de daarvan afgeleide methodiek van Kriebel en Bollmann) is gebaseerd op de blokkering van een deel van de kinetische energie in een golf. Als nu aangenomen wordt dat de snelheden binnen de golven (ver voor het obstakel) boven het dal constant zijn, is de verdeling van kinetische energie daar uitsluitend afhankelijk van de volumeverdeling van het water in de golf over de verticaal. Hiermee is de verdeling van de energie van de golf, welke tegen het obstakel komt, bekend. Deze verdeling is – voor een sinusoidale golf – in rood afgebeeld in Figuur 7-3. Gezocht wordt naar de transmissie van golfhoogte en niet van energie, om deze reden dient de wortel van de energiefractie te worden genomen, welke is afgebeeld als blauwe lijn in Figuur 7-3.



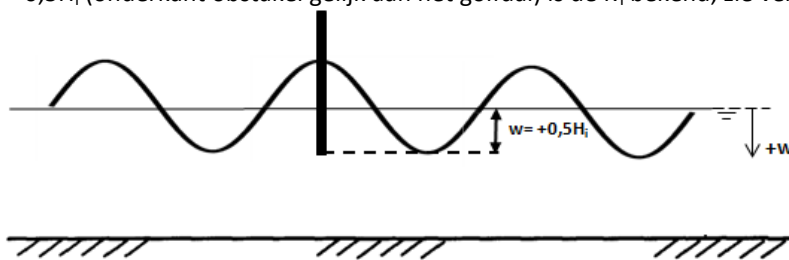
Figuur 7-3: Energiefractie zoals bestaat onder de balk bij een betaalde steekdiepte van die balk.

Bij  $w \leq -0,5H_i$  (onderkant obstakel ligt  $\frac{1}{2}$  \* inkomende golfhoogte boven de gemiddelde waterstand) kan de inkomende golf zich ongestoord voortplanten wat betekent dat de transmissie 100 % is. Met andere woorden de  $K_T=1$ , zie Figuur 7-4.



Figuur 7-4: Situatie bij balk boven de golftop, transmissie = 1.

Bij  $w = 0,5H_i$  (onderkant obstakel gelijk aan het golfdal) is de  $K_T$  bekend, zie verg 7.3, zie Figuur 7-5.



Figuur 7-5: Situatie bij balk gelijk aan golfdal, transmissie is als Kriebel en Bollman (1996).

Daartussen wordt op basis van de relatie in Figuur 7-3 gewogen geïnterpoleerd. De formulering wordt dan als volgt:

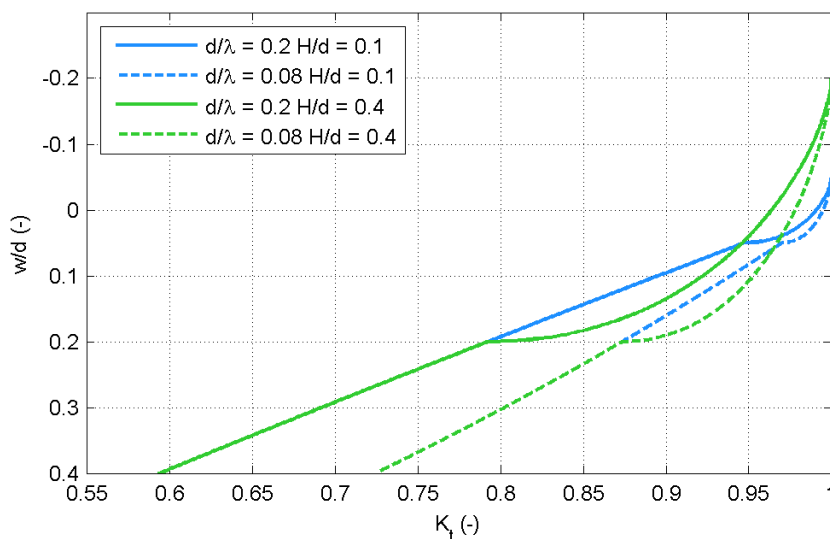
$$K_t(w, H_i) \begin{cases} 1 & \text{voor } w \leq -\frac{1}{2}H_i \\ 1 - G\left(1 - \frac{2T_f}{1+T_f}\right) & \text{voor } -\frac{1}{2}H_i < w \leq \frac{1}{2}H_i \text{ met } T_f \text{ op basis van } w = \frac{1}{2}H_i \\ \frac{2T_f}{1+T_f} & \text{voor } w > \frac{1}{2}H_i \end{cases} \quad \text{Verg. 7.4}$$

Met G een wegingfunctie (gebaseerd als het oppervlakte onder een bepaalde fractie van de sinusfunctie):

$$G = 1 - \sqrt{1 + \frac{-2 \sqrt{1 - \left(\frac{2w}{H_i}\right)^2} - 4 \frac{w}{H_i} \arccos\left(\frac{2w}{H_i}\right)}{2\pi}}$$

Verg. 7.5

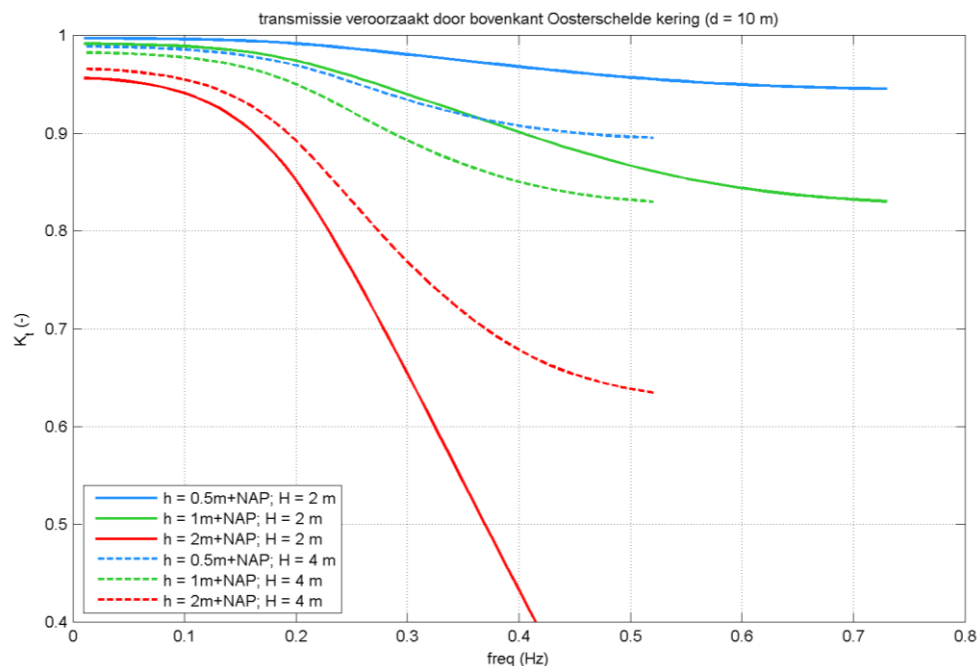
De nieuwe formulering verg. 7.4 & 7.5 is in Figuur 7-6 uitgezet, voor verschillende combinaties van golflengte en diepte ( $d/\lambda$ ). Lange golven hebben duidelijk een hogere transmissie. Verder is te zien dat als de steekdiepte van het obstakel groter is dan een halve golfhoogte, transmissie uitsluitend nog afhankelijk is van golflengte. Als de steekdiepte kleiner is dan het golfdal neemt transmissie snel toe, aangezien grote delen van de golf dan onder de kering door kunnen lopen (dit is de knik in de lijnen in Figuur 7-6).



Figuur 7-6: Voorbeeld toepassing aangepaste Kriebel en Bollmann methodiek voor transmissie onder verticaal obstakel.

Bovenstaande methodiek is toegepast op een schematische Oosterscheldekering. De drempelhoogte (op de bodem) varieert van circa 6 – 12 m, hier is 10 m aangenomen. Deze diepte is gebruikt als uniform geldend, transmissie hierover wordt immers in de rest van dit document behandeld. Het verticale obstakel loopt tot NAP+1m.

Nu is voor een combinatie van golfhoogten en waterstanden de transmissie uitgerekend zoals afhankelijk van de golfrequentie, waarvan het resultaat is weergegeven in Figuur 7-7. Ook hier is duidelijk te zien dat lange golven minder last hebben van het verticaal obstakel dan korte golven. Daarnaast is het waarneembaar dat vooral kortere golven hoge uitdemping ervaren bij een waterstand van NAP+2m. Aangezien de metingen voor uiteenlopende waterstanden worden verstoord door hoge windsnelheden (zie sectie 6.1), is het niet mogelijk om deze hypothese kwantitatief te controleren (voor een correcte vergelijking dient natuurlijk ook de invloed van onderkant van de kering en de pilaren van de kering meegenomen te worden). Voor waterstanden rond de NAP+1m blijft additionele uitdemping tot circa 5% voor golven met een frequentie van 0.2 Hz en tot circa 17% voor golven met frequenties boven de 0.5 Hz. Voor lagere waterstanden is de uitdemping kleiner. Niet alle resultaten van de aangepaste methodiek zijn verklaarbaar, zo is de grotere uitdemping van golven van 4m ten opzicht van golven van 2 m, bij een waterstand van NAP+1m discutabel.



Figuur 7-7: Voorbeelden toepassing aangepaste Kriebel en Bollmann methodiek voor transmissie onder Oosterscheldekering, waarbij  $h$  de waterstand betreft en  $H$  de golfhoogte. Waar de lijnen ophouden wordt de golfsteilheid groter dan 0.7.

De bovenkant van de Oosterschelde kering zal zeker een rol spelen in het dempen van golven. Vooral voor korte golven is de demping significant en wellicht de belangrijkste factor in de geobserveerde blokkade van dergelijk golven in de metingen. Bovenstaande methodiek geeft een eerste schatting van deze demping. Over het algemeen kan gesteld worden dat de maximale transmissie door alleen de bovenbalk boven de transmissie uitgerekend in Hoofdstuk 6 valt. Uitsluitend bij lage frequenties (tot 0.11) is de transmissie lager dan de 1 die voorgesteld is, maar dit is verwaarloosbaar. Op basis van bovenstaande kan de formulering uit Hoofdstuk 6 voor de totale transmissie dus niet worden aangepast.

Een analytische afleiding van de transmissiecoëfficiënten – als vervanger van de empirische afleiding zoals in de rest van deze rapportage beschreven – kan overwogen worden. Het verdient de aanbeveling om de methodiek verder uit te werken. Bijvoorbeeld door rekening te houden met de orbitaalbeweging binnen golftoppen. Ook is het verstandig om de uitdemping van boven te combineren met de uitdemping door de drempel vanaf de bodem in de Oosterscheldekering. Mogelijke aanknopingspunten daarvoor zijn de te vinden in Porter en Evans (1995).





## 8 EFFECTBEREKENINGEN MET SWAN HR2006 OOSTERSCHELDE MODEL EN NIEUWE TRANSMISSIE DOOR KERING

### 8.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de opzet van de SWAN effectberekeningen met het HR2006 Oosterschelde model en de verbeterde implementatie van en transmissie door de kering (zie paragraaf 6.2), zodat een indicatie kan worden gegeven van het effect van deze nieuwe transmissie op de huidige toets- en ontwerpwaarden langs de Oosterschelde. De SWAN effectberekeningen zijn gelijk aan de SWAN berekeningen uit Alkyon (2005b) met het enige verschil dat in de huidige studie gebruik is gemaakt van een nieuwe transmissieformulering door de kering en een correcte weergave van de kering (zie paragraaf 3.4). De verschillende rekenroosters, instellingen, naamgeving, etc. zijn identiek zijn aan Alkyon (2005b). Voor de volledigheid zijn deze in dit hoofdstuk nogmaals beschreven.

In Svašek (2010) zijn onvolkomenheden uit Alkyon (2005b) naar voren gekomen. Ook in de huidige studie zijn een aantal problemen ontdekt: zoals gebrekkig iteratiegedrag, onvoldoende resolutie en een verouderde SWAN versie. Om consistentie met de berekeningen uit Alkyon (1998 & 2005b) te behouden is gekozen om de bekende onvolkomenheden in de huidige studie weer toe te passen. Op deze manier is een zuivere vergelijking mogelijk, maar de absolute resultaten kunnen niet in de praktijk worden toegepast.

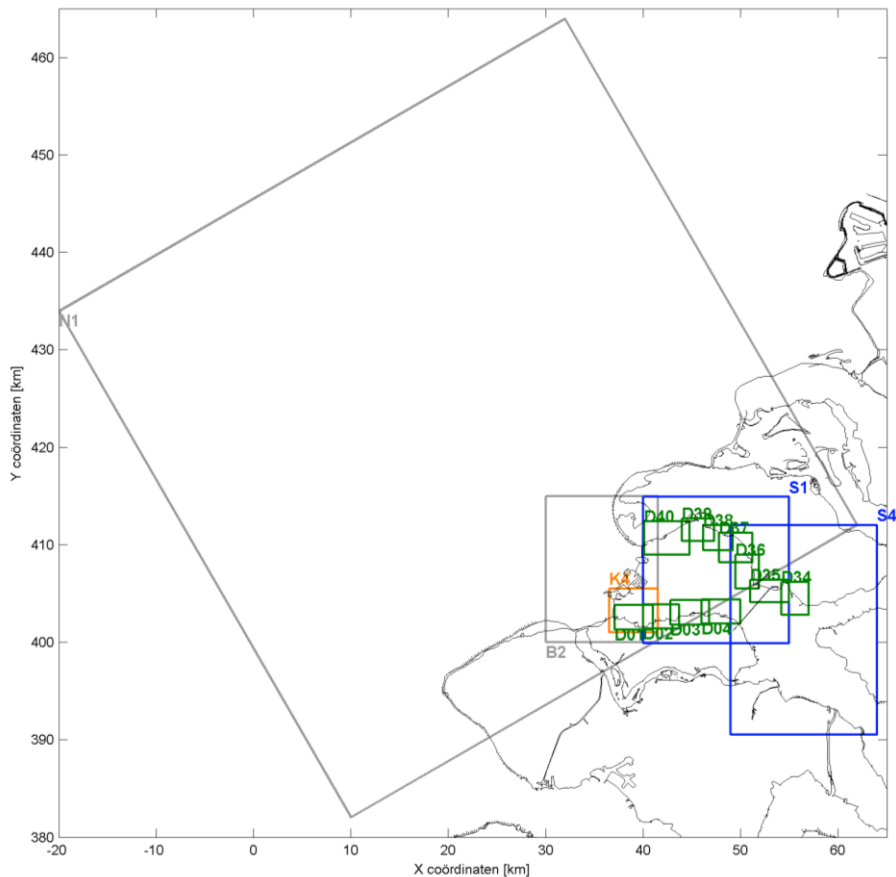
### 8.2 Rekenroosters

Op verzoek van Deltares zijn de rekenroosters van Alkyon (1998, 2005b) gebruikt, zie voor meer detail Alkyon (1998, 2005b). Om een indicatie te kunnen geven van het effect van de nieuwe implementatie van en transmissie door de kering op de huidige toets- en ontwerpvoorwaarden, zijn alleen de berekeningen voor de westelijke winden (alleen de roosters die het invloedsgebied van de kering betreffen) opnieuw uitgevoerd. In de huidige studie zijn zowel aan de noord- als de zuidoever van de Oosterschelde dijkvakken - aan beide zijden over een afstand vanaf de Oosterscheldekering tot ca. 12km oostwaarts - beschouwd. Aan de noordoever komt dit overeen met dijkvak 171c (km 0.00) t/m dijkvak 167a (km 12.20), ofwel de uitvoerpunten 913 t/m 959, welk traject bestaat uit een 10-tal dijkvakken. Aan de zuidoever loopt het beschouwde traject van dijkvak 1 (km 194.86) t/m dijkvak 18 (km 182.50), ofwel de uitvoerpunten 1 t/m 46, welk traject bestaat uit een 20-tal dijkvakken. De dijkvakken langs de zuidoever zijn daarmee wat korter dan aan de noordoever (zie voor meer detail paragraaf 0).

In de huidige studie zijn de rekenroosters N1, B2, S1, K4, D01, D02, D03, D04, D34, D35, D36, D37, D38, D39, D40 gebruikt, zie Figuur 8-1. (NB. De berekeningen met rekenrooster N1 zijn ook opnieuw uitgevoerd<sup>7</sup> aangezien de randvoorwaarden voor rekenrooster B2 uit Alkyon (2005b), niet meer te achterhalen waren). In Bijlage D zijn de binnenste rekenroosters gepresenteerd, hierin zijn in het rood de uitvoerpunten weergegeven waar deze studie zich tot beperkt. Tevens zijn de numerieke kenmerken van de gebruikte rekenrooster in deze bijlage te vinden.

---

<sup>7</sup> Bij de controle van de berekeningen met het N1 rekenrooster is naar voren gekomen dat de resultaten uit Alkyon 1998 & 2005b) met dit rekenrooster niet te reproduceren zijn. Wel zijn de verschillen beperkt en (maximaal orde centimeters)



Figuur 8-1: De rekenroosters die het invloedsgebied van de kering betreffen (conform Alkyon, 2005b)

### 8.3 Toegepaste SWAN versies

In Alkyon (1998) zijn de berekeningen uitgevoerd met de SWAN versie 30.62, daarentegen is in Alkyon (2005b) SWAN versie 30.75 gebruikt. Deze versies zijn numeriek en qua fysica vrijwel gelijk aan elkaar, echter is bij het versie 30.75 mogelijk om spectrale invoer op de rand van het model in te lezen, wat benodigd is voor de uit te voeren berekeningen in Alkyon (2005b) en in de huidige studie.

Daarnaast is in Alkyon (2005b) voor de rekenroosters B2 en K4 – waar de Oosterscheldekering in zit – een aangepaste versie van de SWAN 30.75 (SWAN 30.75t) gebruikt waarin de in Alkyon (2005a) vastgestelde transmissie door de kering hard geprogrammeerd is. In de huidige studie is deze SWAN code aangepast met de in paragraaf 6.2 herbepaalde transmissie door de kering (Swan256v3075\_sv14.exe).

Tijdens deze implementatie van de herbepaalde transmissie is naar voren gekomen dat de transmissie door de kering in de executabel van Alkyon (2005b) - SWAN 30.75t – niet overeen komt met de gedocumenteerde transmissie (zie Tabel 2.2 uit Alkyon, 2005b). Naast het feit dat de laatste kolom uit Tabel 2.2 zegt betrekking te hebben op een waterstand NAP+4 m i.p.v. NAP+3 m, wat waarschijnlijk een schrijffout is (in de tekst boven de tabel staat het wel correct), zijn de verlopen in transmissiecoëfficiënten tussen frequenties en waterstanden opgegeven op basis van golfhoogte ( $K_{th}$ ), terwijl SWAN rekent op basis van golfenergie ( $K_{te}$ ). In Figuur E.1 in Bijlage E is dit verschil weergegeven. Hierbij hebben de doorgetrokken lijnen betrekking op de gedocumenteerde transmissie en de stippellijnen op de daadwerkelijk toegepaste transmissie.

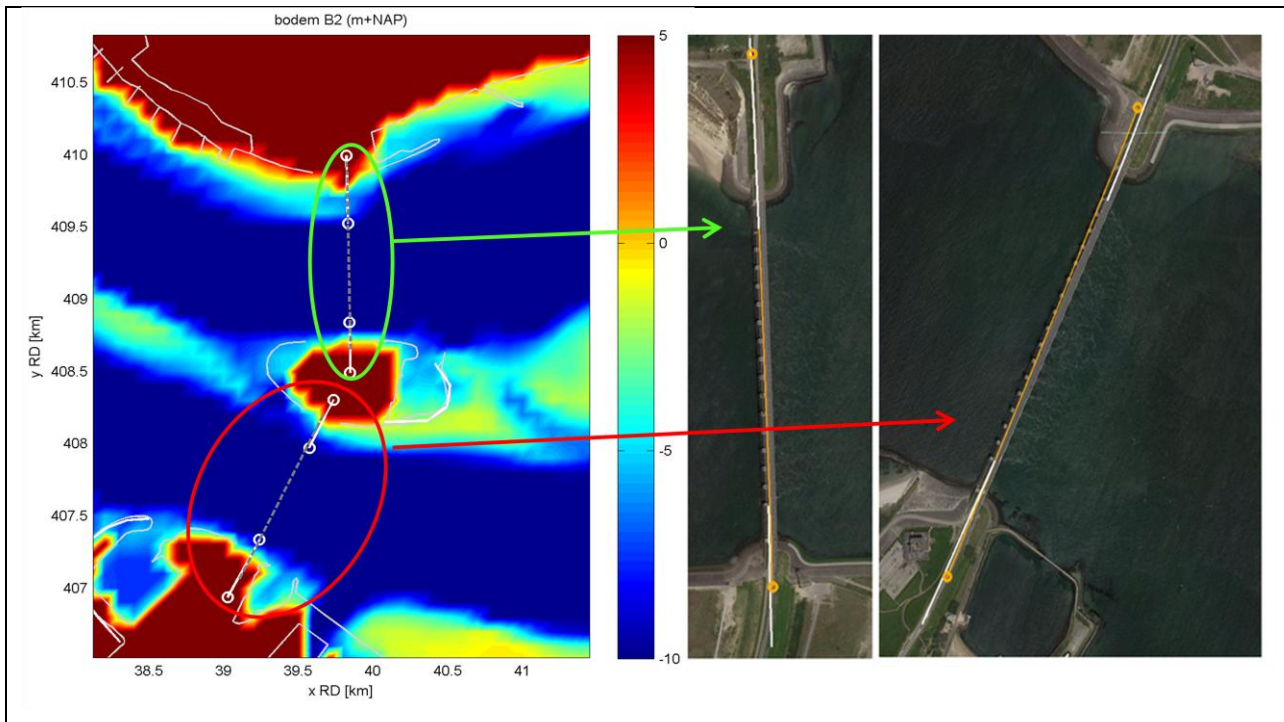
In Bijlage E is de foutieve code weergegeven inclusief de op- en aanmerkingen. In de huidige studie is geen gebruik gemaakt van de SWAN 30.75t executabel, maar dit betekent wel dat het effect van de foute implementatie van de transmissie uit Alkyon (2005a) voor bepaalde frequenties (vooral tussen de 0.25 en 0.3) van dezelfde orde is als, of groter is dan, de nieuwe set coëfficiënten.

De executabel met de herbepaalde transmissie door de kering (zie paragraaf 6.2) heet Swan256v3075\_sv14.exe. Hierin is tevens aangepast dat de kering op correcte wijze (op basis van  $Kth^2$ ) wordt meegenomen. Het deel van de code dat betrekking heeft op de doorvoering van de nieuwe transmissie is weergegeven in Bijlage F.

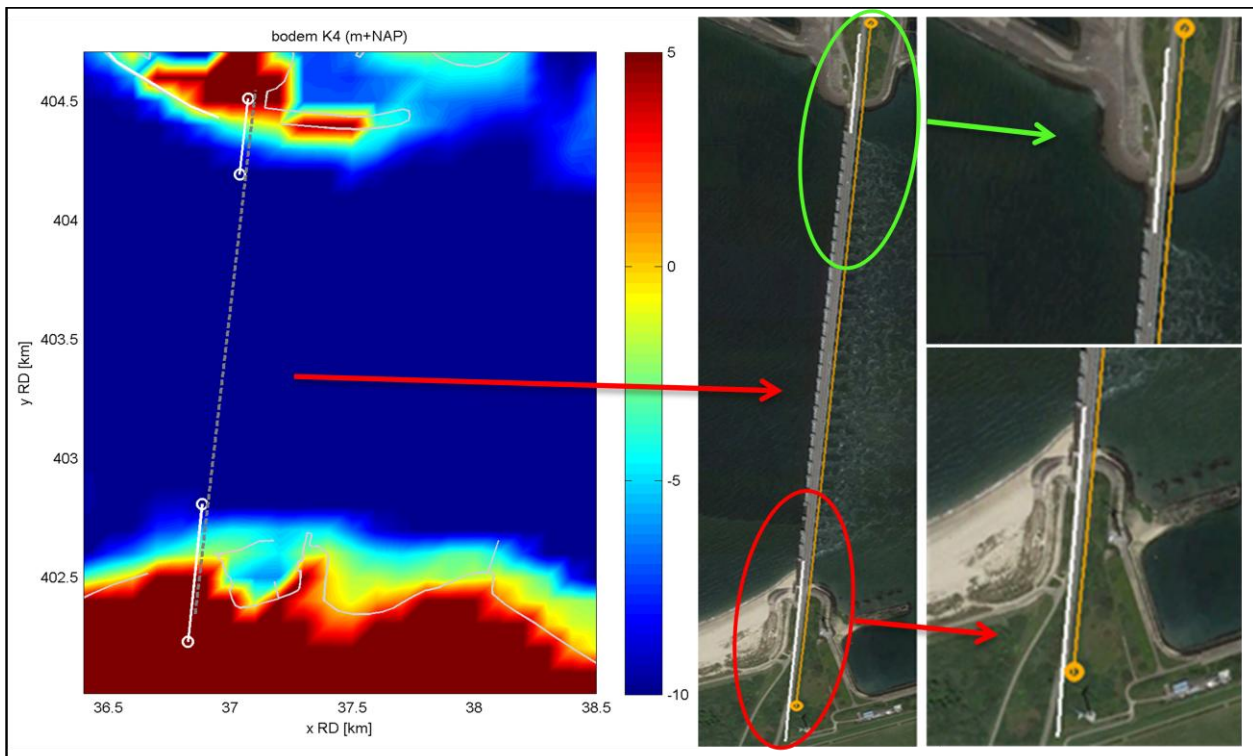
In de code van Alkyon (2005b) – swan30.75t - worden de vaste transmissiecoëfficiënten van obstakels, die gedefinieerd zijn in het SWAN invoerbestand, overschreven door de frequentie- en waterstandsafhankelijke set coëfficiënten. Om de kering in de huidige berekeningen goed mee te nemen zijn twee transmissiedammen met een transmissiecoëfficiënt van 0 toegevoegd (volledige blokkering). Hierbij is de code zo geschreven dat indien een obstakel in het SWAN invoerbestand met transmissiecoëfficiënt van nul gedefinieerd is deze niet wordt overschreven (in swan30.75t, wordt iedere opgegeven transmissiecoëfficiënt overschreven met keringscoëfficiënten), zodat bij deze obstakels geen transmissie plaats vindt.

#### **8.4 Schematisering Oosterscheldekering**

De bodem in het SWAN HR2006 Oosterschelde model is ongewijzigd. Figuur 8-2 en Figuur 8-3 geven detailweergaven van respectievelijk de noordelijkste twee keringsdelen en het zuidelijke deel. In de figuren zijn ook de nieuw toegevoegde obstakels weergegeven. Het wordt duidelijk dat deze obstakels significante delen van de uiteinden van de keringen blokkeren.



*Figuur 8-2: Linker paneel: Bodem B2 rooster SWAN HR2006 Oosterschelde model, met obstakels. Originele obstakels in grijs gestippeld, nieuw toegevoegde obstakels in wit. Rechter paneel: Noordelijke deel van de kering in Google Earth met oude (oranje lijnen) en nieuwe (witte lijnen) obstakels rond de Oosterscheldekering.*



*Figuur 8-3: Linker paneel: Bodem B2 rooster SWAN HR2006 Oosterschelde model, met obstakels. Originele obstakels in grijs gestippeld, nieuw toegevoegde obstakels in wit. Rechter paneel: Zuidelijke deel van de kering in Google Earth met oude (oranje lijnen) en nieuwe (witte lijnen) obstakels rond de Oosterscheldekering.*

## 8.5 Instellingen

De volgende fysische en numerieke instellingen zijn gehanteerd, conform Alkyon (1998) en Alkyon (2005b):

GEN3 KOMEN  
 BREAK 1. 0.73  
 FRIC JONSWAP  
 TRIAD  
 NUM ACCUR 0.03 0.03 0.3 97. 15

Dit betekent dat de fysica voor golfopwekking en dissipatie door whitecapping worden geactiveerd op basis van de derde generatie instellingen volgens Komen. Diepte- geïnduceerd breken wordt gemodelleerd volgens Battjes en Janssen. Bodemwrijving wordt gemodelleerd volgens JONSWAP parameterisatie met een wrijvingscoëfficiënt van 0.067. Daarnaast zijn de Lumped Triad instellingen van Beji toegepast voor de berekeningen van drie-golf interacties. De numerieke instellingen geven aan dat het 3% nauwkeurigheidscriterium in 97% van de actieve gridpunten bereikt moet zijn. Het maximaal aantal iteraties is gezet op 15. Voor meer detail van de instellingen wordt verwezen naar TU Delft 1997.

NB. Ondanks dat in paragraaf 3.7 aangetoond is dat het iteratiecriteria uit Alkyon (1998 & 2005b) onvoldoende is, is op verzoek van Deltares de oude iteratiecriteria in de effectberekeningen weer aangehouden. Ook is het frequentiebereik (0.030-0.80 met 30 bins) gelijk gehouden aan Alkyon (1998 & 2005b). Hierbij is een afweging is gemaakt tussen de conformiteit aan de Alkyon (2005b) berekeningen enerzijds en het uitrekenen van correcte transmissiecoëfficiënten anderzijds. Op deze wijze zijn de effecten volledig toe te schrijven aan de veranderde kering.

## 8.6 Golfrandvoorwaarden

In de effectberekeningen zijn de golfrandvoorwaarden uit Alkyon (1998 & 2005b) gehanteerd, waar de golfrandvoorwaarden voor de westenwinden (210°N, 240°N, 270°N, 285°N, 300°N, 315°N, 330°N) op het buitenste rekenrooster N1 afgeleid zijn van de gemeten golfcondities bij Europlatform (gelegen op de noordwest rand van het N1 rekenrooster). Deze zijn gegeven in de vorm van een significante golfhoogte  $H_{m0}$  en een piekperiode  $T_p$ . Deze golfrandvoorwaarden zijn afhankelijk van de windsnelheid, maar niet van de windrichting. Een overzicht van deze golfrandvoorwaarden is gegeven in Bijlage G.

Langs de gehele noordwestzijde van N1 zijn de golfrandvoorwaarden van Europlatform opgelegd. Langs de noordoostzijde en zuidwestzijde van het N1 rekenrooster is een ruimtelijke variatie van de golfcondities toegepast. Hierin nemen de golfhoogte en piekperiode eerst langzaam af, gevolgd door een snelle afname nabij de kust. Deze afname is volgens een tanh-functie:

$$H_s(s) = H_s \tanh\left(\frac{1.05s_{max}-s}{s_{max}}\pi\right) \quad \text{Verg. 8.1}$$

Hierin is  $s$  de coördinaat langs de modelrand en  $s_{max}$  de lengte van de modelrand. In Alkyon (1998a & 2005a) is de golfrandvoorwaarden langs deze randen om de 5 km gespecificeerd. De piekperiode neemt langs deze randen eveneens volgens de tanh-functie af.

De golfrandvoorwaarden voor de geneste rekenroosters zijn verkregen uit de SWAN berekeningen met het bovenliggende rekenrooster, die zogenoemde nestbestanden genereert. De nestbestanden bevatten 2D-spectra langs de randen van de geneste rekenroosters. Het is van belang de SWAN

berekeningen in een bepaalde volgorde uit te voeren, te weten: N2, B2, K4, S1, S4 en tot slot de berekeningen met de detailroosters.

De ruimtelijke resolutie van de nestbestanden moet gelijk zijn aan de resolutie van de geneste roosters. Vanwege de destijds beperkte opslagcapaciteit zijn in eerste instantie de nestbestanden van de detailroosters weggeschreven met een resolutie van 100 m. Zodra een detailberekening moest worden opgestart, is het nestbestand verdicht naar een ruimtelijke resolutie van 20 m. De verdichting vond plaats door middel van een lineaire interpolatie van de spectrale componenten (frequentie en richting). Deze bewerking is uitgevoerd door de programma's MKNEST3.exe en MODRVW2.exe. In Svašek (2010) is naar voren gekomen dat de in Alkyon (2005b) gebruikte MODRVW2.exe niet alle spectra op de randen genereert (zie paragraaf 5.8 uit Svašek, 2010). Desondanks is toch gekozen deze bewerking in de huidige studie ook toe te passen om zo veel mogelijk consistentie met de voorgaande berekeningen te houden (ondanks de fout en de grotere opslagcapaciteit van tegenwoordig).

## 8.7 Windsnelheden en windrichtingen

In de huidige studie is alleen gekeken naar windklasse 2 en alleen de westelijke winden. Daarnaast is gebruik gemaakt van richtingsafhankelijke uniforme windsnelheid, conform Alkyon (1998) en Alkyon (2005b). De waarden corresponderen met het basisgeval, dat gebaseerd is op Rijkooft en Wieringa (1983) en een kans van voorkomen heeft van eens in de 4000 jaar. De SWAN berekeningen zijn uitgevoerd voor 7 windrichtingen 210°N, 240°N, 270°N, 285°N, 300°N, 315°N, 330°N. De bijhorende windsnelheden zijn te vinden in Tabel 3.2 uit Alkyon (1998).

## 8.8 Uitgevoerde SWAN effectberekeningen

Voor de effectberekeningen zijn de volgende SWAN condities doorgerekend:

Windrichtingen	210, 240, 270, 285, 300, 315, 330 °N
Windklasse	2
Waterstand	NAP+0 m, NAP +2 m, NAP +3 m
SWAN rekenrooster:	N2(=N1), D01, D02, D03, D04, D34, D35, D36, D37, D38, D39, D40

NB: de analyse beperkt zich tot het gebied zoals aangegeven in paragraaf 8.2. De resultaten van de berekeningen zijn te vinden op de bijgeleverde cd.

## 8.9 SWAN output en naamgeving outputbestanden

### 8.9.1 SWAN output

Het resultaat van één SWAN berekening resulteert in 3 soorten uitvoer, te weten:

- Blokbestanden (\*.BLOK)  
Bevat voor elk rekenpunt een integrale golfparameter. Deze zijn aangemaakt voor de volgende parameters:

Xp	= X- coördinaat
Yp	= Y- coördinaat
DE	= rekendiepte (bodempligging+waterstand)
HS	= significante golfhoogte $H_{m0}$
RTP	= golfpiekperiode $T_p$



TM01 = gemiddelde golfperiode  $T_{m-2,-1}$  (doordat het commando POWER op -1 is gezet geeft de uitvoer TM01 de  $T_{m-2,-1}$ )  
 TM02 = gemiddelde golfperiode  $T_{m02}$   
 DIR = gemiddelde golfrichting  $\theta$

- Tabellen (\*.TAB)

De tabellen worden aangemaakt voor alle uitvoerpunten zoals gespecificeerd in de PNT bestanden (zie bijgevoegde CD). In de tabellen zijn voor de gespecificeerde uitvoerpunten naast de parameters beschreven bij de blokbestanden ook de richtingsverspreiding van de golven, de genormaliseerde breedte van het frequentie spectrum en de windsnelheid gegeven.

- Spectra (\*.SP1 en \*.SP2)

De 1D en 2D-spectra worden aangemaakt voor alle uitvoerpunten zoals gespecificeerd in de PNT bestanden.

Alle uitvoerbestanden hebben de naamgeving zoals aangegeven in subparagraaf 8.9.2 alleen met de extensie als aangegeven tussen haakjes.

NB.  $T_{pm}$  is geen SWAN uitvoer, maar is wel benodigd voor het ontwerp van de dijkbekleding. De  $T_{pm}$  wordt buiten SWAN om berekend uit het door SWAN berekende 1D-spectrum. Deze berekening is uitgevoerd met het door Alkyon ontwikkelde matlabscript `cmp_spectral_parameters.m`, zie Bijlage C1 uit Svašek (2010) .

## 8.9.2 Naamgeving

Voor de naamgeving van de SWAN berekeningen is voor elke simulatie een unieke code gegeven. De codering is identiek aan de gehanteerde codering in Alkyon (1998) en (Alkyon 2005b).

De codering van een SWAN berekening bestaat uit 6 of 7 karakters. De eerste 2 of 3 karakters bestaan uit de code voor het rekengebied. Daarna volgt één karakter voor de waterstand gevolgd door één karakter voor de windklasse en de laatste twee karakters staan voor de windrichting

De volgende coderingen zijn gebruikt:

Rekengebieden:	N2, B2, K4, S1, S4, D01 t/m D08 en D28 t/m D40
Waterstand:	N, L, K (resp. NAP + 0m, NAP + 2m, NAP + 3m)
Windklasse:	2
Windrichting:	21, 24, 27, 28, 30, 31, 33 (resp 210°N, 240°N, 270°N, 285°N, 300°N, 315°N, 330°N)

Zo staat het bestand S1L228.SWN voor de berekening met het rekenrooster S1 (=S1) met een waterstand NAP +2m (=L), voor windklasse 2 (=2) en een windrichting 285°N (=28).



## 9 INDICATIE EFFECT NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENTEN OP TOETS- EN ONTWERPWAARDEN

### 9.1 Inleiding

Het effect van de aangepaste transmissiecoëfficiënt (zie paragraaf 6.2) en de aangepaste kering (zie voor wijzigingen paragraaf 3.4) wordt in deze paragraaf geanalyseerd. Daarbij worden de golfcondities volgend uit de effectberekeningen van deze huidige studie (zie hoofdstuk 8) vergeleken met de golfcondities zoals bepaald door Alkyon (1998, 2005b). Daarbij wordt allereerst op een grote ruimtelijke schaal een vergelijking gemaakt om daarna in te zoomen op de maatgevende<sup>8</sup> golfcondities voor dijkvakken langs de kust.

### 9.2 Vergelijking ruimtelijke schaal

De ruimtelijke variatie van de significante golfhoogten en de piekgolfperiode resulterend uit de effectberekeningen met de grote rekenroosters (N2, B2, K4, S1 en S4) zijn samengesteld en de verschillen ten opzichte van de berekeningen van Alkyon (2005b) zijn gepresenteerd in respectievelijk Appendix I en Appendix J. Let op dat voor de golfbelastingen niet de hier gepresenteerde piekperiode  $T_p$  wordt beschouwd, maar de  $T_{pm}$ .  $T_{pm}$  komt niet rechtstreeks uit SWAN en is daarom alleen beschikbaar op de uitvoerlocaties, niet in ruimtelijke maps. De figuren van  $T_p$  geven echter ook een beeld van de ruimtelijke verdeling van de golfperiodes.

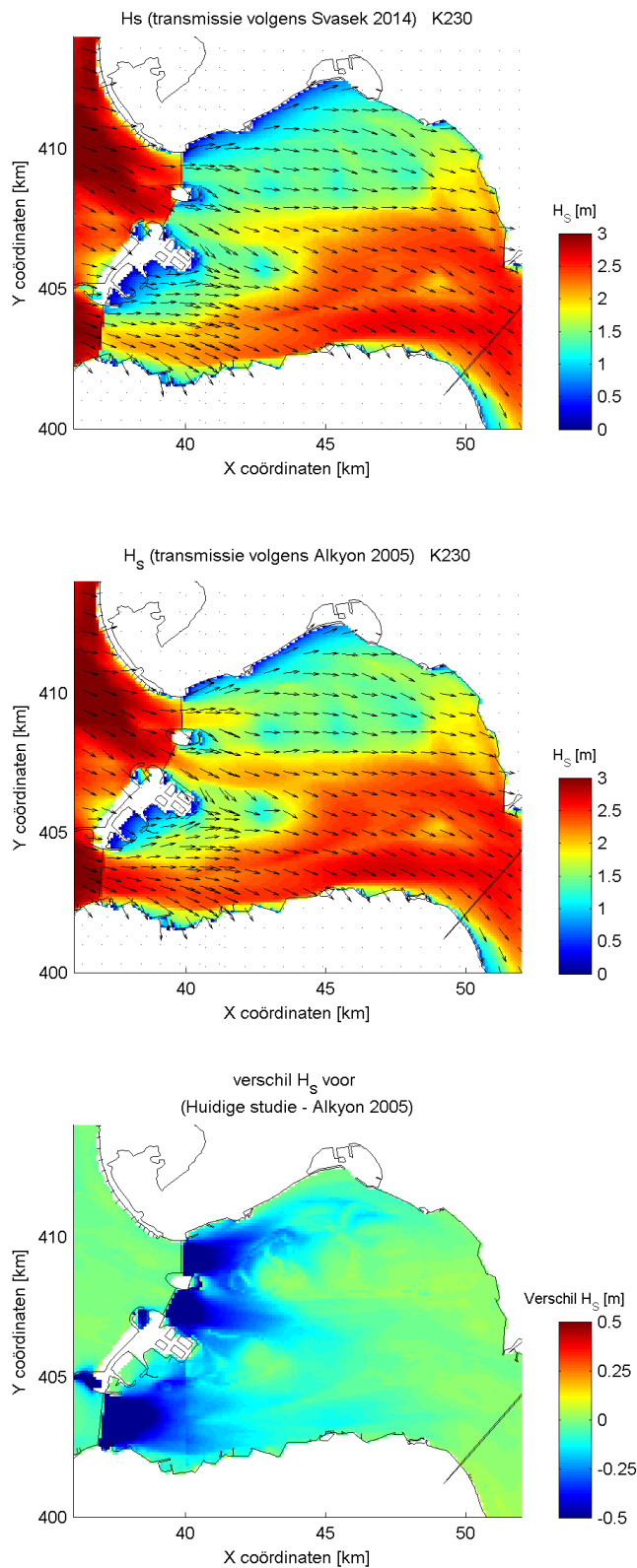
Als voorbeeld zijn de golfvelden behorende bij simulatie K230 (rooster K, windrichting 300 graden) weergegeven in Figuur 9-1. Het is duidelijk dat de nieuwe transmissiecoëfficiënten en implementatie van de kering tot een significante verlaging van de golfhoogte leiden direct achter de kering. Het effect is ruimtelijk relatief beperkt en is na circa 10 kilometer oostwaarts van de kering nauwelijks meer waarneembaar in de figuren.

Ook buiten de Oosterscheldekering (zeezijde) zijn kleine verschillen te zien. Dit heeft te maken met het feit dat het niet is gelukt om de precieze resultaten van Alkyon (2005b) te reproduceren<sup>9</sup> (zie paragraaf 8.2). Kleine veranderingen rond bijvoorbeeld Neeltje Jans hebben te maken met het feit dat dit gebied nu deels door middel van obstakels is gemodelleerd.

---

<sup>8</sup> Met de maatgevende situatie wordt de (ongecorrigeerde) maatgevende combinatie van  $H_s$  en  $T_{pm}$  per dijkvak bedoeld. Deze maatgevende combinatie wordt bepaald met behulp van belastingfunctie  $Z1(=H_s * T_{pm})$ , welke over het algemeen maatgevend is bij het ontwerp van steenbekledingen. De maatgevende situatie wordt per dijkvak per waterstand apart bepaald door voor alle uitvoerpunten en windrichtingen de maximale waarde van  $Z1$  te bepalen. De betreffende combinatie van windrichting en uitvoerpunt met de maximale waarde van  $Z1$  is de maatgevende situatie per dijkvak. Dus de maatgevende  $H_s$  of  $T_{pm}$  is de  $H_s$  of  $T_{pm}$  behorende bij de maatgevende waarde van  $Z1$ .

<sup>9</sup> Op dit moment is nog onduidelijk waarom de berekeningen met het N2 rooster niet te reproduceren te zijn. Alle invoerscripts en executabel zijn gelijk aan die gehanteerd in Alkyon (2005b). Een mogelijke reden zou kunnen zijn dat in de huidige studie met een 64-bit in plaats van 32-bit Windows-systeem is gerekend.



*Figuur 9-1: Uitvoer significante golfhoogte met SWAN HR2006 Oosterschelde model- Run K230- op basis van nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie kering zoals gepresenteerd in deze rapportage (boven), volgens Alkyon (2005b) (midden) en het verschil tussen beide (onder) negatief geeft aan dat de nieuwe simulatie een lagere golfhoogte geeft).*

### 9.3 Vergelijking maatgevende golfcondities per dijkvak

In deze paragraaf wordt het verschil bekeken tussen de berekende golfcondities op basis van een reproductie van (een deel van) de berekeningen met het SWAN HR2006 Oosterschelde model met aangepaste transmissie en obstakels (zie hoofdstuk 0). De golfcondities uit de HR2006 en de detailadviezen voor de Oosterschelde zijn beide gebaseerd op golfcondities uit de database 'KustDB2006-Steen', welke afkomstig zijn van SWAN berekeningen uit 1998 en 2005 (Alkyon 1998, 2005b). Deze waarden zijn verwerkt in de numtabellen "OS-PBZ\_280705\_wst023.num" en "OS-PBZ\_280705\_wst234.num"<sup>10</sup>. De golfcondities van de effectberekeningen uit de huidige studie zijn tevens verwerkt in numtabellen "W2\_OS\_wst023.num" en "W2\_OS\_wst234.num".

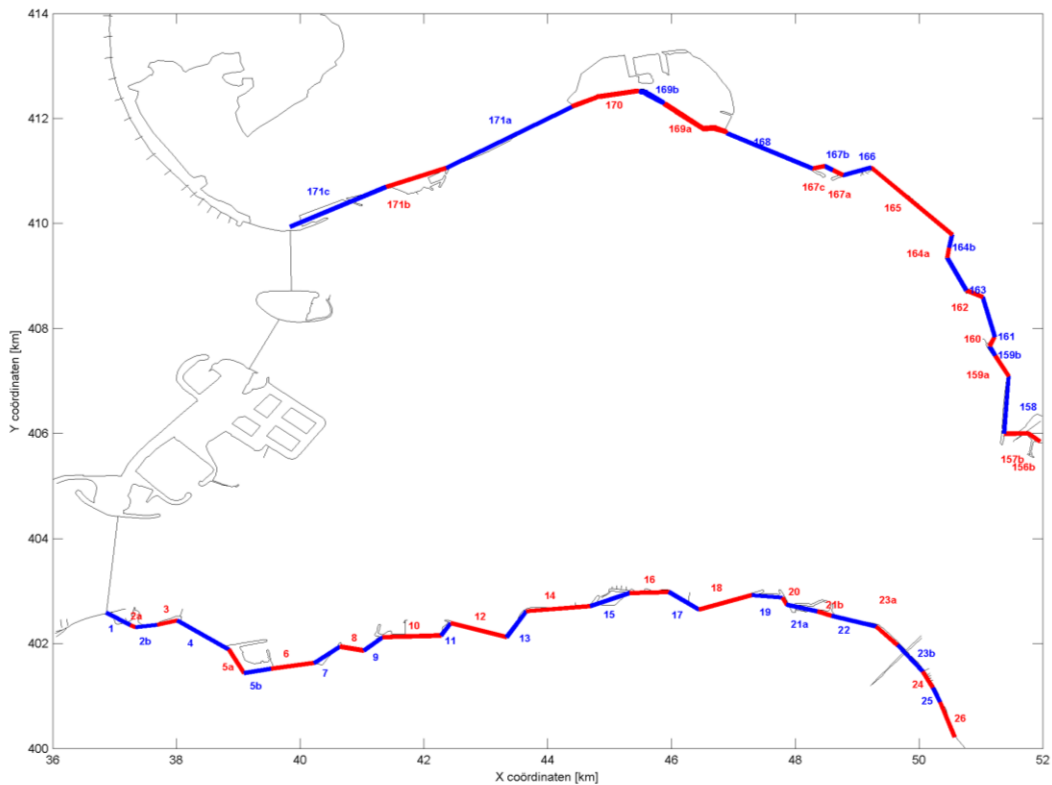
In de numtabellen staan de door SWAN berekende golfcondities voor alle uitvoerpunten voor alle beschouwde windrichtingen en waterstanden. Met behulp van WindWater 2010 kunnen vervolgens de maatgevende golfcondities per dijkvak bepaald worden.

