



**Vlaanderen**  
is wetenschap

20\_025\_4  
WL rapporten

## Toetsing kunstwerken in kusthavens

Deelrapport 4 – Golfbelasting Demeysluis

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# Toetsing kunstwerken in kusthavens

## Deelrapport 4 – Golfbelasting Demeysluis

Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.

### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.  
De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.  
Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2024  
D/2024/3241/292

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S. (2024).** Toetsing kunstwerken in kusthavens: Deelrapport 4 – Golfbelasting Demeysluis. Versie 4.0. WL Rapporten, 20\_025\_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen



Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

### Documentidentificatie

Oprachtgever:	Agentschap Maritieme Dienstverlening en Kust, Afdeling Kust	Ref.:	WL2024R20_025_4
Trefwoorden (3-5):	Haven Oostende, Demeysluis, golfbelasting, Mike21-BW, SWAN		
Kennisdomeinen:	kustbescherming > kustveiligheid bij extreme stormen > constructies in havens > numerieke modelleringen kustbescherming > kustveiligheid bij extreme stormen > hydrometeoklimaat extreme stormen > literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	50	Bijlagen (p.):	14
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteurs:	Vanneste, D.; Nguyen, D.A.
----------	----------------------------

### Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	De Roo, S.	Getekend door:Sieglien De Roo (Signatur Getekend op:2024-12-04 14:03:31 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>De Roo Sieglien</i>  Vlaamse overheid
Projectleider:	Vanneste, D.	Getekend door:Dieter Vanneste (Signatur Getekend op:2024-12-04 13:58:30 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>Vanneste Dieter</i>  Vlaamse overheid

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door:Abdelkarim Bellafkih (Sign Getekend op:2024-12-04 14:16:18 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed  <i>Bellafkih Abdelkarim</i>  Vlaamse overheid
-----------------	---------------	--

## Abstract

Voor de uitvoering van de probabilistische toets van de Demeysluis in de haven van Oostende zijn randvoorwaarden m.b.t. waterstanden en golfbelasting op het kunstwerk vereist. Dit rapport bevat de resultaten van de numerieke modellering (Mike21-BW, SWAN) van het golfklimaat voor een waaier aan combinaties van hoogwaterstanden, golfhoogtes en (aanlandige) windsnelheden. De lokale golfcondities werden vervolgens omgezet in golfkrachten en drukprofielen, als invoer voor het nazicht op constructief falen van het kunstwerk.



# Inhoudstafel

Abstract .....	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren .....	VIII
1 Inleiding .....	1
2 Golfmodellering haven Oostende .....	2
2.1 Methodiek.....	2
2.1.1 Golfindringing: Mike21-BW .....	2
2.1.2 Lokale wind: SWAN.....	6
2.1.3 Resultierend golfspectrum ter hoogte van het kunstwerk .....	7
2.2 In-situ metingen Demeysluis.....	9
2.3 Randvoorwaarden golfmodellen (aanlandige wind).....	14
2.3.1 Referentiejaar 2020 .....	14
2.3.2 Referentiejaar 2050 .....	15
2.4 Resultaten hoogwatersituatie (aanlandige wind).....	16
2.4.1 Lange golven ( $f < 0.05$ Hz) .....	16
2.4.2 Korte golven ( $f > 0.05$ Hz) .....	19
2.5 Golftransformatie Demeysluis .....	29
2.5.1 Lange golven ( $f < 0.05$ Hz) .....	29
2.5.2 Golfindringing .....	30
2.5.3 Windgolven.....	33
3 Golfbelasting bij aanlandige wind .....	35
3.1 Methodiek.....	35
3.1.1 Invloed lange golven.....	35
3.1.2 Omzetting kortegolfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht .....	35
3.1.3 Kansverdeling golfkrachten en drukprofielen .....	37
3.1.4 Geometrische kenmerken Demeysluis .....	37
3.2 Resultaten hoogwatersituatie.....	37
3.2.1 Golfkrachten .....	37
3.2.2 Golfdrukprofielen onder golfkruin.....	41
3.2.3 Golfdrukprofielen onder golfdal .....	43