Normaliter worden er nog een aantal correcties doorgevoerd op de golfparameters uit deze numtabellen, zoals een parametercorrectie (om te corrigeren voor de afwijking tussen meting en berekening) en een correctie voor stroming, zie Alkyon (1998 & 2005b). Daarnaast worden de golfcondities bepaald met een belastingfunctie welke specifiek betrekking heeft op een bepaalde bekledingstype. In detailadviezen worden dijkvakken soms opgeknipt, dijkvakgrenzen verschoven of windrichtingen uitgesloten. De aanpak die bij de detailadviezen wordt gevolgd is beschreven in het zogenaamde Kookboek (Svašek Hydraulics & Royal Haskoning, 2011). De extra correcties en deze nadere beschouwing zijn niet uitgevoerd in huidige studie. In overleg met Deltares is gekozen de vergelijking zo eenvoudig en zo zuiver mogelijk te houden. Daarom is gekozen geen enkele correctie op de golfparameters toe te passen. Daarnaast is gekozen de belastingfunctie  $Z1 (=H_s * T_{pm})$  te gebruiken. De golfparameters worden afgerond op 2 decimalen. Mede doordat de aanpak enigszins afwijkt van de aanpak bij opstellen van de detailadviezen (en de HR2006) kunnen de berekende golfcondities niet rechtstreeks gebruikt worden voor toetsing of ontwerp van steenbekledingen. Er wordt echter verondersteld dat het effect van de aangepaste transmissieformulering nu het beste naar voren komt.

De beschouwde dijkvakken zijn weergegeven in Figuur 9-2 en in Tabel 9-1. Er zijn zowel aan de noord- als de zuidoever van de Oosterschelde dijkvakken beschouwd, aan beide zijden over een afstand vanaf de Oosterscheldekering tot ca. 12km oostwaarts (in overleg met Deltares, zie ook Figuur 9-1). De effecten van de aangepaste kering lijken grotendeels binnen dit gebied te vallen. Aan de noordoever komt dit overeen met dijkvak 171c (km 0.00) t/m dijkvak 167a (km 12.20), ofwel de uitvoerpunten 913 t/m 959, welk traject bestaat uit een 10-tal dijkvakken. Aan de zuidoever loopt het beschouwde traject van dijkvak 1 (km 194.86) t/m dijkvak 18 (km 182.50), ofwel de uitvoerpunten 1 t/m 46, welk traject bestaat uit een 20-tal dijkvakken.

---

<sup>10</sup> Alle golfparameters in de genoemde numtabellen betreffen ongecorrigeerde golfparameters, welke rechtstreeks volgen uit SWAN of via een nabewerking uit het met SWAN berekende 1D-spectrum zijn bepaald, zoals bij  $T_{pm}$  (zie paragraaf 8.9.1)



Figuur 9-2: Dijkvakken langs de Oosterschelde.

Aan de noordoever zijn van west naar oost enkele bijzondere objecten te onderscheiden:

Bij dijkvak 171c de strekdam de Westbout, bij dijkvak 171b bevindt zich de haven van Burghsluis en bij de Flauwersinlaag (dijkvak 167a t/m 167c) zijn ook een tweetal strekdammen aanwezig. Al deze dammen maken geen onderdeel uit van de waterkering. De uitvoerpunten van deze dijkvakken liggen daardoor zeewaarts van deze objecten en de waterkering ligt landwaarts van deze objecten.

In het midden van het beschouwde traject ligt Schelphoek (dijkvak 169a t/m 170). De beschouwde dijkvakken in deze studie liggen ter plaatse van de zeezijde van de voorliggende dammen, welke dammen onderdeel zijn van de waterkering. De achterliggende dijkvakken in de kom van Schelphoek zijn niet beschouwd, omdat deze geen onderdeel zijn van het SWAN-model en deze in het verleden in een afzonderlijke studie zijn bepaald en daarmee ook geen deel uit maken van de HR2006.

Langs de zuidoever zijn ook enkele bijzondere objecten te onderscheiden (van west naar oost):

Direct ten oosten van de Oosterscheldekering ligt de Jacobahaven met twee havendammen. De noordelijk gelegen dam bij deze haven is erg laag en de oostelijke dam bestaat uit een plateau van circa 100 meter breed met een hoogte van ca. NAP+5,0m. De noordelijke dam is daarom geen onderdeel van de waterkering en de oostelijke dam wel.

Ter hoogte van dijkvak 5a en 5b ligt de Sophiahaven, welke wordt beschermd door een tweetal havendammen, waarbij de noordelijke dam onderdeel is van de waterkering. De betreffende uitvoerpunten liggen echter zeewaarts van deze dam.

Bij dijkvak 15 liggen de oesterputten met de zogenaamde 'Glasjesnol'. Beide dammen en ook het schor hebben een reducerende werking op de achterliggende doorlopende waterkering. De uitvoerpunten liggen echter allen zeewaarts van de nollen en schor.



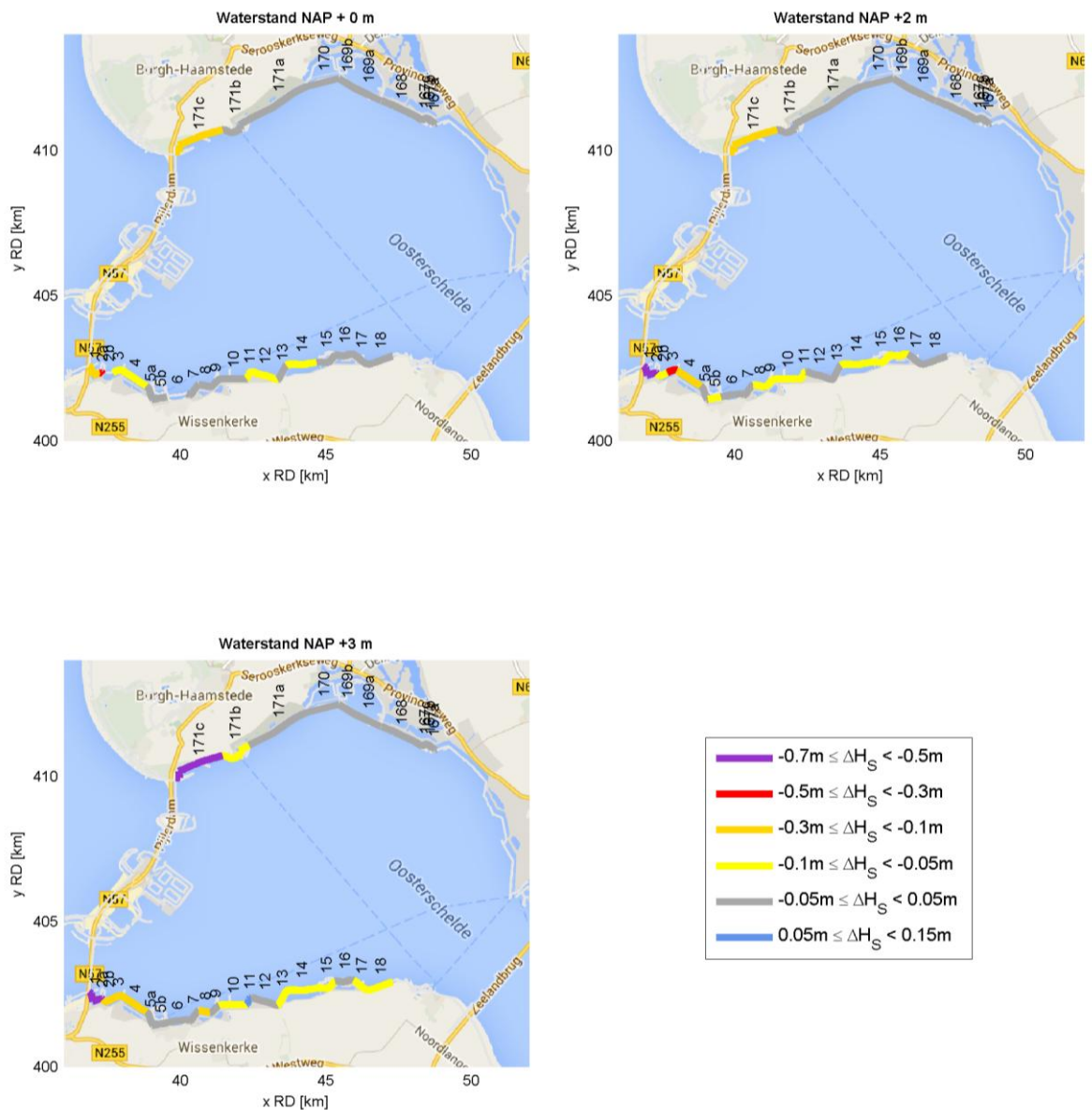
Verder zijn nog een aantal nollen langs het traject aanwezig, welke ook geen onderdeel zijn van de waterkering.

In Figuur 9-3 tot en met Figuur 9-5 zijn de verschillen in maatgevende waarden van  $H_s$ ,  $T_{pm}$  en Z1-waarde ( $=H_s * T_{pm}$ )<sup>11</sup> weergegeven, op basis van de resultaten uit de effectberekeningen - beschreven in Hoofdstuk 8 – en de resultaten uit Alkyon (1998, 2005b). Per dijkvak worden de  $H_s$ ,  $T_{pm}$  gegeven van de hoogste Z1 waarde, verschillen kunnen erin resulteren dat een ander punt in een dijkvak maatgevend wordt. De weergegeven verschilwaarden zijn gedefinieerd als de golfcondities bepaald op basis van de nieuwe transmissieformulering (‘Svasek 2014’ genoemd) minus de golfcondities bepaald met de oude transmissieformulering (‘Alkyon 2005’ genoemd). Een positief verschil betekent dat de golfcondities op basis van de huidige studie hoger zijn dan de golfcondities op basis van het SWAN HR2006 Oosterschelde model. Met kleuren zijn verschillende gradaties in de verschillen tussen de golfcondities onderscheiden. Op een aantal locaties is geen kleuraanduiding aangegeven. In die gevallen geeft SWAN geen uitvoer, omdat het voorland droog valt bij betreffende waterstand.

---

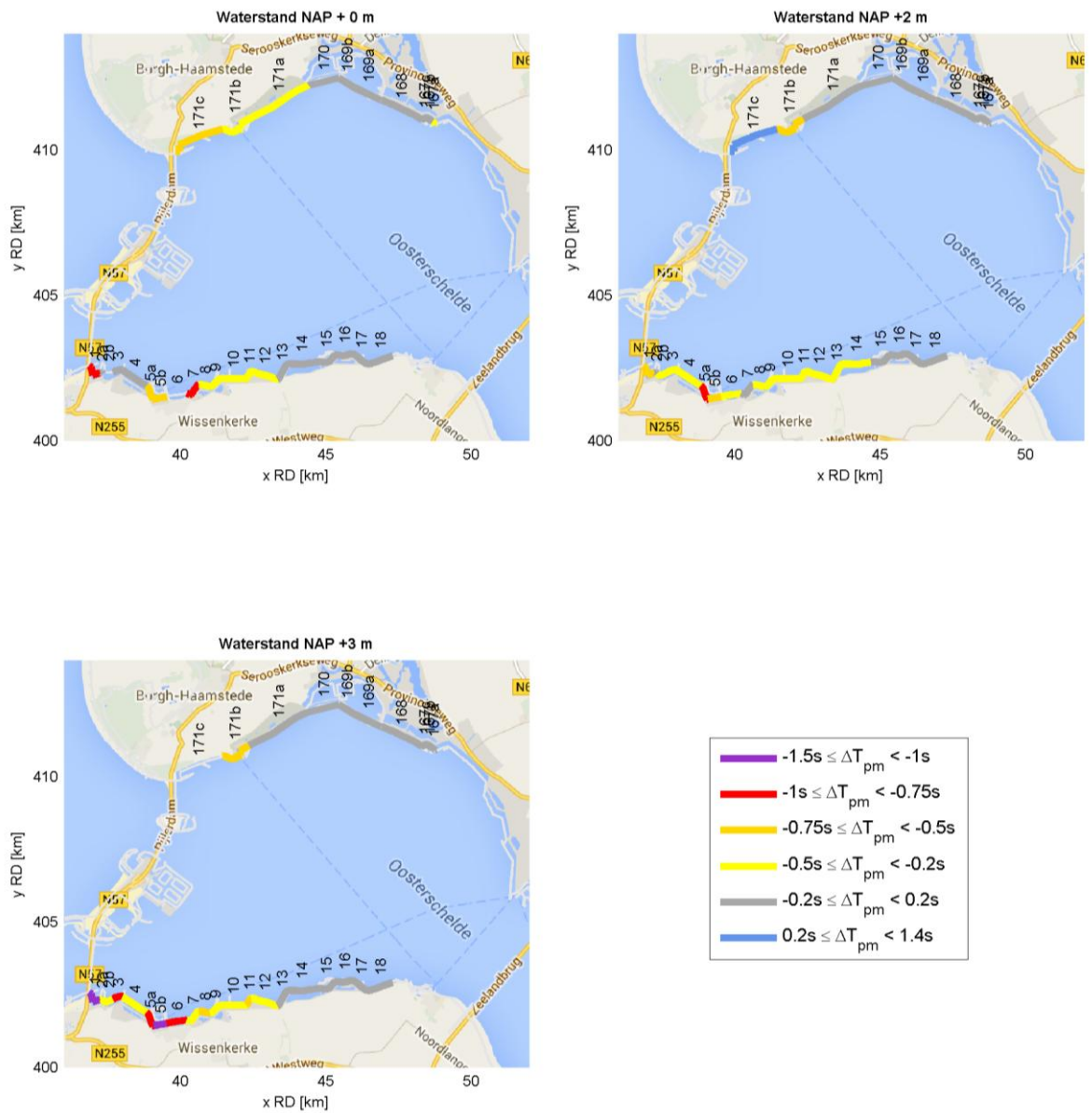
<sup>11</sup> De maatgevende  $H_s$  en  $T_{pm}$  zijn die behorende bij de maximale Z1 waarde. Effecten in Z1 zijn dus direct terug te leiden naar effecten op  $H_s$  vermenigvuldigd met effecten op  $T_{pm}$ .

### Vershil ongecorrigeerde $H_S$ (Svasek 2014 - Alkyon 2005)



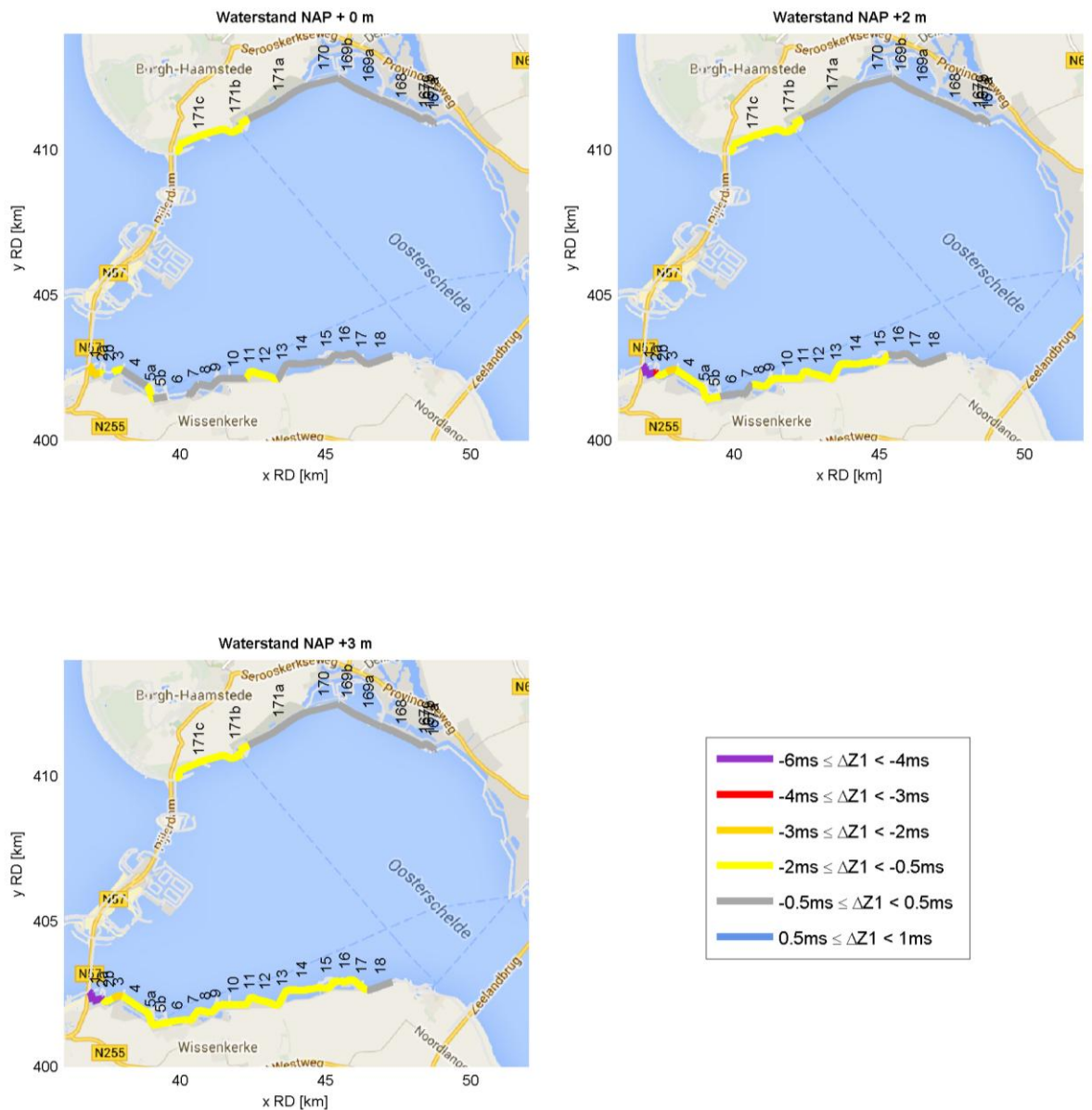
Figuur 9-3: Effect nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie op (ongecorrigeerd) significante golfhoogte per dijkvak.

Vershil ongecorrigeerde  $T_{pm}$  (Svasek 2014 - Alkyon 2005)



Figuur 9-4: Effect nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie op (ongecorrigeerde) periode  $T_{pm}$  per dijkvak.

### Vershil ongecorrigeerde Z1(Svasek 2014 - Alkyon 2005)



Figuur 9-5: Effect nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie op belastingsfunctie Z1 per dijkvak.

In Tabel 9-1 zijn eveneens de absolute verschillen in maatgevende golfcondities op basis van deze studie in vergelijking met Alkyon (2005b) weergegeven. Ook hier betekent een positief verschil dat de randvoorwaarden op basis van deze studie hoger zijn dan zoals berekend door Alkyon (2005b). Met kleuren zijn verschillende gradaties in de verschillen tussen de golfcondities onderscheiden, waarbij de gradaties overeenkomen met die uit de Figuur 9-3 tot en met Figuur 9-5.

In Tabel 9-2 zijn de relatieve verschillen in maatgevende golfcondities op basis van deze studie in vergelijking met Alkyon (2005b) weergegeven. Hier betekent een waarde kleiner dan 1 dat de randvoorwaarden op basis van deze studie lager zijn dan zoals berekend door Alkyon (2005b) en waarde groter dan 1 dat de randvoorwaarden van deze studie juist hoger zijn. Een waarde van 0,9 betekent dus een afname van 10% voor  $H_s$ ,  $T_{pm}$  of Z1 op basis van deze studie in vergelijking met Alkyon (2005b).

Tabel 9-1: Indicatie van het effect (absolute verschil) nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie op significante golfhoogte, periodemaat  $T_{pm}$  en belastingsfunctie Z1 per dijkvak (Svašek, 2014 – Alkyon, 2005b).  
 Kleurcodes komen overeen met Figuur 9-3 tot en met Figuur 9-5.

Dijk- vak no.	Dijk kilometrerung (km)		Poldernaam	$\Delta H_s$ [m]			$\Delta T_{pm}$ [s]			$\Delta$ Windrichting (°)			$\Delta Z_1 (=H_s \cdot T_{pm})$ [ms]		
	van	tot		bij waterstand t.o.v. NAP			bij waterstand t.o.v. NAP			nautisch bij waterstand t.o.v. NAP			bij waterstand t.o.v. NAP		
				+0m	+2m	+3m	+0m	+2m	+3m	+0m	+2m	+3m	+0m	+2m	+3m
1	194.86	194.20	havenplateau Jacobahaven Rippolder	-0.27	-0.56	-0.67	-0.95	-0.63	-1.02	0	0	0	-2.43	-4.11	-5.77
2a	194.20	194.10	havenplateau Rippolder	-0.31	-0.56	-0.65	-0.07	-0.18	-0.34	-15	0	0	-1.72	-3.48	-4.57
2b	194.10	193.70	havenplateau Rippolder	-	-0.09	-0.18	-	-0.40	-0.46	-	0	0	-	-0.81	-1.66
3	193.70	193.35	Anna Frisopolder	-0.09	-0.36	-0.26	-0.19	-0.36	-0.76	0	0	0	-0.68	-2.60	-2.88
4	193.35	192.35	inlaag	-0.05	-0.21	-0.27	-0.11	-0.46	-0.22	0	0	0	-0.36	-1.79	-1.89
5a	192.35	191.80	Sophiahaven	0.00	-0.03	-0.03	-0.67	-0.94	-0.89	15	15	15	-0.81	-1.51	-1.53
5b	191.80	191.35	Sophiahaven	0.00	-0.09	0.04	-0.58	-0.51	-1.28	15	0	15	-0.29	-0.95	-0.99
6	191.35	190.65	(voorland duintjes) Mariapolder	-	-0.02	0.01	-	-0.38	-0.94	-	-15	15	-	-0.30	-0.81
7	190.65	190.05	(voorland duintjes) inlaag Thoornpolder	0.00	-0.01	-0.03	-0.82	-0.14	-0.29	15	15	15	-0.49	-0.24	-0.60
8	190.05	189.65	inlaag Thoornpolder	0.00	-0.05	-0.16	-0.41	-0.37	-0.52	0	0	0	-0.26	-0.79	-1.70
9	189.65	189.25	(nieuwe inlaag)	-0.01	-0.07	-0.04	-0.40	-0.37	-0.50	0	0	0	-0.42	-0.93	-1.09
10	189.25	188.30	Vliete polder	-0.01	-0.07	-0.08	-0.39	-0.36	-0.47	0	0	0	-0.40	-0.94	-1.28
11	188.30	188.00	inlaag Vlietepolder	-0.08	-0.05	0.13	-0.24	-0.25	-0.73	-15	0	15	-0.68	-0.66	-0.68
12	188.00	187.05	inlaag Vlietepolder	-0.07	-0.04	-0.04	-0.20	-0.26	-0.33	-15	0	0	-0.59	-0.64	-0.83
13	187.05	186.45	Nieuw Noordbevelandpolder	-0.02	-0.01	-0.09	-0.19	-0.49	-0.07	0	15	-15	-0.36	-0.97	-0.60
14	186.45	185.40	inlaag	-0.05	-0.08	-0.09	-0.10	-0.22	-0.17	0	0	0	-0.43	-0.88	-0.86
15	185.40	184.65	haven Oesterput	-0.03	-0.08	-0.08	-0.13	-0.16	-0.19	0	0	0	-0.37	-0.76	-0.86
16	184.65	184.00	Westelijke inlaag	-0.02	-0.05	-0.05	-0.09	-0.06	-0.19	-15	-15	0	-0.18	-0.36	-0.65
17	184.00	183.40	Westelijke inlaag	0.00	-0.04	-0.08	-0.10	-0.11	-0.08	0	-15	-15	-0.07	-0.37	-0.56
18	183.40	182.50	Grote inlaag	0.00	-0.01	-0.09	-0.01	-0.15	0.01	0	0	-15	-0.01	-0.29	-0.46
167a	12.20	12.00	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	0.00	0.00	0.01	-0.21	0.00	-0.01	0	0	0	-0.22	0.00	0.03
167b	12.00	11.85	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	-0.02	-0.01	0.00	-0.03	0.00	-0.01	0	0	0	-0.11	-0.04	-0.02
167c	11.85	11.65	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.01	-0.01	0	0	0	-0.11	-0.06	-0.11
168	11.65	10.10	(Weeversinlaag) Polder Schouwen	-0.01	-0.02	-0.01	-0.11	-0.04	-0.01	0	0	0	-0.18	-0.15	-0.06
169a	10.10	-	(ringdijk Schelphoek) Polder Schouwen	-0.02	-0.02	-0.01	-0.08	-0.04	-0.02	0	0	0	-0.17	-0.15	-0.08
169b	-	-	(ringdijk Schelphoek) Polder Schouwen	-0.02	0.00	-0.01	-0.08	-0.01	-0.02	0	0	0	-0.17	-0.02	-0.08
170	-	5.55	(delingsdijk) Polder Schouwen	-0.02	-0.01	-0.01	-0.13	-0.02	-0.02	0	0	0	-0.21	-0.07	-0.08
171a	5.55	3.20	Polder Schouwen tot aan Stormloedkering	0.01	0.03	-0.02	-0.29	-0.14	-0.03	-30	0	0	-0.29	-0.08	-0.14
171b	3.20	1.90	Polder Schouwen tot aan Stormloedkering	-0.04	-0.04	-0.07	-0.32	-0.52	-0.58	-30	-30	-30	-0.53	-0.93	-1.26
171c	1.90	0.00	Polder Schouwen tot aan Stormloedkering	-0.12	-0.30	-0.56	-0.74	0.42	1.40	0	0	30	-1.09	-1.32	-1.44

Het verschil in Z1-waarde is weergegeven in Tabel 9-1 en Tabel 9-2, omdat dit een indruk geeft of de totale golfbelasting (combinatie van golfhoogte en golfperiode) bij de maatgevende situatie toe of afneemt. Alleen de maatgevende situatie wordt in beschouwing genomen, waarbij bij de huidige studie soms een andere windrichting maatgevend dan bij Alkyon (2005b). Hierdoor worden soms verschillende situaties (windrichtingen) met elkaar vergeleken, wat waarneembaar is in de kolommen van de windrichtingen in Tabel 9-1 (indien waarden ongelijk zijn aan nul). Zoals eerder gesteld kan ook een ander punt in het dijkvak maatgevend worden. In deze gevallen zal het verschil in de afzonderlijke golfparameters dus afwijkend zijn dan wanneer dezelfde situaties (golfparameters bij dezelfde windrichting of dezelfde locatie) met elkaar zouden worden vergeleken. Het verschil in de Z1-waarde geeft echter altijd een goede indicatie van het verschil in de totale golfbelasting.



Tabel 9-2: Indicatie van het effect (relatieve verschil) nieuwe transmissiecoëfficiënt en implementatie op significante golfhoogte, periodemaat  $T_{pm}$  en belastingsfunctie Z1 per dijkvak (Svašek, 2014 / Alkyon, 2005b). NB effecten op de Z1 zijn gelijk aan effect op  $H_s$  maal effect  $T_{pm}$ .

Dijk- vak no.	Dijk kilometering (km)		Poldernaam	Hs nieuw / Hs oud bij waterstand t.o.v. NAP			Tpm nieuw / Tpm oud bij waterstand t.o.v. NAP			Z1 nieuw / Z1 oud bij waterstand t.o.v. NAP		
	van	tot		+0m	+2m	+3m	+0m	+2m	+3m	+0m	+2m	+3m
1	194.86	194.20	havenplateau Jacobahaven Rippolder	0.80	0.69	0.67	0.82	0.89	0.84	0.65	0.61	0.56
2a	194.20	194.10	havenplateau Rippolder	0.81	0.73	0.72	0.99	0.97	0.94	0.80	0.71	0.68
2b	194.10	193.70	havenplateau Rippolder	-	0.88	0.86	-	0.93	0.93	-	0.82	0.80
3	193.70	193.35	Anna Frisopolder	0.92	0.79	0.86	0.96	0.94	0.88	0.89	0.74	0.76
4	193.35	192.35	inlaag	0.95	0.87	0.86	0.98	0.91	0.96	0.93	0.80	0.82
5a	192.35	191.80	Sophiahaven	1.00	0.98	0.98	0.86	0.82	0.84	0.86	0.80	0.82
5b	191.80	191.35	Sophiahaven	1.00	0.91	1.04	0.89	0.90	0.79	0.89	0.82	0.82
6	191.35	190.65	(voorland duintjes) Mariapolder	-	0.96	1.01	-	0.93	0.84	-	0.90	0.85
7	190.65	190.05	(inlaag Thoormpolder	1.00	0.99	0.98	0.85	0.97	0.95	0.85	0.97	0.93
8	190.05	189.65	inlaag Thoormpolder	1.00	0.97	0.91	0.92	0.93	0.91	0.92	0.90	0.82
9	189.65	189.25	(nieuwe inlaag)	0.99	0.96	0.98	0.92	0.93	0.91	0.91	0.89	0.89
10	189.25	188.30	Vliete polder	0.99	0.96	0.96	0.93	0.93	0.91	0.92	0.89	0.87
11	188.30	188.00	inlaag Vlietepolder	0.94	0.97	1.07	0.95	0.95	0.86	0.89	0.92	0.93
12	188.00	187.05	inlaag Vlietepolder	0.95	0.98	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.92	0.91
13	187.05	186.45	Nieuw Noordbevelandpolder	0.99	0.99	0.96	0.96	0.90	0.99	0.95	0.90	0.94
14	186.45	185.40	inlaag	0.97	0.96	0.96	0.98	0.96	0.97	0.95	0.92	0.93
15	185.40	184.65	haven Oesterput	0.98	0.96	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.93	0.93
16	184.65	184.00	Westelijke inlaag	0.98	0.97	0.98	0.98	0.99	0.96	0.96	0.96	0.94
17	184.00	183.40	Westelijke inlaag	1.00	0.97	0.96	0.98	0.98	0.98	0.98	0.95	0.94
18	183.40	182.50	Grote inlaag	1.00	0.99	0.95	1.00	0.97	1.00	1.00	0.97	0.96
167a	12.20	12.00	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	1.00	1.00	1.01	0.94	1.00	1.00	0.94	1.00	1.00
167b	12.00	11.85	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	0.98	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	0.98	0.99	1.00
167c	11.85	11.65	(Flaauwersinlaag) Polder Schouwen	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	0.98	0.99	0.99
168	11.65	10.10	(Weeversinlaag) Polder Schouwen	0.99	0.99	0.99	0.97	0.99	1.00	0.96	0.98	0.99
169a	10.10	--	(ringdijk Schelphoek) Polder Schouwen	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	0.96	0.98	0.99
169b	--	--	(ringdijk Schelphoek) Polder Schouwen	0.98	1.00	0.99	0.98	1.00	1.00	0.96	1.00	0.99
170	--	5.55	(delingsdijk) Polder Schouwen	0.98	0.99	0.99	0.97	1.00	1.00	0.95	0.99	0.99
171a	5.55	3.20	Polder Schouwen tot aan Stormvloedkering	1.01	1.02	0.99	0.92	0.97	0.99	0.93	0.99	0.98
171b	3.20	1.90	Polder Schouwen tot aan Stormvloedkering	0.97	0.97	0.96	0.92	0.88	0.88	0.89	0.86	0.84
171c	1.90	0.00	Polder Schouwen tot aan Stormvloedkering	0.84	0.76	0.65	0.85	1.07	1.27	0.72	0.81	0.82

### 9.3.1 Analyse effect nieuwe implementatie kering op significante golfhoogte

Uit bovenstaande resultaten wordt duidelijk dat zoals verwacht het verschil dicht bij de kering groter is dan verder van de kering af, in zowel absolute als relatieve zin. Maar zelfs voor de beschouwde vakken die het verst van de kering afliggen is het effect nog niet geheel uitgedempt. Aan de zuidoever laten de dijkvakken direct ten zuidoosten van de kering (1 en 2a) de grootste afname aan golfhoogte zien (maximaal 69 cm, relatieve afname 33%), dit kan worden verklaard doordat de uiteinden van de kering in de nieuwe simulaties geheel dicht zijn gezet (wat overeen komt met de werkelijkheid). In Alkyon (2005b) zijn deze gebieden relatief ondiep, maar wordt wel de transmissiecoëfficiënt van de open kering toegepast. Hoe hoger de waterstand hoe meer golfenergie dus abusievelijk wordt doorgelaten in Alkyon (2005b), dit is terug te zien in het effect van de nieuwe kering. Voor de overige dijkvakken aan de zuidkant geldt dat het effect groter is in de vakken die meer 'exposed' liggen. NB dijkvak 5b Sophiahaven gaat uit van uitvoerpunten buiten de haven en ligt dus niet zo beschermt als weergegeven in Figuur 9-3 tot en met Figuur 9-5.

Aan de noordoever van de Westerschelde geldt hetzelfde maar in mindere mate, uitsluitend dijkvak 171c geeft verschillen boven de 10 cm, (maximale afname 56 cm, relatieve afname 35%). Waar aan

de zuidkant noordwestelijke golven dominant zijn, zijn aan de noordkant (zuid)westelijke golven dominant. Golven door de kering hebben hier minder invloed, dit heeft een aantal redenen: 1) de breedte van de kering is kleiner, 2) de kust buigt van de kering af naar het noordoosten en 3) de Roggeplaat (zandplaat ten zuiden van Schouwen-Duiveland) heeft een dempende werking op golven die door de kering komen. Het effect van een gewijzigde keringsimplementatie is als gevolg daarvan ook beperkt. Dit is ook goed te zien in Bijlage I.

### 9.3.2 Analyse effect nieuwe implementatie kering op golfperiode

Voor de zuidkant is het effect op golfperiode ( $T_{pm}$ ) aanzienlijk, de golfperiodes worden vrijwel overal lager. Relatief gezien (zie in Tabel 9-2) is het effect over het algemeen kleiner dan voor  $H_s$  maar werkt het wel verder door. De verminderde doordringing van lange golven door de kering heeft een groter effect op de golfperiode dan op de totale hoeveelheid energie ter plaatse van de uitvoerpunten. Het wegnemen van een relatief klein deel van golven met een grote periode kan grote effecten hebben op de periodemaat  $T_{pm}$ .

Het effect op de noordoever is veel kleiner en werkt ook niet zoveel door. Voor dijkvak 171c neemt de periodemaat  $T_{pm}$  zelfs toe door nieuwe implementatie (de golfhoogte neemt er wel af). De verhoging van de periodemaat  $T_{pm}$  in 171c kan worden gezien als gevolg van de veranderde transmissiecoëfficiënt. In geval van de nieuwe transmissiecoëfficiënten (zie bijvoorbeeld de zwarte lijn in Figuur 6-1) wordt van de langere golven onder de 0.3 Hz vooral de langste golven (onder de 0.11 Hz) meegenomen, in vergelijking met de transmissiecoëfficiënten zoals toegepast in Alkyon (2005b, zie de gele, cyaan en magenta lijnen in Figuur 6-1). Dit kan betekenen dat juist deze golven de overhand krijgen waar het de periodemaat  $T_{pm}$  betreft. Dit is blijkbaar het geval voor dijkvak 171c. Daarbij dient te worden opgemerkt dat voor de waterstand NAP+3m een andere richting dominant is geworden, wat evengoed een belangrijke rol zal spelen.

### 9.3.3 Analyse effect nieuwe implementatie kering op belastingsfunctie Z1

De effecten op Z1 zijn in beginsel een indicatie van totale toe of afname van de golfbelasting en zijn het product van het effect op golfhoogte en periodemaat  $T_{pm}$ <sup>12</sup>. De grootste effecten zijn dan ook te zien waar zowel een groot effect op golfhoogte en periodemaat  $T_{pm}$  bestaat, dit is vooral het geval voor dijkvakken 1 en 2a.

## 9.4 Conclusie

Het effect van de nieuwe transmissiecoëfficiënt en de positionering van obstakels is het grootst direct na de kering. De belangrijkste veranderingen zijn te zien in dijkvakken 1, 2a en 171c, direct ten zuidoosten van het zuidelijk deel van de kering en ten noordoosten van het noordelijk deel van de kering. Hier is een verlaging in golfhoogte van meer dan een halve meter te zien (op de zuidoever en bij een waterstand van NAP+3m ook op de noordoever). Het effect op periodemaat  $T_{pm}$  (over het algemeen verlagend) dringt iets verder door.

NB: Er dient opgemerkt te worden dat de gevonden verschillen niet zijn toe te passen op de bestaande golfrandvoorwaarden voor toetsing of ontwerp van dijken en steenbekledingen. Ten eerste omdat daarvoor een serie correcties dient te worden toegepast die in dit hoofdstuk achterwege zijn gelaten. Ten tweede is in dit rapport wederom vast komen te staan dat de berekeningen waarop de huidige randvoorwaarden zijn gebaseerd een serie tekortkomingen bevatten. Door alleen het effect van één enkele correctie (zoals in de huidige studie is gedaan) toe te

---

<sup>12</sup> In werkelijkheid kan een combinatie van golfhoogte en periode van een andere richting of in een ander uitvoerpunt (binnen hetzelfde dijkvak) voor de hoogste Z1-waarde zorgen.



passen (waarvan van te voren werd verwacht dat die wellicht verlagend zou werken) hoeft niet daadwerkelijk tot meer realistische randvoorwaarden te leiden, daarvoor dienen immers alle bekende fouten te worden verwerkt, dus ook degene die wellicht juist tot hogere golven kunnen leiden.

## 10 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 10.1 Conclusies

In de huidige studie is de frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënt door de Oosterscheldekering op verbeterde wijze bepaald met behulp van meetgegevens en twee SWAN transmissie testmodellen. Hierbij zijn de randvoorwaarden van de transmissie testmodellen zodanig getuned dat de berekende spectra in de meetpunten aan de zeezijde goed overeenkomen met de gemeten spectra. De transmissie testmodellen zijn goed te tunen, behalve voor één situatie (S6) is het onmogelijk geweest om met behulp van aanpassing van de golfrandvoorwaarde de meting te representeren. Deze situatie is dan ook niet meegenomen in de verdere analyse.

Op basis van de simulaties is de volgende set transmissiecoëfficiënten afgeleid:

$$K_t(freq) = \begin{cases} 1 & \text{voor } freq < 0.11 \\ -5.77freq + 1.63 & \text{voor } 0.11 \leq freq < 0.24 \\ 0.25 & \text{voor } freq \geq 0.24 \end{cases}$$

De gevoeligheid van de transmissie testmodellen voor enkele instellingen en SWAN versies is onderzocht in een gevoeligheidsanalyse. De conclusie met betrekking tot het gevoeligheidsonderzoek met getunede randvoorwaarden is dat de berekende transmissiecoëfficiënten enigszins gevoelig zijn voor de gekozen SWAN versie (voor bepaalde frequenties tot 50%, over het algemeen tussen de 10 en 20%), en relatief ongevoelig voor de roosterresolutie.

Een kort literatuuronderzoek heeft laten zien dat de bovenkant van de kering (de bovenbalk) zeker een rol speelt in het tegenhouden van golven. De grootte van dit effect is echter niet van dien aard dat deze tot aanpassing van de hierboven geïntroduceerde transmissiecoëfficiënten dient te leiden.

De nieuwe transmissiecoëfficiënten zijn verwerkt in een nieuwe SWAN versie (Swan256v3075\_sv14). De kering is verbeterd in het SWAN HR2006 Oosterschelde model gebracht, door blokkerende dammen toe te passen op de plekken waar de kering geen openingen heeft. Het effect van deze aanpassingen op de huidige toets- en ontwerpgetallen van de golven in het westelijke deel van de Oosterschelde is onderzocht, de duidelijkste verschillen ontstaan direct na de kering. Met name in dijkvakken 1, 2a en 171c, direct ten zuidoosten van het zuidelijk deel van de kering en ten noordoosten van het noordelijk deel van de kering. Hier is een verlaging in golfhoogte van meer dan een halve meter te zien ten gevolge van de aangepaste golftransmissie en schematisering van de kering. Het effect op periodemaat  $T_{pm}$  (over het algemeen verlagend) is relatief kleiner maar dringt iets verder door. De gevonden aanpassingen dienen niet te worden gebruikt voor toets- en ontwerpdoeleinden.

### 10.2 Aanbevelingen aangaande het berekenen van afleiding transmissiecoëfficiënten

De aanbevelingen in dit hoofdstuk zijn uitgesplitst in twee delen, allereerst wordt ingegaan op het berekenen van transmissiecoëfficiënten van de Oosterscheldekering (deze paragraaf). Het is echter de mening van de auteurs dat deze aanbevelingen in het niet vallen bij die in de volgende paragraaf: waar aanbevelingen staan aangaande het SWAN HR2006 Oosterschelde model. Totdat hydraulische randvoorwaarden op een correcte manier worden afgeleid op basis van een grondig herzien model, heeft het eigenlijk geen zin het bestaande model op individuele punten te verbeteren. Meer nog dan dat, door effecten te onderzoeken van verkeerd geïmplementeerde zaken waarvan van te voren bekend is – of verwacht wordt – dat deze tot lagere randvoorwaarden leiden, en tegelijkertijd andere verbeterpunten te laten liggen, bestaat het gevaar dat te lage randvoorwaarden worden verkregen. De gevaren daarvan zijn evident.

Dat gezegd hebbende, als voor een nieuw SWAN HR Oosterschelde model opnieuw transmissiecoëfficiënten dienen te worden berekend, dan kunnen daarvoor de volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Transmissiecoëfficiënten dienen te gelden voor uiteenlopende en extreme situaties. Het is vrijwel onmogelijk om al deze situaties in metingen te vangen. Het ligt daarom voor de hand om uit te gaan van een analytische methode voor het bepalen van waterstand-, frequentie- en wellicht golfhoogteafhankelijke transmissiecoëfficiënten. Een voorzet in deze is al gedaan in Hoofdstuk 7, hoewel hier uitsluitende de verticale begrenzing van de bovenbalk is meegenomen. Metingen dienen vervolgens om de gevonden relaties te valideren en pas in het uiterste geval om deze aan te passen.
- Het wordt aanbevolen dat nieuwe metingen worden uitgevoerd met:
  - Een zorgvuldige keuze van meetlocaties. Bij voorkeur dicht bij de kering en tegen over elkaar.
  - De golfmetingen dienen ook richtingen te bevatten.
  - Hoe langer de meetperiode hoe groter het aantal situaties dat uiteindelijk gevalideerd kan worden en hoe sterker de uiteindelijk transmissiecoëfficiënten zullen staan.
  - Om de invloed van de stroming op de transmissie door de kering te beschouwen is het gewenst om tevens de stroming te meten.
- In de huidige studie zijn de transmissiecoëfficiënten afgeleid zonder stroming. Aangezien de HR2006-berekeningen zonder stroming zijn uitgevoerd, waren stromingsafhankelijke transmissiecoëfficiënten niet nodig. Voor een eventueel nieuw model is het verstandig om de invloed van stroming op de transmissie te beschouwen. Hierbij komen de nieuwe metingen van pas.
- Op het moment dat opnieuw getracht wordt transmissiecoëfficiënten af te leiden op basis van metingen kan daarbij een aangepaste methodiek worden overwogen. Als het transmissie testmodel aan de buitenkant juist getuned is, zullen zich hier nauwelijks verschillen tussen meting en model voordoen. De transmissiecoëfficiënt kan vervolgens worden gevonden door het quotiënt van de golfenergie van de meting en de simulatie ten nemen, beide aan de Oosterschelde zijde van de kering. In dat geval (Spectrum berekent door SWAN aan de zeezijde van de kering = Spectrum van de meting aan de zeezijde van de kering ) wordt ruis door metingen en modelresultaten aan de buitenkant van de kering geheel vermeden.

In formulevorm (zie ook Hoofdstuk 2):

$$K_T(f) = \frac{K_{TB}(f)}{K_B(f)} = \frac{\frac{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten Zee}}}}}{\frac{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN Zee}}}}} = \frac{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN Zee}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten Zee}}}} \frac{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN OS}}}}$$

indien goed getuned:  $\frac{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN Zee}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten Zee}}}} = 1 \xrightarrow{\text{geeft}}$

$$K_T(f) = \frac{\sqrt{E(f)_{\text{Gemeten OS}}}}{\sqrt{E(f)_{\text{SWAN OS}}}}$$

### 10.3 Aanbevelingen aangaande het SWAN HR2006 Oosterschelde model

Er wordt aanbevolen om de resultaten van de huidige studie niet kwantitatief te gebruiken, maar om deze uitsluitend te zien als een reden om nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden te berekenen op basis van een verbeterd SWAN HR2006 Oosterschelde model (met als onderdeel een nieuw rooster,

versie, bodem, instellingen en de correcte weergave van de kering worden meegenomen). Dit is de enige manier om op economische wijze tot correcte toets- en randvoorwaarden te komen.

De berekening van de randvoorwaarden zoals die is uitgevoerd door Alkyon (1998 & 2005b) bevat – met de kennis van nu – een groot aantal onnauwkeurigheden en/of fouten is op een aantal gebieden duidelijk verouderd.

- Verouderde SWAN versie (d.d 1998)  
In verscheidende studies is al aangetoond dat het rekenen met nieuwste SWAN versie betere resultaten oplevert (meer overeenkomst met de werkelijkheid)
- Complex model (40 rekenroosters benodigd)  
Zeer gevoelig voor fouten. Deze complexiteit was in 1998 nodig als gevolg van de beperkte computercapaciteit. Op dit moment is deze sterk verbeterd en is het nu mogelijk hiervoor één rekenrooster te gebruiken (Svašek, 2012a). Svašek (2012a) heeft een rekenrooster van de Oosterschelde geoptimaliseerd op basis van het WAQUA rekenrooster. Dit rekenrooster is gebruikersklaar. Desondanks wordt toch geadviseerd om te kijken of een ongestructureerd rooster (fijne resolutie in de gewenste gebieden en grover waar mogelijk) niet nog beter zou zijn.
- Te grove bodem- en roosterresolutie
- Verouderde fysische instellingen  
Voor WT12011 zijn de fysische instellingen voor bijvoorbeeld de Westerschelde geoptimaliseerd en hebben geleid tot betere resultaten. Voor de Oosterschelde zou het ook zeer nuttig zijn om de instellingen te optimaliseren met als startpunt de Westerschelde instellingen.
- Verouderde inzichten bodemschematisatie  
Uit nieuwe inzichten blijkt dat de ontwikkeling van de Oosterschelde sneller gaat dan voorzien was in 1998 (Royal Haskoning, 2008). In Svašek (2012a) is al aangetoond dat deze vernieuwde inzichten aangaande de bathymetrie zullen leiden tot verbeterde resultaten.
- Foutieve schematisatie van de kering  
In de SWAN berekeningen - waarop de huidige toets- en randvoorwaarden zijn gebaseerd (Alkyon 1998 & 2005b) - zijn de eindpunten van de kering als open kering meegenomen, terwijl hier in werkelijkheid geen openingen zijn (met andere woorden: de kering is breder in de berekeningen dan in werkelijkheid). De transmissie in SWAN ter plaatse van de dam is door de bredere kering te hoog.
- Iteratiecriteria te soepel.  
In de SWAN berekeningen is een 98% *accuracy* criterium aangehouden, maar uit de huidige studie blijkt dit onvoldoende te zijn. Enkele testberekeningen wezen uit dat een evenwicht pas na circa 25 iteraties wordt bereikt.
- Foutieve implementatie van de transmissie door de kering.  
Tijdens de huidige studie is naar voren gekomen dat de transmissie door de kering in de executabel van Alkyon (2005b) - SWAN 30.75t – niet overeen komt met de gedocumenteerde transmissie (zie Tabel 2.2 in Alkyon, 2005b). Er zijn in de implementatie diverse fouten gemaakt, zie Bijlagen E en F.
- Foutieve verdichting  
De detailroosters zijn in 1998 genest in de bovenliggende roosters, in verband met beperkte computercapaciteit zijn de bijbehorende randvoorwaarden met een resolutie van 100m x100m weggeschreven. Vervolgens wordt - indien een detailberekening wordt opgestart – het nestbestand verdicht naar een ruimtelijke resolutie van 20 m x 20 m. Deze verdichting wordt uitgevoerd door de programma's MKNEST3.exe en MODRVW2.exe. In Svašek (2010) is naar voren gekomen dat MODRVW2.exe de randvoorwaarden niet op geheel correcte wijze verdicht en dat enkele spectra op de randen van de detailgrids missen (zie Bijlage 1A in Svašek, 2010).
- Foutieve windvelden

Eerder is in Svašek (2012b) naar voren gekomen dat in Alkyon (1998, 2005b) de opgelegde windvelden niet correct zijn toegepast in de berekeningen. Ze hebben gebruik gemaakt van verschillende constante windvelden. Hierbij is in de windsnelheid onderscheid gemaakt tussen twee gebieden, een binnengebied en een buitengebied. De grens van die gebieden zou volgens de documentatie bij de kering moeten liggen, maar die loopt in de windbestanden ongeveer halverwege de Oosterschelde van zuidwest naar noordoost, zie voor meer detail Svašek (2012b, p.38).

- De resultaten met het N1 rooster uit Alkyon (1998, 2005b) zijn niet reproduceerbaar. Uit de huidige studie is naar voren gekomen dat de resultaten met het N1-rekenrooster niet te reproduceren zijn (orde centimeters verschil), ondanks dat er gebruik is gemaakt van dezelfde invoer en dezelfde SWAN executabel. De reden is voornamelijk onbekend. Een mogelijkheid zou kunnen zijn dat in Alkyon (2005b) toch met een ander invoerbestand gerekend is, of doordat nu met een ander besturingssysteem (Windows 7 64bit) is gerekend in plaats van in 2005 (Windows XP 32 bit).
- Meenemen van stroming in SWAN simulaties  
Stroming heeft een significante invloed op de golven die door de kering komen, dit dient mee te worden genomen in de berekeningen.

Op basis van de bovenstaande tekortkomingen wordt aanbevolen geen studies meer op basis van dit model uit te voeren. Er wordt geadviseerd een volledig nieuw model op te zetten. De resultaten hiervan moeten vervolgens vergeleken worden met de op dit moment geldende golfcondities. Hiermee zou je een goed beeld krijgen over de geldigheid van de nu gehanteerde golfcondities.

## LITERATUUR

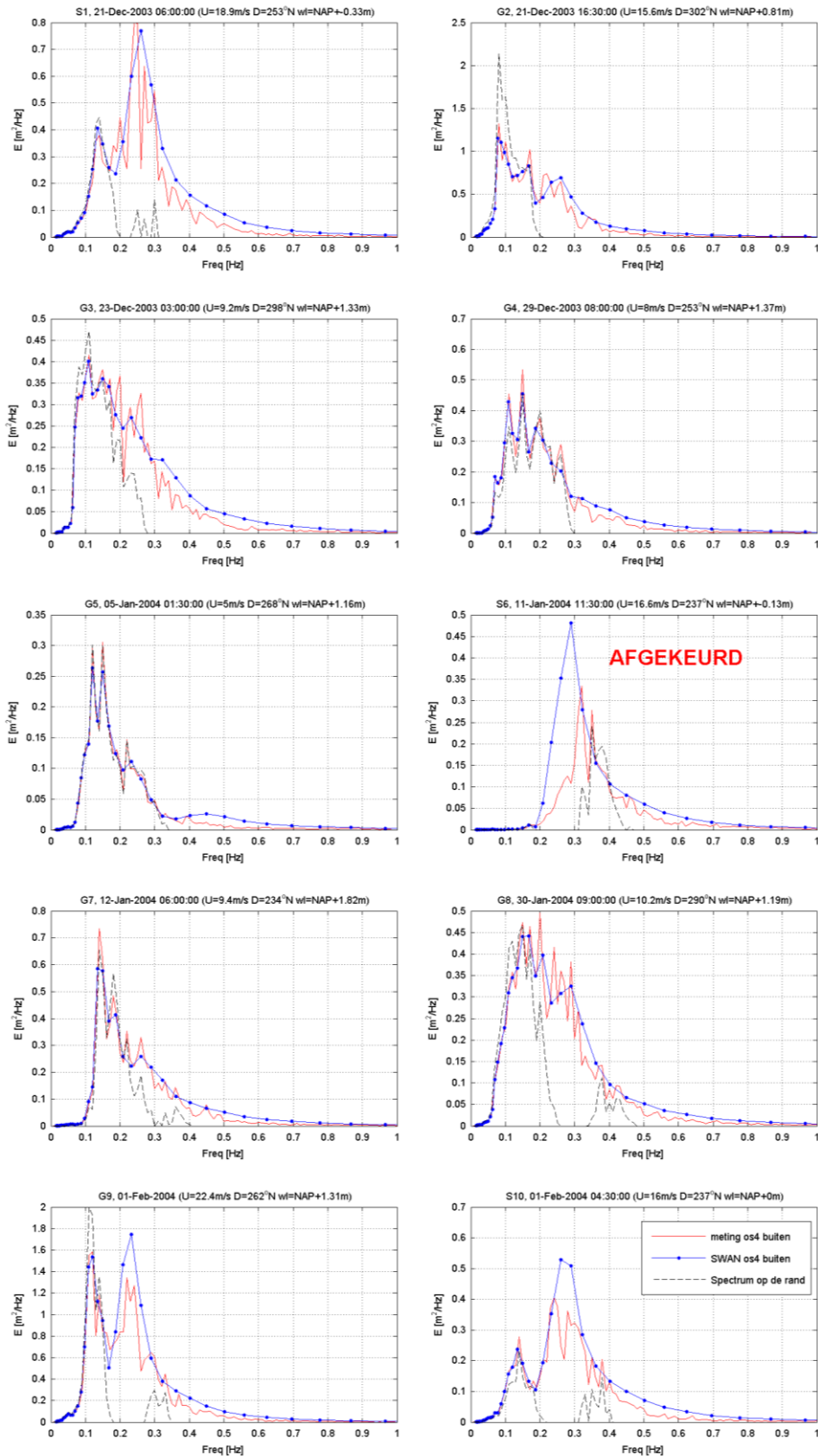
- Alkyon 1998      Golfberekeningen Oosterschelde, d.d. juli 1998, ref A246.
- Alkyon 2005a      Golftransmissie Oosterscheldekering, d.d. 10 jan 2005, ref A1438R1r3.
- Alkyon 2005b      Update golfcondities Rand2001 beïnvloedingsgebied Oosterscheldekering, herberekening westelijke winden, d.d. 30 aug 2005, ref A1438r1r2.
- Deltares 2014      Herbeschouwing golftransmissie Oosterscheldekering, d.d.12 februari 2014, ref 1208045-005-HYE-0002
- Kriebel en Bollman 1996.  
Wave transmission past vertical wave barriers, d.d. 1996, Coastal engineering 1996, Chapter 191.
- Porter, R. En Evans, D.V. 1995.  
Complementary approximations to wave scattering by vertical barriers, d.d. 1995 *Journal of Fluid Mechanics* vol 294: pp. 155-180.
- Svašek 2010      Impact bodemprognose op detailadviezen Oosterschelde, d.d. 8 januari 2010, MB/1565/09388/C
- Svašek en Royal Haskoning 2011  
Handleiding hydraulische detailadviezen Oosterschelde en Westerschelde 2011 t.b.v. projectbureau Zeeweringen, d.d. 23 februari 2011
- Svašek 2012a      Gridontwerp voor SWAN-berekeningen Oosterschelde, genereren, testen en optimaliseren van SWAN-grid en bathymetrie, d.d. 10 oktober 2012, ref 1668/U12086/HTAL
- Svašek 2012b      Verkennende hindcasts golfmodel SWAN Oosterschelde, d.d. 18 juli 2012, ref 1665/U12186/MB/C.
- TU Delft 1998      SWAN implementation manual. Version: 30.74 and updates. Department of Civil Engineering, Delft.
- Wiegel, R.L. 1960 Transmission of waves past a rigid vertical thin barrier, d.d. 1960. *Journal of the waterways and Harbours division, ASCE*, Vol 86, No. WW1, p1-12.
- Wieringa, J. en Rijkooft, P.J. 1983  
*Windklimaat van Nederland*, Staatsuitgeverij, Den Haag, 1983.



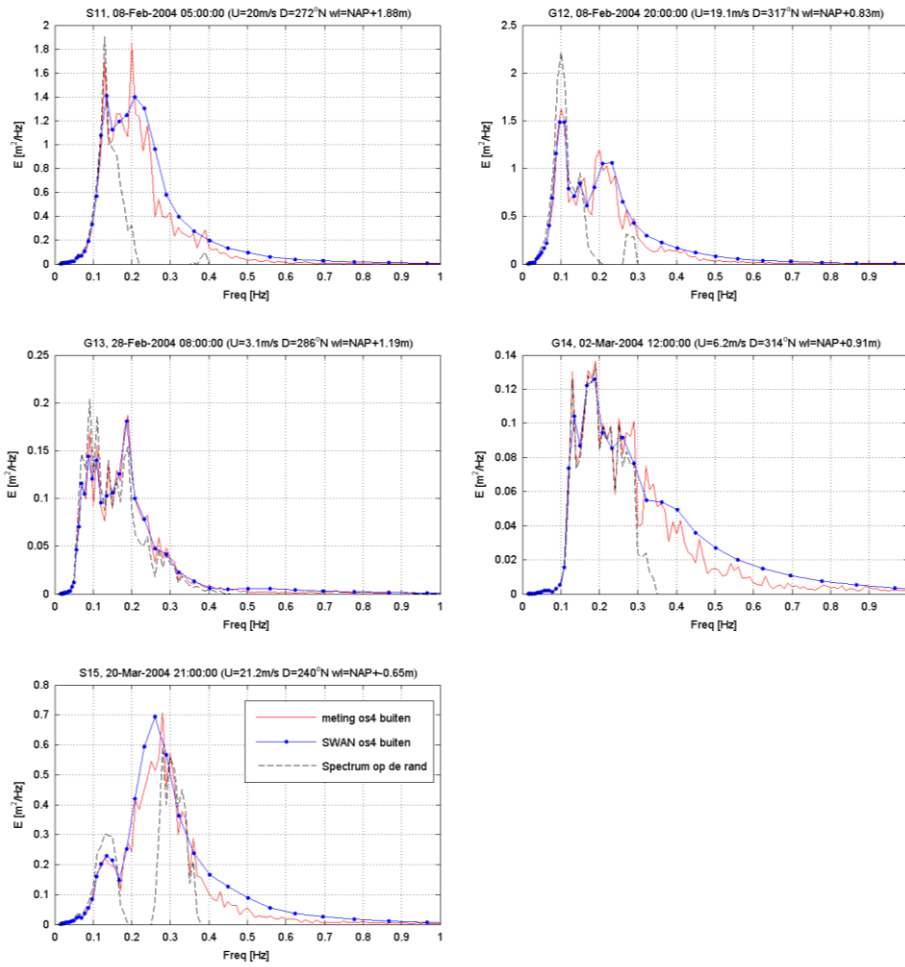


# A RESULTAAT RANDVOORWAARDEN SWAN NA TUNING

## A.1 Noordelijke transmissie testmodel: Spectra Os4, S1 t/m S10



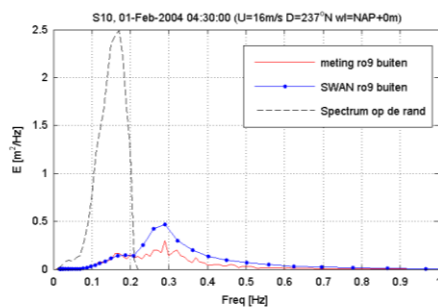
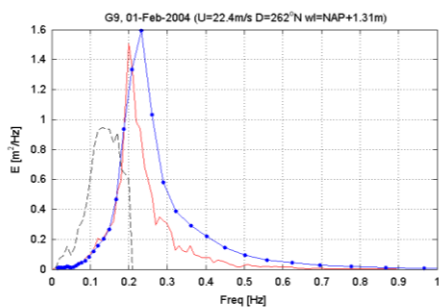
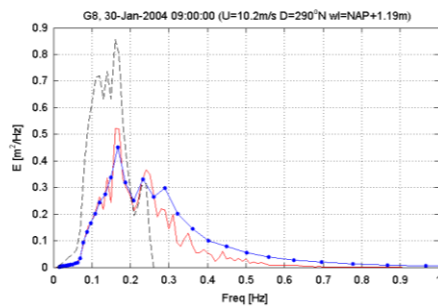
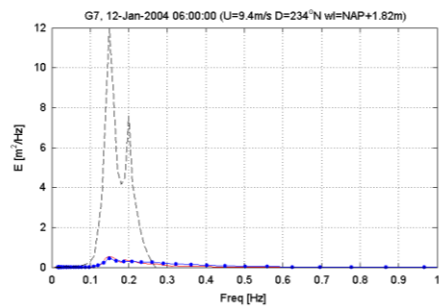
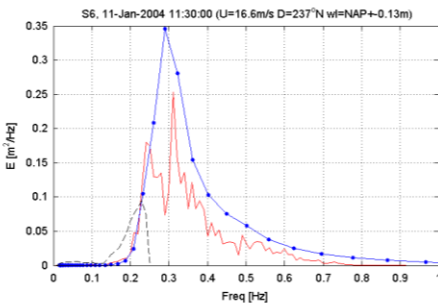
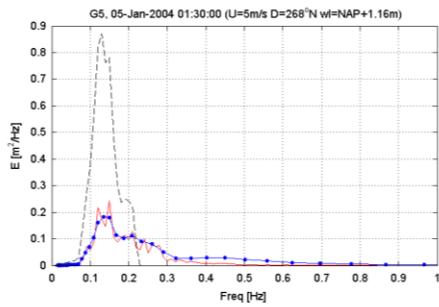
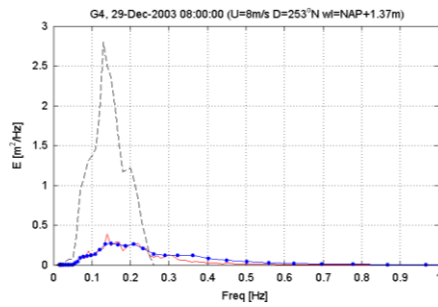
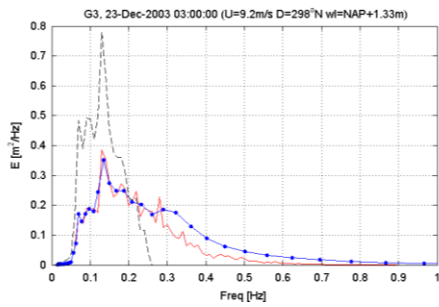
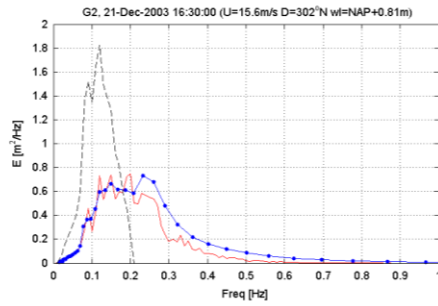
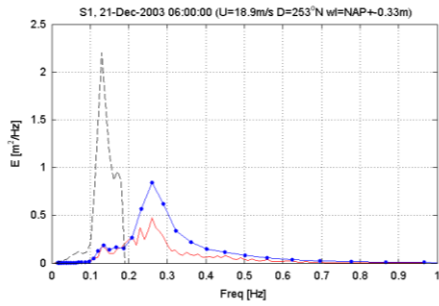
**A.2 Noordelijke transmissie testmodel: Spectra Os4, S11 t/m S15**



A.3

Zuidelijk transmissie testmodel:

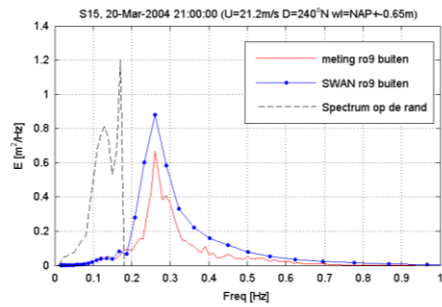
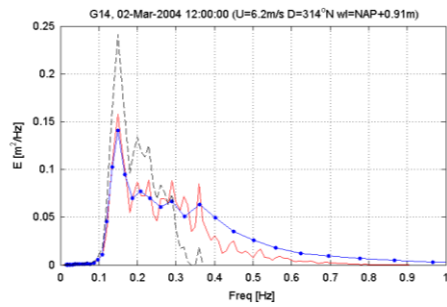
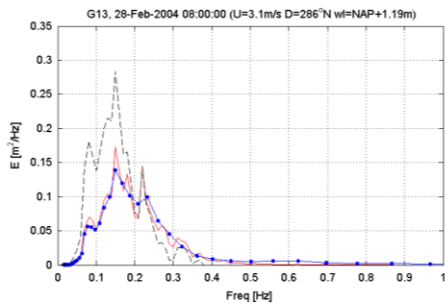
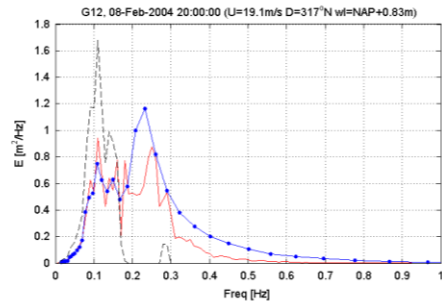
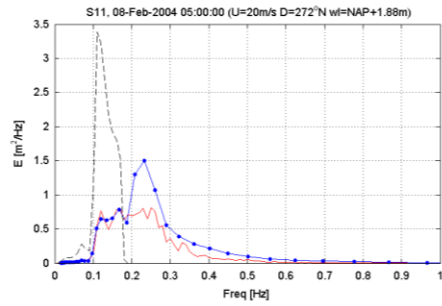
Spectra Os9, S1 t/m S10



A.4

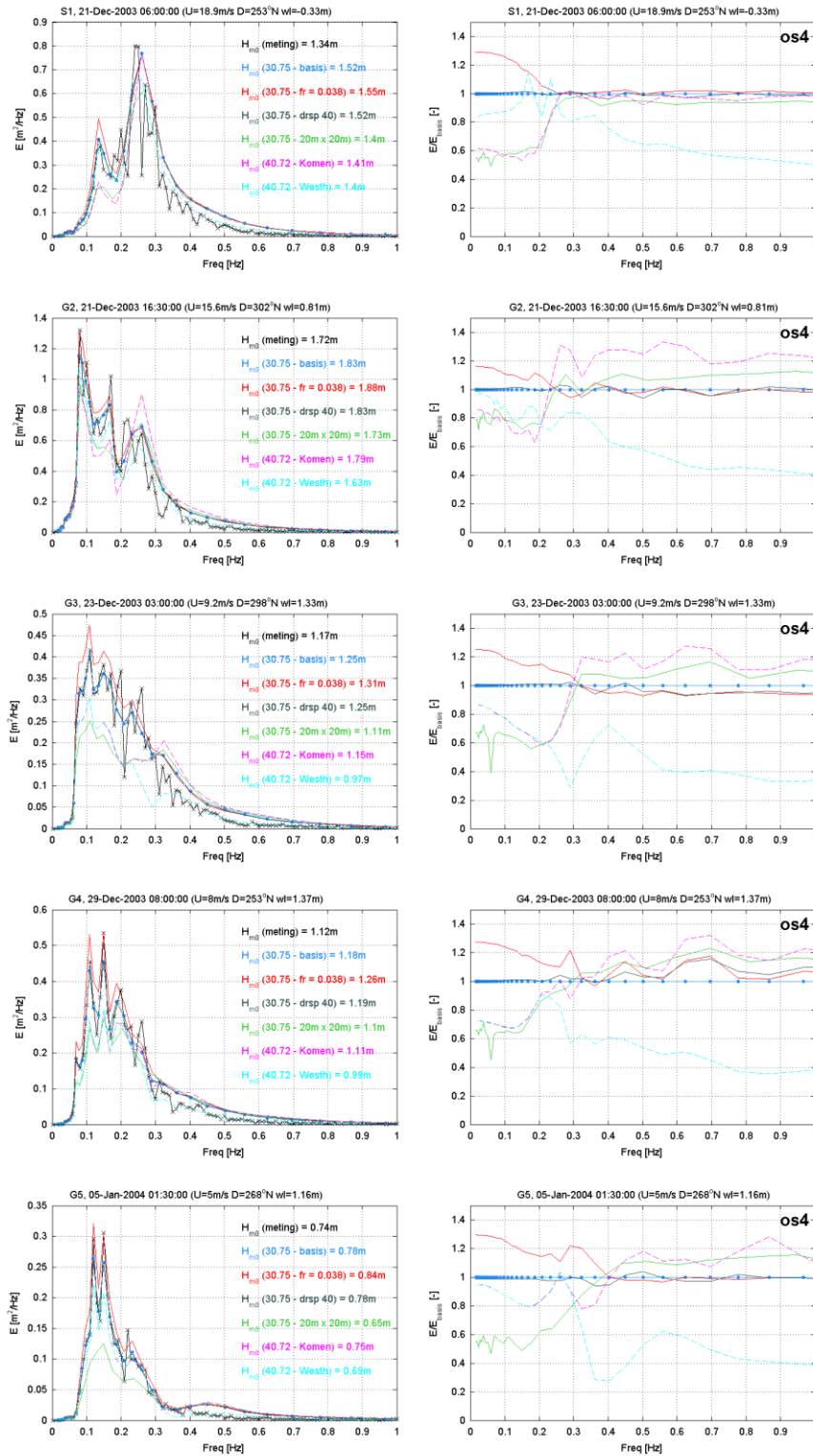
Zuidelijk transmissie testmodel:

Spectra Os9, S11 t/m S15

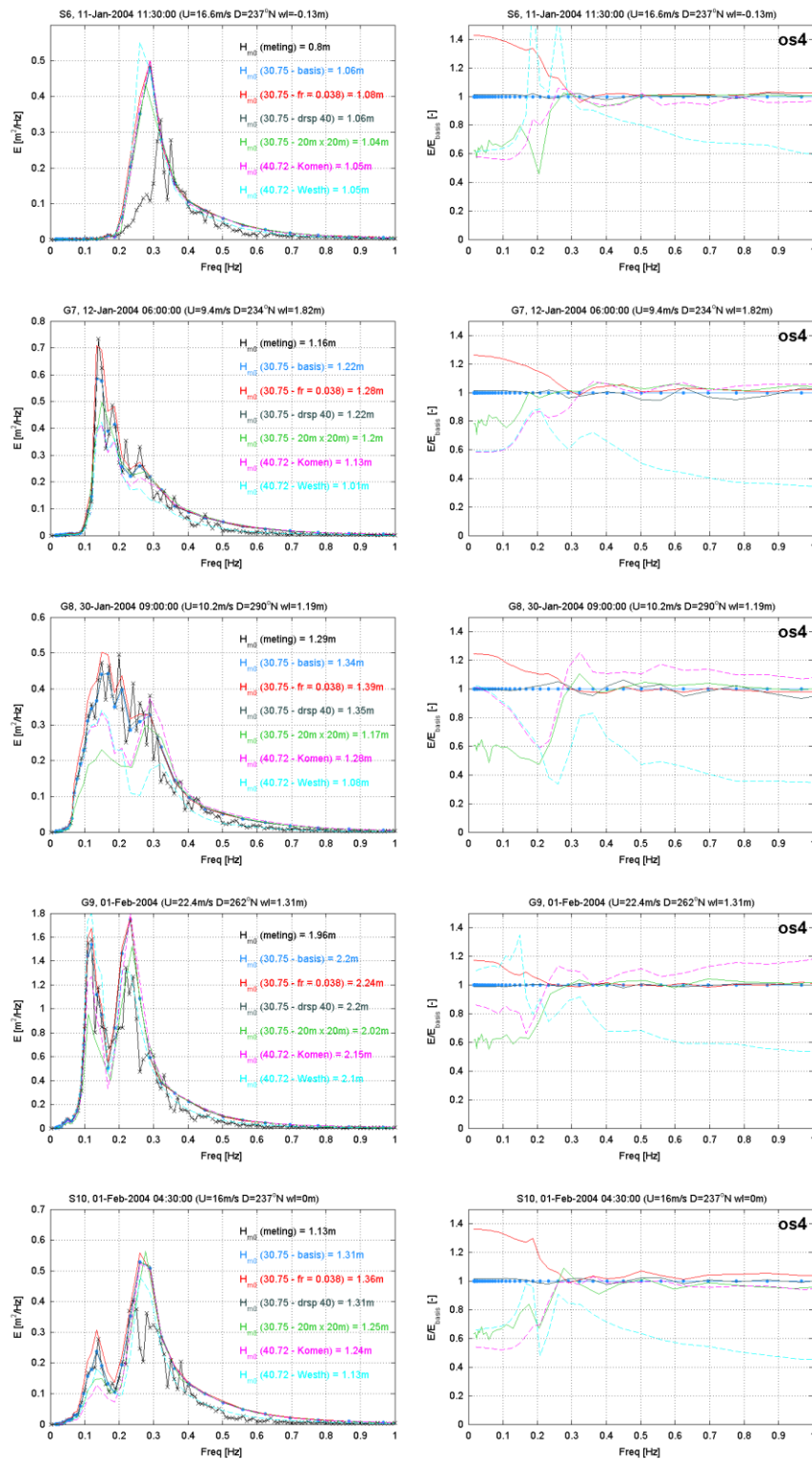


## B RESULTAAT GEVOELIGHEIDSANALYSE

### B.1 Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S1 t/m S5

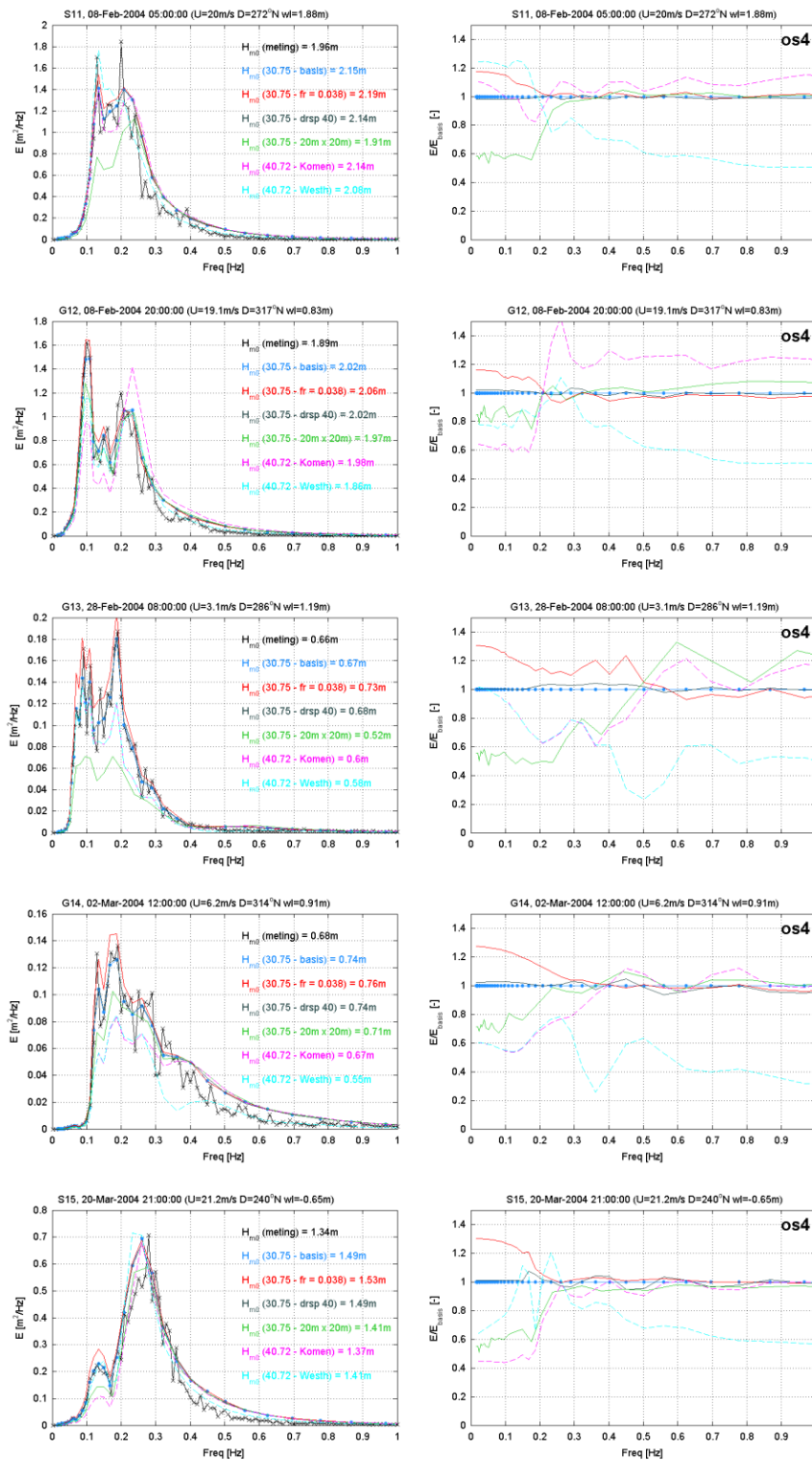


**B.2 Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S6 t/m S10**



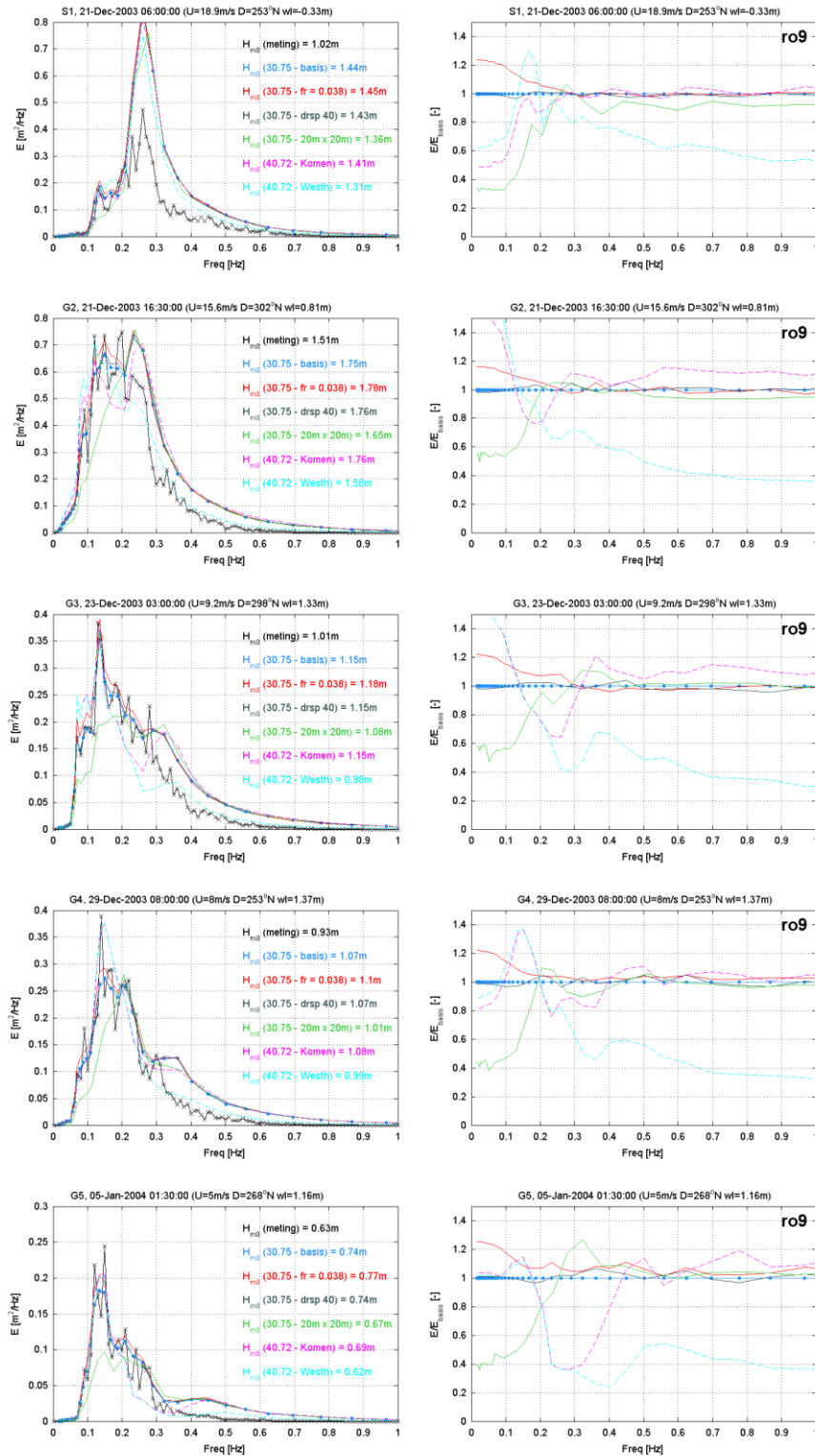
B.3

Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S11 t/m S15

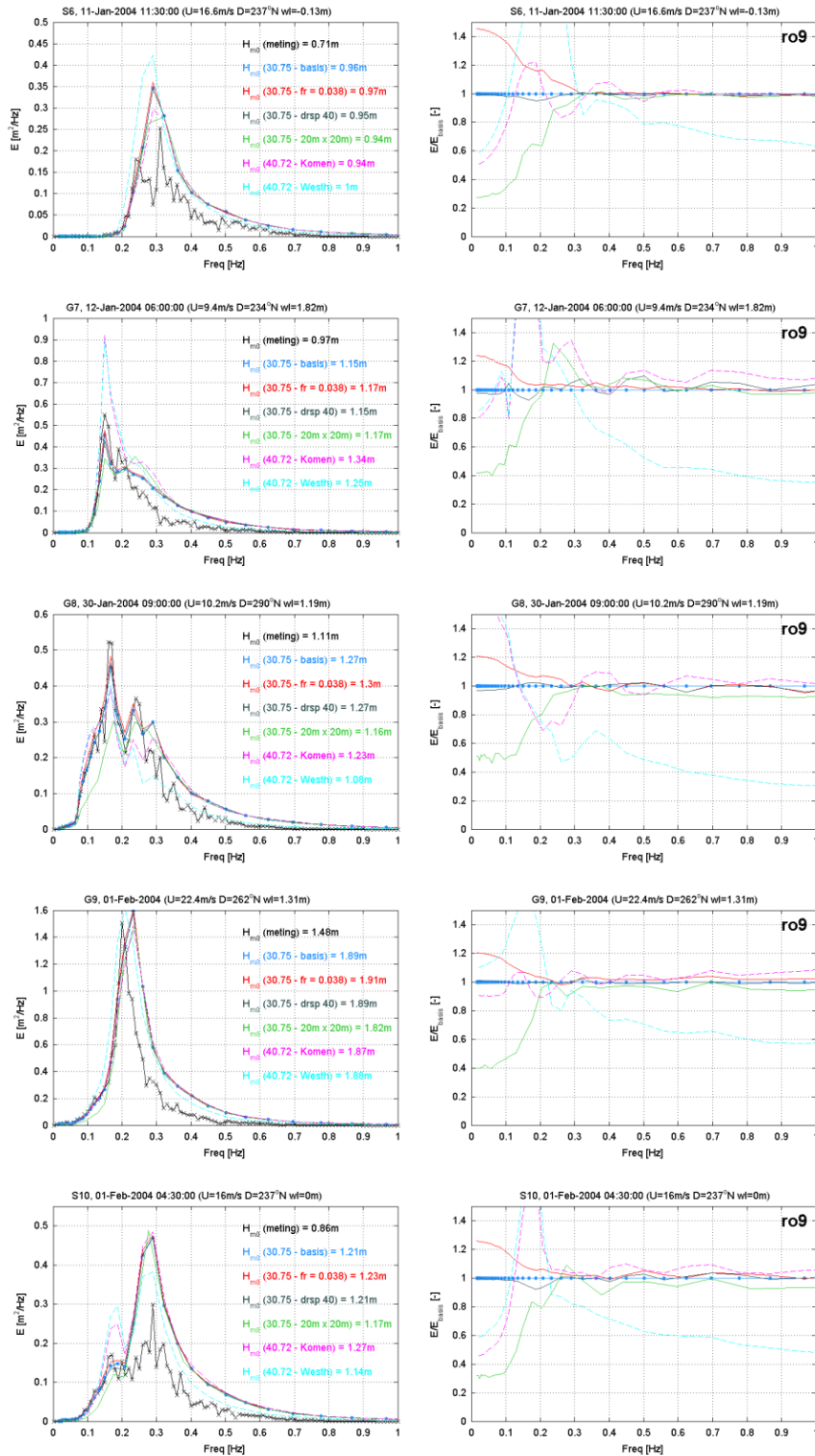




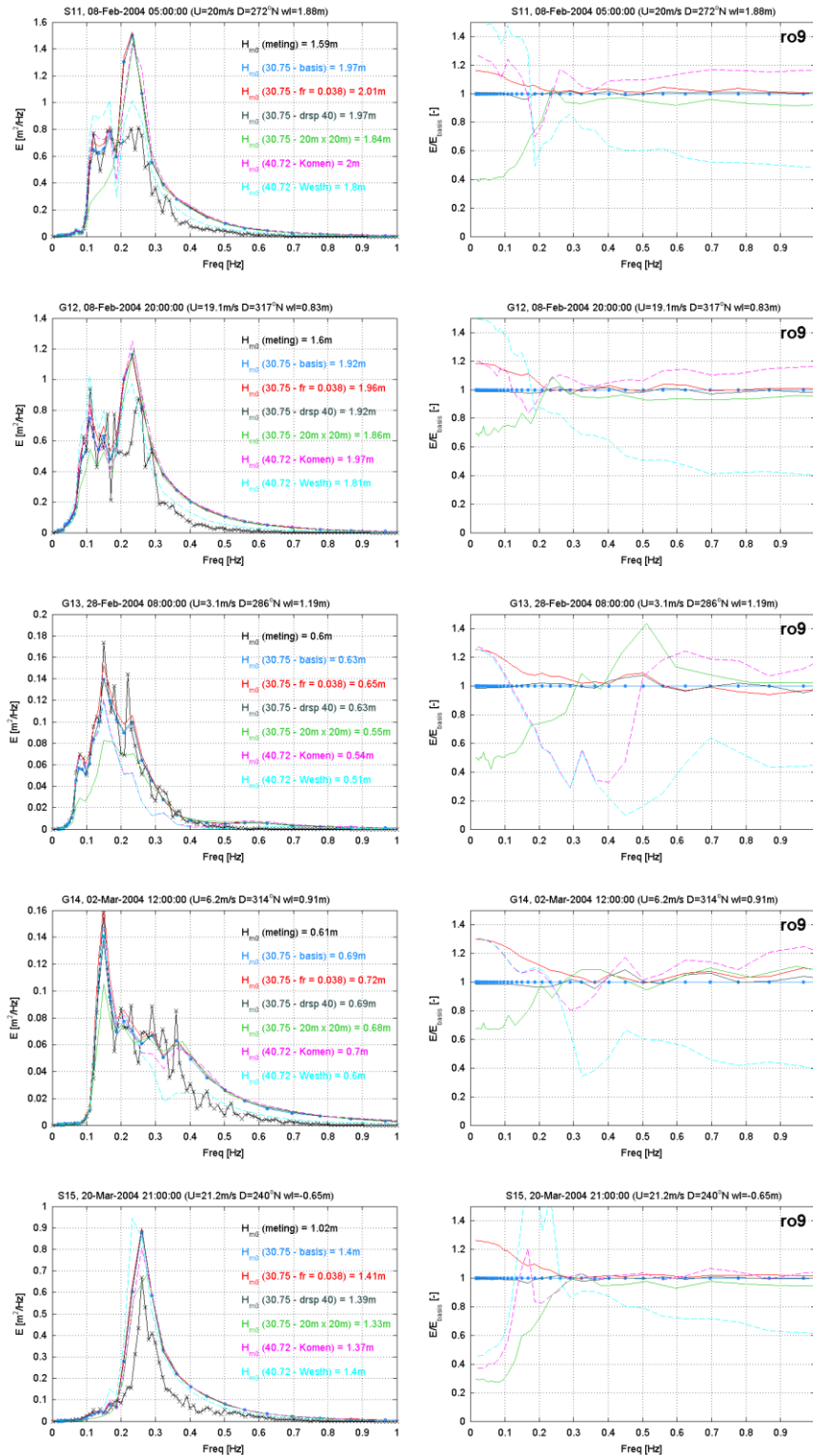
## B.4 Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S1 t/m S5