3.3	Evolutie golfbelasting tijdens stormperiode .....	45
3.3.1	Geval 1: combinatie hoge waterstand en maximale golfbelasting .....	45
3.3.2	Geval 2: combinatie laagwater en optredende golfbelasting tijdens stormopzet .....	46
4	Golfbelasting bij afluiddige wind .....	47
5	Conclusies .....	48
	Referenties .....	49
Bijlage A	Simulatiematrix (aanlandige wind) .....	B1
Bijlage B	Reflectiecoëfficiënten Demeysluis .....	B3
Bijlage C	Matrixplots invallende golfspectra t.p.v. Demeysluis .....	B4
Bijlage D	KD-krommen Mike21-BW .....	B10
Bijlage E	Significante drukprofielen .....	B12
Bijlage F	Gemetten golvenspectra.....	B13

## Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Dataset geselecteerde stormen met metingen nabij Demeysluis : korte en lange golven .....	12
Tabel 2 – Dataset geselecteerde stormen met metingen nabij Demeysluis : golfindringing.....	13
Tabel 3 – overzicht beschikbare Mike21-BW en SWAN simulaties.....	15
Tabel 4 – parameters totale langegolfspectrum ( $f < 0.05$ Hz) ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2020 .	17
Tabel 5 – parameters totale langegolfspectrum ( $f < 0.05$ Hz) ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2050 .	18
Tabel 6 – parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2020.....	25
Tabel 7 – parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2050.....	27
Tabel 7 – Regressiecoëfficiënten SWAN-gemodelleerde golfparameters tpv. Demeysluis.....	34
Tabel 9 – Significante golfkrachten onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2020.....	39
Tabel 10 – significante golfkrachten Demeysluis, scenario 2050.....	40
Tabel 11 – richtingsafhankelijke limietwaarden waterstand bij maximale KD-factor .....	45



## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Mike21-BW bathymetrie (peilen in m TAW), illustratie richting NNW en T=1 jaar .....	3
Figuur 2 – modelbathymetrie richting W (illustratie voor T=1000 jaar) incl. onderwaterberm op de ‘knik’ van de W-dam. ....	3
Figuur 3 – indeling typeklassen voor definitie absorptiecoëfficiënten langs binnenhaven Oostende .....	4
Figuur 4 – Zicht op de westelijke kademuur van op de brug naast het zeewaartse sluishoofd .....	5
Figuur 5 – Zicht op oostelijke toegangsmuur Demeysluis van op de brug naast het zeewaartse sluishoofd... 5	
Figuur 6 – SWAN bathymetrie haven Oostende, (y-as = NNW) .....	6
Figuur 7 – illustratie golfveld gemodelleerd met M21BW (links) en SWAN (rechts) in de omgeving Demeysluis. ....	8
Figuur 8 – Locatie druksensor Demeysluis (OSE) .....	9
Figuur 9 – stormverloop 31.01.2022 met gemeten golfspectrum nabij Demeysluis op tijdstip LW (onder links) en HW (onder rechts) .....	10
Figuur 10 - $H_{m0}$ waarden van korte golven (links) en lange golven (rechts) gemeten t.p.v. Demeysluis i.f.v. golfrichting buitengaats (boven) en waterstand (onder). Waarden gemiddeld binnen een venster van 3 uur rond hoog of laagtij. ....	11
Figuur 11 – golfindringingscoëfficiënt korte golven i.f.v. (gemiddelde) golfrichting (links) en waterstand (rechts).....	11
Figuur 12 – relatieve hoeveelheid laagfrequente energie (LFE) in golfspectrum, meetlocatie Demeysluis... 16	
Figuur 13 – totale golfspectra M21-BW t.p.v. Demeysluis (blauw gearceerd: verwachte frequentieband resonantie) .....	19
Figuur 14 – Fit M21-BW gemodelleerde $T_p$ waarden i.f.v. $T_{m-1,0}$ t.p.v. Demeysluis .....	20
Figuur 15 – totale golvenspectra SWAN t.p.v. Demeysluis .....	21
Figuur 16 – Fit SWAN gemodelleerde $T_p$ waarden ifv. $T_{m-1,0}$ t.p.v. Demeysluis (excl. richtingen WZW en ZW) .....	22
Figuur 17 – verhouding (invallende) significante golfhoogte door golfindringing en windgeneratie, omgeving Demeysluis.....	23
Figuur 18 – Diffractiecoëfficiënt t.p.v. Demeysluis door golfindringing i.f.v. hoogwaterstand. Vergelijking (invallende) waarden gemodelleerd met Mike21-BW en metingen nabij de Demeysluis (druksensor OSE). 24	
Figuur 19 – gemeten en gemodelleerde $T_p$ -waarden i.f.v. windsnelheid nabij de Demeysluis (druksensor OSE). De windsnelheden zijn resp. de randvoorwaarde in SWAN en de windsnelheid gemeten op locatie Oostende Meteopark (Meetnet Vlaamse Banken).....	24
Figuur 20 – $H_{m0}$ lange golven i.f.v. golfindringing t.p.v. Demeysluis .....	29
Figuur 21 – invallende KD-coëfficiënt t.p.v. Demeysluis, golfrichting NW, NNW en -37° N .....	30
Figuur 22 – KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis, golfrichting N en NNO .....	31
Figuur 23 – KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis, golfrichting W en WNW .....	31