## B.5 Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S6 t/m S10

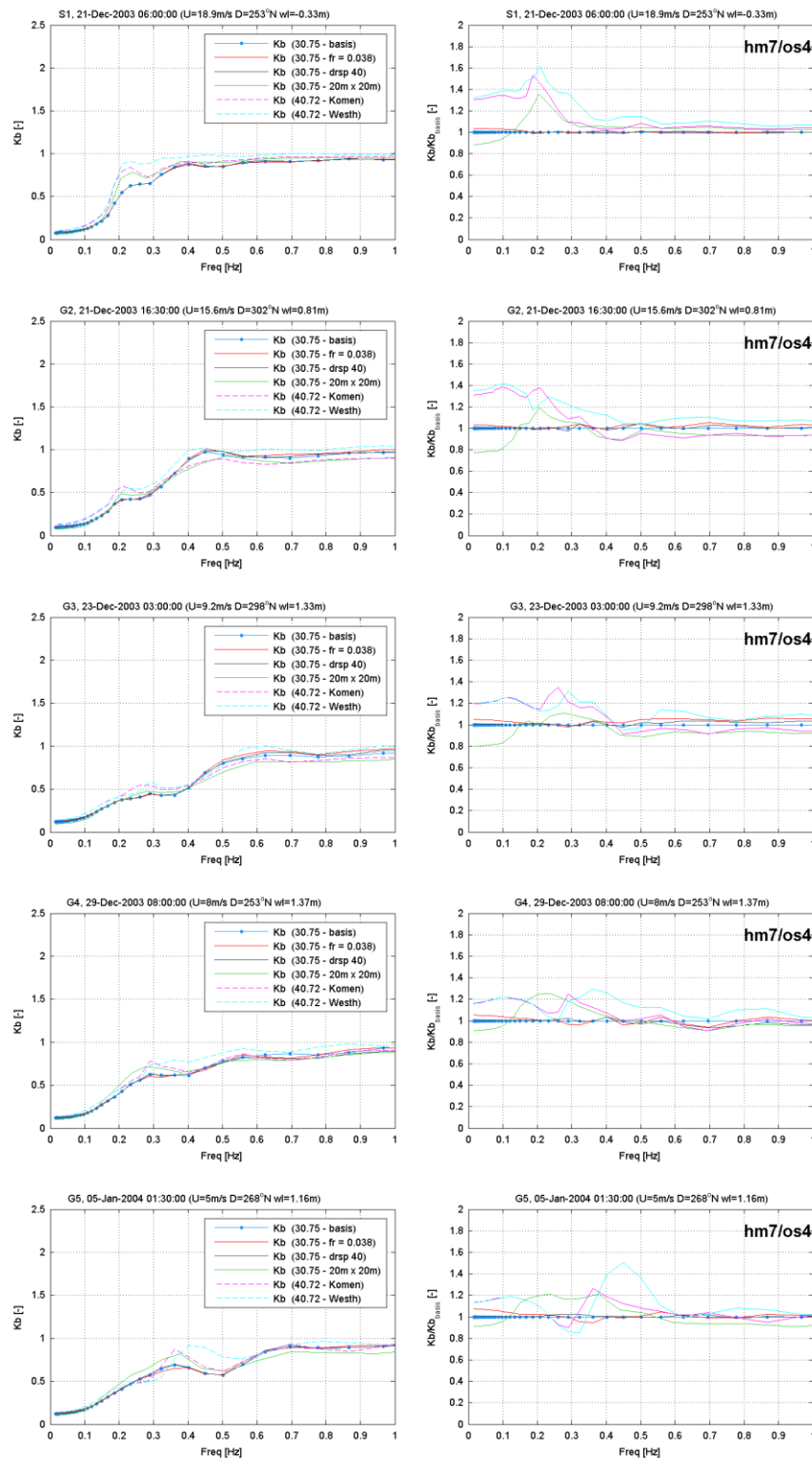


## B.6 Spectra en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S11 t/m S15



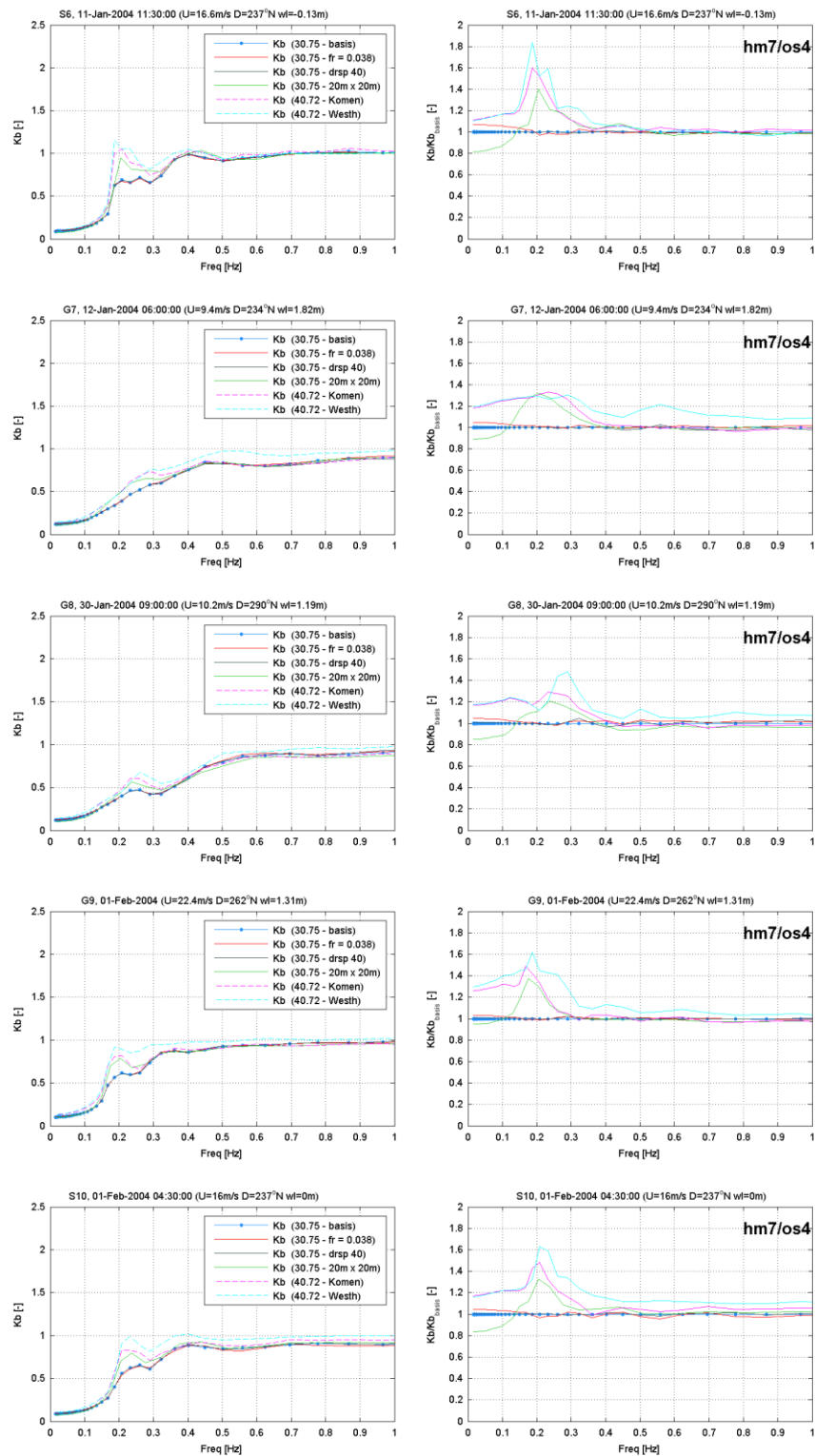
B.7

Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S1 t/m S5



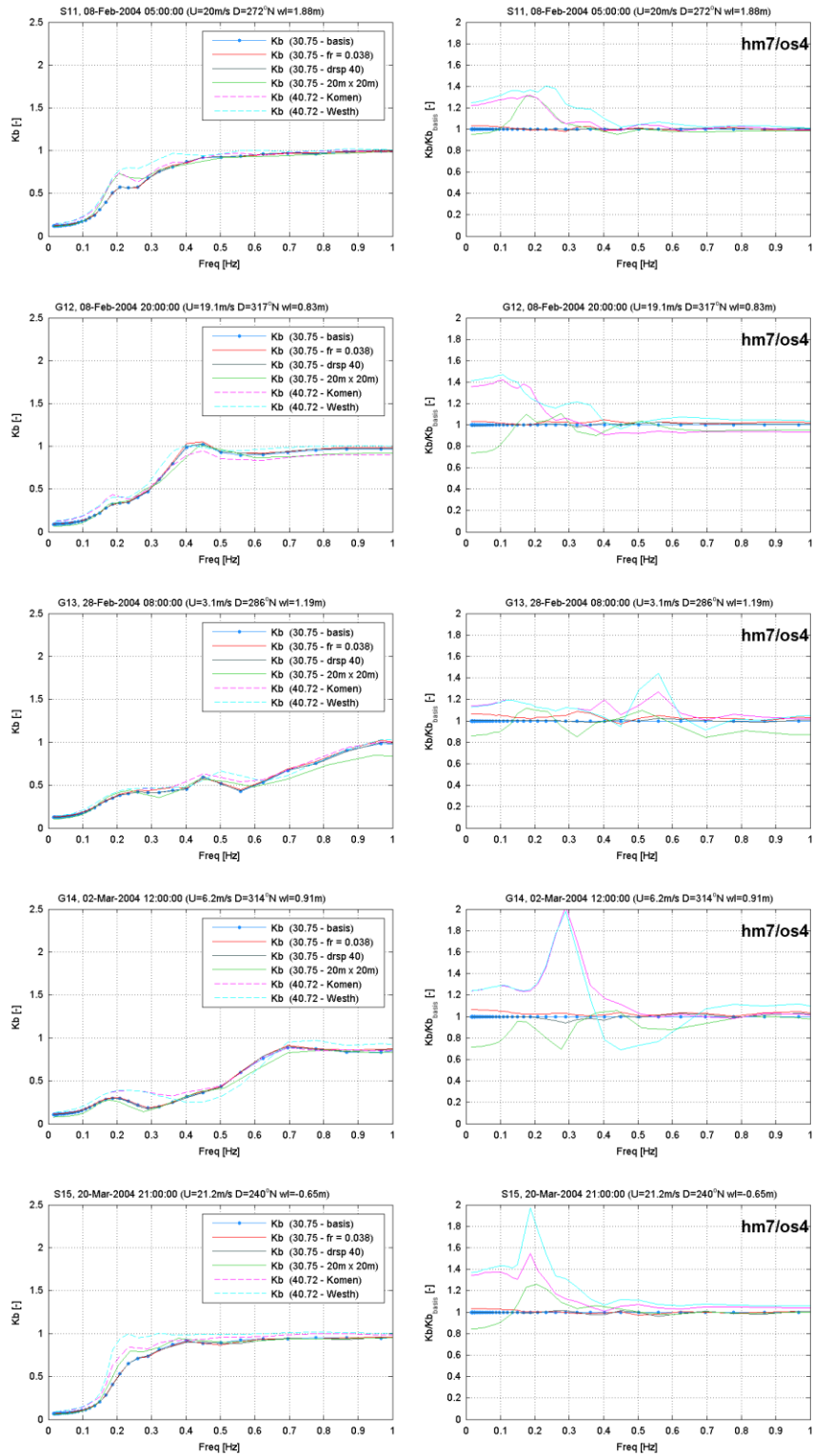
B.8

Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S6 t/m S10



B.9

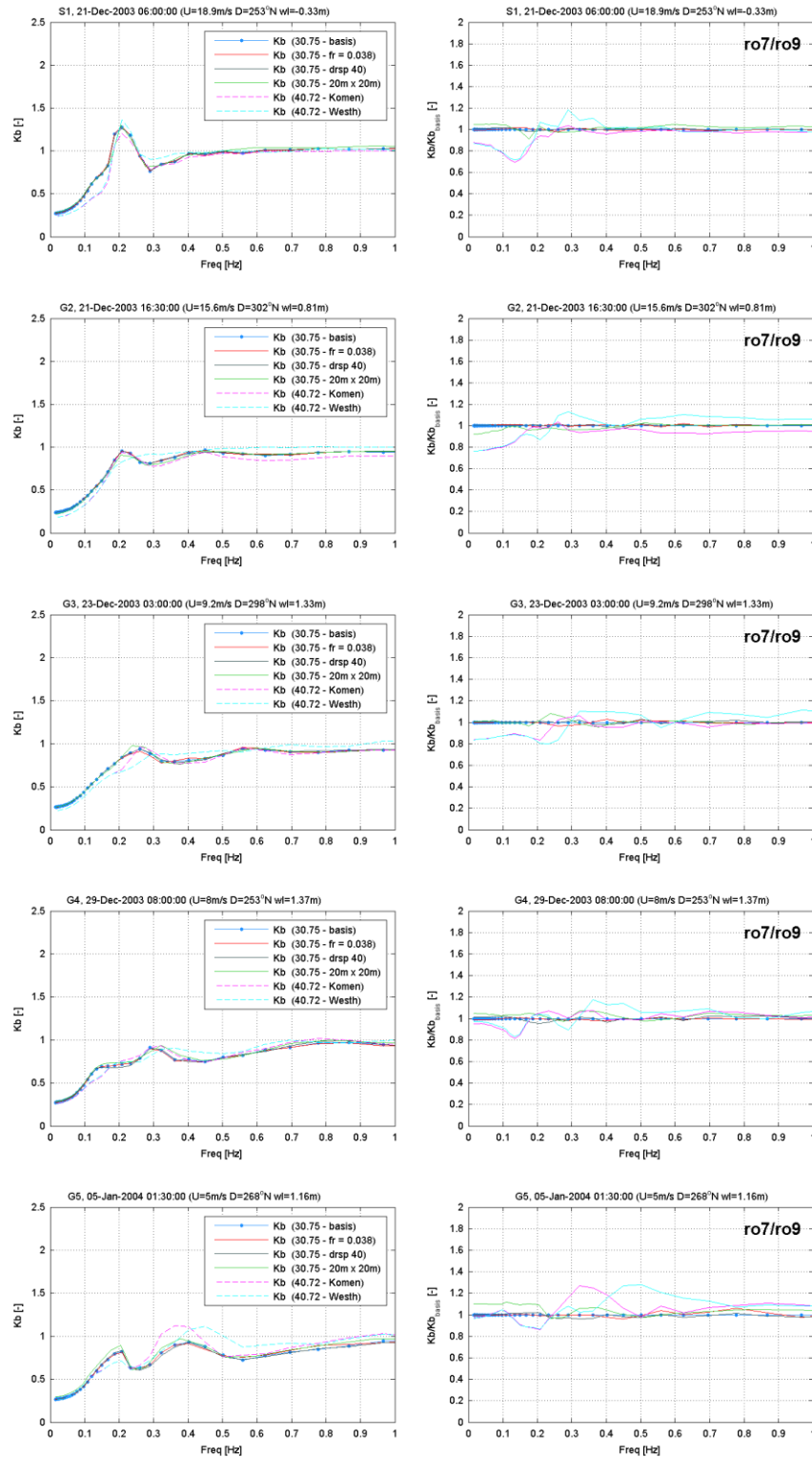
Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijk transmissie testmodel S11 t/m S15





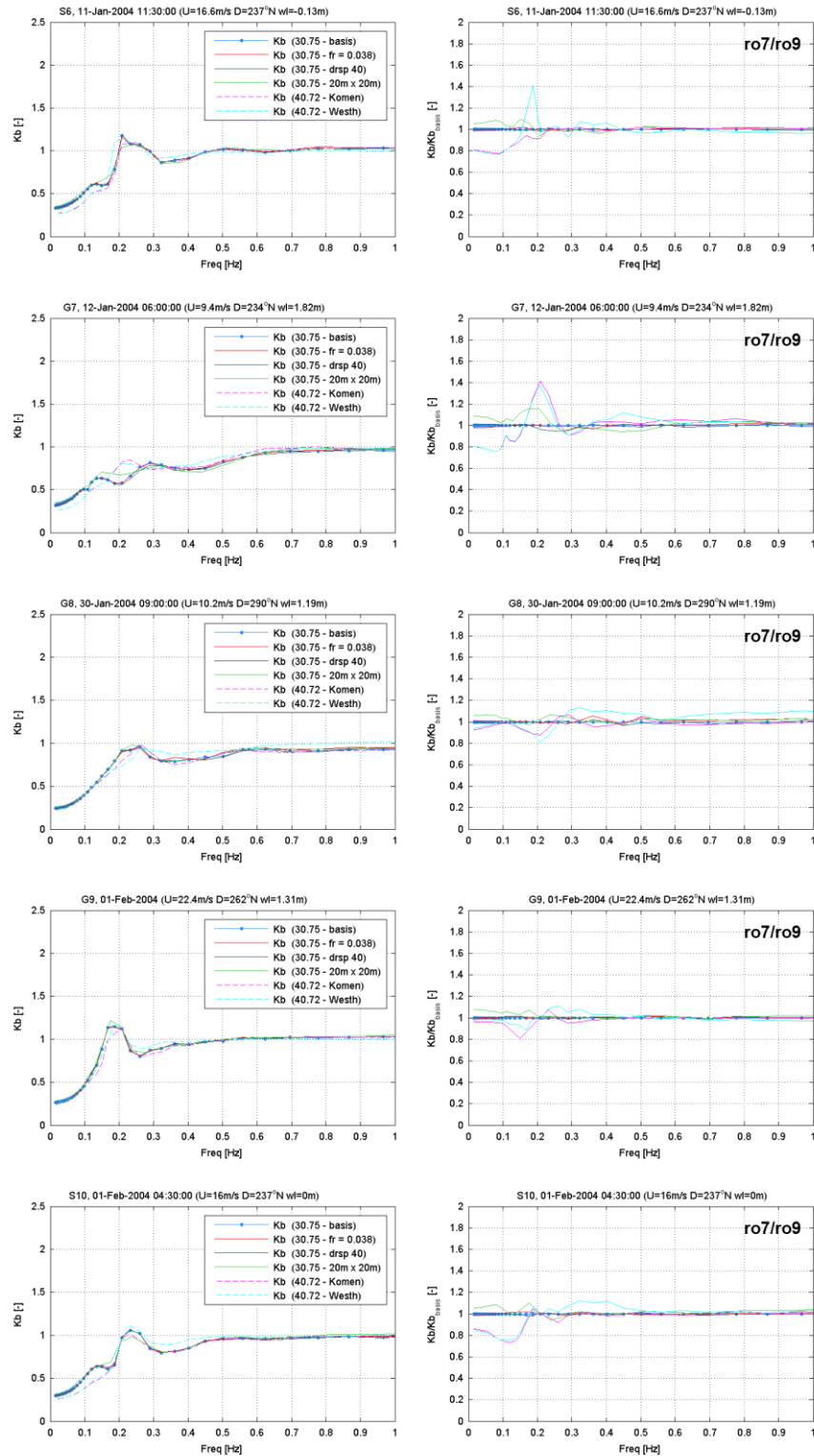
**B.10**

**Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S1 t/m S5**



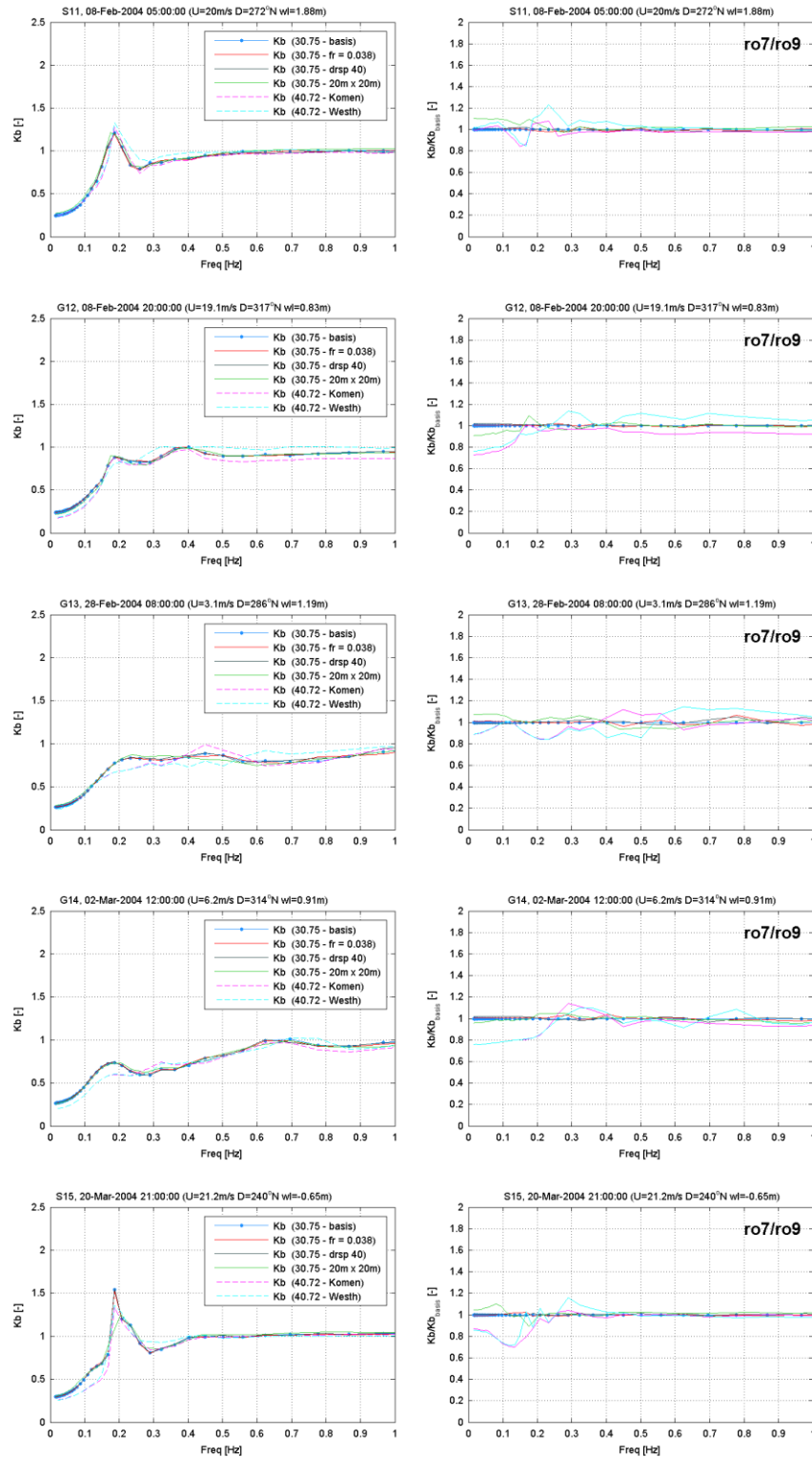


### B.11 Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S6 t/m S10



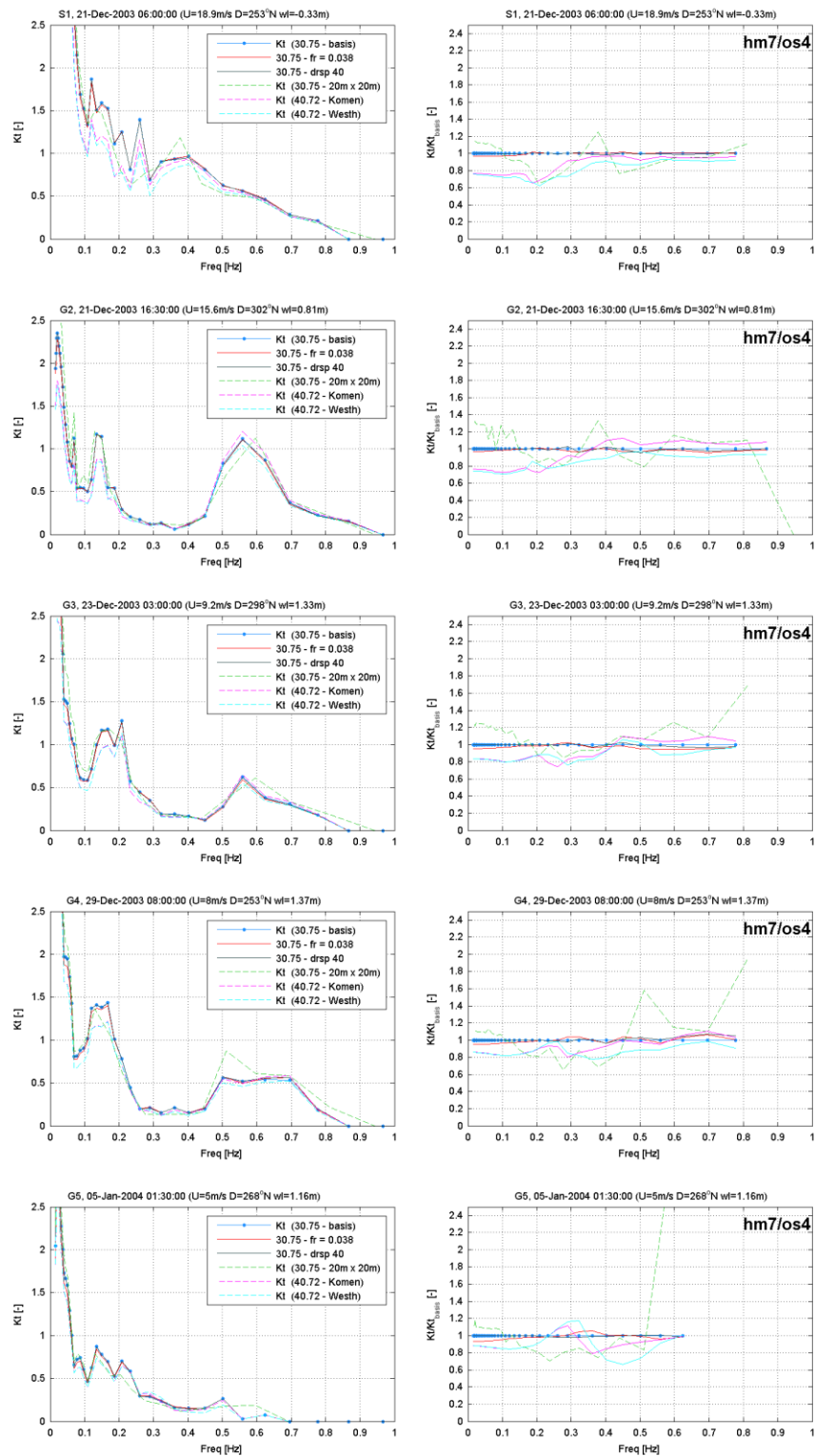
B.12

Verloop Kb en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S11 t/m S15



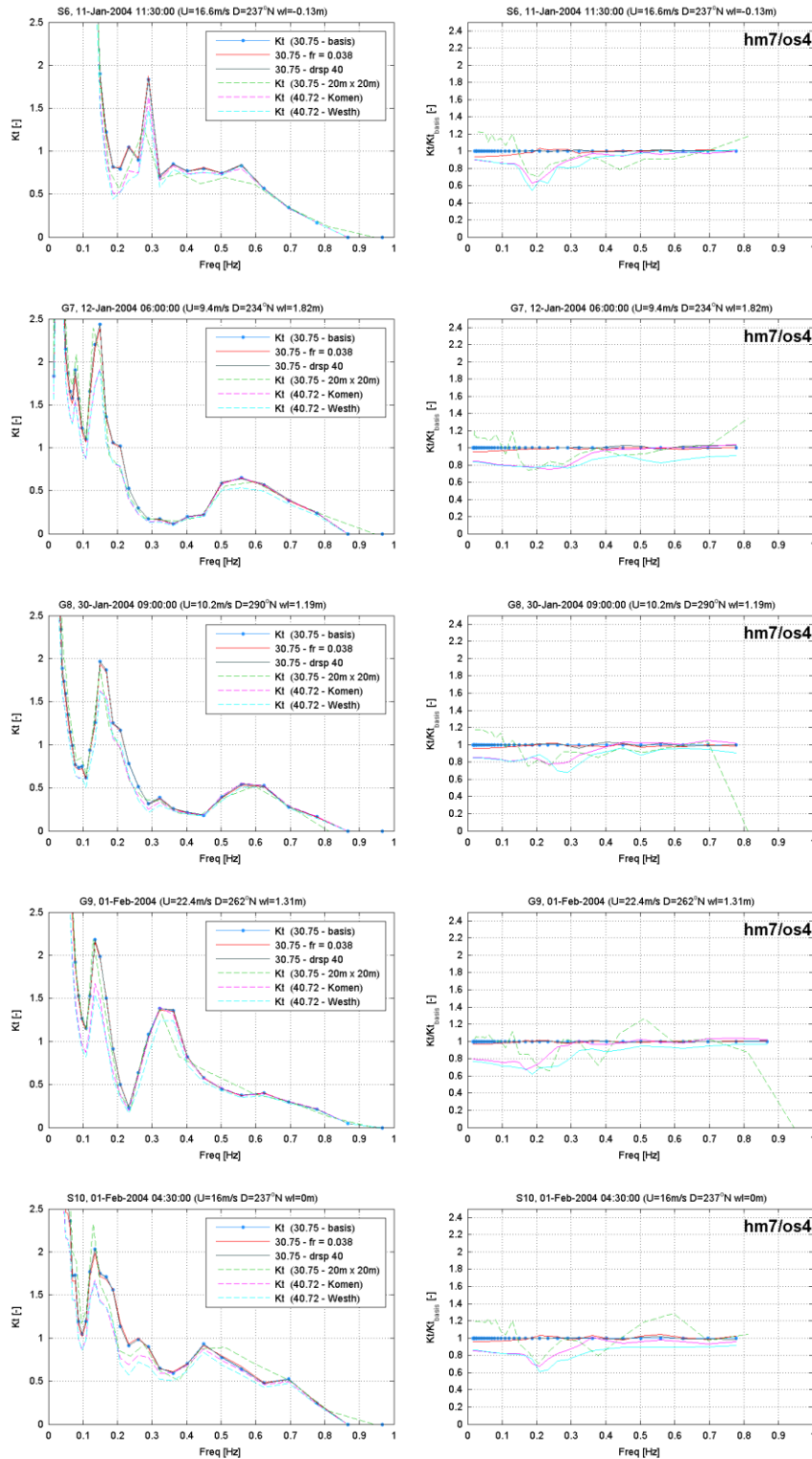
B.13

Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijke transmissie testmodel S1 t/m S5



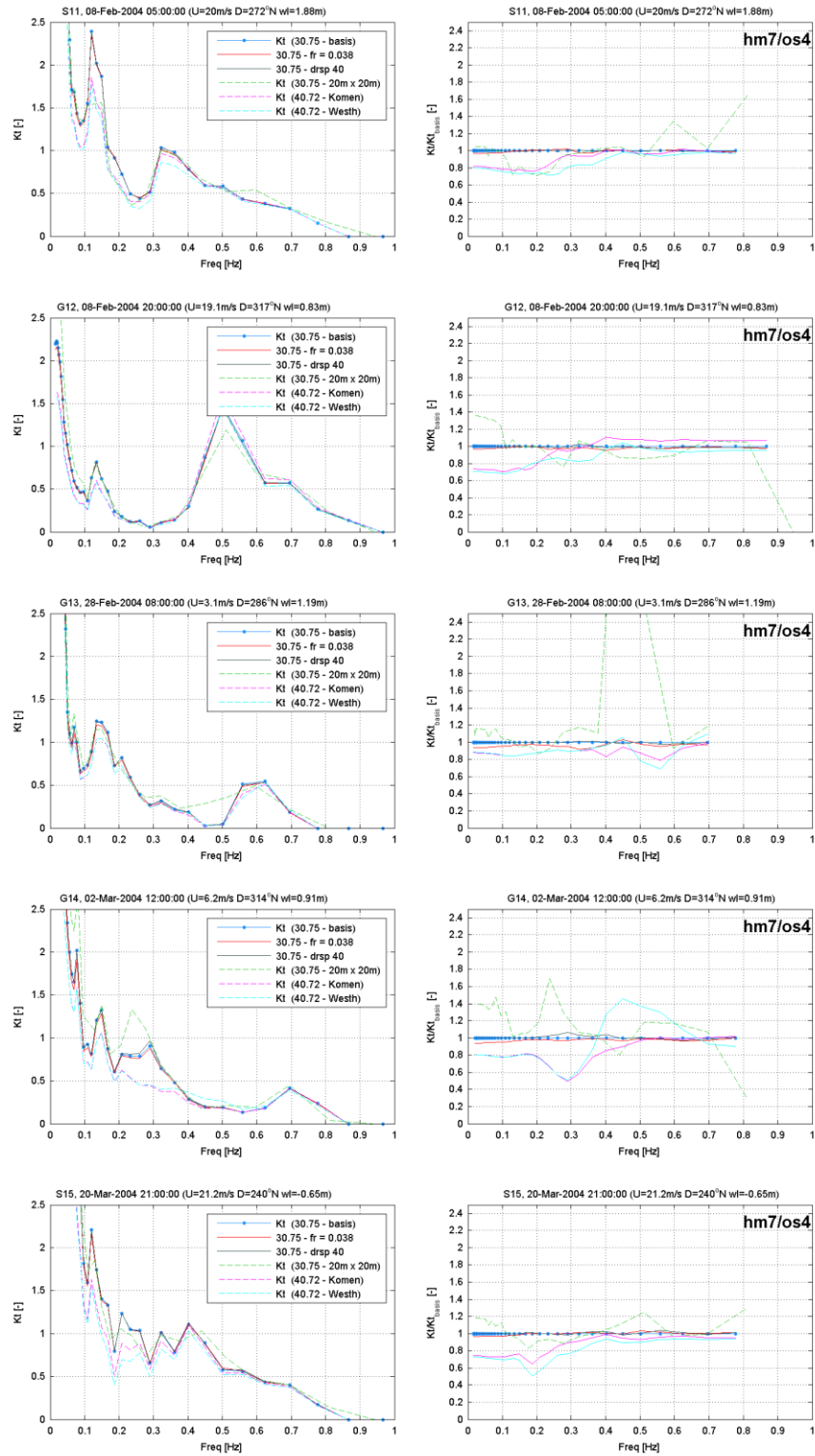
B.14

Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijke transmissie testmodel S6 t/m S10

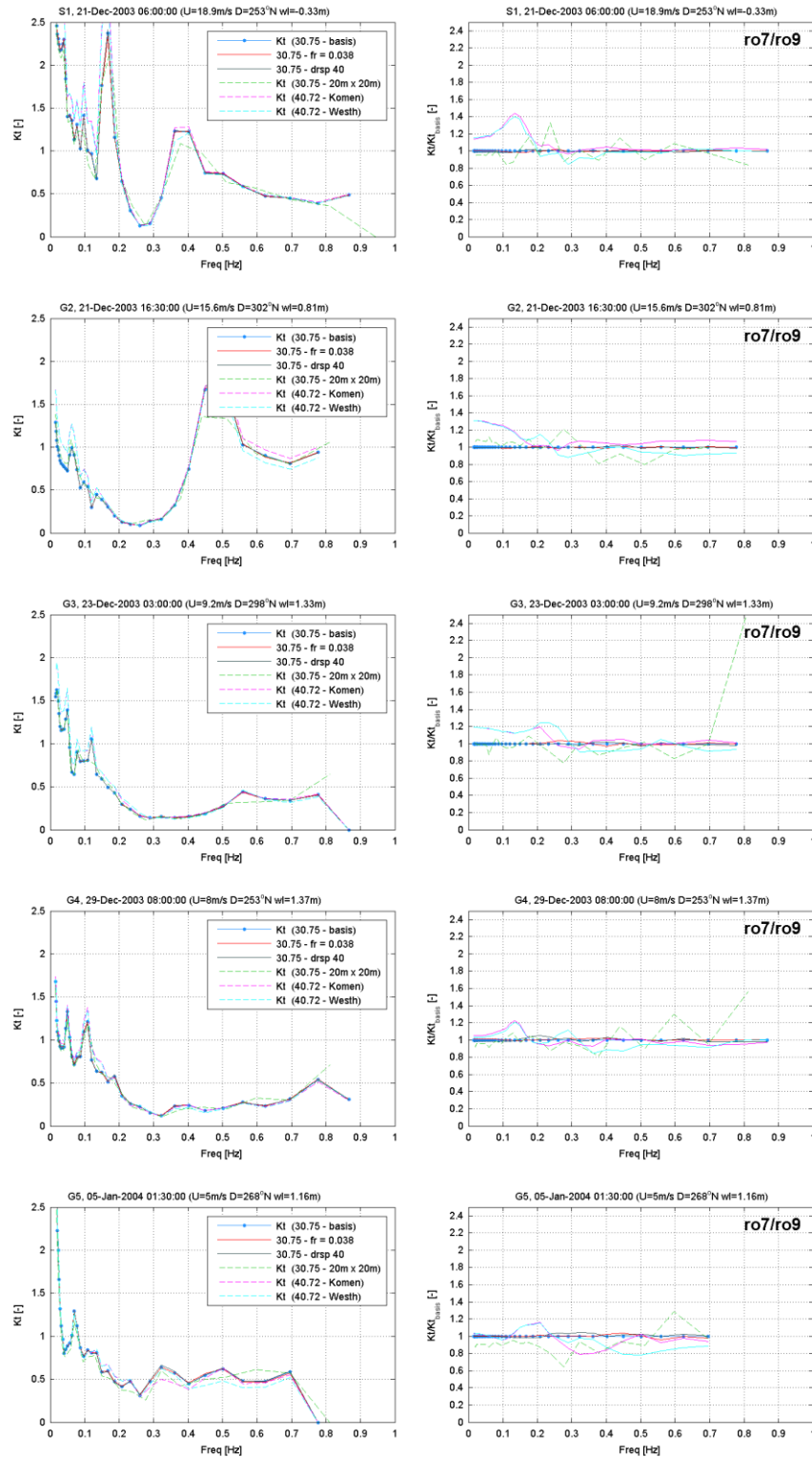


B.15

Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, noordelijke transmissie testmodel S11 t/m S15

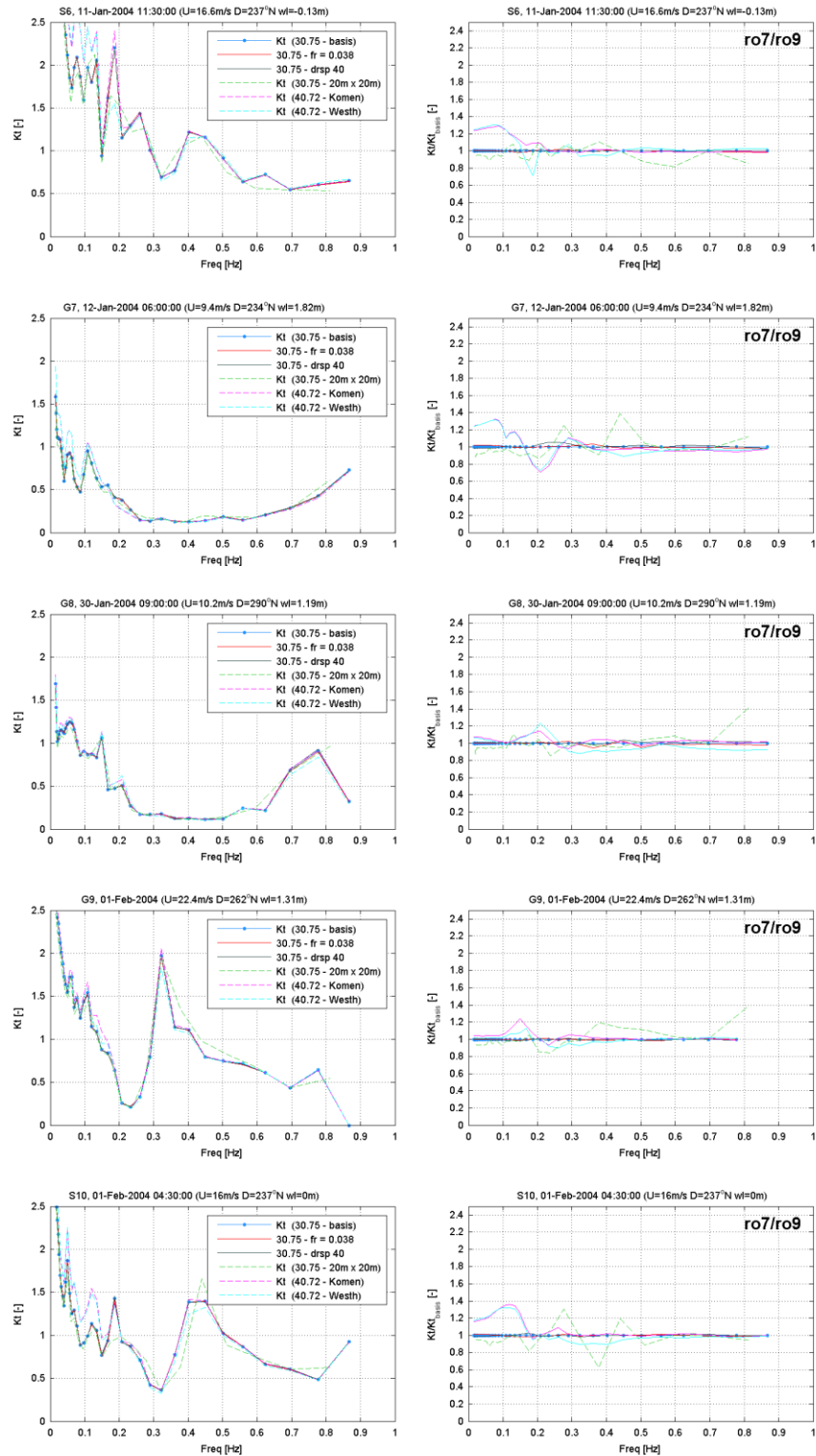


**B.16 Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S1 t/m S5**



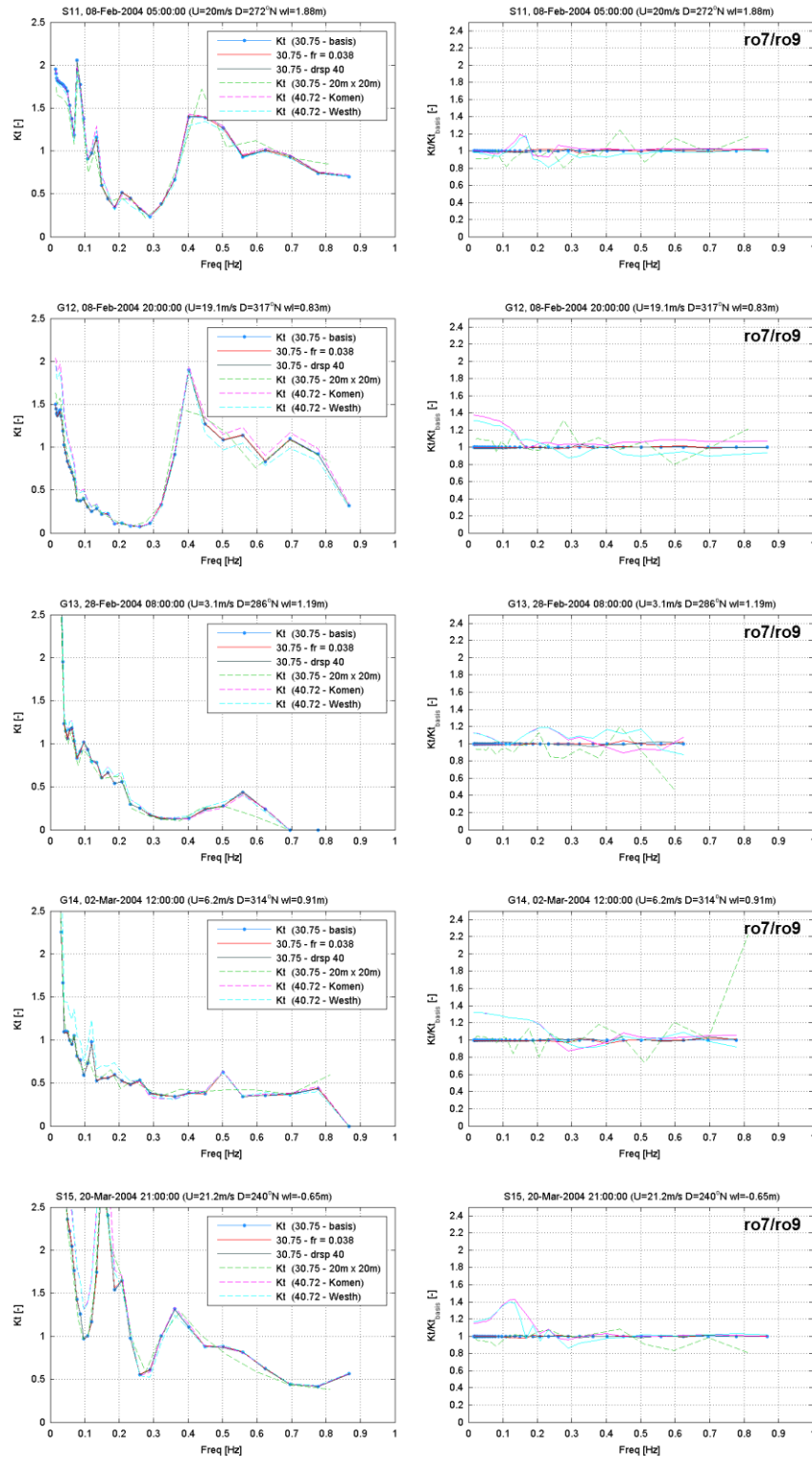


**B.17 Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S6 t/m S10**



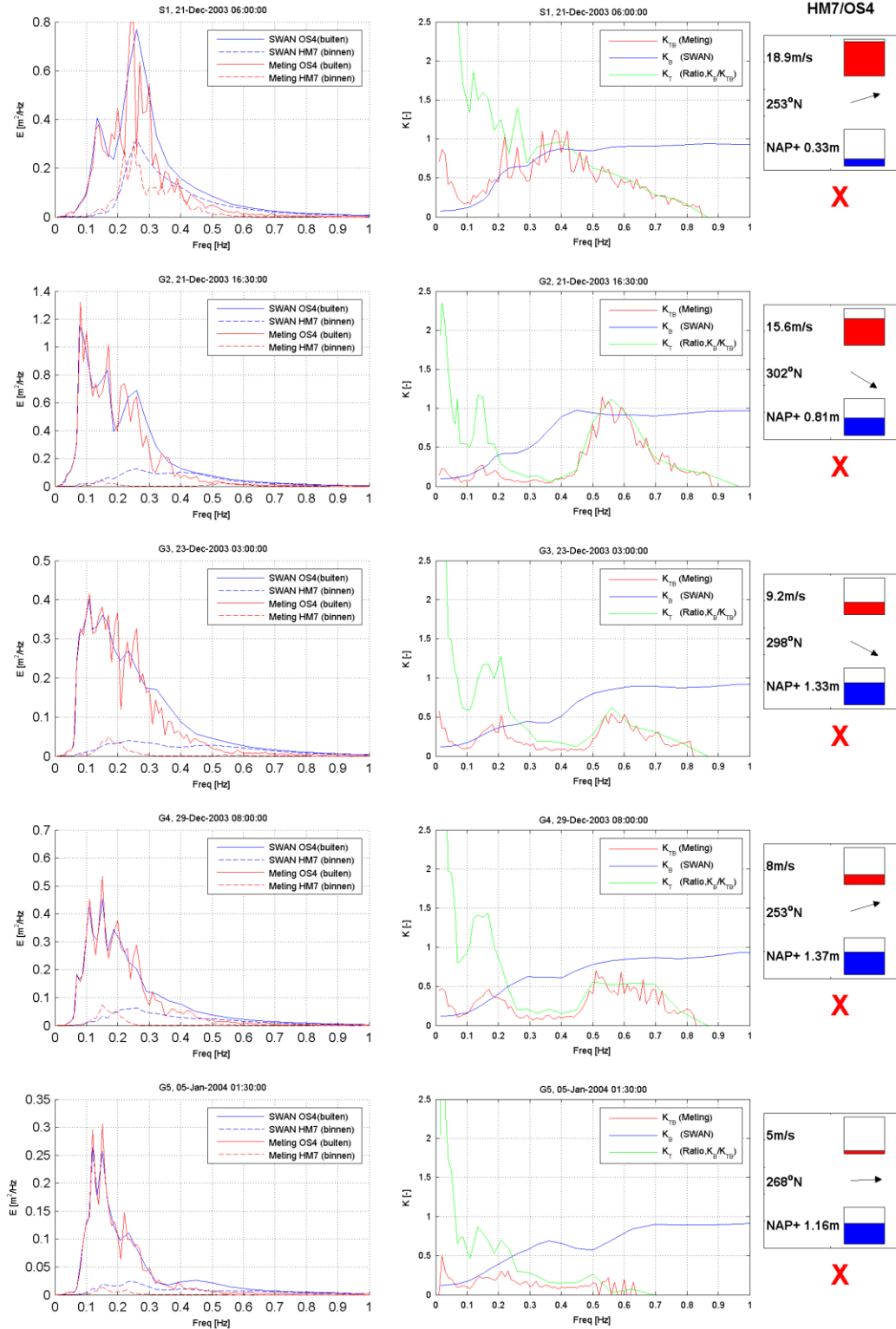


**B.18 Verloop Kt en relatieve afwijking t.o.v. basis run, zuidelijk model S11 t/m S15**



**C VERHOUDING GOLFSPECTRA**

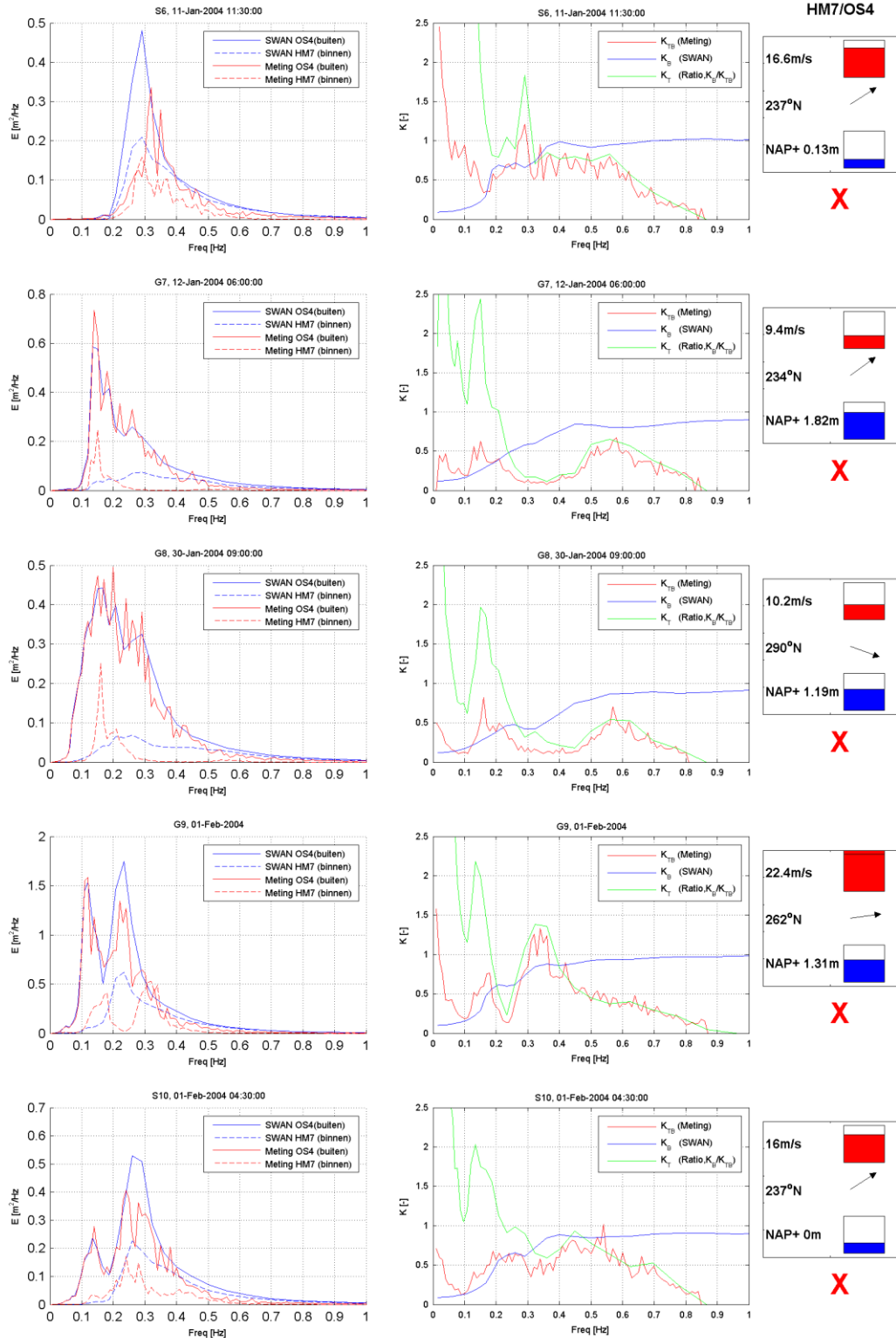
**C.1 Noordelijk transmissie testmodel: Spectra HM7/OS4, S1 t/m S5**



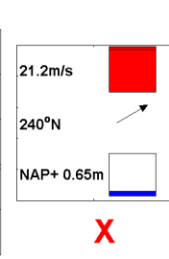
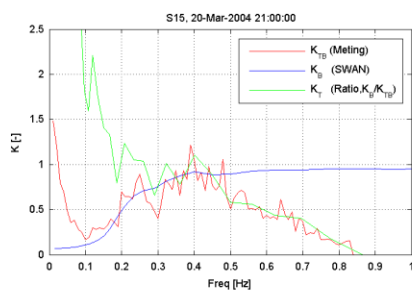
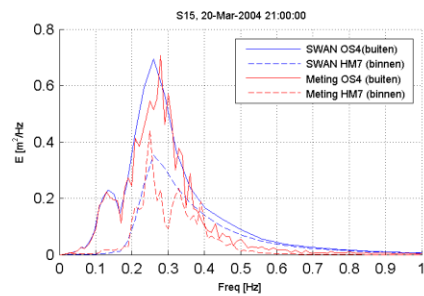
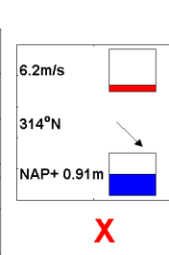
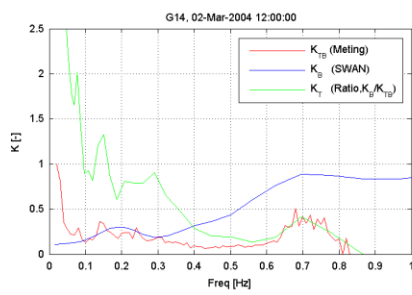
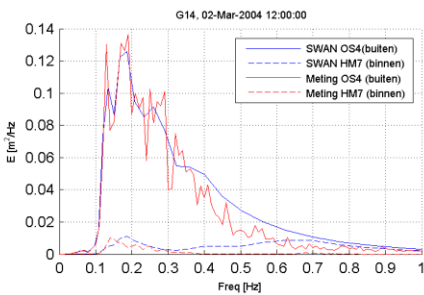
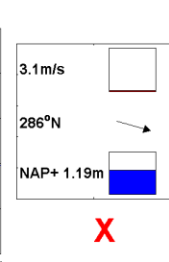
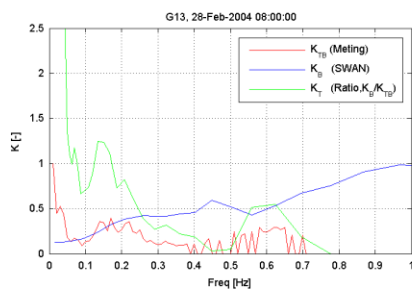
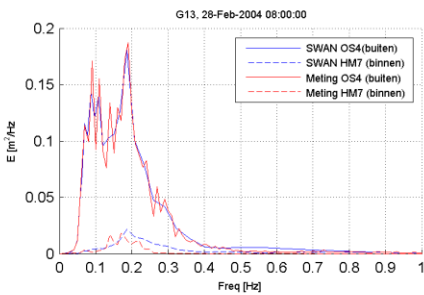
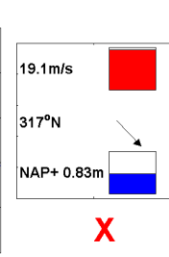
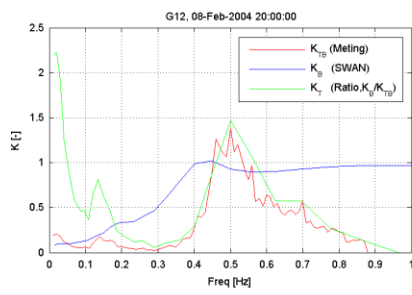
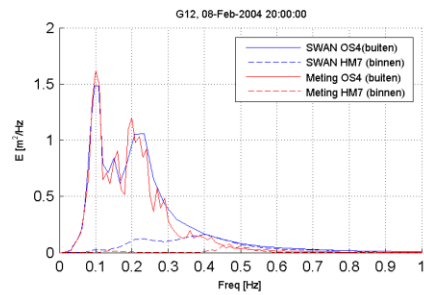
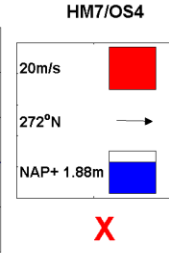
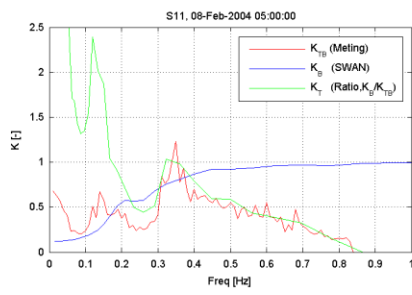
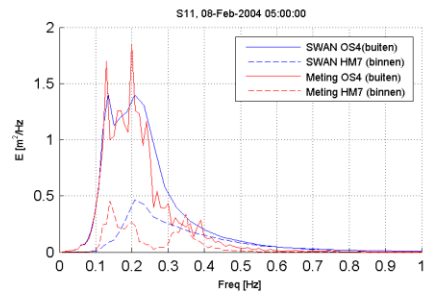
C.2

Noordelijk transmissie testmodel:

Spectra HM7/OS4, S6 t/m S10



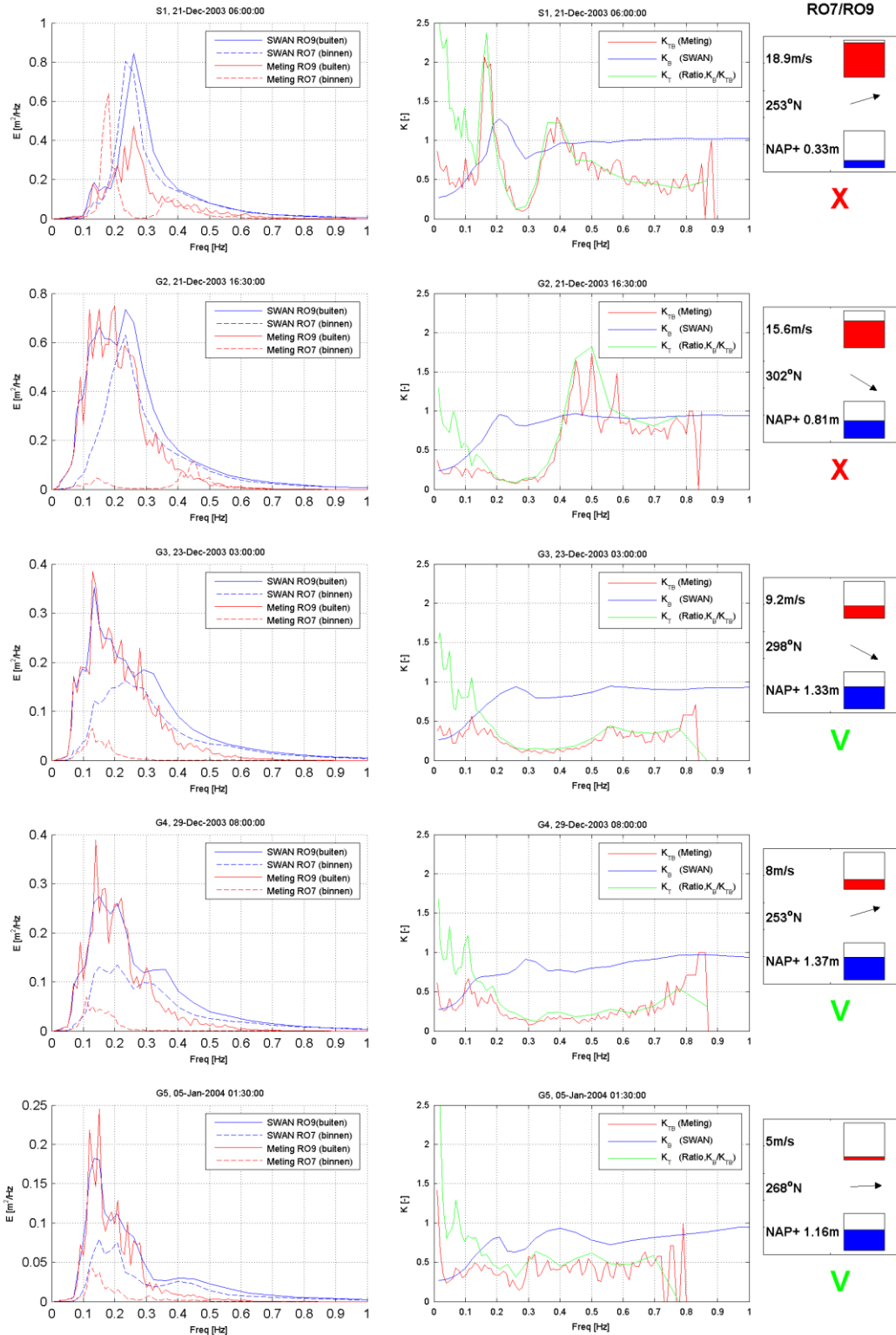
C.3 Noordelijk transmissie testmodel: Spectra HM7/OS4, S11 t/m S15



C.4

Zuidelijk transmissie testmodel:

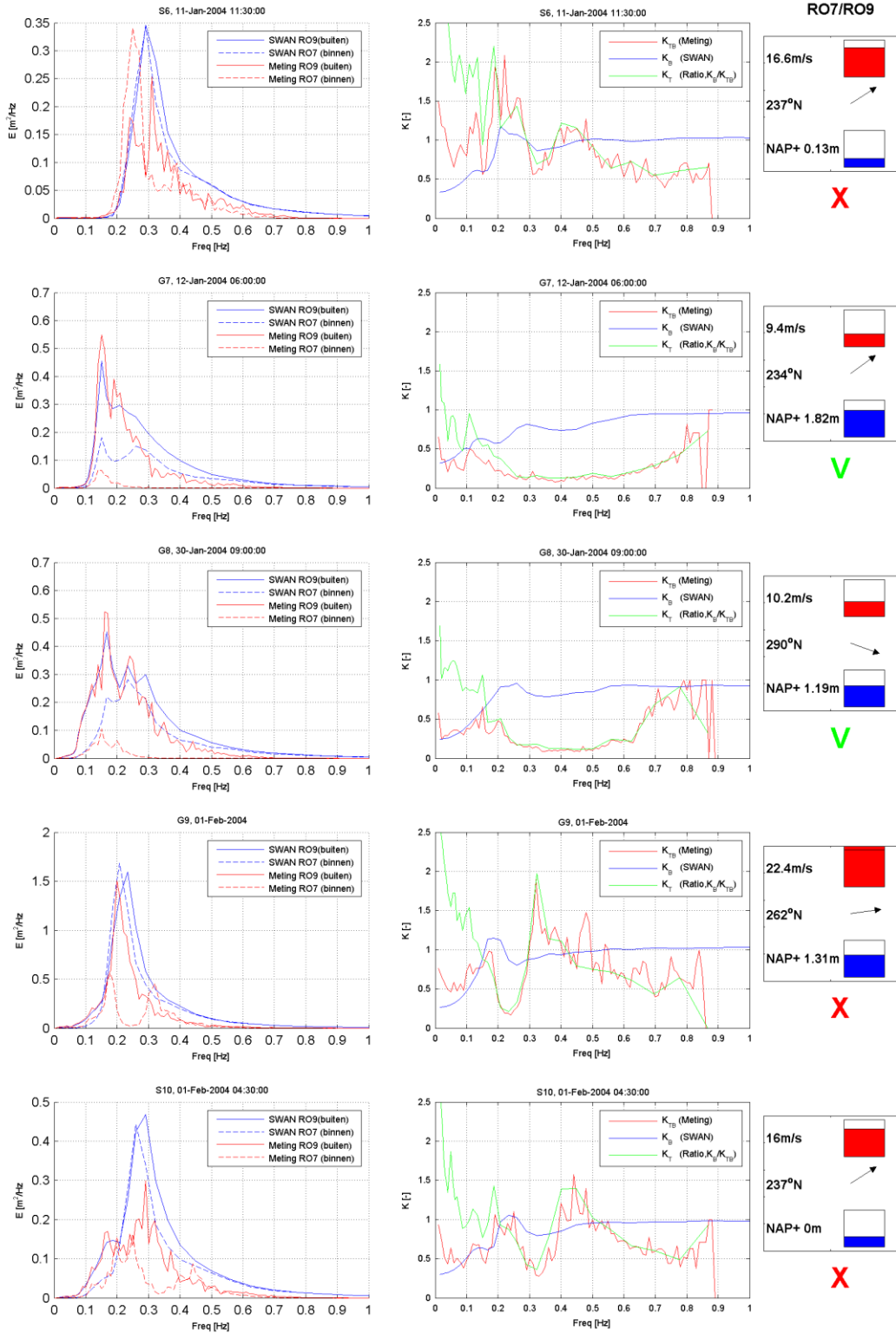
Spectra RO7/RO9, S1 t/m S5



C.5

Zuidelijk transmissie testmodel:

Spectra RO7/RO9, S6 t/m S10

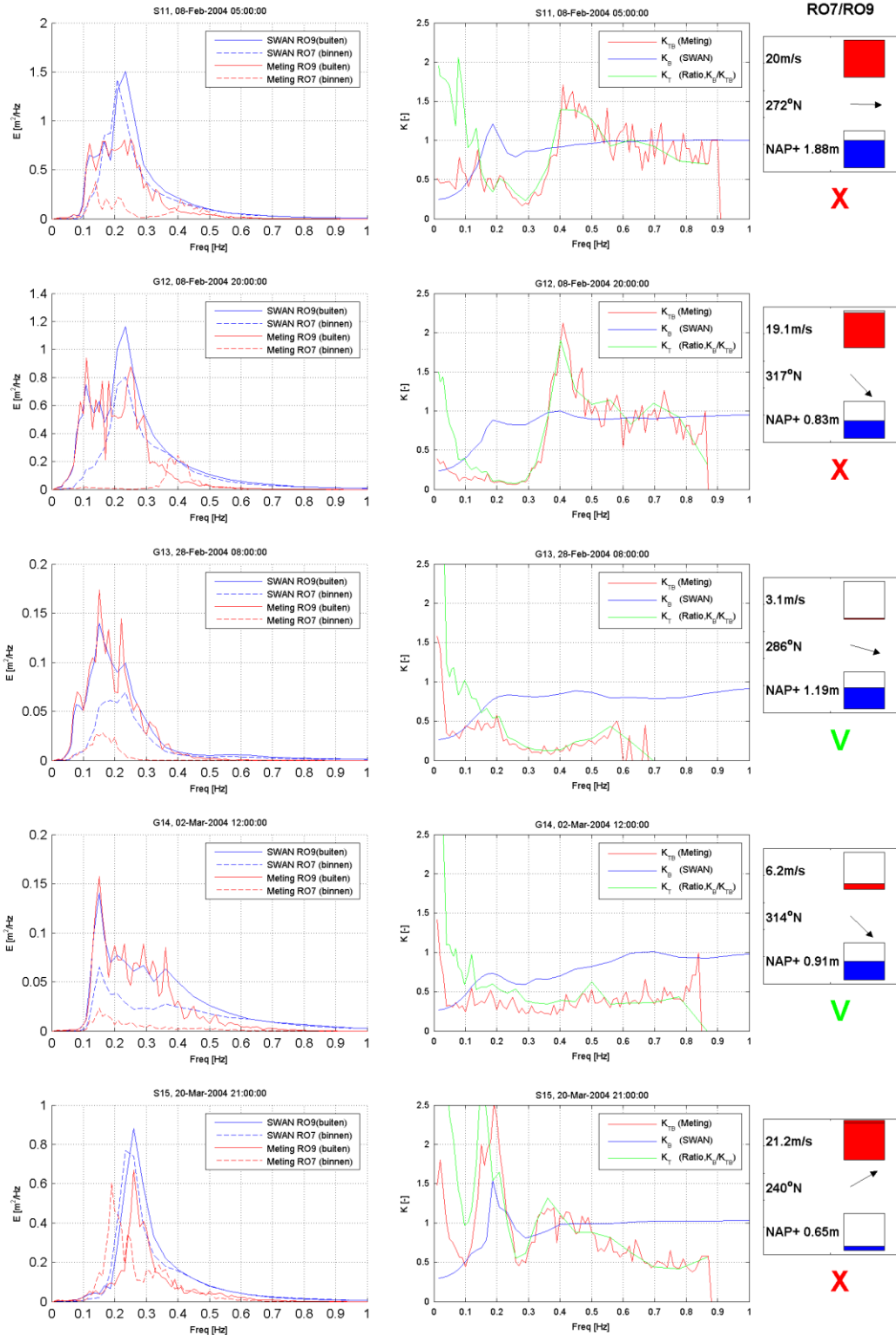




C.6

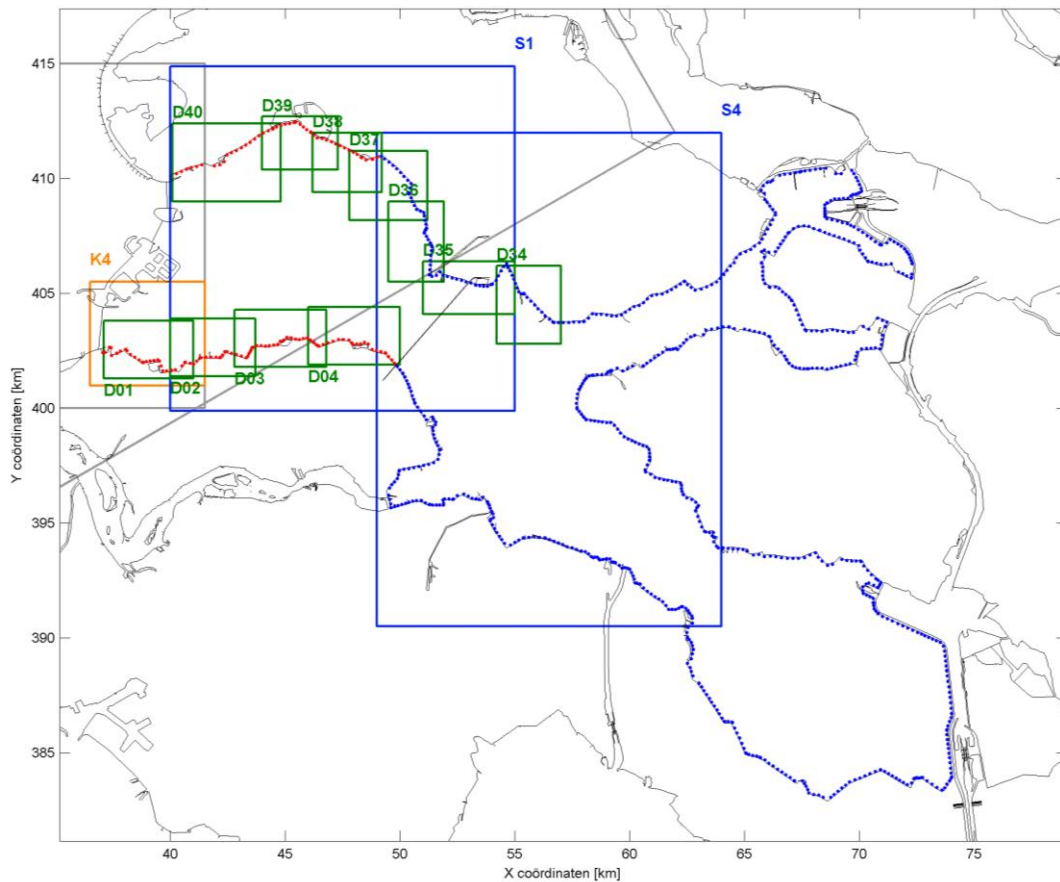
Zuidelijk transmissie testmodel:

Spectra RO7/RO9, S11 t/m S15





## D REKENROOSTERS S1, S4, K4 D01 T/M D04 EN D34 T/M D40



Tabel D1: Numerieke kenmerken gebruikte SWAN rekenroosters

Rooster	X0 [m]	Y0 [m]	Lx [m]	Ly [m]	Hoek [o]	Nx	Ny
N1 of N2	-20000	434000	60000	60000	300	120	120
B2	30000	400000	11500	15000	0	115	150
K4	36500	401000	5000	4500	0	50	45
S1	40000	399900	15000	15000	0	150	150
S4	49000	390500	15000	21500	0	150	215
D01	37100	401300	3900	2500	0	195	125
D02	40000	401400	3700	2500	0	185	125
D03	42800	401800	4000	2500	0	200	125
D04	46000	401900	4000	2500	0	200	125
D34	54200	402800	2800	3400	0	140	170
D35	51000	404100	4000	2300	0	200	115
D36	49500	405500	2400	3500	0	120	175
D37	47800	408200	3400	3000	0	170	150
D38	46200	409400	3000	2600	0	150	130
D39	44000	410400	3300	2300	0	165	115
D40	40100	409000	4700	3400	0	235	170

- x0, y0 = De oorsprong van de rekenroosters
- hoek = Draaiing van de grids (tegen de klok in t.o.v. het oosten)
- Lx, Ly = Lengte van de grids in x- en y-richting
- Nx, Ny = Aantal gridcellen in de x- en y-richting



## E FOUTIEVE IMPLEMENTATIE GOLFRANSMISSIE DOOR DE KERING IN ALKYON (2005B)

Uit de huidige studie is gebleken dat de transmissiecoëfficiënten uit Alkyon (2005b) foutief zijn geïmplementeerd in de SWAN 30.75t code. In deze bijlage zijn de fouten in de code kort aangeven.

De transmissiecoëfficiënten in Alkyon (2005a/b) zijn opgegeven als basis van golfhoogte (Kth), terwijl SWAN rekent op basis van golfenergie (Kte). Dit is niet doorgevoerd in de code van SWAN 30.75t. Er geldt  $Kth = \sqrt{Kte}$ .

In Tabel E.1 is de definiëring van de transmissiecoëfficiënten uit Alkyon (2005a/b) weergegeven. Deze tabel is gelijk aan Tabel 2.2 uit Alkyon (2005b)<sup>13</sup>.

Tabel E.1: Overzicht frequentieafhankelijke transmissiecoëfficiënt als functie van de waterstand, zoals toegepast in Alkyon (2005b). Bron: Alkyon (2005b) .

f <sub>laag</sub> (Hz)	f <sub>hoog</sub> (Hz)	Kth voor f < f <sub>laag</sub>	Kth voor f > f <sub>hoog</sub>		
			h = NAP+0m	h = NAP+2m	h = NAP+3m
0.2	0.3	1	0.3	0.2	0.1

In de tekst van Alkyon (2005a) wordt opgemerkt dat wat betreft stroomsnelheid (verder niet gebruikt) lineair geïnterpoleerd dient te worden, alsmede tussen f<sub>laag</sub> en f<sub>hoog</sub>. In Alkyon (2005b) is dit overgenomen. Er wordt daarentegen niets gezegd over interpolatie van Kth tussen de waterstanden, maar het lijkt redelijk om aan te nemen dat dit ook lineair dient te gebeuren.

Tabel E.2 laat het relevante stuk uit de code SWAN30.75t zien. Blauw geeft de daadwerkelijke code aan en de rode tekst geeft de op- en aanmerkingen aan.

Tabel E.2: Deel van de code SWAN 30.75t welke betrekking heeft op de transmissie door de kering

tr_0 = 0.09 ! 0.3 level = 0	! hier wordt het minimum Kte gegeven voor fr > 0.3, voor water level = 0 gaat het goed $0.3^2 = 0.09$
tr_2 = 0.04 ! 0.2 level = 2	! deze klopt ook, maar zoals hieronder te zien wordt deze helemaal niet gebruikt.
tr_3 = 0.015 ! 0.1 level = 3	! hier gaat het mis, $0.1^2 = 0.01$ en geen 0.015, dit is waarschijnlijk gedaan om de fout in interpolatie (zie hieronder) deels te compenseren.
! Bepaling minimum waarde Kte if (WLEV2(KCGRD(1)) < 0.) then tr_en = tr_0 elseif (WLEV2(KCGRD(1)) > 3.) then tr_en = tr_3  else fa_c = WLEV2(KCGRD(1))/ 3 tr_en = fa_c*tr_3 + (1-fa_c)*tr_0  endif	! voor waterstanden lager dan 0m+NAP wordt Kte = 0.09 gebruikt, correct  ! voor waterstanden hoger dan 3m+NAP wordt Kte = 0.15 gebruikt, niet correct (maar kering is dan toch dicht)
! Bepaling frequentieafhankelijke waarde Kte DO IS = 1, MSC if (fr_os(is) < 0.2) then tr_ff(is) = 1.0 elseif (fr_os(is) > 0.3) then tr_ff(is) = tr_en else	! voor waterstanden tussen de 0 en de 3 wordt lineair geïnterpoleerd. tr_2 wordt dus niet gebruikt, zie *.

<sup>13</sup> NB in Tabel 2.2 staat in de laatste kolom NAP +4 m i.p.v. NAP + 3 m, dit is fout maar in de tekst boven de tabel staat het wel correct beschreven en deze dient te worden gevolgd.

```

fa_c = (fr_os(is) - 0.2) / 0.1
tr_ff(is) = 1-fa_c + fa_c*tr_en

! voor waterstanden tussen fhoog en flaag wordt wederom lineair
geïnterpoleerd. zie **.

endif
end do

```

\* Lineaire interpolatie voor Kte betekent geen lineaire interpolatie voor Kth.

\*\* Wederom: Lineaire interpolatie voor Kte betekent geen lineaire interpolatie voor Kth.

In Tabel E.3 is weergegeven hoe de transmissie - als tekstueel voorgesteld in Alkyon (2005a) - zou moeten worden geprogrammeerd om deze op correcte wijze mee te nemen.

Tabel E.3: Deel van de code SWAN 30.75t welke betrekking heeft op de transmissie door de kering

```

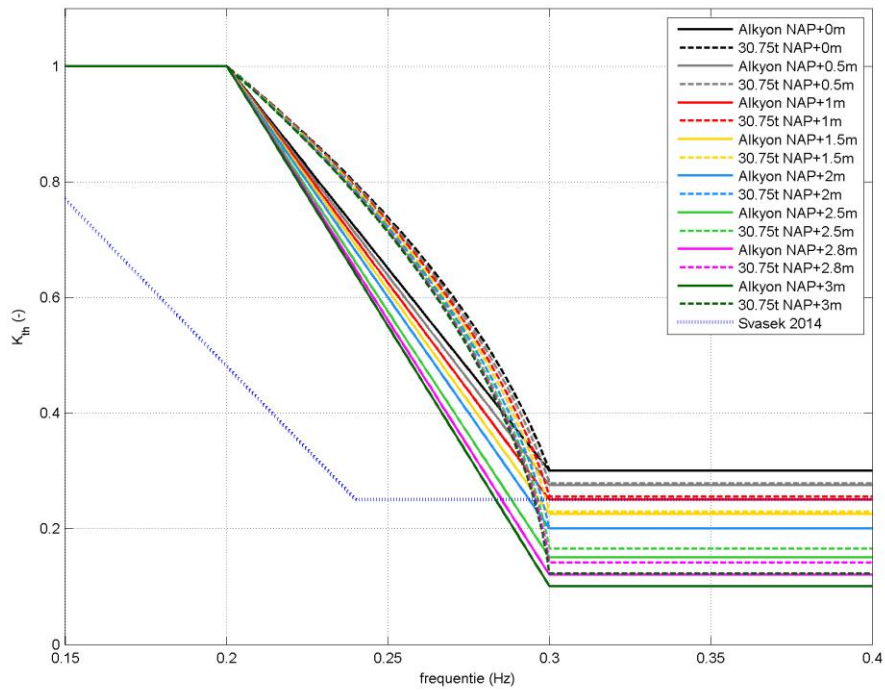
tr_0 = 0.3 ! 0.3 level = 0
tr_2 = 0.2 ! 0.2 level = 2
tr_3 = 0.1 ! 0.1 level = 3
if (WLEV2(KCGRD(1)) < 0.) then
  tr_en = tr_0
elseif (WLEV2(KCGRD(1)) > 3.) then
  tr_en = tr_3
else
if (WLEV2(KCGRD(1)) < 2.) then
  fa_c = WLEV2(KCGRD(1))/ 2
  tr_en = fa_c*tr_2 + (1-fa_c)*tr_0
else
fa_c = (WLEV2(KCGRD(1))-2)/ 1
  tr_en = fa_c*tr_3 + (1-fa_c)*tr_2
end
endif
DO IS = 1, MSC
  if (fr_os(is) < 0.2) then
    tr_ff(is) = 1.0
  elseif (fr_os(is) > 0.3) then
    tr_ff(is) = tr_en
  else
    fa_c = (fr_os(is) - 0.2) / 0.1
    tr_ff(is) = 1-fa_c + fa_c*tr_en
  endif
  tr_ff(is) = tr_ff(is)*tr_ff(is)

! hier Kth vertalen naar Kte (gekwadrateerd)

end do

```

In Figuur E.1 is voor verschillende waterstanden de Kth gegeven. De doorgetrokken lijnen duiden op de transmissiecoëfficiënten zoals in Alkyon (2005a & b) in de tekst is gedefinieerd. De stippellijnen betreffen de transmissiecoëfficiënten zoals is doorgevoerd in SWAN 30.75t (m.a.w. zoals daadwerkelijk (foutief) is toegepast). Voor de volledigheid is de transmissiecoëfficiënt (Kth) die in de huidige studie opnieuw is bepaald ook weergegeven meteen blauwe stippellijn.



Figuur E.1: De transmissiecoëfficiënten ( $K_{th}$ ) voor verschillende waterstanden, volgens de rapportage van Alkyon (200a & b) en zoals daadwerkelijk is toegepast in Alkyon (2005a & b).

Bovenstaande betekent dat het effect van de foute implementatie voor bepaalde frequenties (vooral tussen de 0.25 en 0.3) van dezelfde orde is als, of groter is dan, onze nieuwe set coëfficiënten.



## F CODERING VOOR DE HERBEPAALENDE TRANSMISSIE DOOR DE KEREN

De code van Swan256v3075\_sv14.exe is hieronder weergegeven.

```

Regelnummer 3463-3489

! DPH ad_hoc version to give transmission coeff for Oosterschelde kering
real fr_os(31), tr_ff(31)
data fr_os /0.03, 0.033, 0.037, 0.042, 0.046, 0.052, 0.058,
c    0.065, 0.072, 0.08, 0.09, 0.1, 0.112, 0.124,
c    0.139, 0.155, 0.173, 0.193, 0.215, 0.24, 0.268,
c    0.299, 0.333, 0.372, 0.415, 0.463, 0.516, 0.576,
c    0.643, 0.717, 0.8/

IF (LTRACE) CALL STRACE (IENT,'SWTRCF')
c begin DPH changes =====
c plus changes by GvV fo a water level of 3 m
c 14/04/2005
c
tr_en = 0.30 ! low Kh, based on wave height, /= 0.25 see report appendix F
DO IS = 1, MSC
  if (fr_os(is) < 0.11) then
    tr_ff(is) = 1.0
  elseif (fr_os(is) > 0.24) then
    tr_ff(is) = tr_en
  else
    fa_c = (fr_os(is) - 0.11) / 0.13
    tr_ff(is) = 1-fa_c + fa_c*tr_en
  end if
  tr_ff(is) = tr_ff(is)*tr_ff(is) ! translate K based on waveheight to K based on energy
end do
c end DPH changes 1

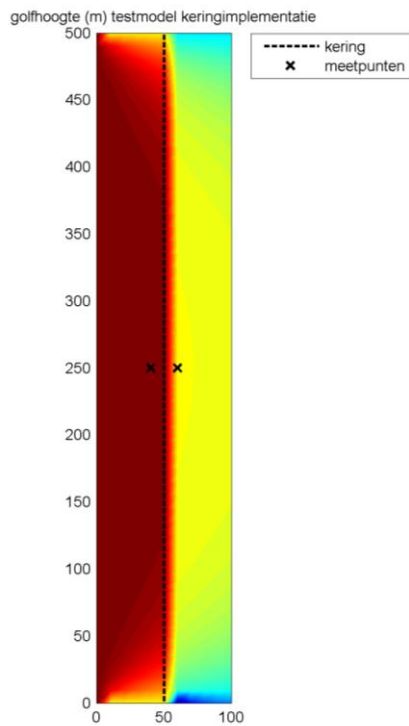
Regelnummer 3534-3541

c begin dph changes 2
c    OBDREF(ID,IS,LOOP) = TRCOEF
  IF (TRCOEF.NE.0) THEN
    OBDREF(ID,IS,LOOP) = TR_ff(is)
  ELSE
    OBDREF(ID,IS,LOOP) = TRCOEF
  END IF
c end dph changes 2

```

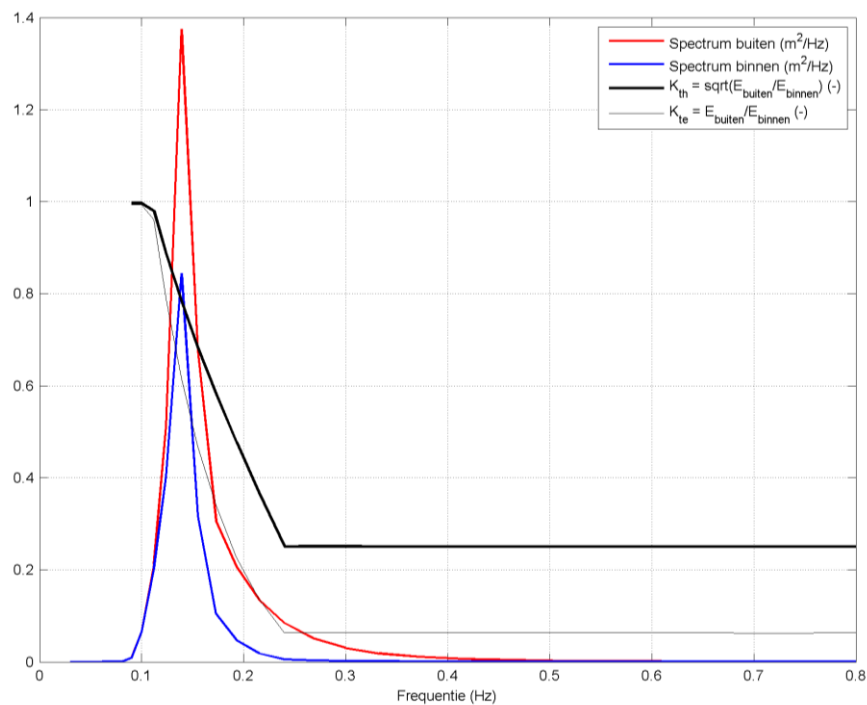
Zoals te zien is bij het invullen van de *tr\_en* (de lage transmissie voor frequenties > 0.24 Hz) 0.30 gekozen in plaats van de 0.25 die in Hoofdstuk 0 is afgeleid. Uit testen is gebleken dat SWAN blijkbaar anders omgaat met de uiteindelijk opgegeven coëfficiënten in dit deel van de code. De reden hiervan is – in overleg met Deltares - verder niet onderzocht, maar als een minimum coëfficiënt van 0.30 opgegeven wordt laten testen zien dat 0.25 wordt toegepast. Zie daarvoor het testmodel hieronder.





Figuur F.1: Golfhoogte in keringsimplementatie testmodel. Golfrandvoorwaarde op de westelijke rand, spectrum uitvoer in meetpunten.

Onderstaand resultaat – welke de correcte werking van de kering bevestigt – is uitgevoerd voor diverse richtingen en waterstanden en geeft in alle gevallen het correcte resultaat.



Figuur F.2: Vergelijking genormaliseerde spectra in meetpunten. Zwarte lijn is bij benadering gelijk aan de nieuwe transmissiecoëfficiënten zoals bijvoorbeeld afgebeeld in Figuur 6-1.

**G VOORBEELD SWAN INVOERBESTAND MET HET K4 REKENROOSTER**

```

$ SWAN input file generated by GENSWAN2 Version 2.5 # 4 April 1999
$ Date: 1999/06/15
$ Time: 14:38:52
$
$ ALKYON Hydraulic Consultancy & Research
$ A246 SWAN Oosterschelde
$ K4N230.SWN
$
PROJ 'ALKYON' 'A246' 'SWAN Oosterschelde'
$
MODE STATIONARY
SET .00 MAXERR=3
SET POWER=-1
$
BOU NEST 'BNESTS\K4N230.RVW'
INP BOTTOM 36400. 400900. .00 52 47 100.0 100.0
READ BOTTOM -1 'BOTTOM\K4.BOT' 3 0 FREE
$
INP WIND 10000. 370000. 0. 35 25 2000. 2000.
READ WIND 1 'WIND\V2D300.WND' 1 0 FREE
GEN3 KOMEN
BREAK 1. 0.73
FRIC JONSWAP
TRIAD
obstacle trans 0.6 line 36856 402337.57 37103.5 404548
$
$ uiteinden kering
OBSTacle TRANSm 0 LINE 36884.35 402809.14 &
36825.99 402228.31
OBSTacle TRANSm 0 LINE 37039.19 404194.37 &
37072.39 404512.01
OBSTacle TRANSm 0 LINE 39240.51 407335.16 &
39027.73 406937.22
OBSTacle TRANSm 0 LINE 39575.23 407971.95 &
39737.64 408303.80
OBSTacle TRANSm 0 LINE 39844.44 408838.96 &
39847.29 408492.18
OBSTacle TRANSm 0 LINE 39834.73 409525.27 &
39824.97 409995.25
$ andere dammen
OBSTacle TRANSm 0 LINE 38309.28 406629.56 &
38166.14 406791.91 &
38078.51 406915.86 &
38022.40 407028.27 &
38022.47 407151.64 &
38062.98 407256.69 &
38122.70 407339.37 &
38224.05 407418.82 &
38355.63 407471.25 &
38499.12 407481.00

```

```

OBSTacle TRANSm 0 LINE  35942.60  405043.91 &
    36284.49  405165.57 &
    36486.46  405177.16 &
    36814.25  405173.22 &
    37036.50  405171.70
OBSTacle TRANSm 0 LINE  36951.21  404433.36 &
    36845.75  404476.93 &
    36536.35  404667.19 &
    36442.90  404776.06 &
    36370.90  404892.51
OBSTacle TRANSm 0 LINE  40076.11  408151.66 &
    40363.52  408157.74 &
    40493.11  408252.62 &
    40519.09  408403.73 &
    40419.62  408550.40

```

\$

NUM ACCUR 0.03 0.03 0.3 97. 15

\$\*\*\*\*\*

NGRID 'D01' 37100. 401300. 0. 3900. 2500. 39 25

NEST 'D01' 'BNESTS\DO1N230R.RVW'

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N000XP.BLK' LAY-OUT 1 XP

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N000YP.BLK' LAY-OUT 1 YP

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N000DE.BLK' LAY-OUT 1 DEP

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N230HS.BLK' LAY-OUT 1 HS

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N230T1.BLK' LAY-OUT 1 TM01

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N230T2.BLK' LAY-OUT 1 TM02

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N230TP.BLK' LAY-OUT 1 RTP

BLOCK 'COMPGRID' NOHEAD 'K4N230DI.BLK' LAY-OUT 1 DIR

\$

POINTS 'points' FILE 'POINTS\K4.PNT'

TABLE 'points' HEAD 'K4N230.TAB' XP YP DEP HS TM01 TM02 RTP DIR DSPR FSPR WIND

SPEC 'points' SPEC1D ABS 'K4N230.SP1'

SPEC 'points' SPEC2D ABS 'K4N230.SP2'

\$

POOL

COMPUTE

STOP

## H GOLFRANDVOORWAARDEN BIJ EUROPLATFORM EN WIND VOOR WINDKLASSE 2

Tabel G1: Golftrandvoorwaarden bij Europlatform als functie van de windsnelheid (Bron: Tabel 3.1, Alkyon, 1998)

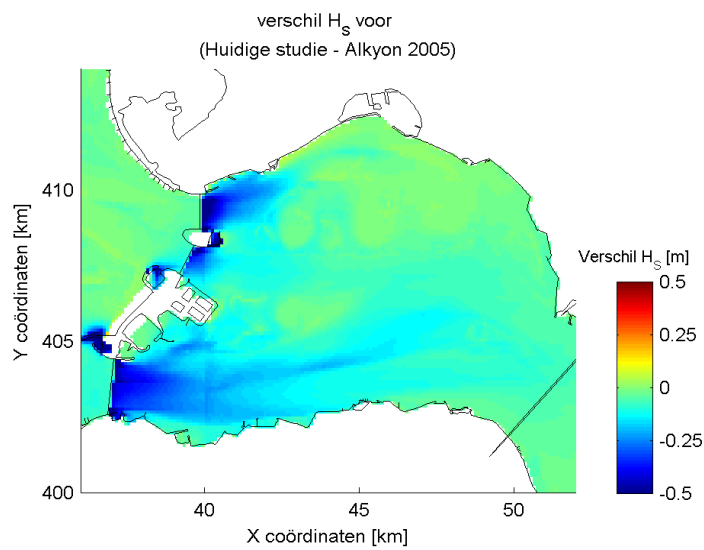
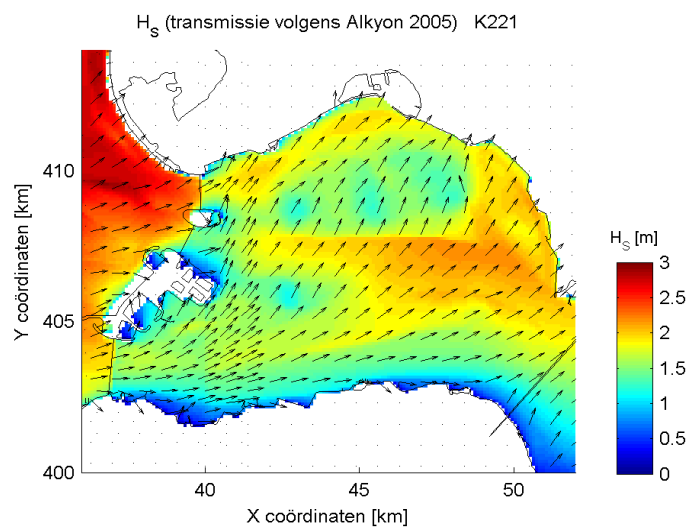
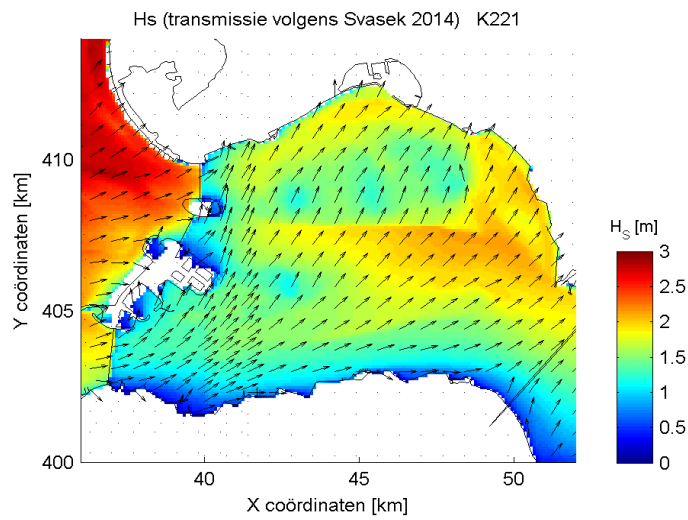
Windsnelheid [m/s]	Significante golfhoogte [m]	Piekperiode [s]
21	6,0	10,4
22	6,2	10,6
23	6,4	10,8
24	6,6	11,0
25	6,7	11,2
26	6,9	11,4
27	7,1	11,6
28	7,3	11,8
29	7,5	12,0
30	7,6	12,2
31	7,8	12,4
32	8,0	12,7
33	8,1	12,9
34	8,3	13,1

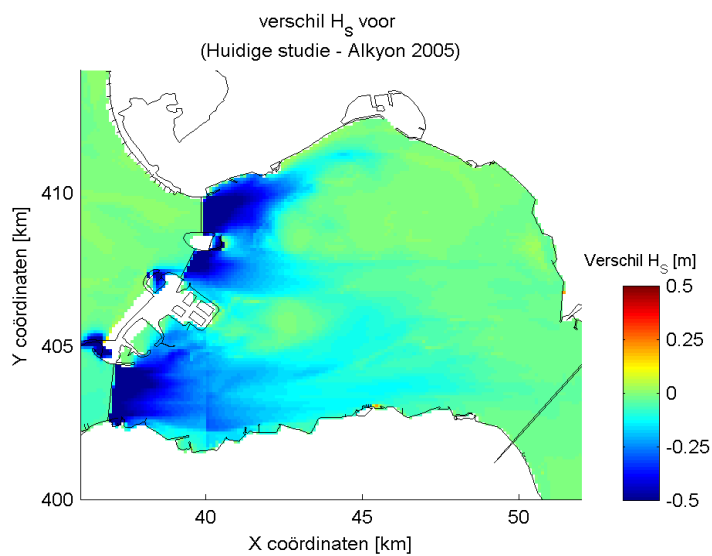
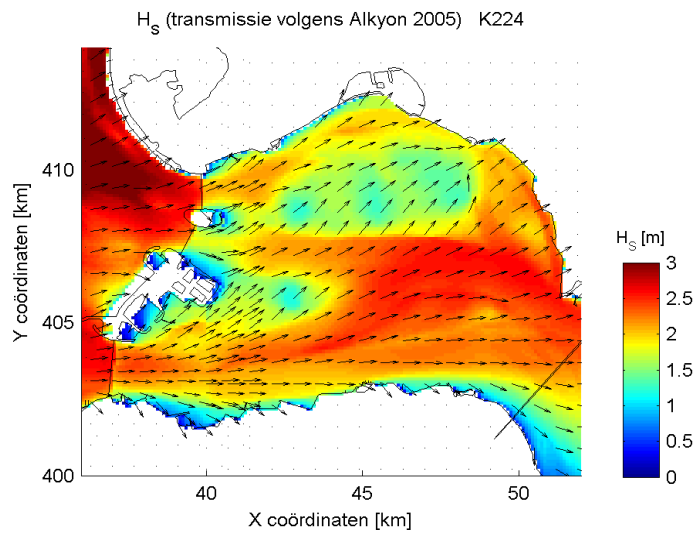
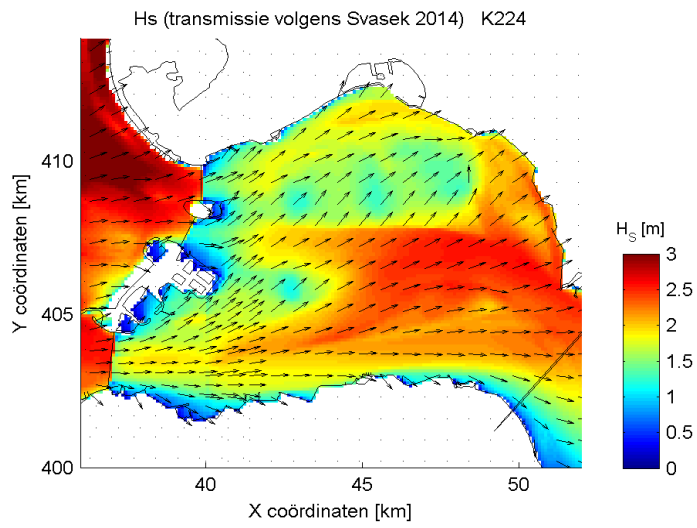
Tabel G.2: Windsnelheden per windrichting voor windklasse 2 (Bron: Tabel 3.2, Alkyon, 1998)

Windrichting [°N]	Windsnelheid [m/s]	
	Binnen	Buiten
210	29	28
240	32	31
270	34	33
285	33	32
300	32	31
315	29	28
330	26	25