Figuur 24 – Verhouding spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ (t.p.v. Demeysluis) tot $T_p$ buitengaats i.f.v. waterstand. .....	32
Figuur 25 – SWAN (invalende) $H_{m0}$ (a), $T_{m-1,0}$ (b) tpv. sluisdeur Demeysluis in functie van lokale windsnelheid .....	33
Figuur 32 – Dimensieloze golfkracht onder golfkruin voor verschillende berekeningswijzen (resultaten 2020) .....	38
Figuur 33 – Dimensieloze golfkracht onder golfdal voor verschillende berekeningswijzen (resultaten 2020) .....	39
Figuur 28 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2020 .....	41
Figuur 29 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2050 .....	42
Figuur 30 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Demeysluis, scenario 2020 .....	43
Figuur 31 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Demeysluis, scenario 2050 .....	44

# 1 Inleiding

Onderhavig rapport kadert in de probabilistische studie naar het constructief faalgedrag van de sluisen en uitwateringsconstructies in de haven van Oostende door HKV en Deltares. Het rapport geeft een overzicht van de lokale golfspectra en -belastingen ter plaatse van de Demeysluis. Er wordt tevens ingegaan op de methodiek en enkele aspecten daarvan die verband houden met de te volgen aanpak in de probabilistische studie.

De hydraulische belasting op het kunstwerk wordt veroorzaakt door een combinatie van waterstand en lokale golven. Beiden zijn afhankelijk van de windrichting. Het lokale golfspectrum bestaat enerzijds uit een laagfrequente component geassocieerd met golven die de haven binnendringen vanuit zee doorheen de havenmond, diffracteren op de koppen van de havendammen en verder in de haven reflecteren op kaaimuren of taluds; en anderzijds een hoogfrequente component ten gevolge van lokaal opgewekte windgolven. De hoeveelheid golfenergie geassocieerd met beide componenten is afhankelijk van de locatie van het kunstwerk in de haven en eventuele afscherming van constructies in de haven, de windrichting en de richting van de golven buitengaats.

De probabilistische toets op constructief falen vereist de kennis van (een combinatie van) de richtingsafhankelijke waterstand en lokaal golfspectrum (en afgeleide belasting) over hun volledige kansbereik, zowel voor de hoog- als de laagwatersituatie. Indien dit gecombineerd wordt met de aard van de windrichting (aanlandig of aflandig<sup>1</sup>) kunnen 4 gevallen onderscheiden worden:

1. **Hoogwater bij aanlandige wind:** in deze situatie treedt een verhoging van het astronomisch hoogwater op (stormopzet) in combinatie met zowel golfindringing als lokaal opgewekte windgolven in de haven.
2. **Laagwater bij aanlandige wind:** binnen dezelfde stormgebeurtenis als in situatie 1 wordt het astronomisch laagwater verhoogd door het stormopzet (indien de duurtijd van de stormpiek voldoende groot is). De windgolfbelasting is identiek als in situatie 1 maar door de lagere waterstand kunnen bepaalde fysische processen (breking, diffractie, reflectie) de mate van golfindringing wijzigen t.o.v. de hoogwatersituatie.
3. **Laagwater bij aflandige wind:** in deze situatie treedt een afwaaiing van de waterstand op (een verlaging van het astronomische laagwater), eventueel in combinatie met lokaal opgewekte windgolven uit aflandige sectoren<sup>2</sup>. Of er effectief een golfbelasting op het kunstwerk optreedt hangt af van de oriëntatie, locatie en eventuele afscherming binnen de haven;
4. **Hoogwater bij aflandige wind:** deze situatie wordt gekenmerkt door een afwaaiing van het astronomisch hoogwater in combinatie met lokale windgolven. De golfbelasting is opnieuw afhankelijk van de oriëntatie en locatie van het kunstwerk in de haven, maar zal altijd beperkter zijn dan in situatie 1.

De golfbelasting in geval 1 - de hoogwatersituatie onder stormopzet (aanlandige wind) - werd gemodelleerd met DHI Mike21-BW en SWAN voor resp. de golfindringing en lokale windgolven. Dit wordt in sectie 2 van dit rapport verder toegelicht. In sectie 3 van dit rapport worden de methodiek en resultaten van de berekening van golfdrukprofielen en golfkrachten voor dit geval uitgewerkt.

Een variatie van de waterstand tijdens de storm met aanlandige wind (geval 2) werd niet gemodelleerd. Er wordt verder in dit rapport (3.4) beschreven hoe hier mee om te gaan in de studie.

<sup>1</sup> Vereenvoudigend kan het begrip *aanlandige* wind voor de Belgische kust gelijkgesteld worden met een bereik aan windsectoren van ZW t.e.m. NO (in wijzerzin doorlopen). Het begrip *aflandige* wind kan gezien worden als het complement ervan, t.t.z. de sectoren tussen ZW en NO in tegenwijzerzin doorlopen. De windrichting wordt hier behandeld als een discrete stochast. In het HR2014 en HR2020 wordt uitgegaan van 16 windsectoren van elk 22,5 graden.

<sup>2</sup> De astronomische laagwaterstand (bij springtij) kan verlaagd worden door: (i) een hoge luchtdruk of (ii) door afwaaiing bij aflandige wind. In beide gevallen is het fysisch niet realistisch dat een langdurige periode van aanlandige wind aan het optredend (extreem) laagwater vooraf zou gaan (vermits anders een significante verhoging van de waterstand door stormopzet zou optreden). De combinatie van een aanlandige wind met een extreem laagtij wordt daarom niet beschouwd.

## 2 Golfmodellering haven Oostende

### 2.1 Methodiek

#### 2.1.1 Golfindringing: Mike21-BW

##### Model

Een Mike21-BW golfmodel voor golfindringing in de haven van Oostende werd gecreëerd door Gruwez *et al.* (2011). Een nieuw model werd opgebouwd voor de definitieve configuratie van de heraan te leggen zone Halve Maan en bijkomend gevalideerd in De Roo *et al.* (2020).

Hieronder wordt een beknopte samenvatting van de modeleigenschappen weergegeven, voor details wordt verwezen naar hoger vermelde referenties:

- 2DH Boussinesq vergelijkingen, faseoplossend
- fysische processen:
  - ✓ diffractie : treedt op aan havenmond, maar ook op enkele punten in binnenhaven (bv. Visserijsluis)
  - ✓ refractie en shoaling : basisproces bij propagerende golven in ondiep water
  - ✓ (partiële) golfreflectie : kademuuren en taluds in haven, incl. staande golven (zie verder)
  - ✓ golfbreking : voorhaven (onderwaterbermen staketsel, dijktaud Halve Maan, ...)
  - ✗ golfploop : niet beschouwd op havendammen en glooiingen<sup>3</sup>
  - ✗ golftransmissie : niet beschouwd over havendammen (kunstmatig verhoogd kruinpeil<sup>4</sup>)
- rekenrooster 1x1 m, uniforme rekestijdsstap : 0.05 s
- golfgeneratie op basis van Jonswap spectrum ( $\gamma=3.3$ ) met directionele spreiding