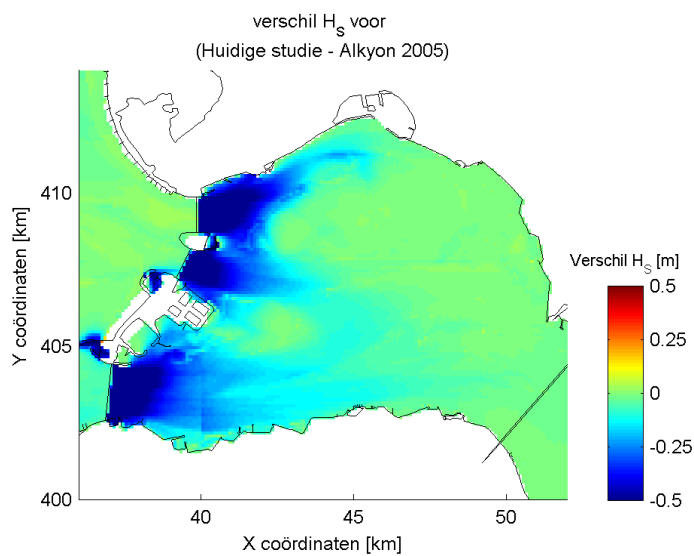
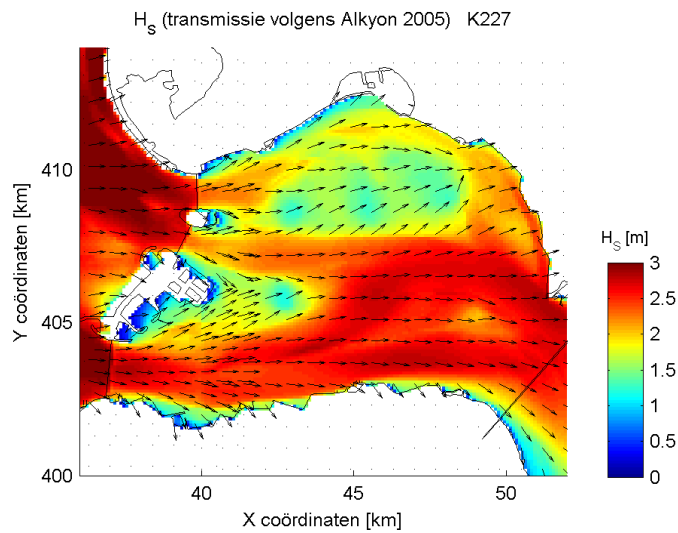
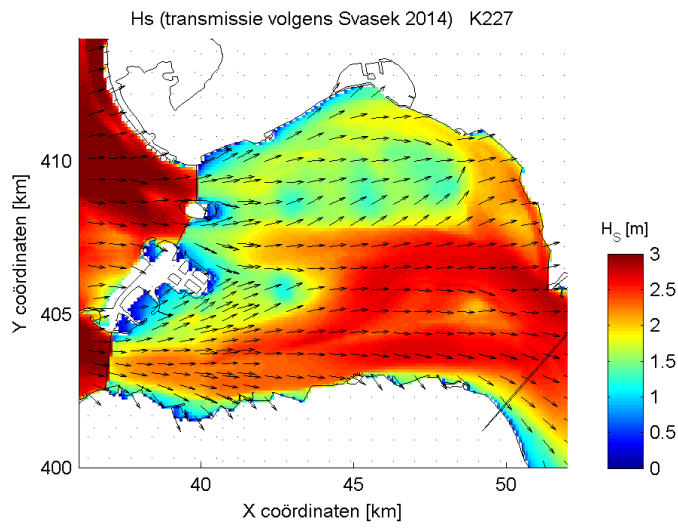


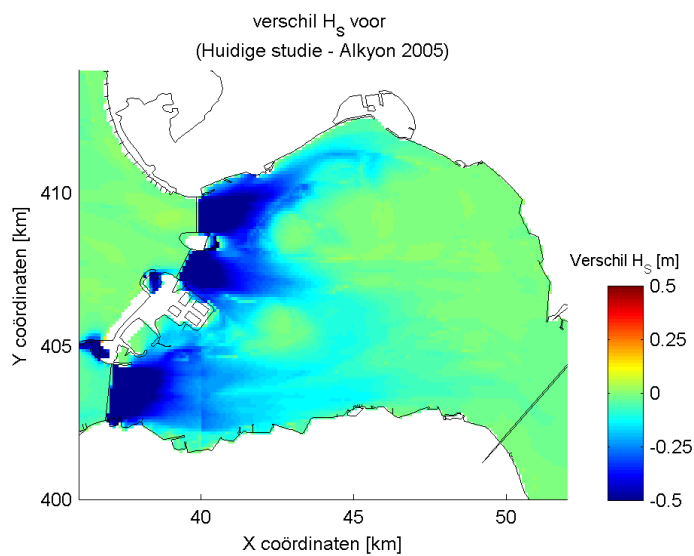
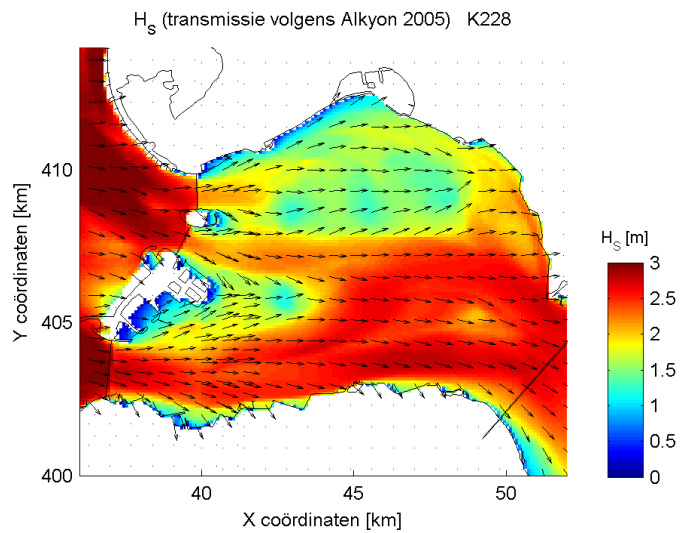
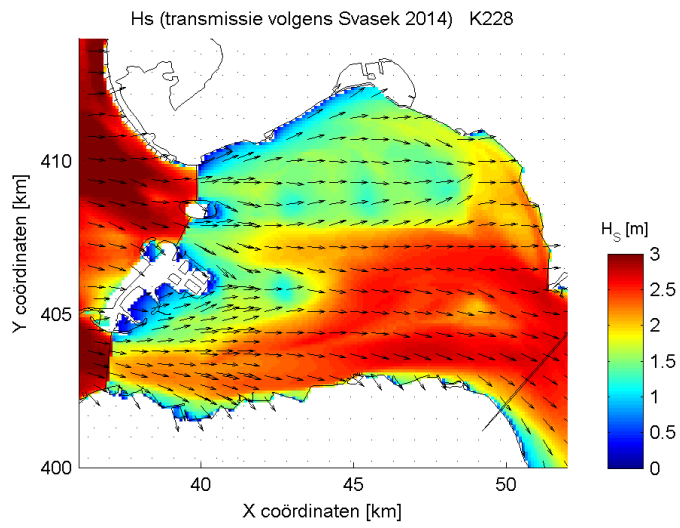
I RUIMTELIJKE VERSCHILPLOTS  $H_s$  INVLOED NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENT

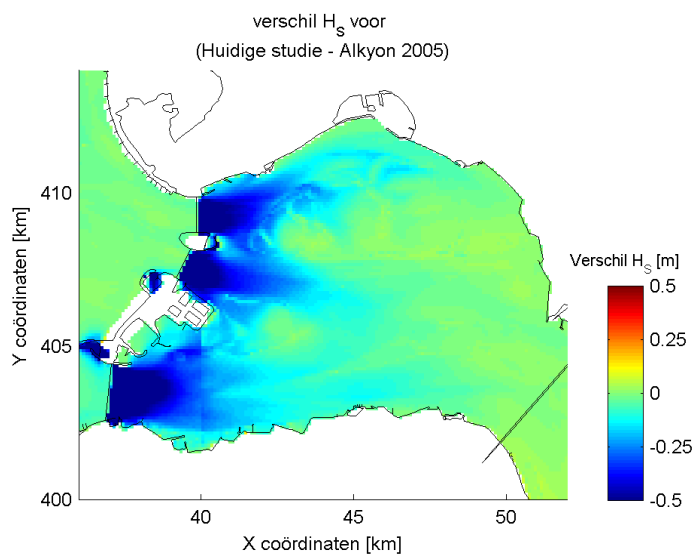
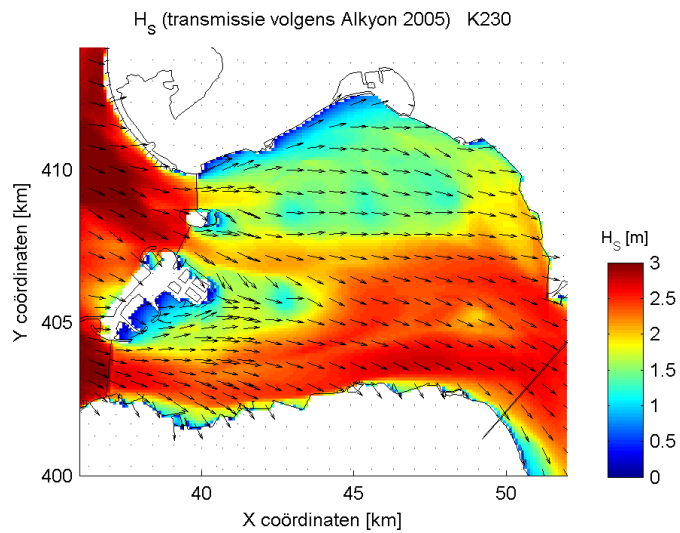
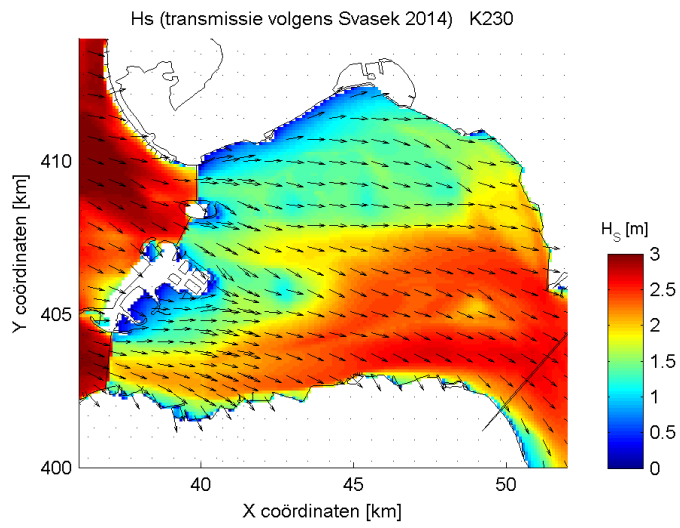


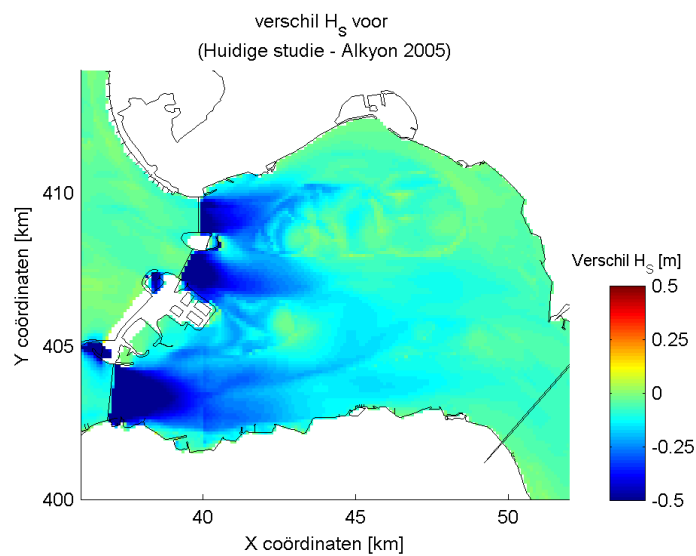
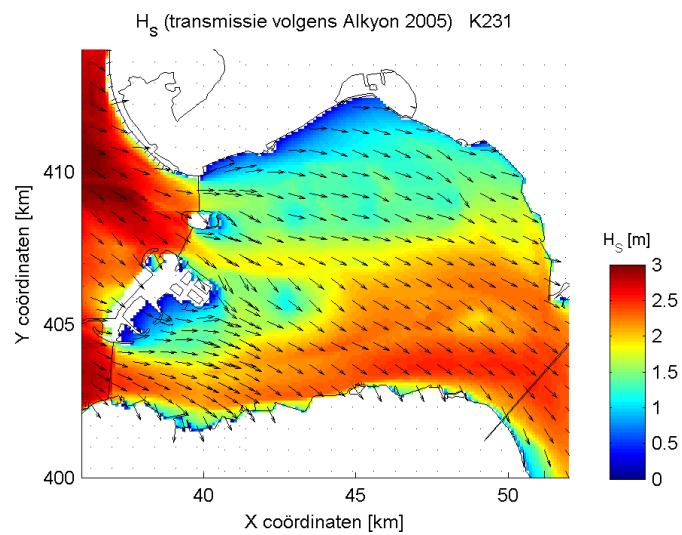
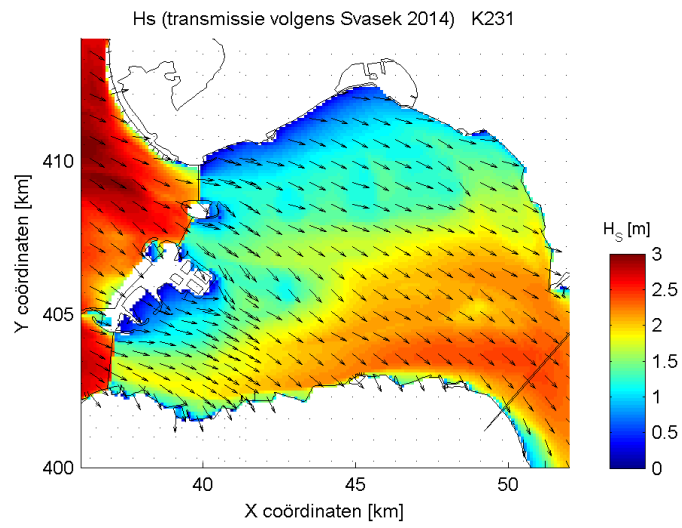


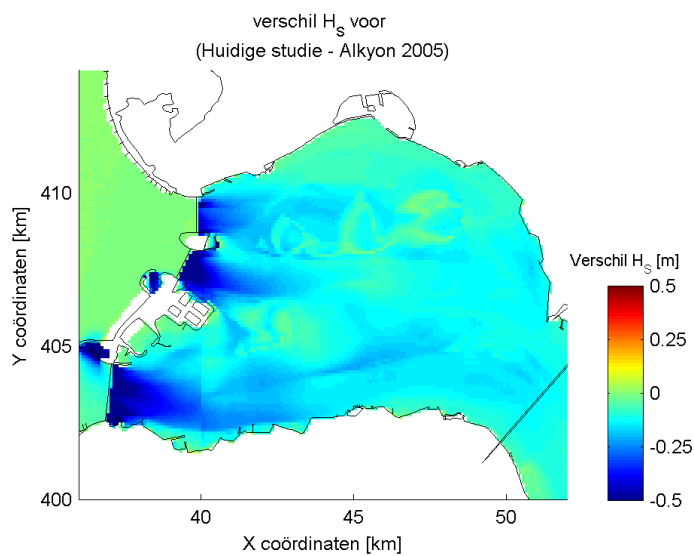
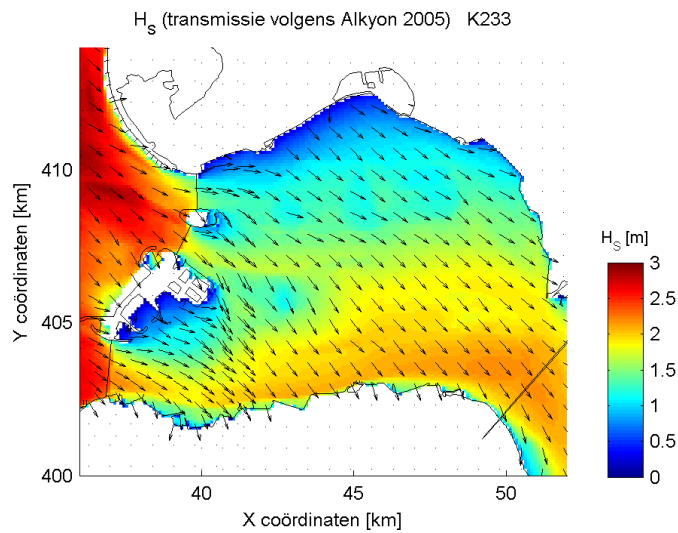
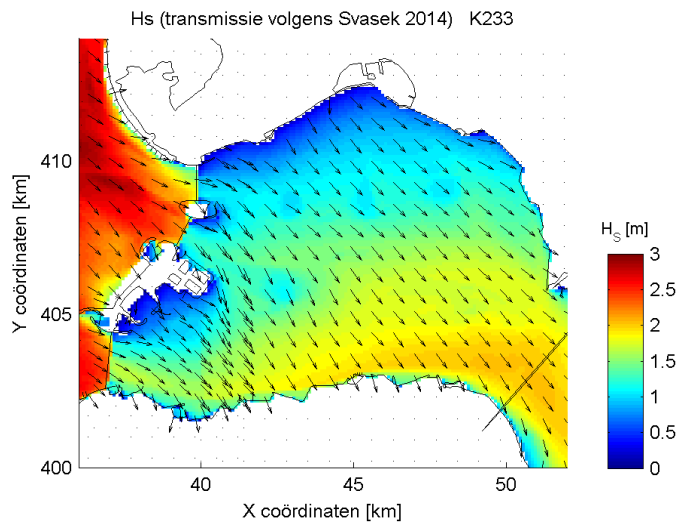


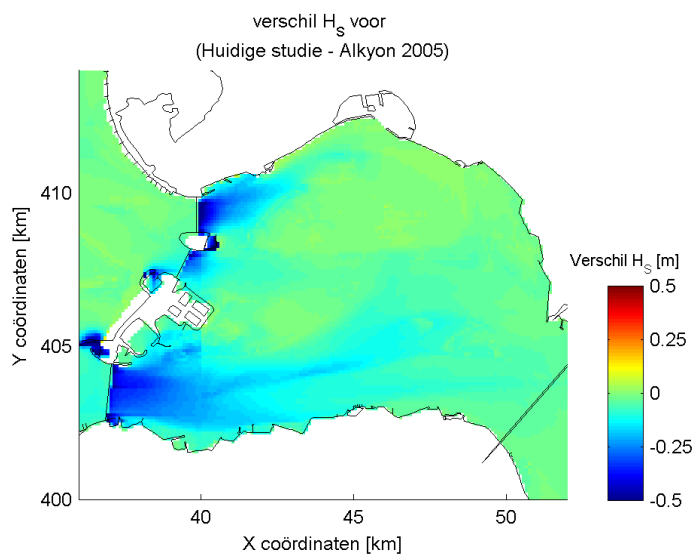
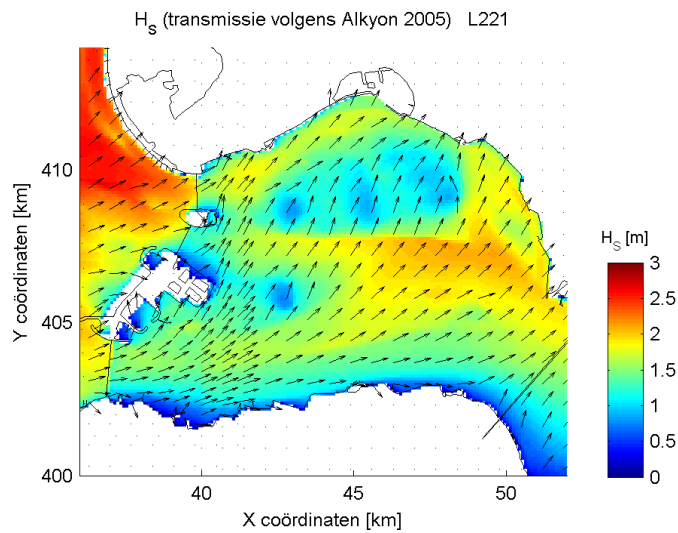
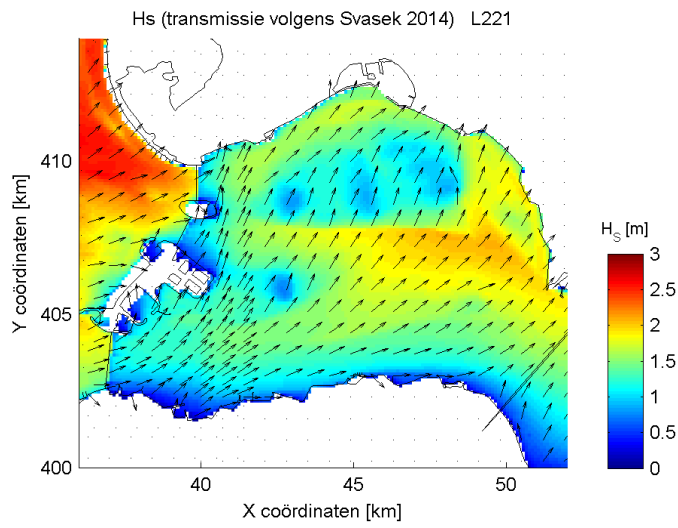


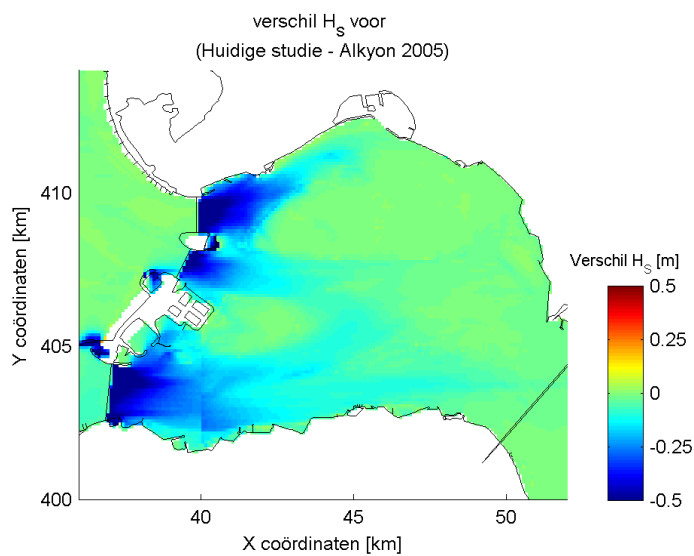
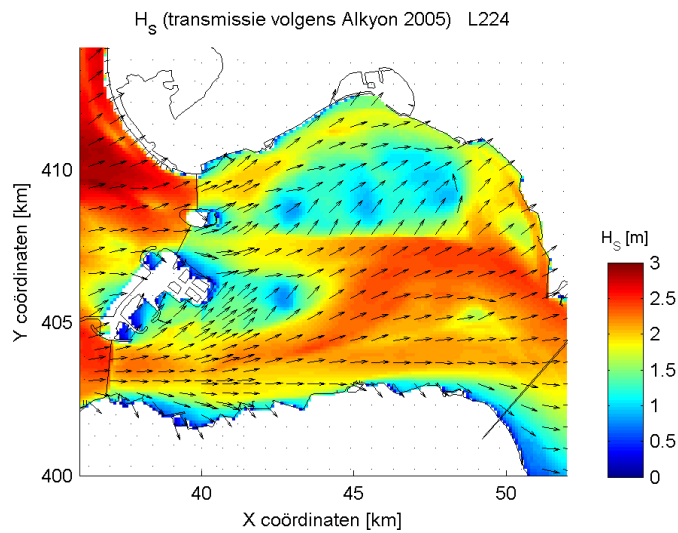
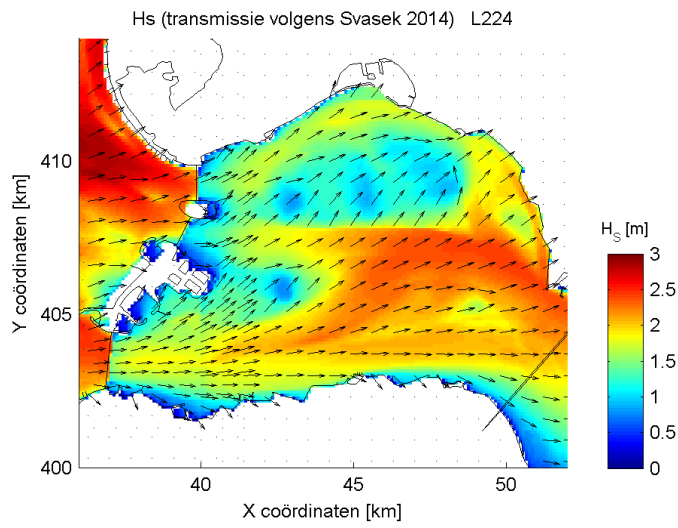




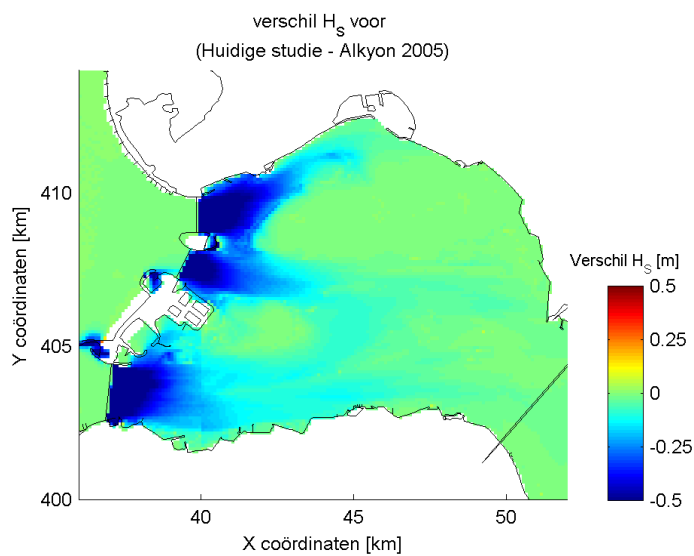
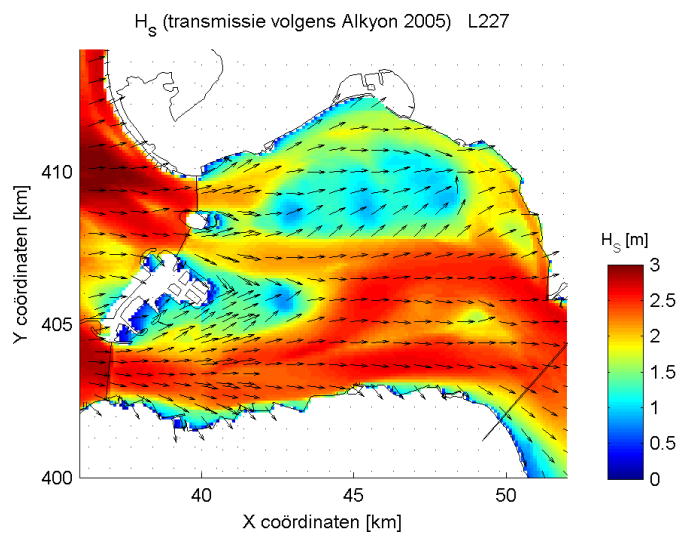
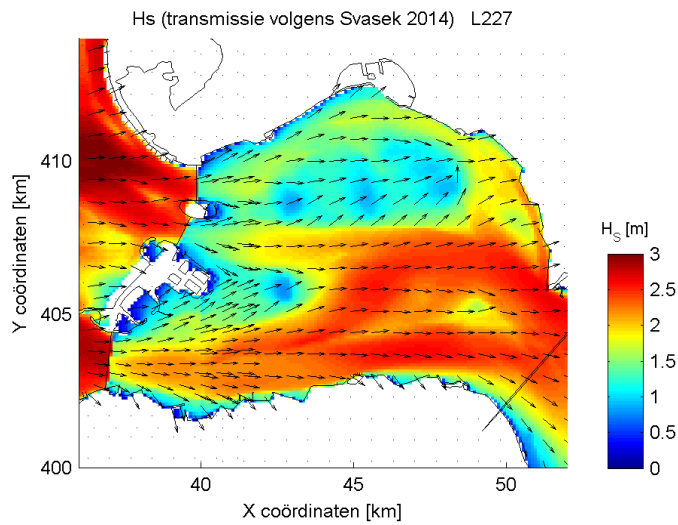


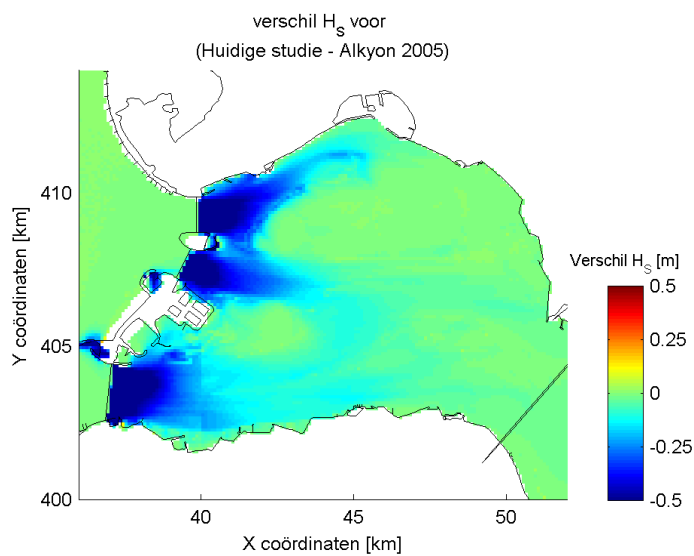
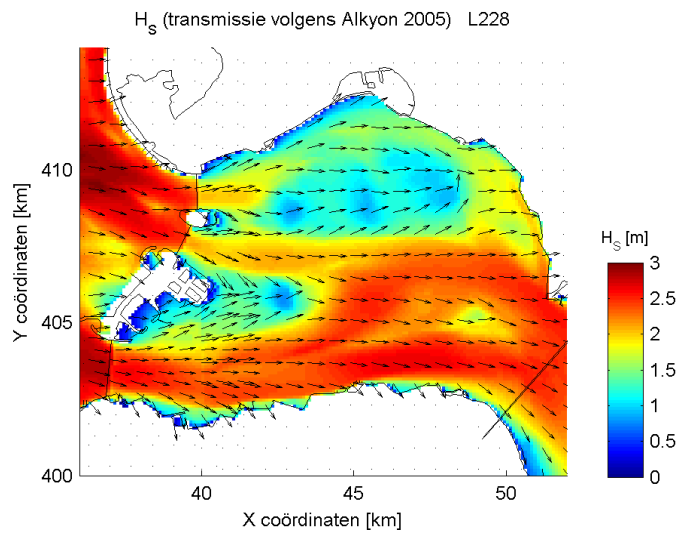
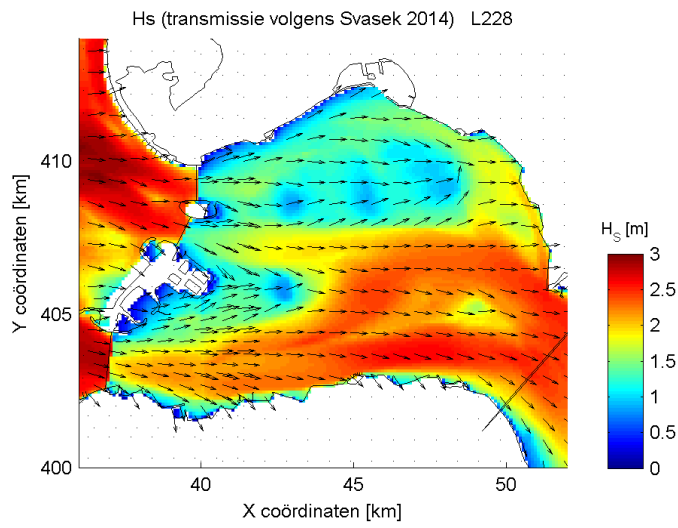


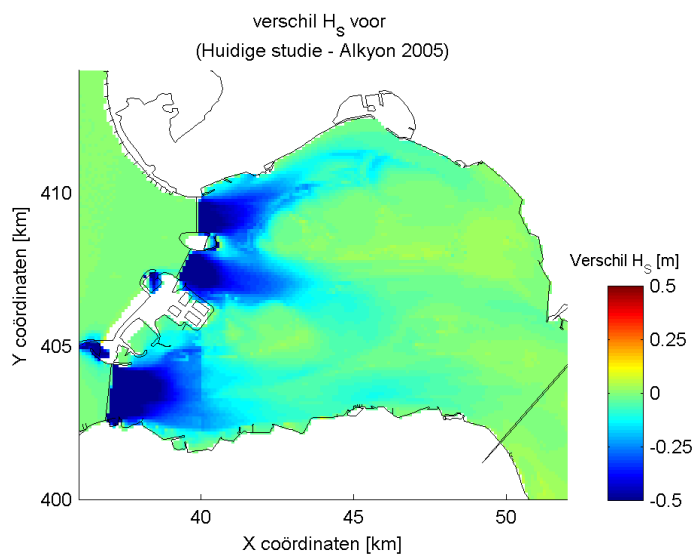
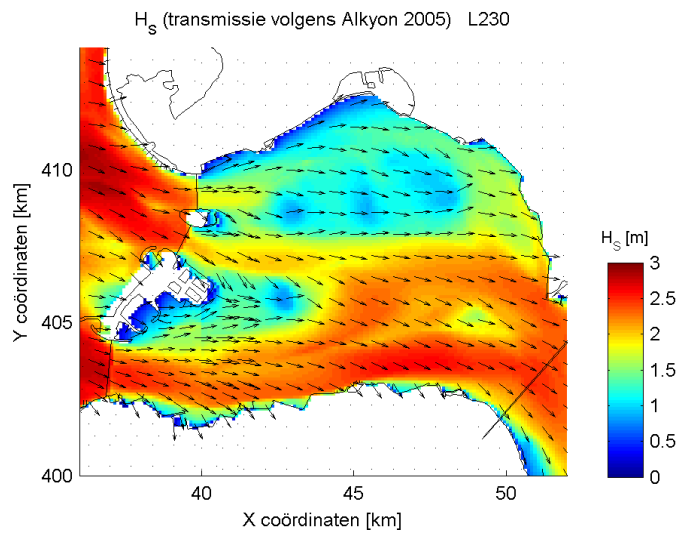
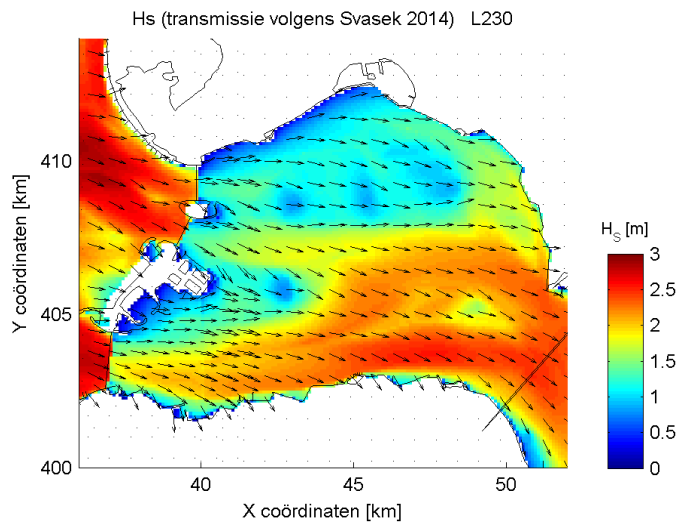


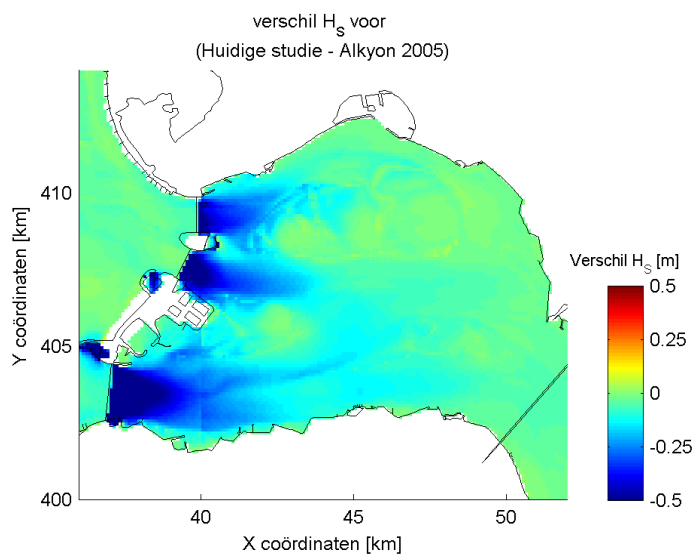
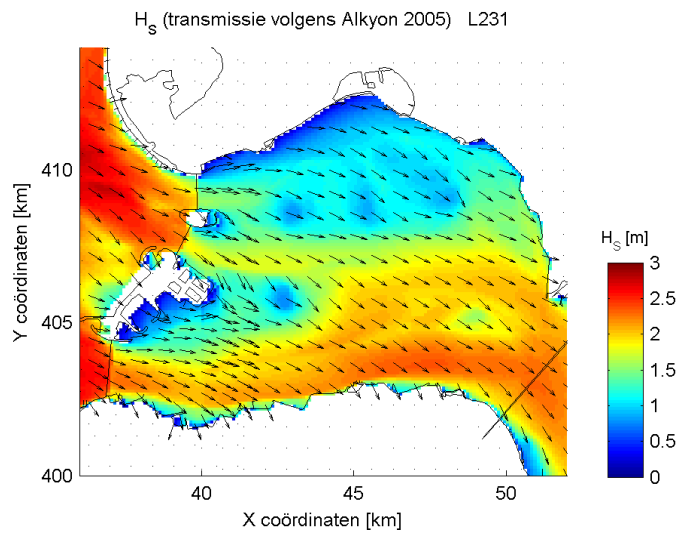
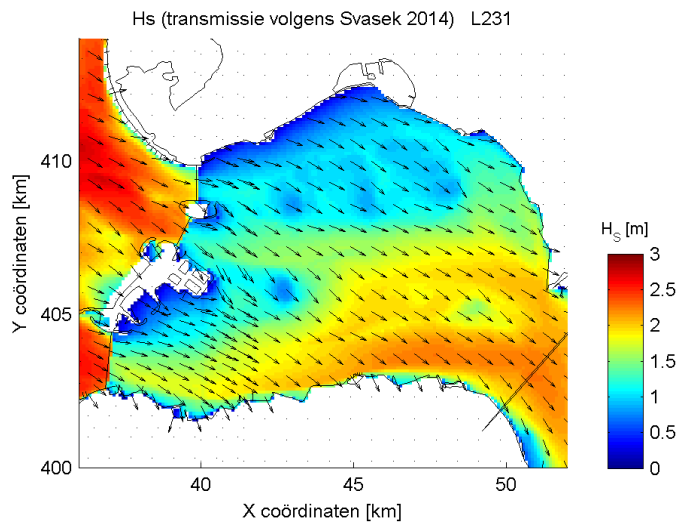


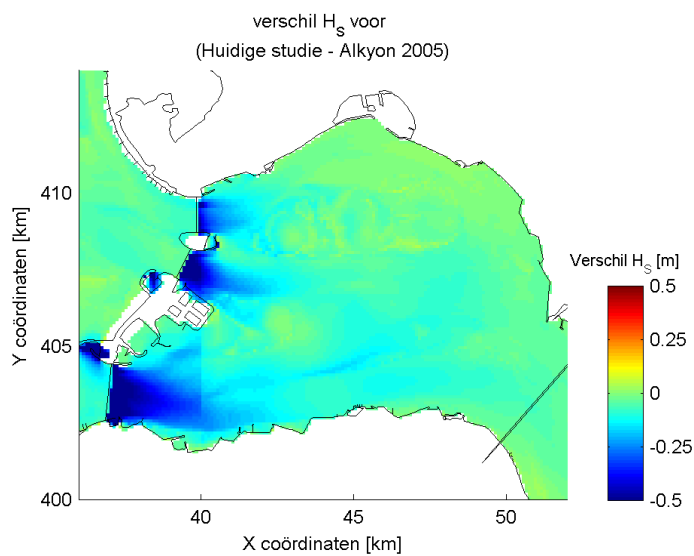
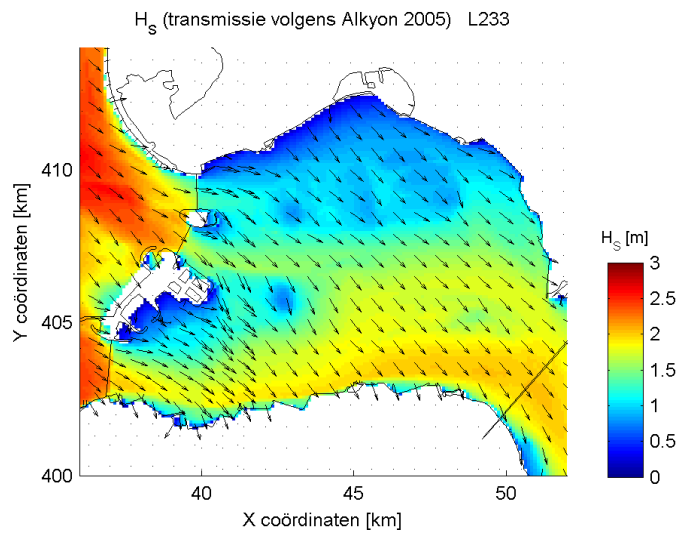
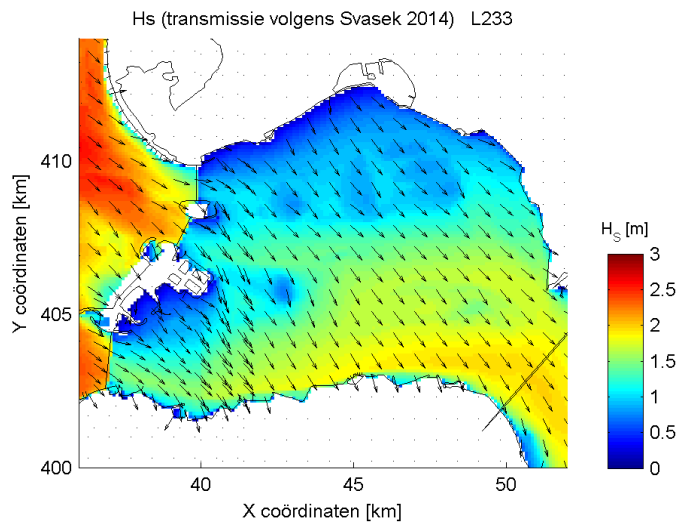


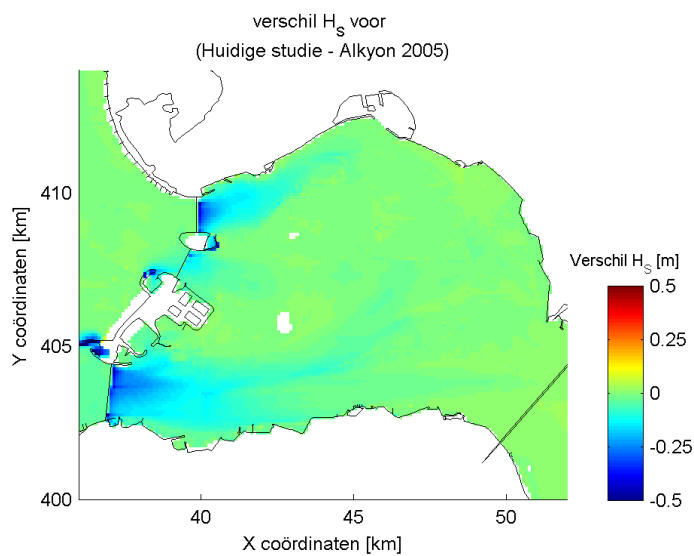
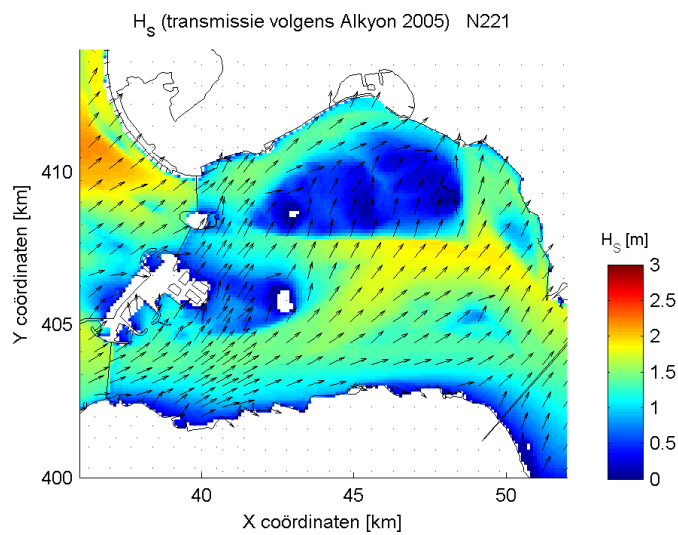
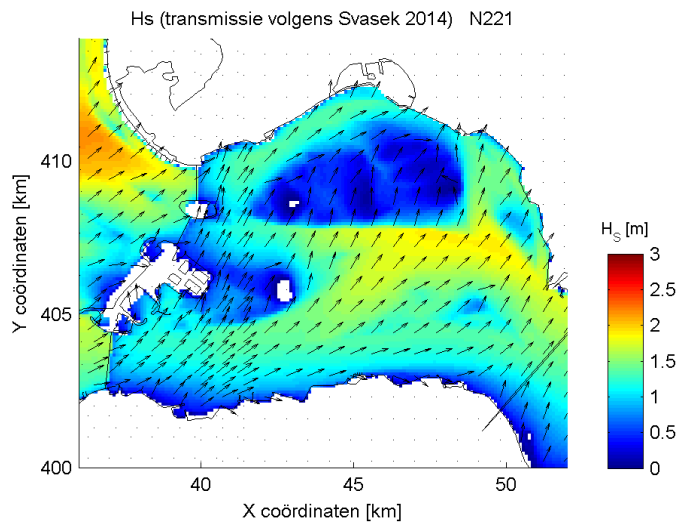


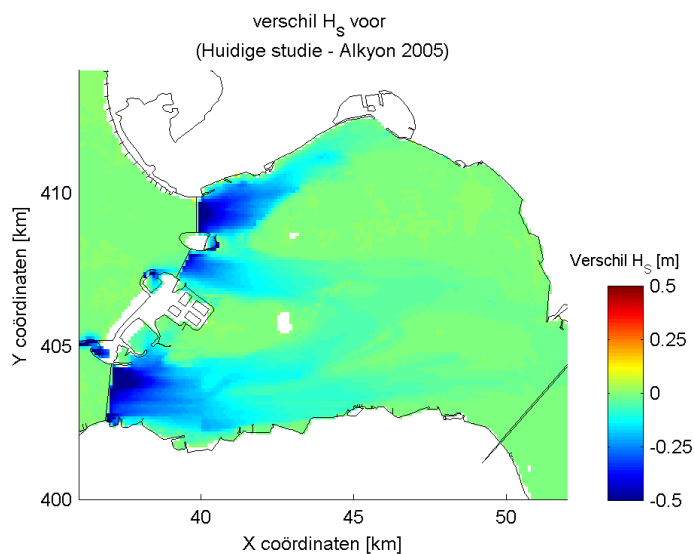
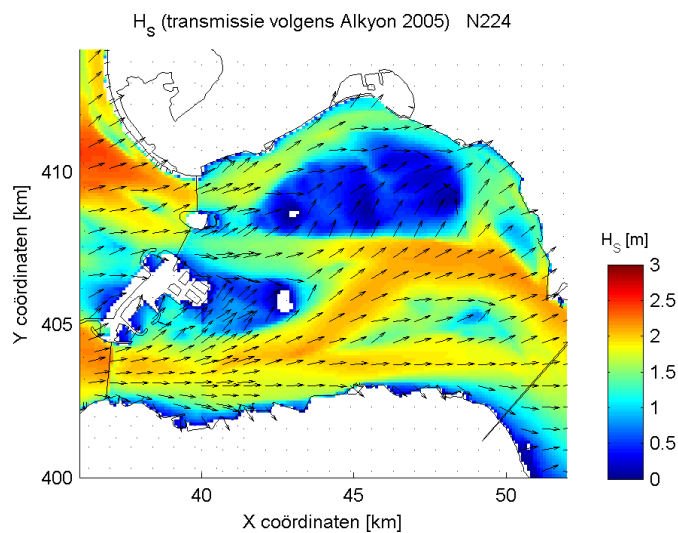
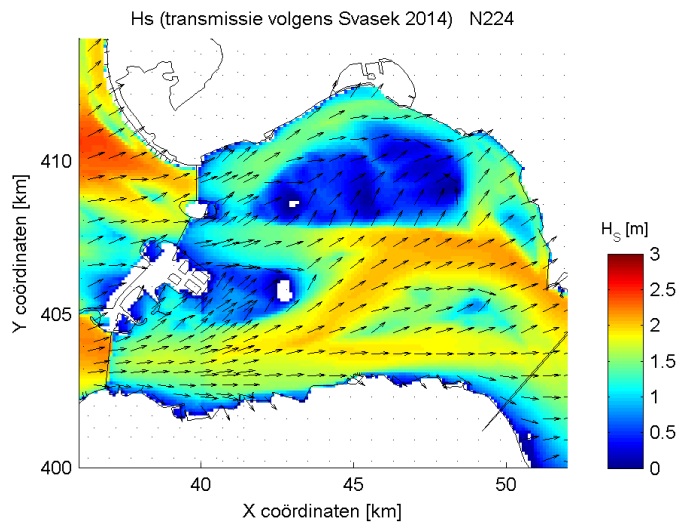




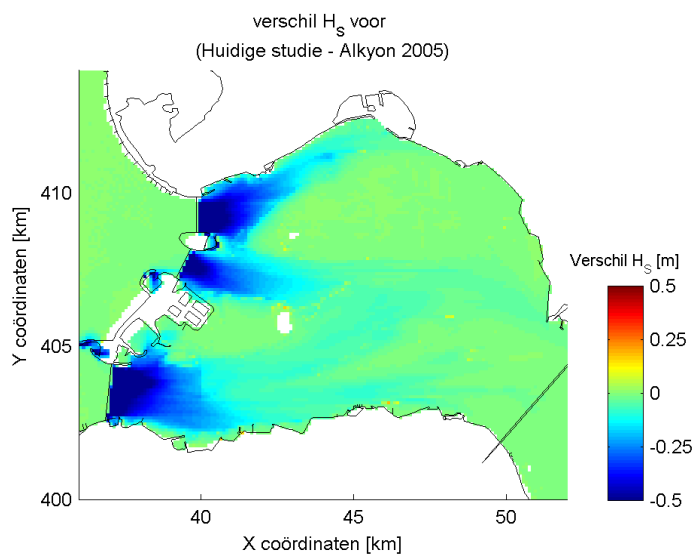
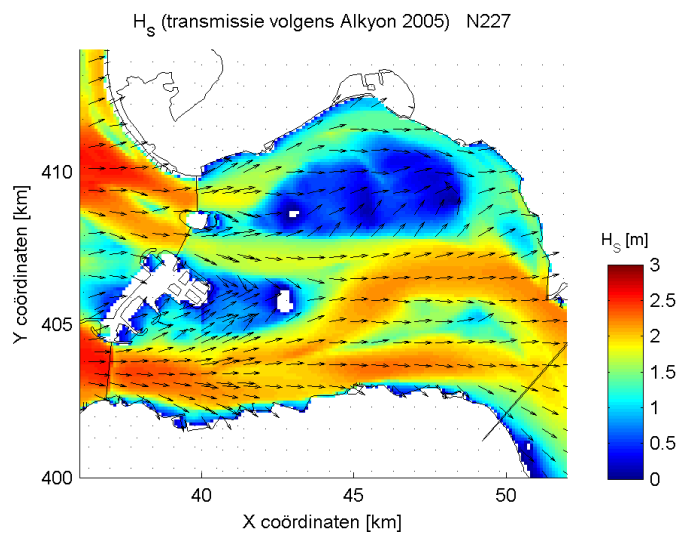
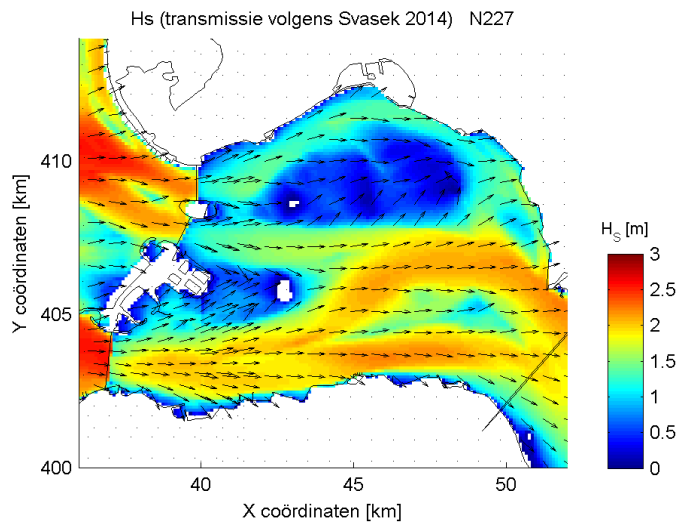


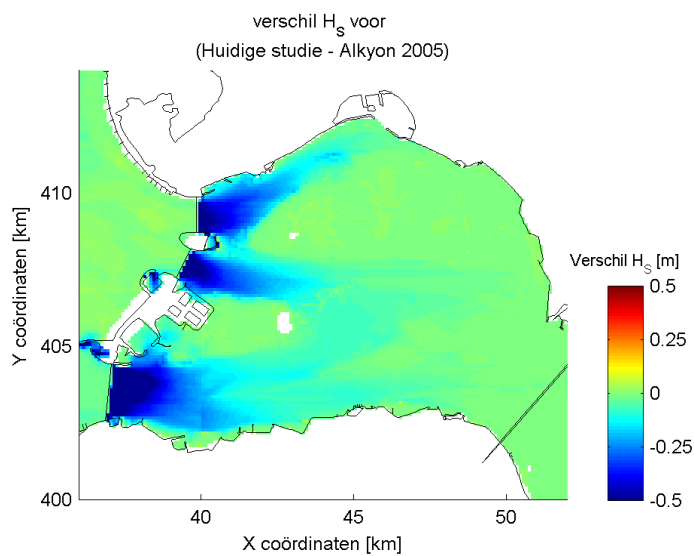
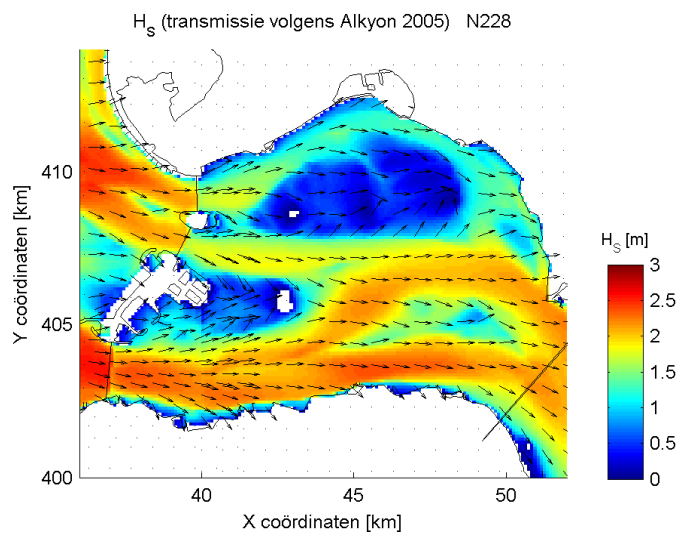
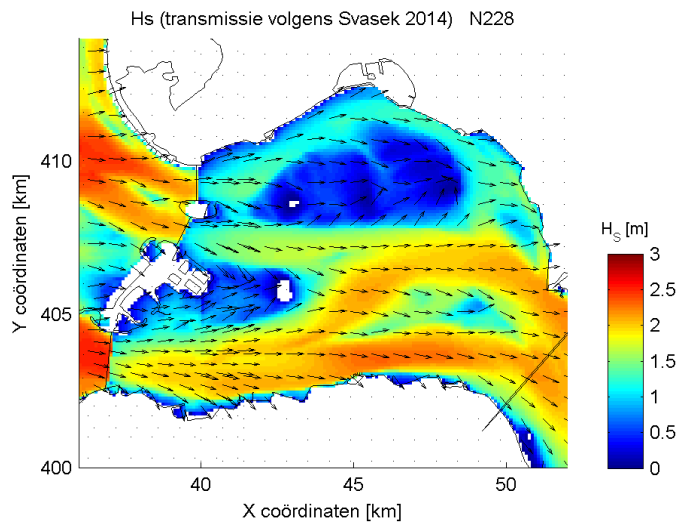


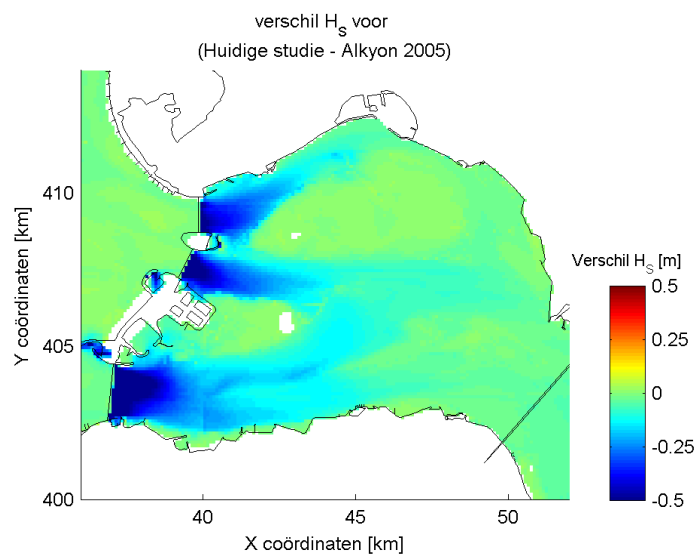
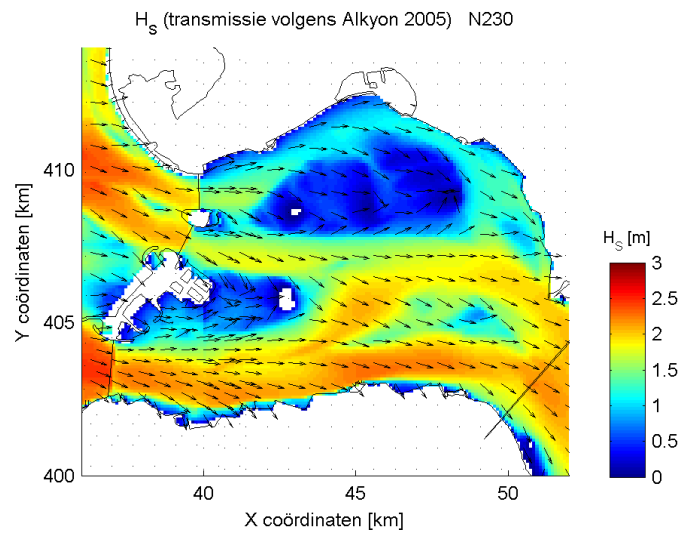
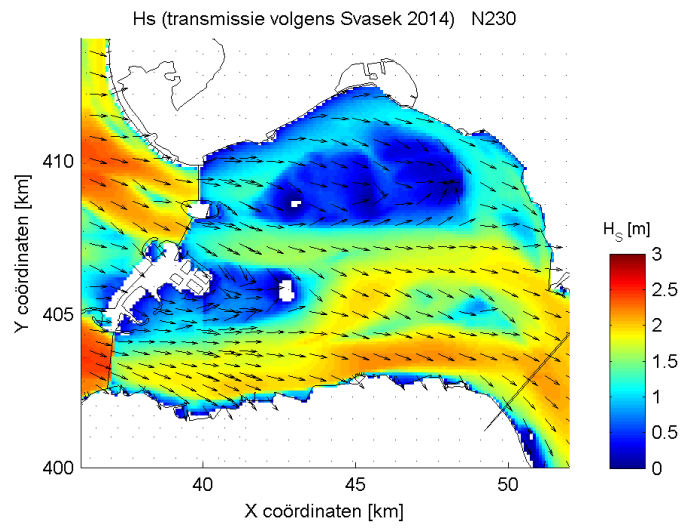


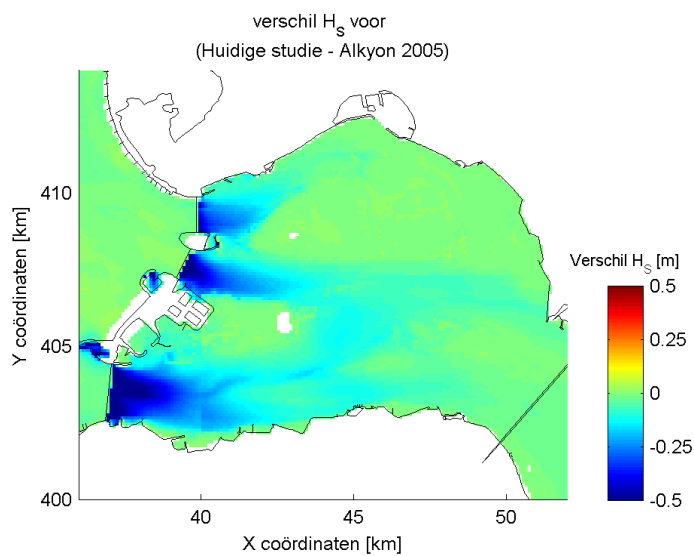
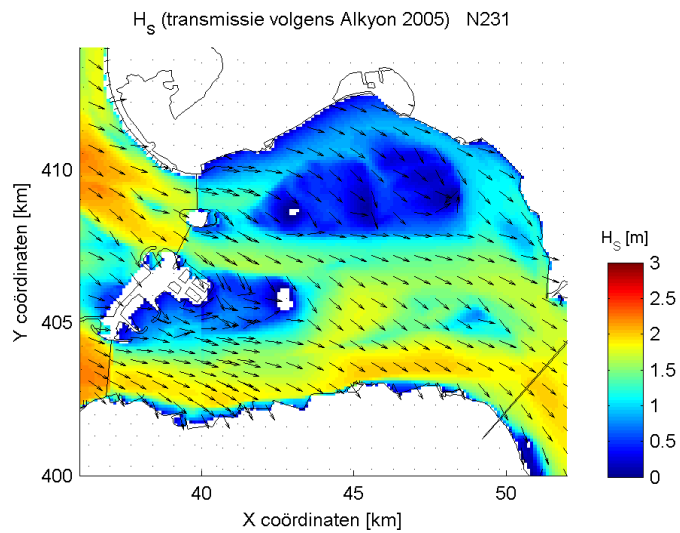
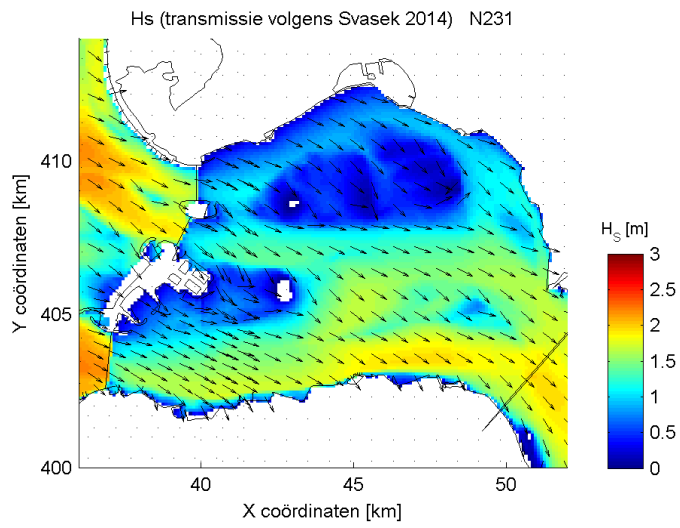


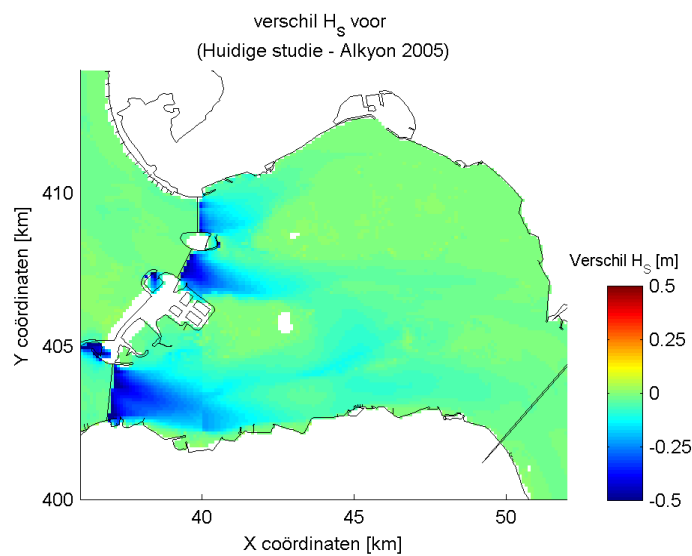
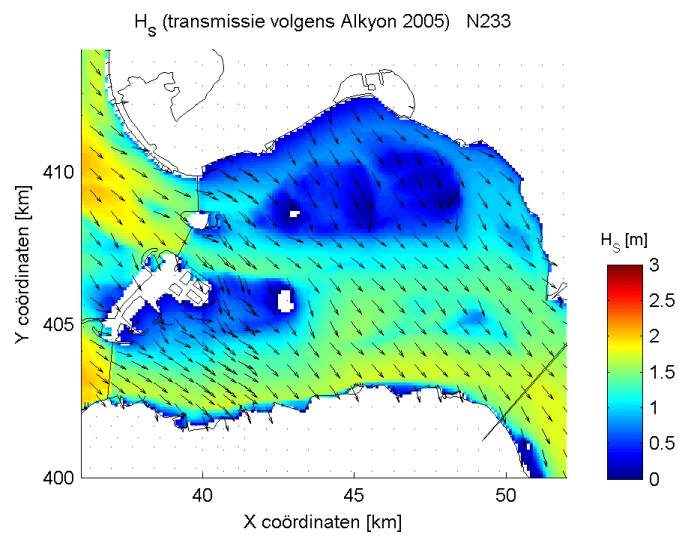
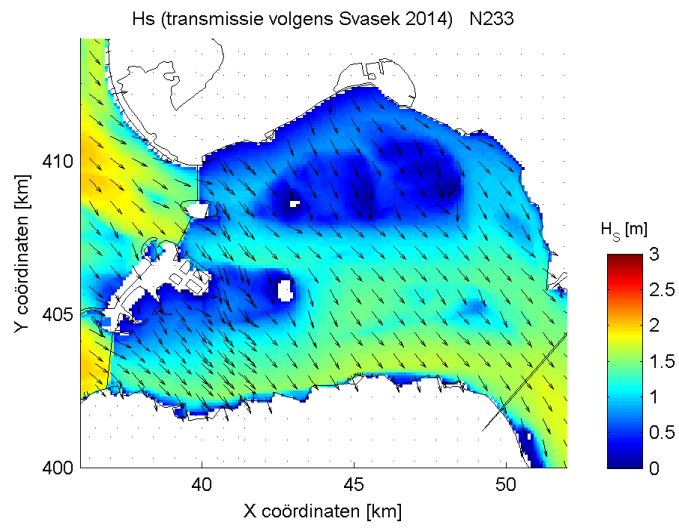






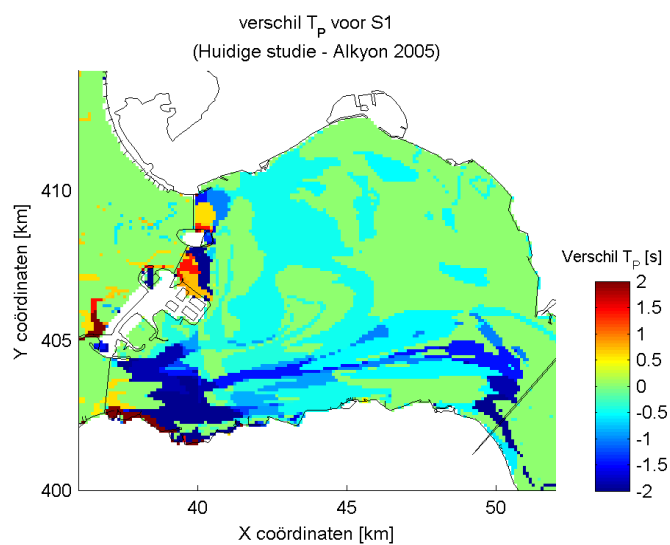
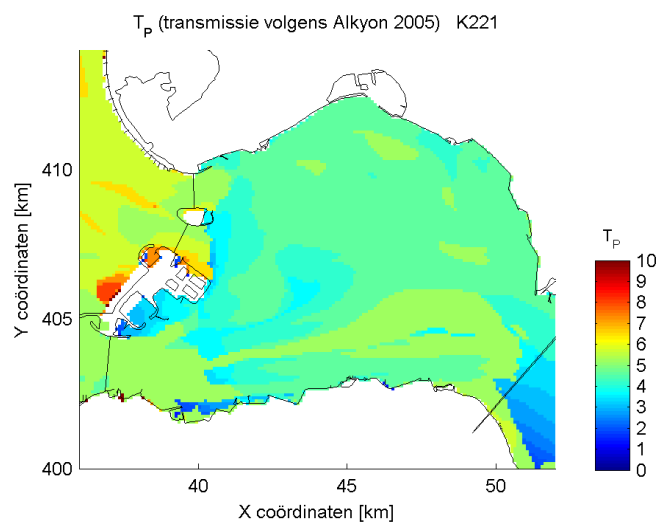
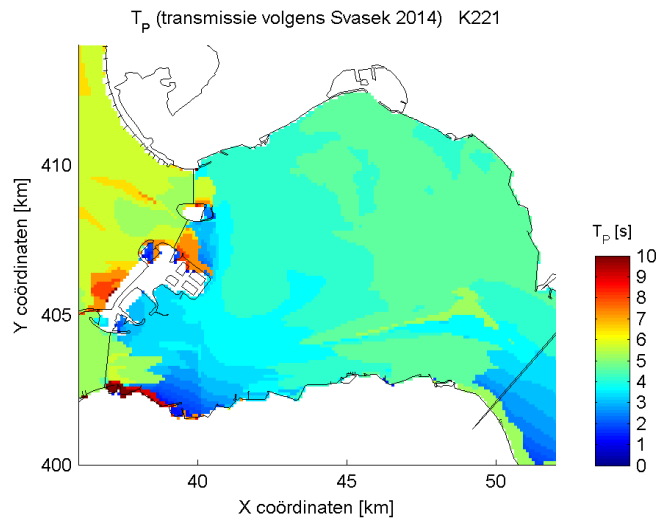


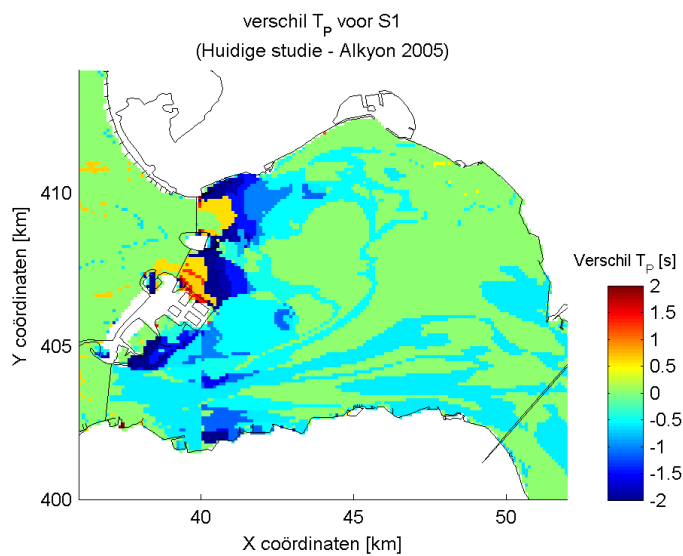
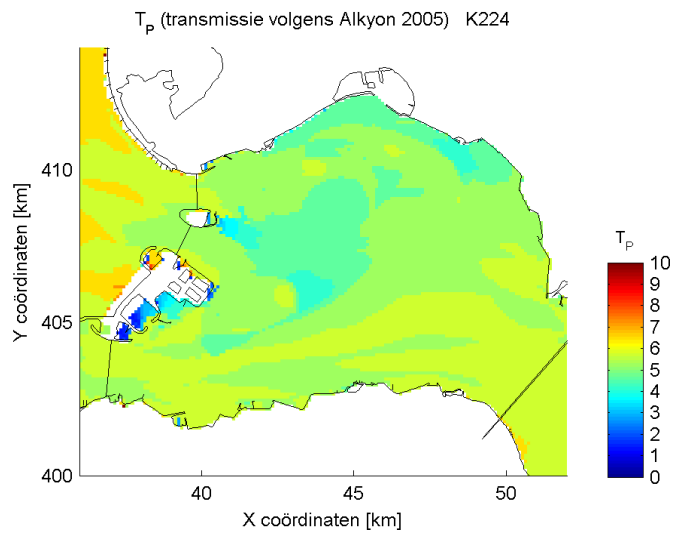
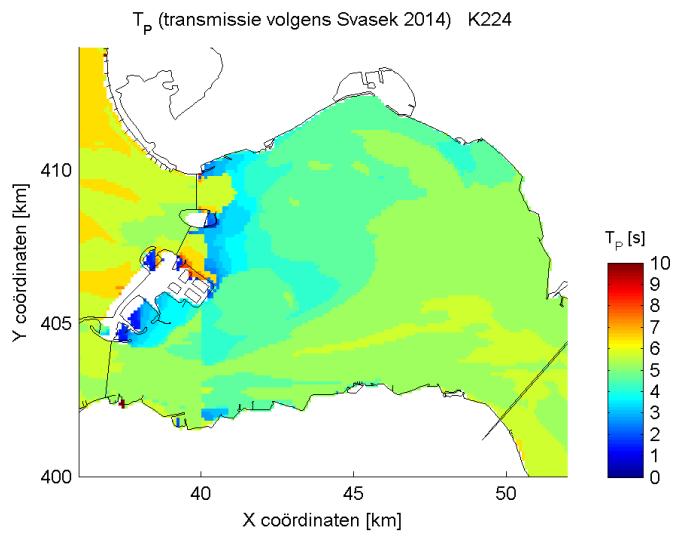




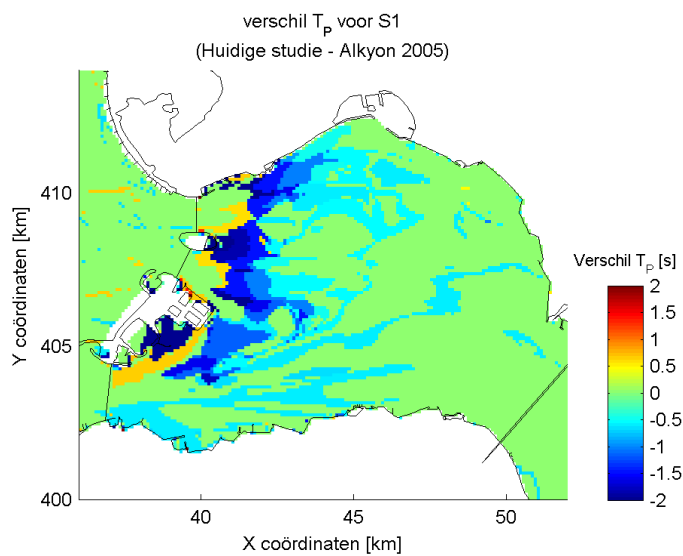
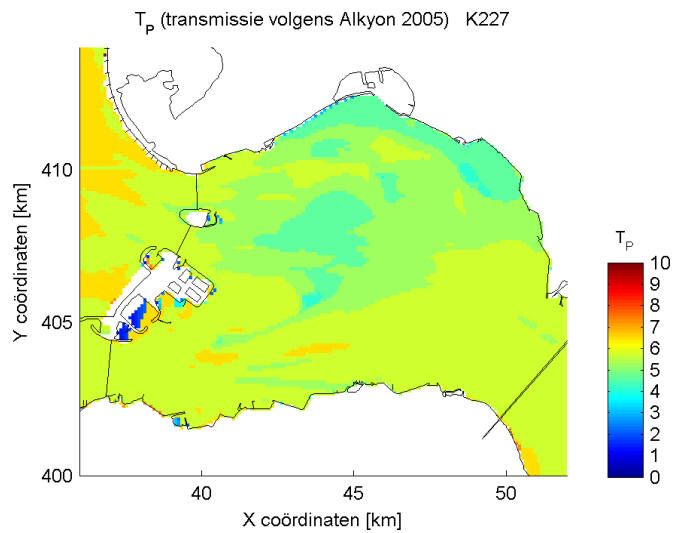
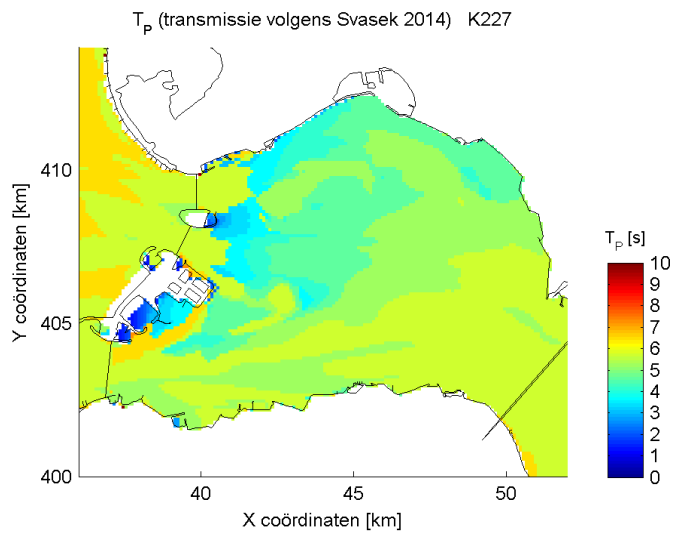
J

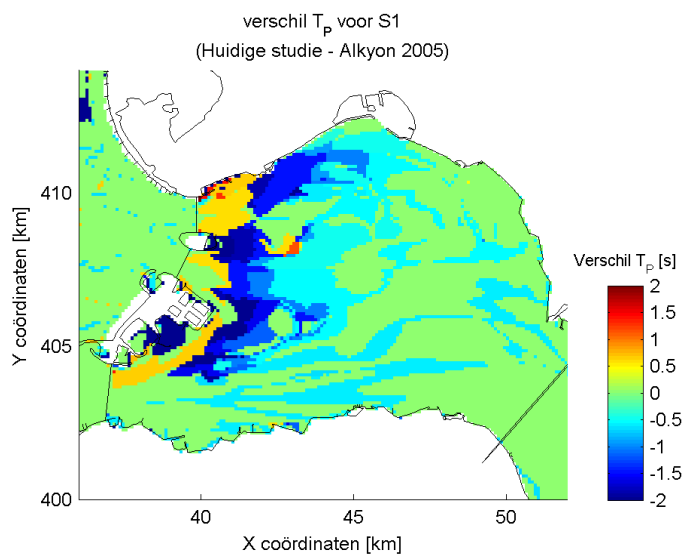
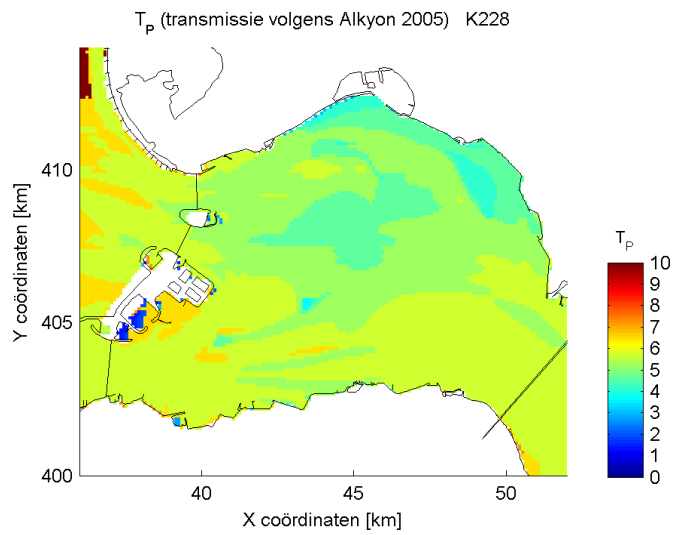
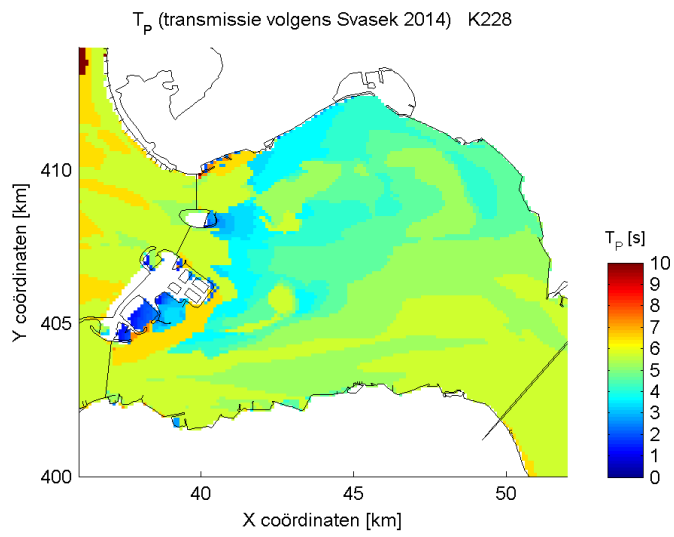
**RUIMTELIJKE VERSCHILPLOTS  $T_p$  INVLOED NIEUWE TRANSMISSIECOEFFICIENT**

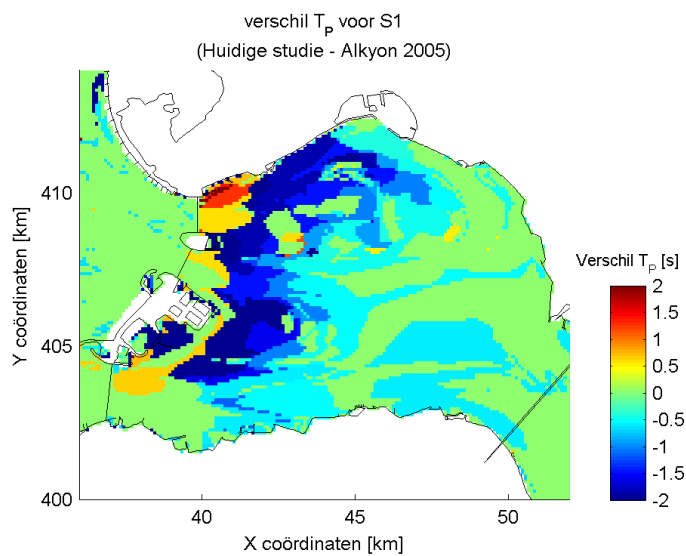
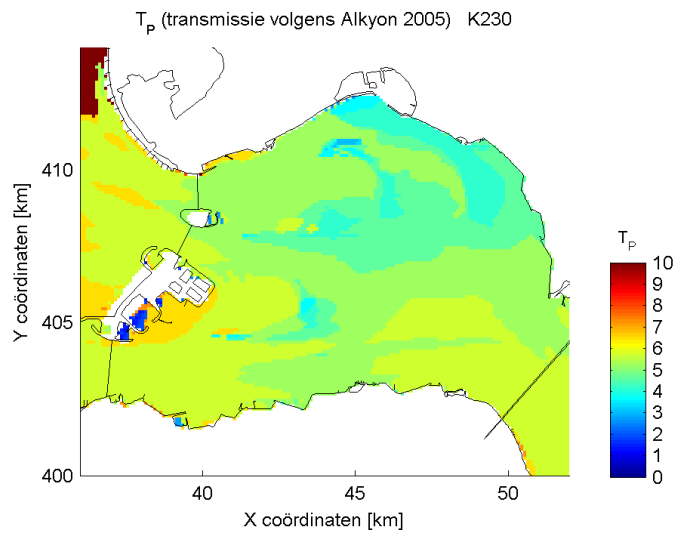
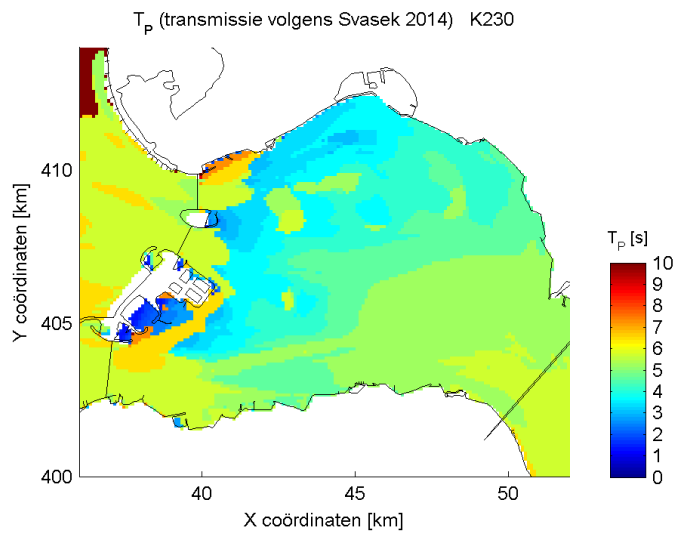


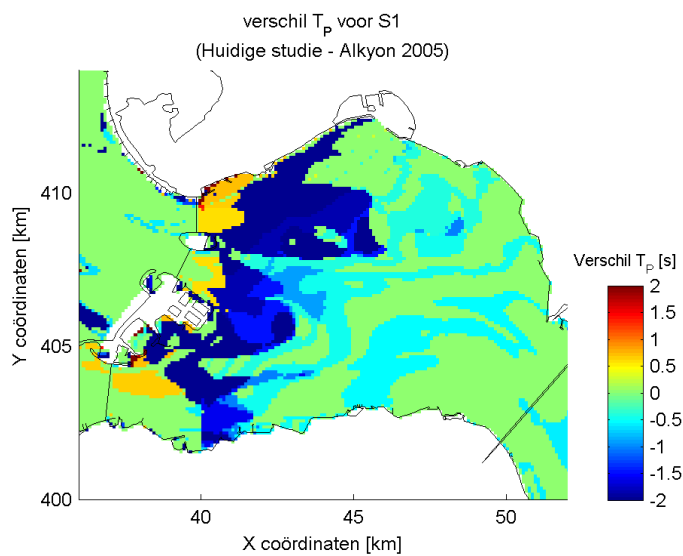
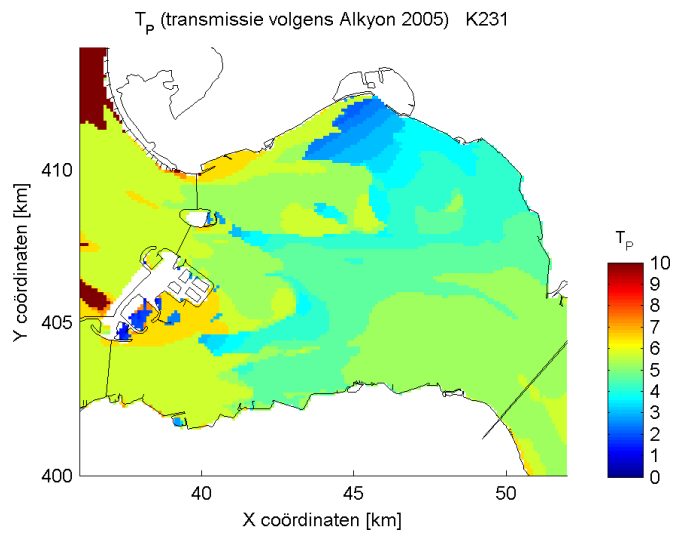
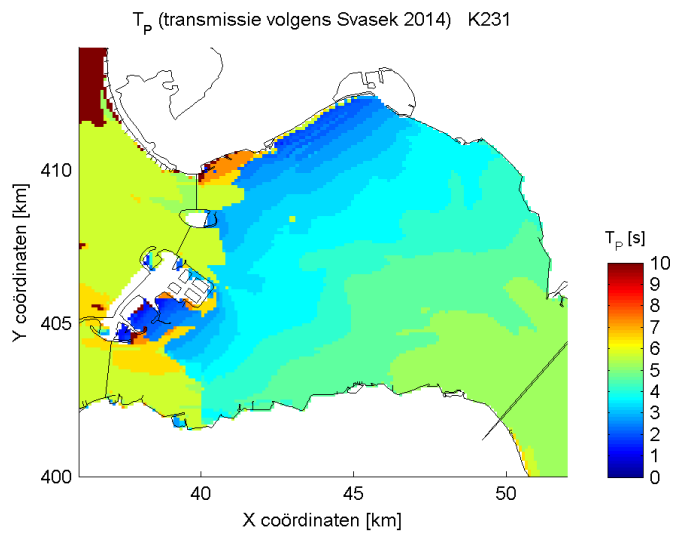


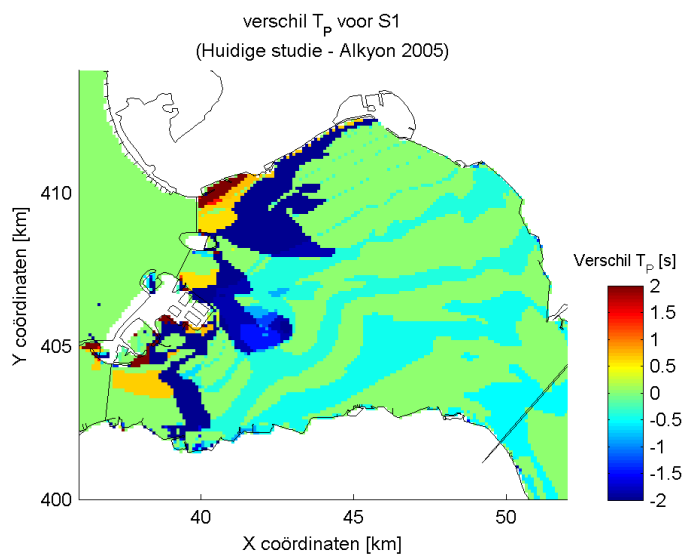
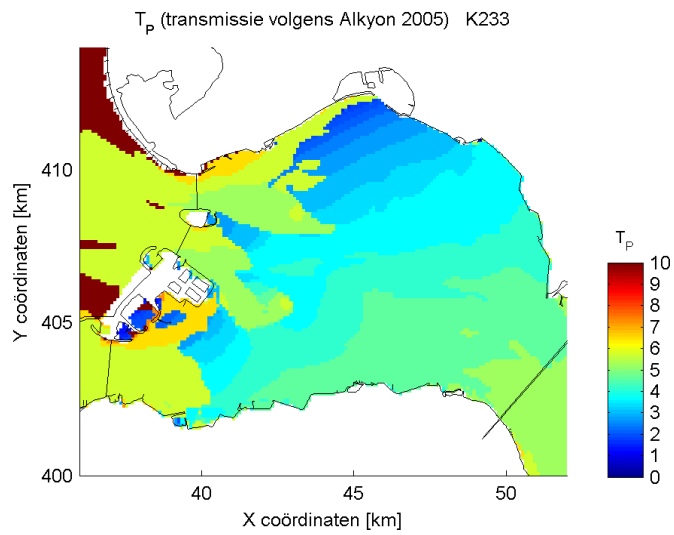
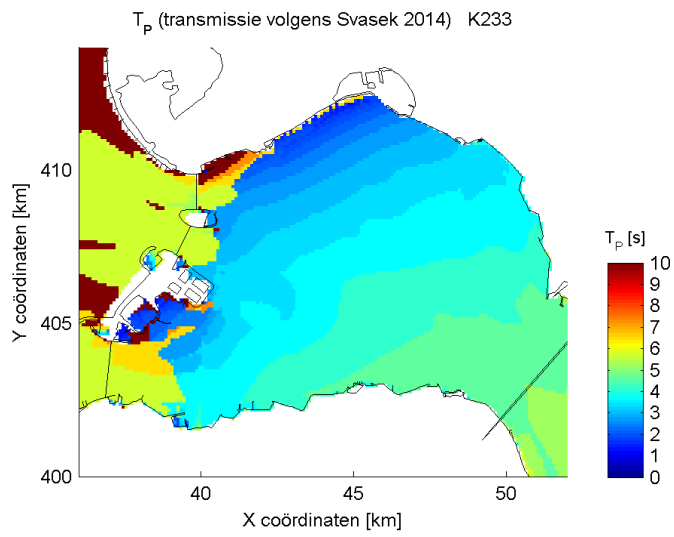




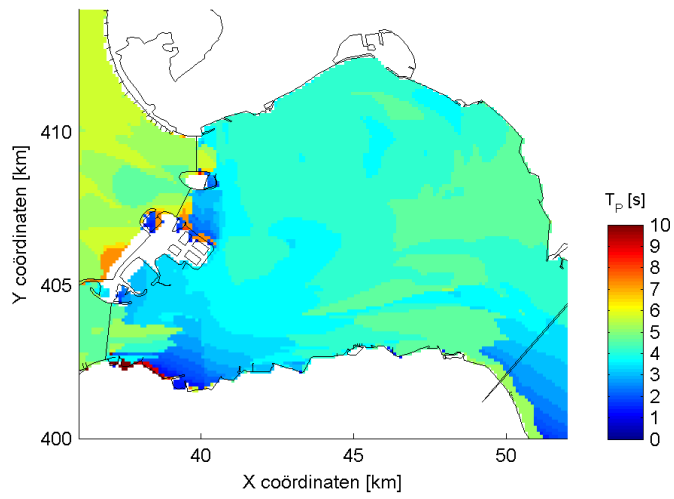




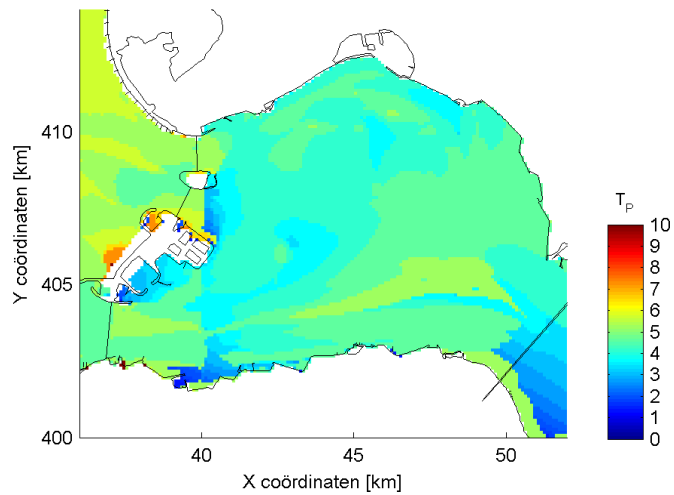




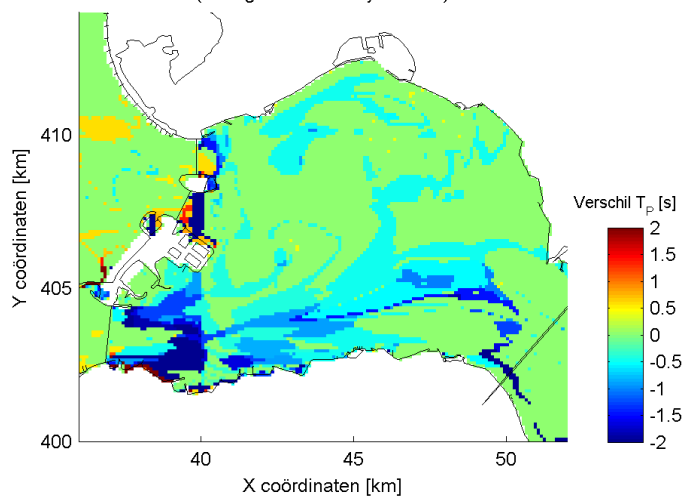
$T_p$  (transmissie volgens Svasek 2014) L221