##### Modelbathymetrie

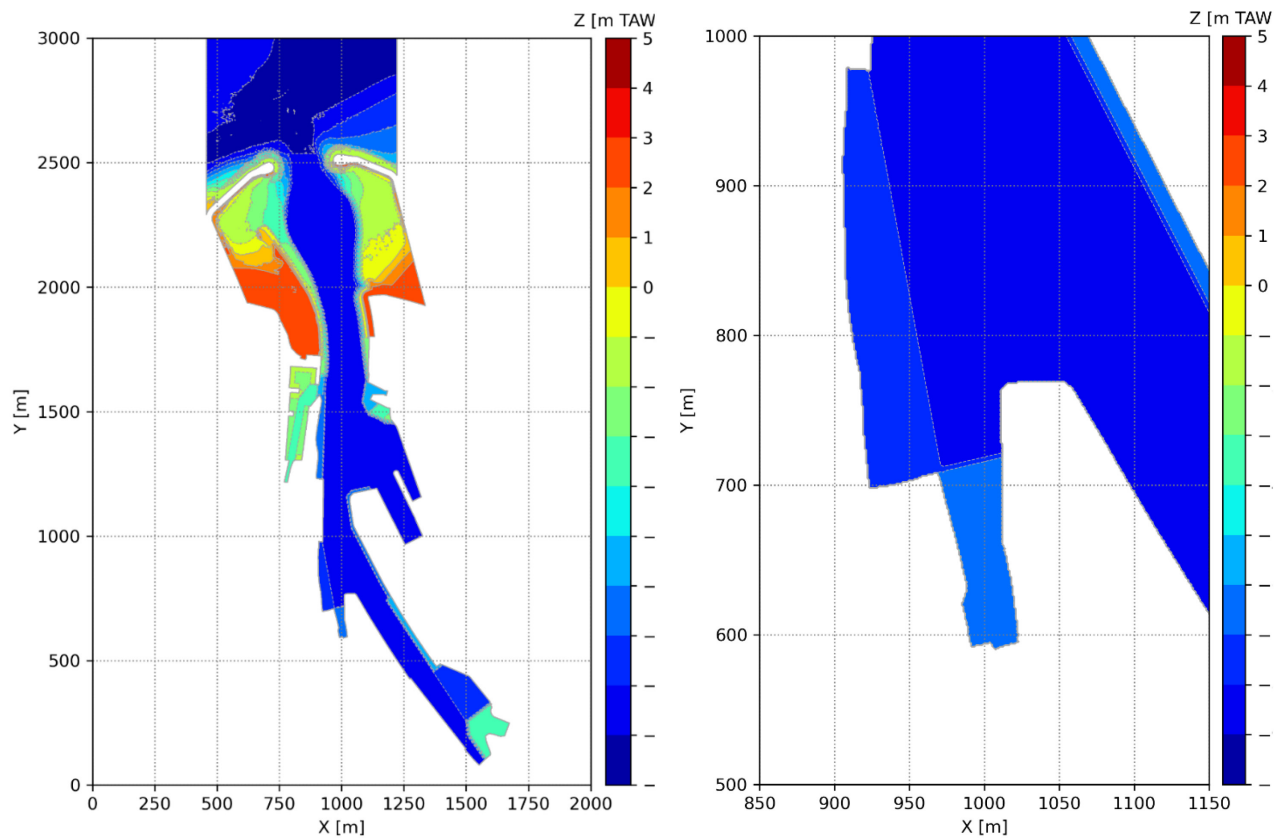
Figuur 1 toont de modelbathymetrie van de haven na verbreding van de havengeul en heraanleg van de Halve Maandijk (plannen okt 2017). De resolutie bedraagt 1x1 m (zie sectie 3.1.2 in De Roo *et al.* (2020)).

Omdat voor richting W de onderwaterberm ter hoogte van de 'knik' in de westelijke havendam mogelijk een invloed heeft op de golfindringing door de havenmond, werd deze onderwaterberm opgenomen in de aangepaste modelbathymetrie (Figuur 2).

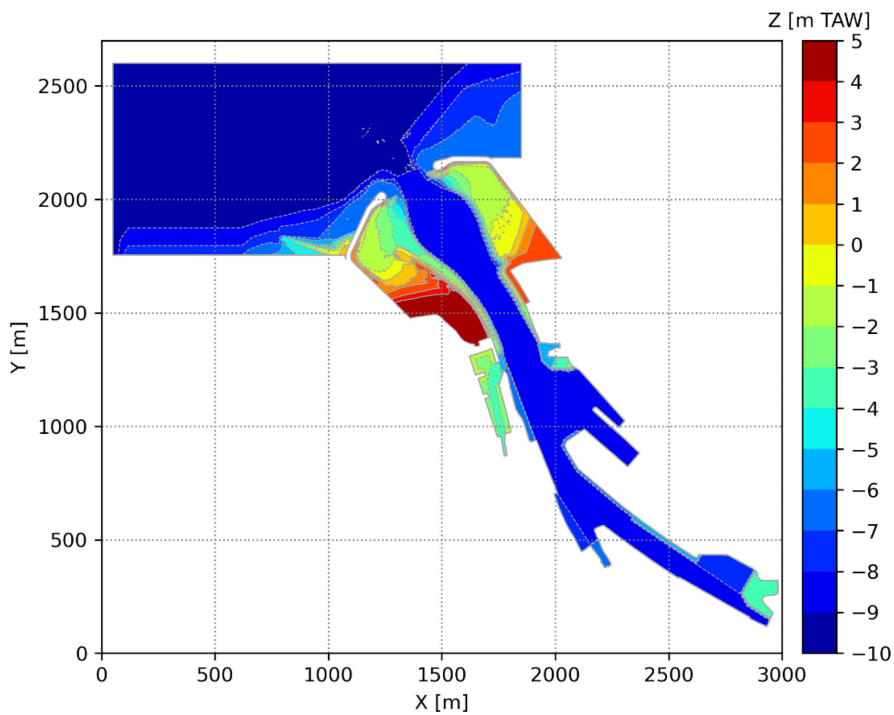
---

<sup>3</sup> Omwille van numerieke stabiliteit (zie het oorspronkelijk modelopzet §3.1.5 in Gruwez *et al.* (2011)).