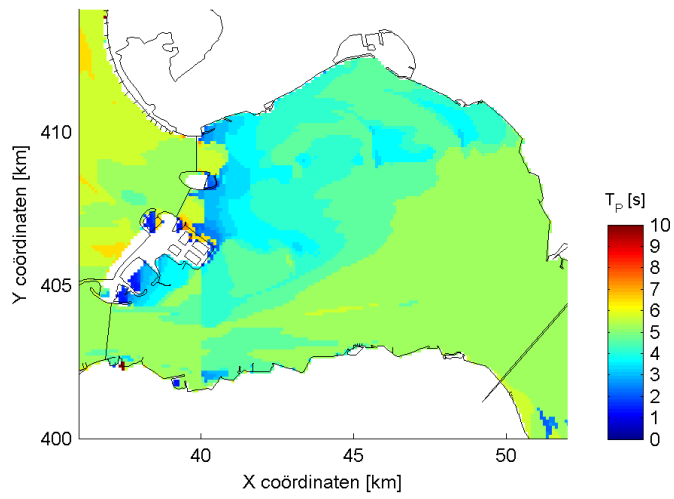
$T_p$  (transmissie volgens Alkyon 2005) L221



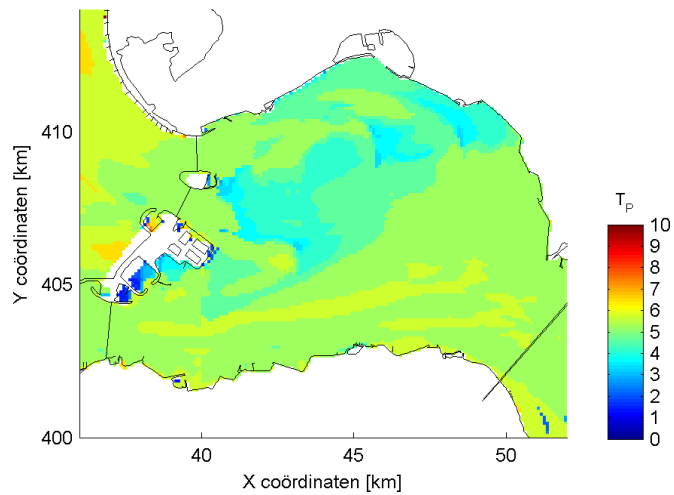
verschil  $T_p$  voor S1  
(Huidige studie - Alkyon 2005)



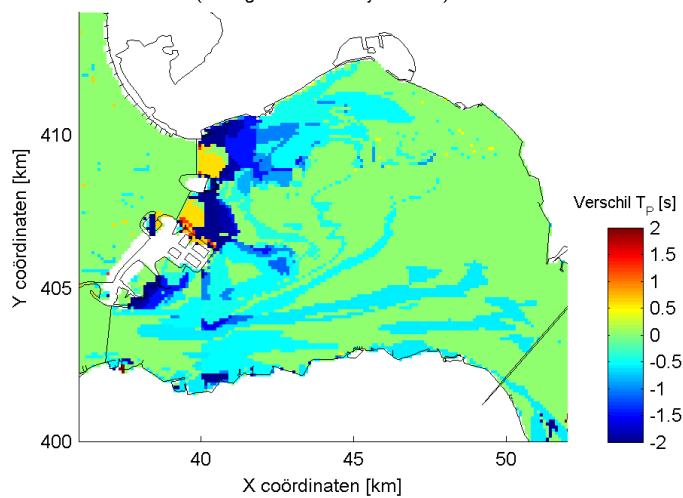
$T_p$  (transmissie volgens Svasek 2014) L224

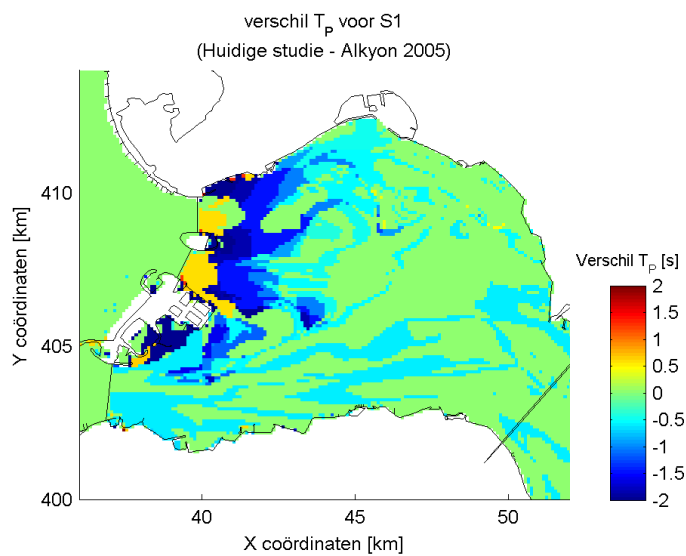
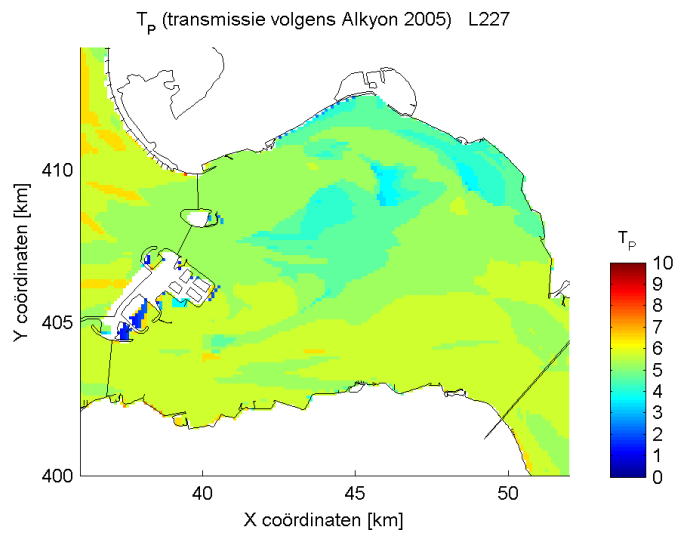
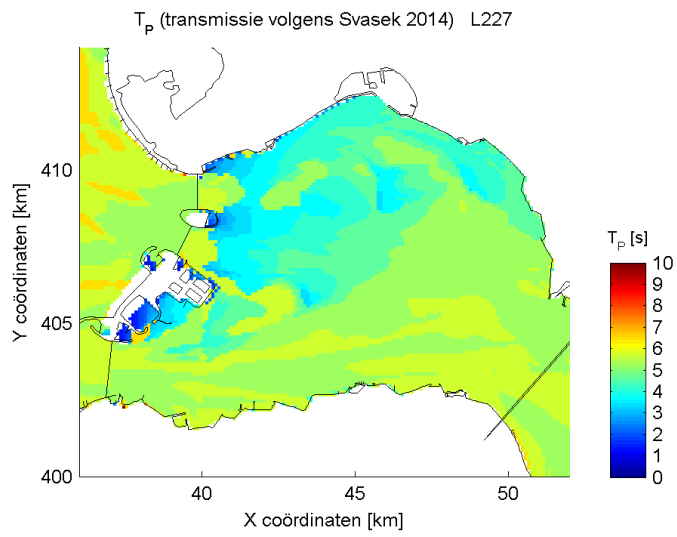


$T_p$  (transmissie volgens Alkyon 2005) L224



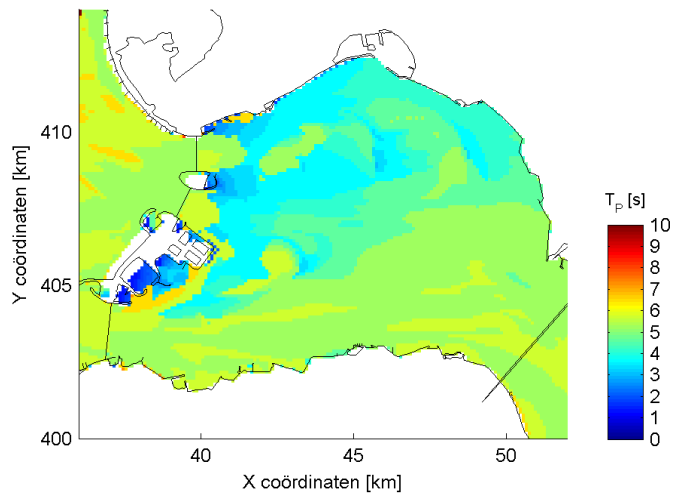
verschil  $T_p$  voor S1  
(Huidige studie - Alkyon 2005)



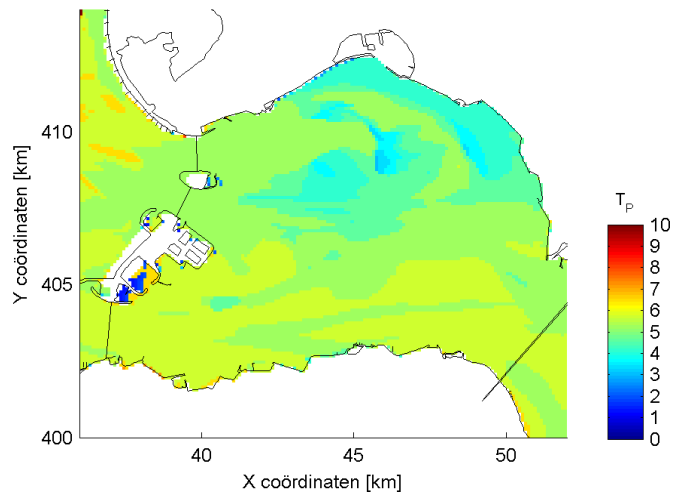




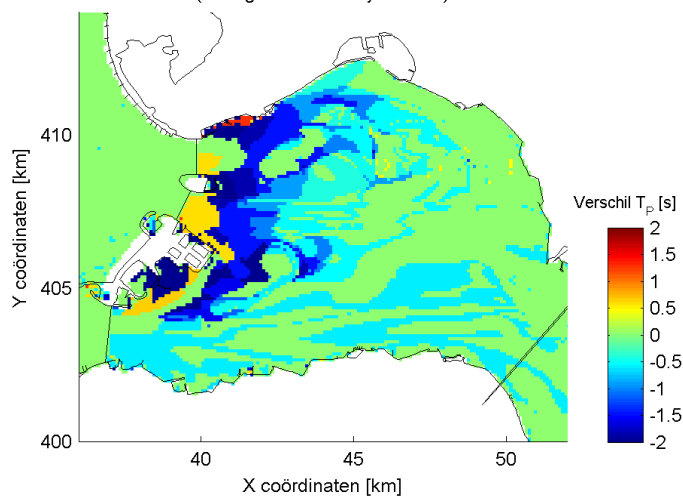
$T_p$  (transmissie volgens Svasek 2014) L228

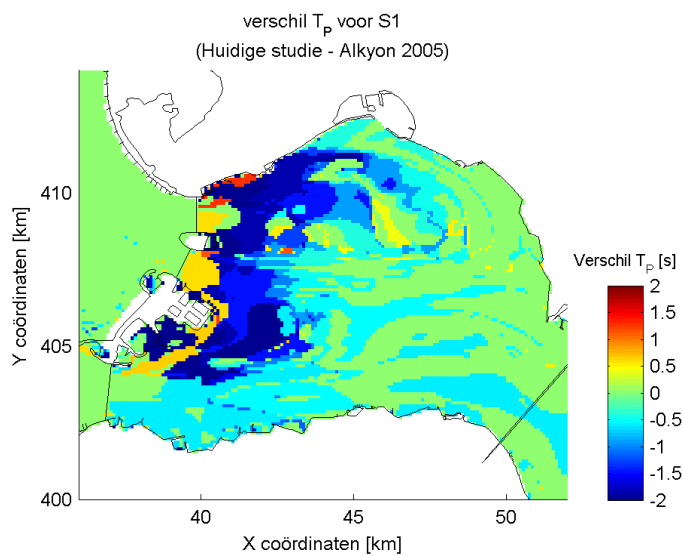
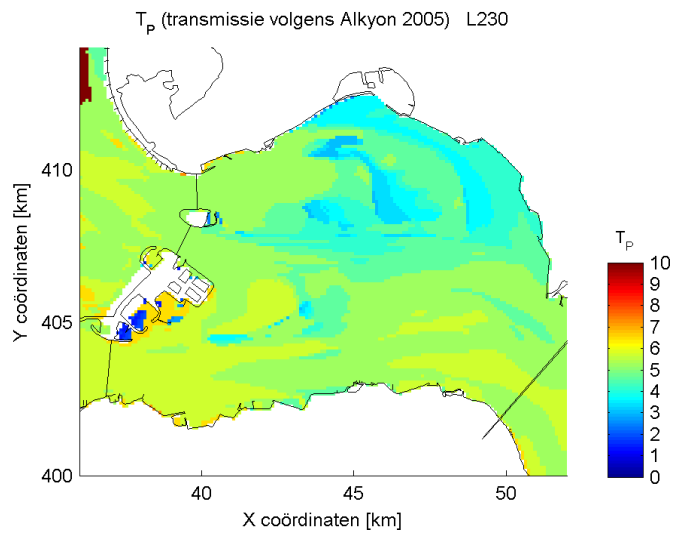
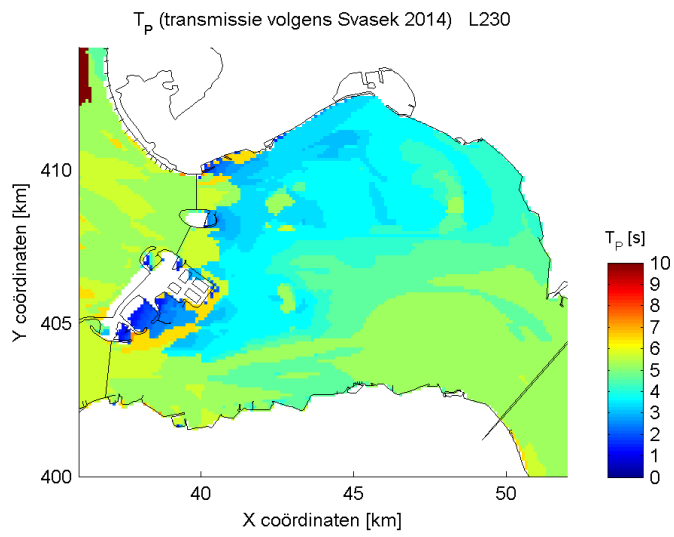


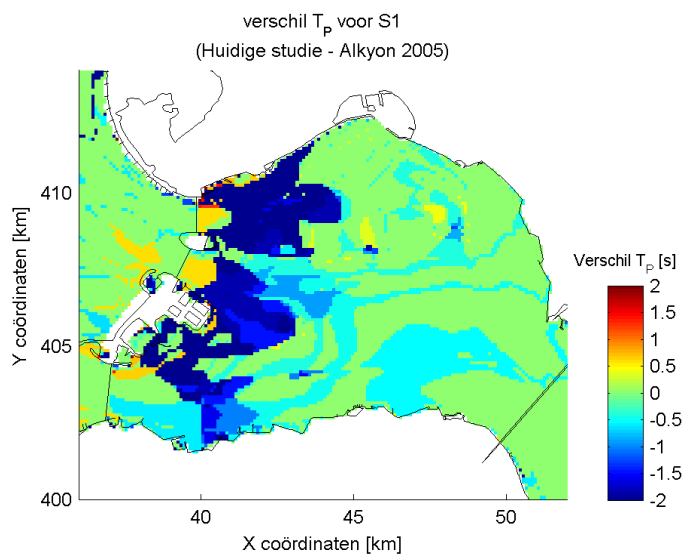
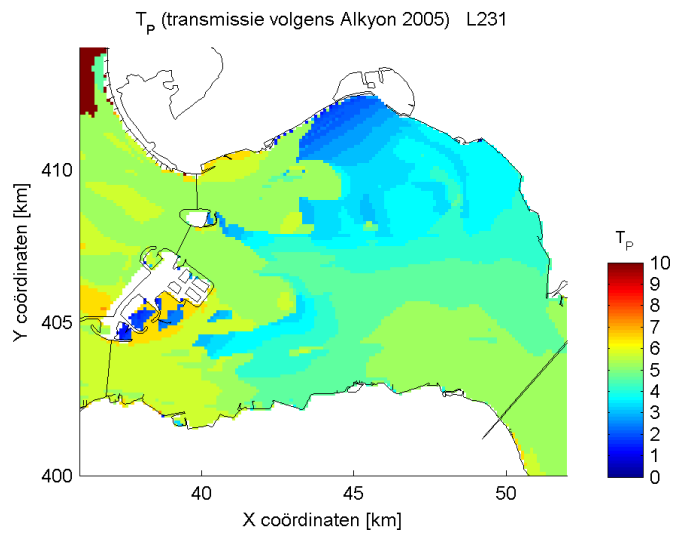
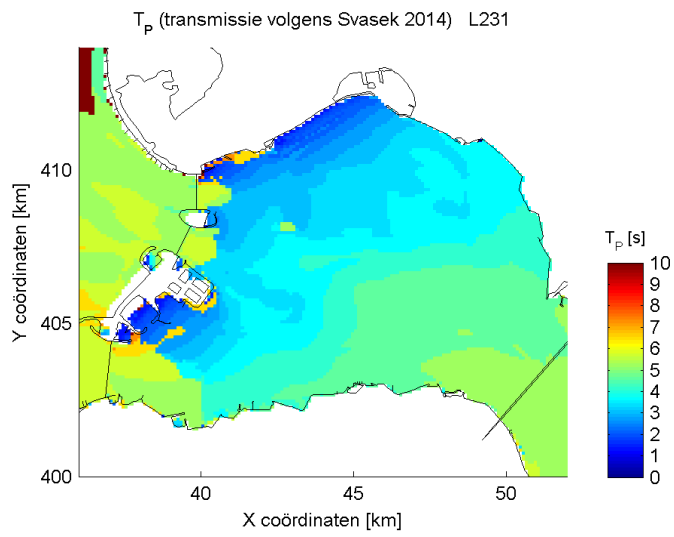
$T_p$  (transmissie volgens Alkyon 2005) L228

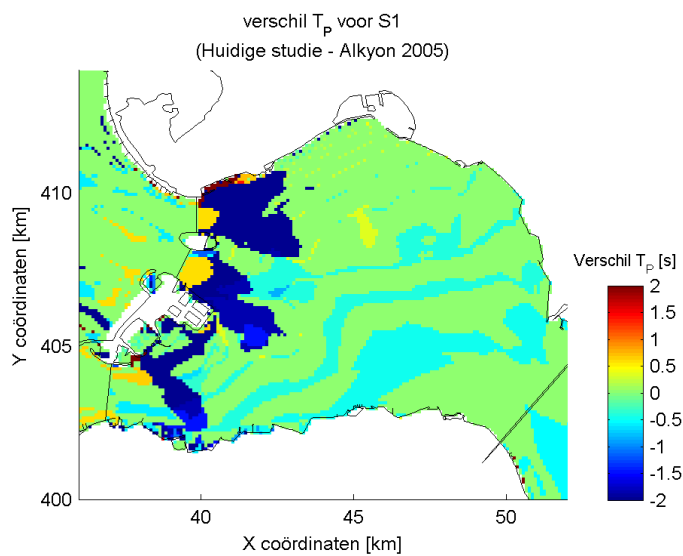
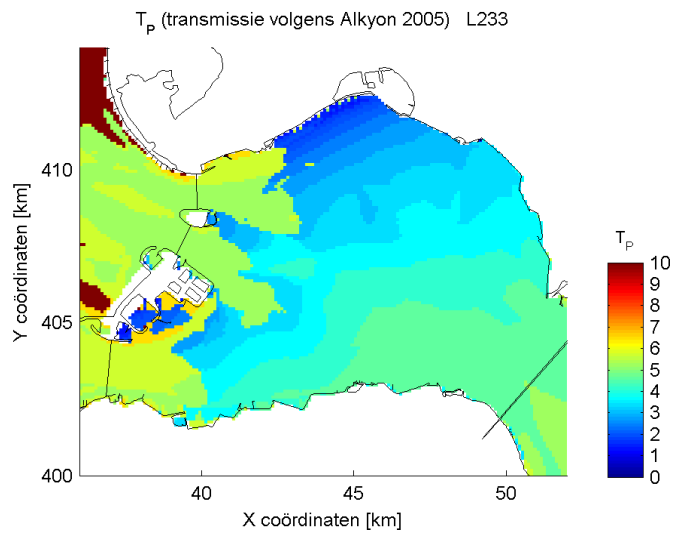
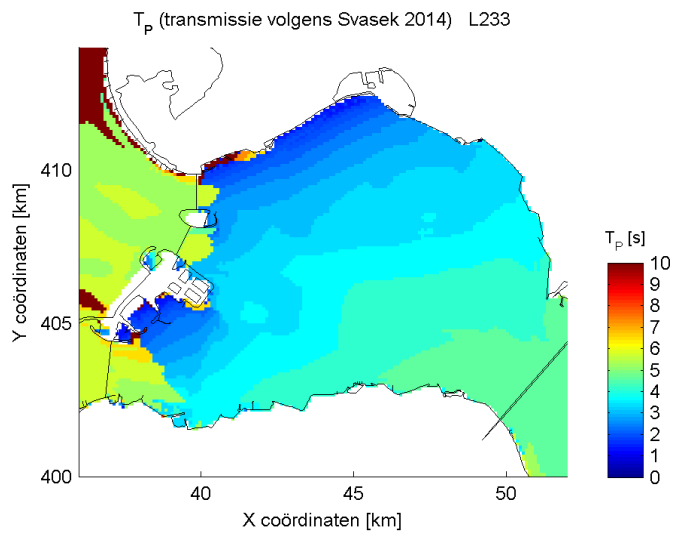


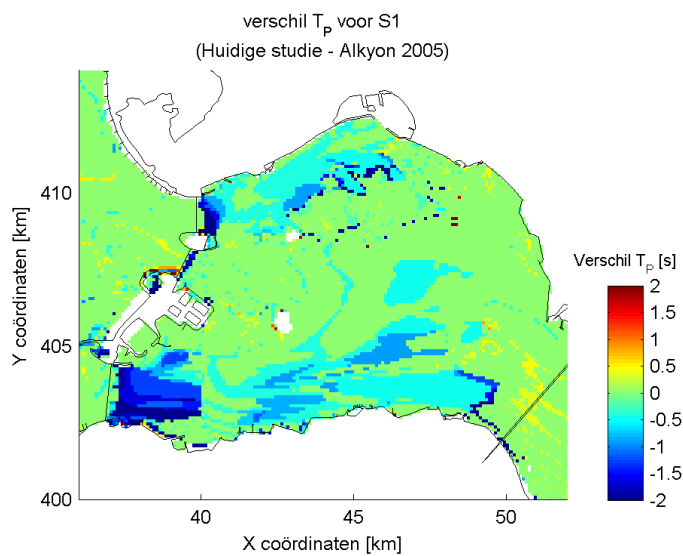
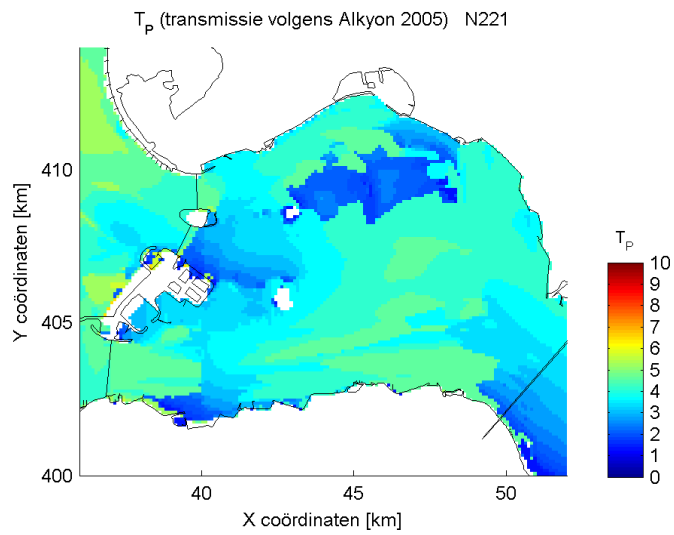
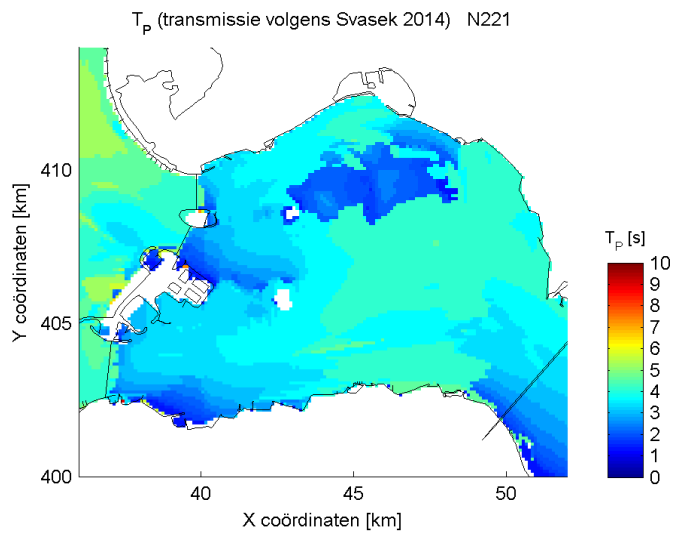
verschil  $T_p$  voor S1  
(Huidige studie - Alkyon 2005)

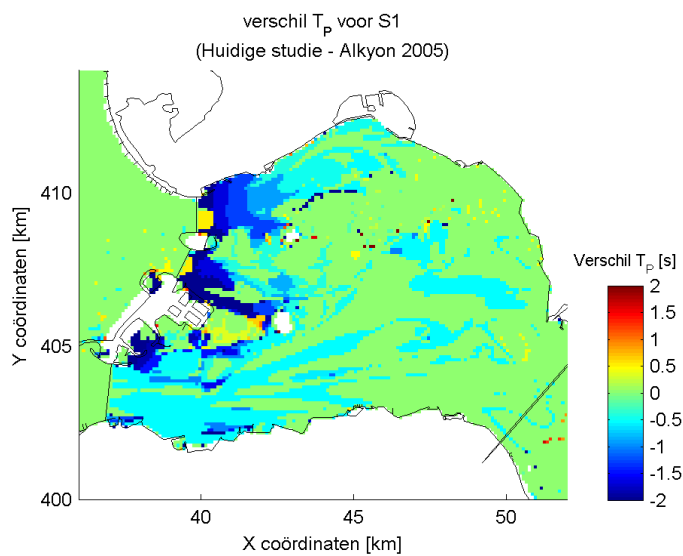
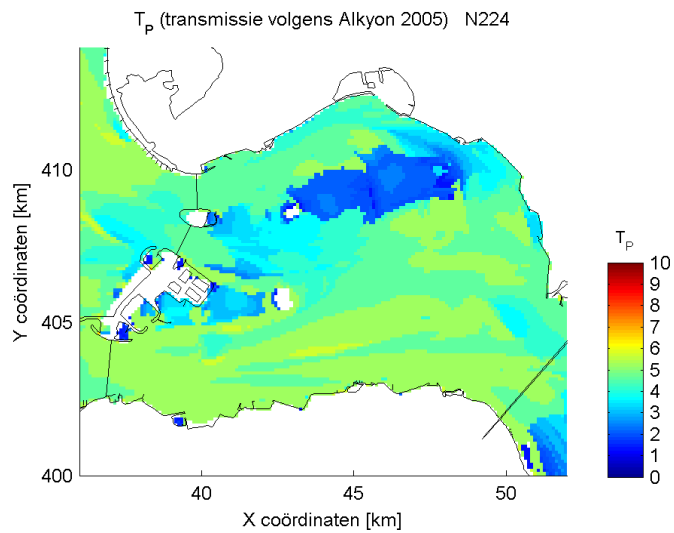
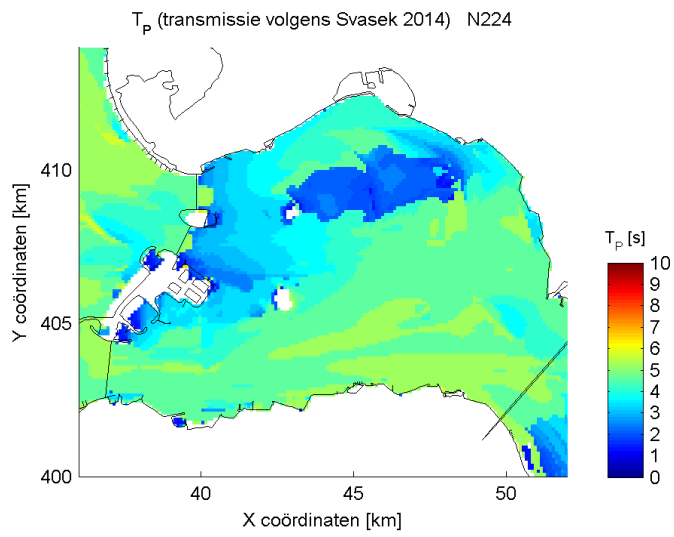


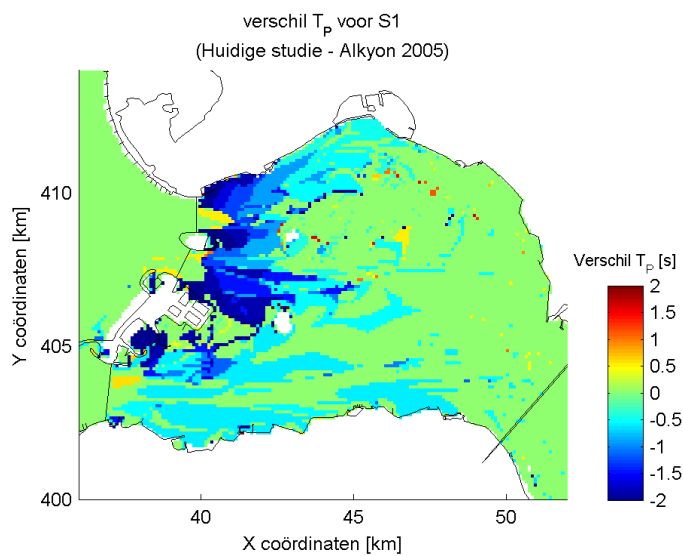
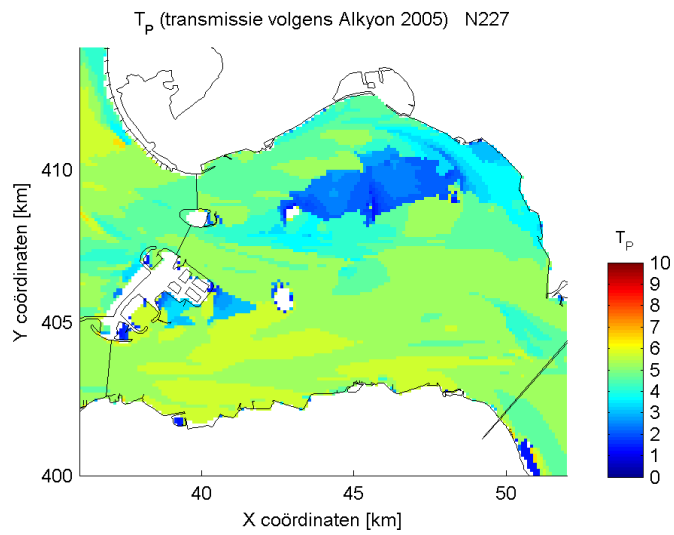
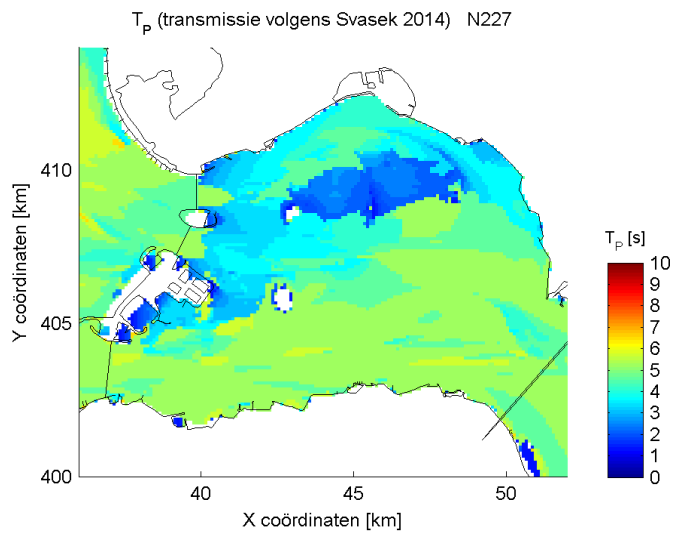


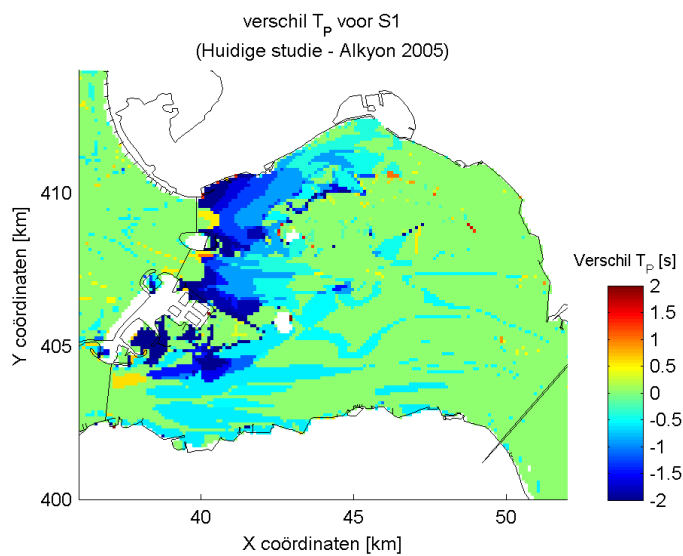
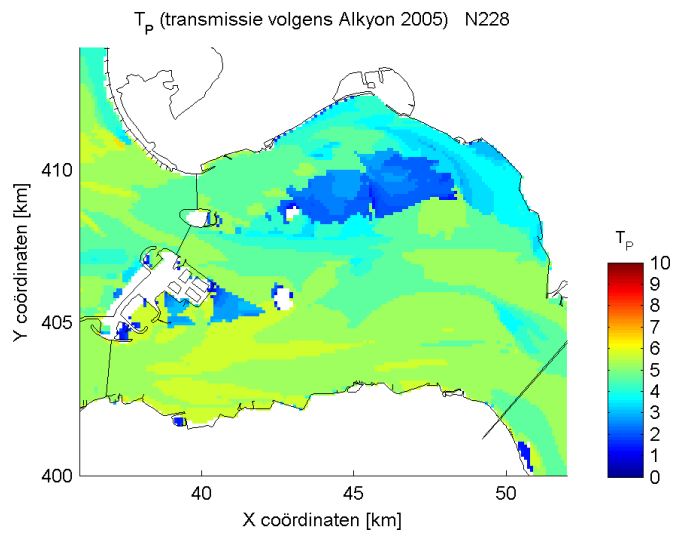
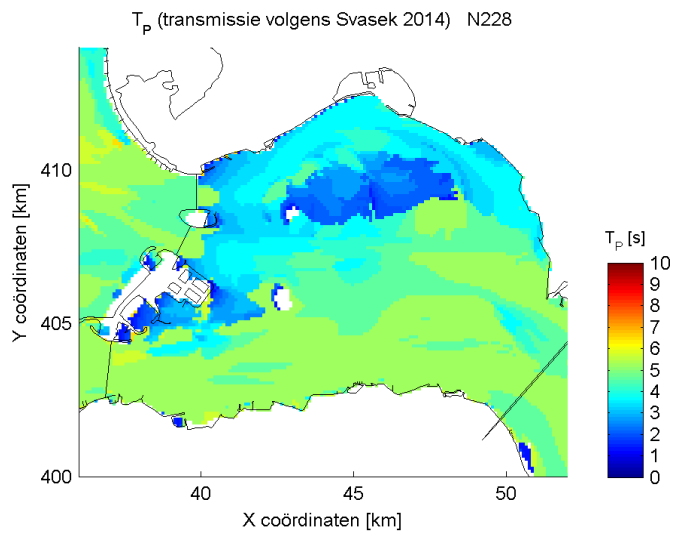




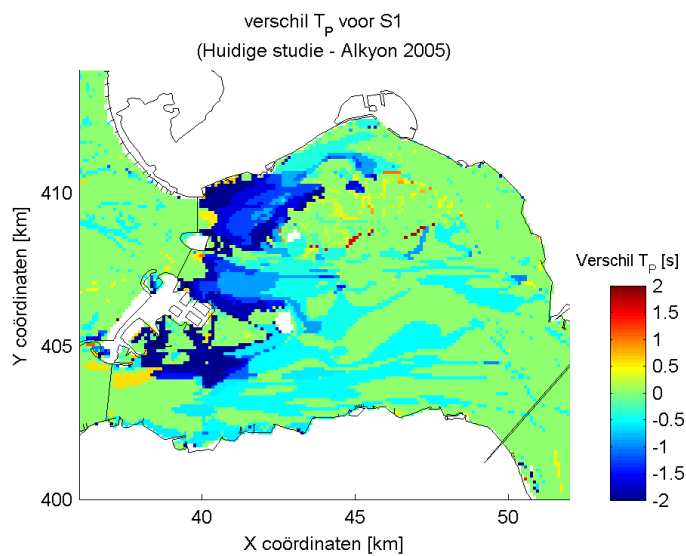
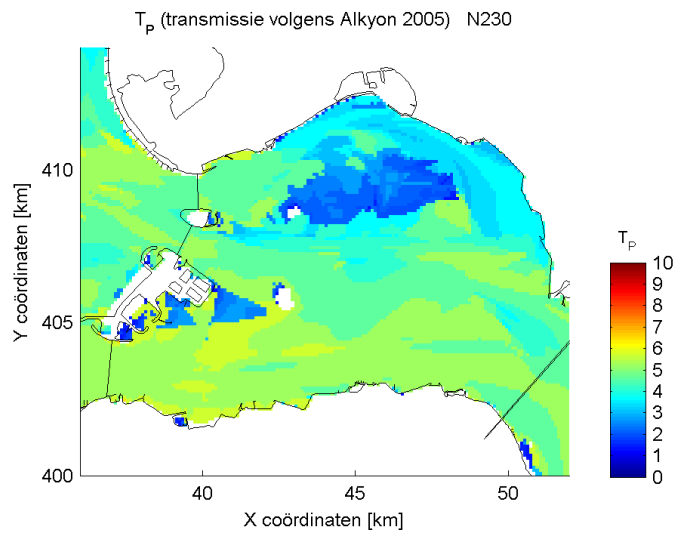
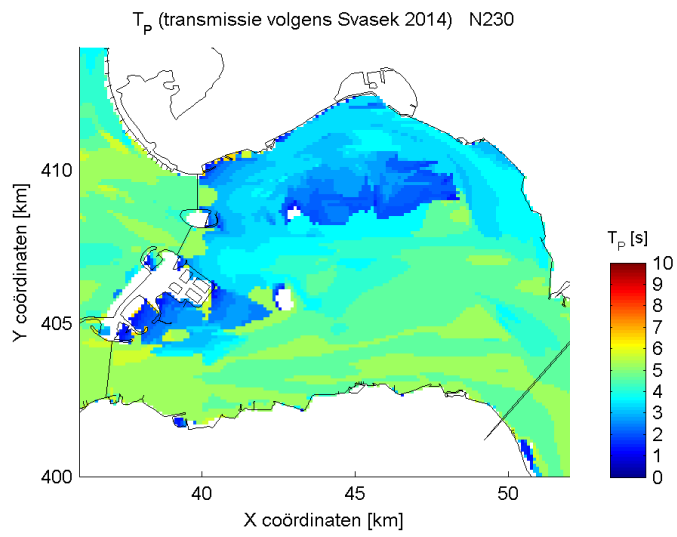


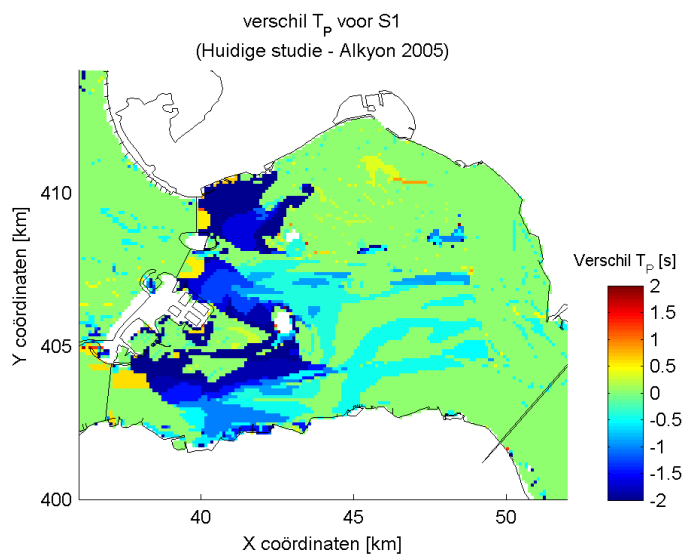
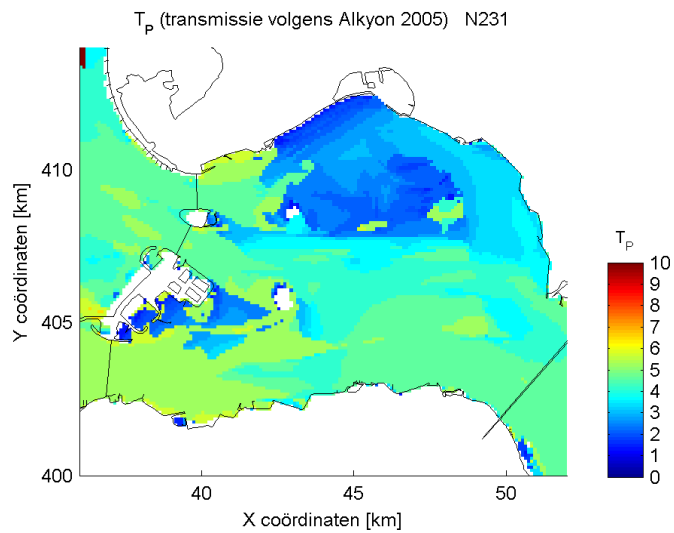
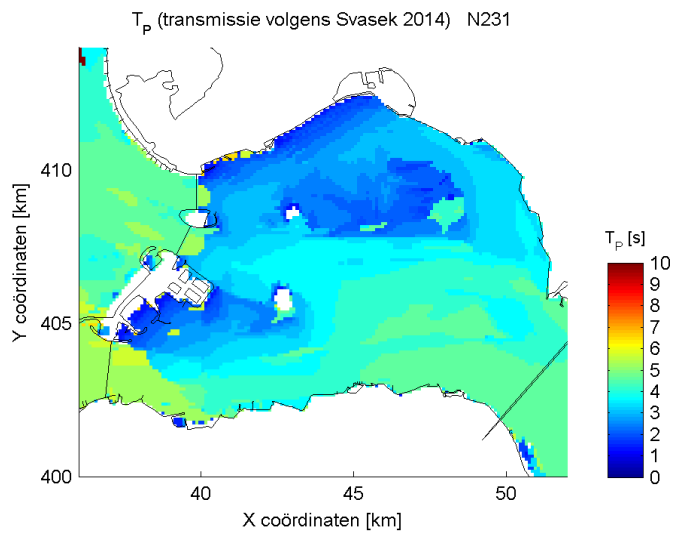


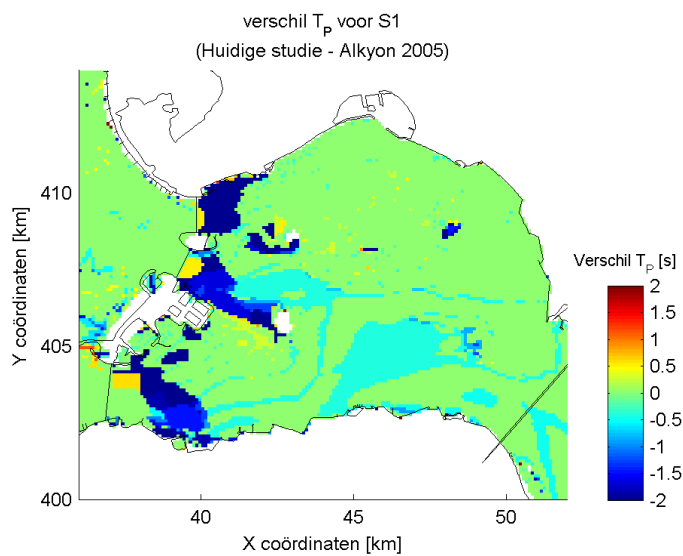
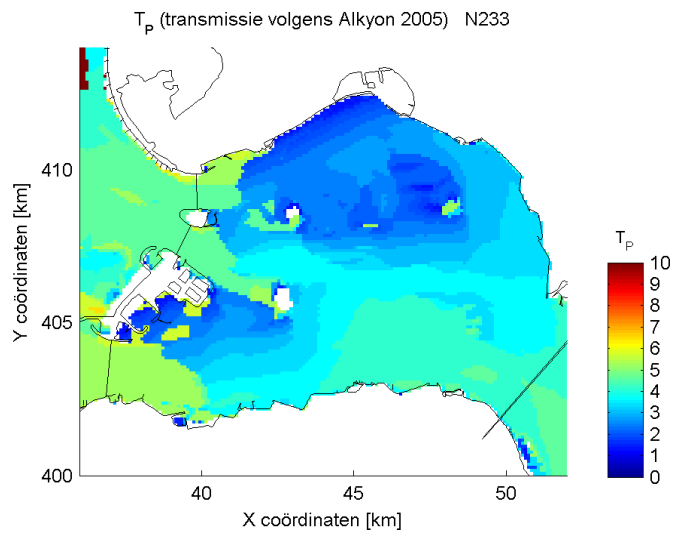
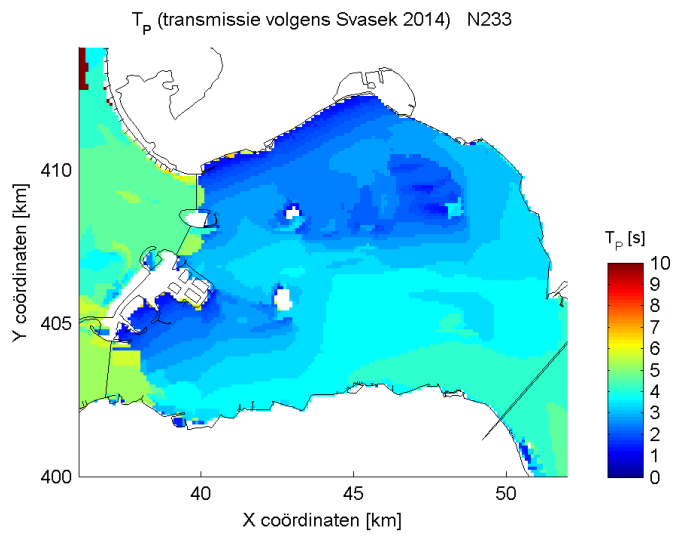














**SVASEK**  
**HYDRAULICS**

COASTAL, HARBOUR AND RIVER CONSULTANTS