<sup>4</sup> De numerieke implementatie met porositeitslagen bleek geen optie omdat op die manier de geometrie niet accuraat ingebouwd kan worden en er bovendien stabiliteitsproblemen mee gepaard gaan (zie het oorspronkelijk modelopzet §3.1.5 in Gruwez *et al.* (2011)).



Figuur 1 – Mike21-BW bathymetrie (peilen in m TAW), illustratie richting NNW en T=1 jaar



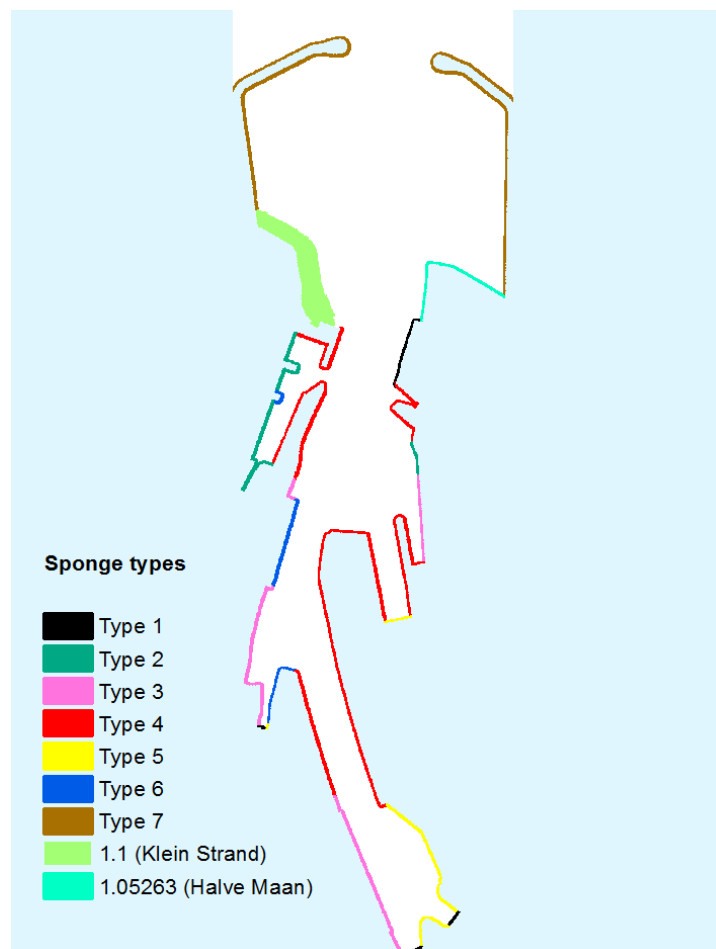
Figuur 2 – modelbathymetrie richting W (illustratie voor T=1000 jaar) incl. onderwaterberm op de 'knik' van de W-dam.

## Golfreflectie en -absorptie

Bij de opmaak van de Mike21-BW modelbestanden werd bijzondere aandacht besteed aan de absorptiecoëfficiënten gedefinieerd in de zg. *sponge layer* bestanden. Conform de aanpak in Gruwez *et al.* (2011) werden de kademuuren, taluds, ... langsheen het havenbekken ingedeeld in 7 typeklassen naargelang de geometrie (kruinpeil, rechte muur of talud, palenfundering, aanwezigheid stormmuur):

1. Onovertopbare kaaimuur (kaaimuur met onovertopbare stormmuur net aan de rand van de kaaimuur of dus bermbreedte = 0m);
2. Kaaimuur op peil ~6.90mTAW en met stormmuur op korte afstand van de rand (<15m);
3. Kaaimuur op peil ~6.90mTAW en met stormmuur op enige afstand van de rand (~15m);
4. Kaaimuur op peil ~6.90mTAW en zonder stormmuur;
5. Glooiing met helling ~1/2 op peil ~6.90mTAW en zonder stormmuur;
6. Kaaimuur met open palenrij op peil ~6.90mTAW en met stormmuur op enige afstand van de rand (~15m);
7. Stortsteen golfbreker met helling ~1/1.5.

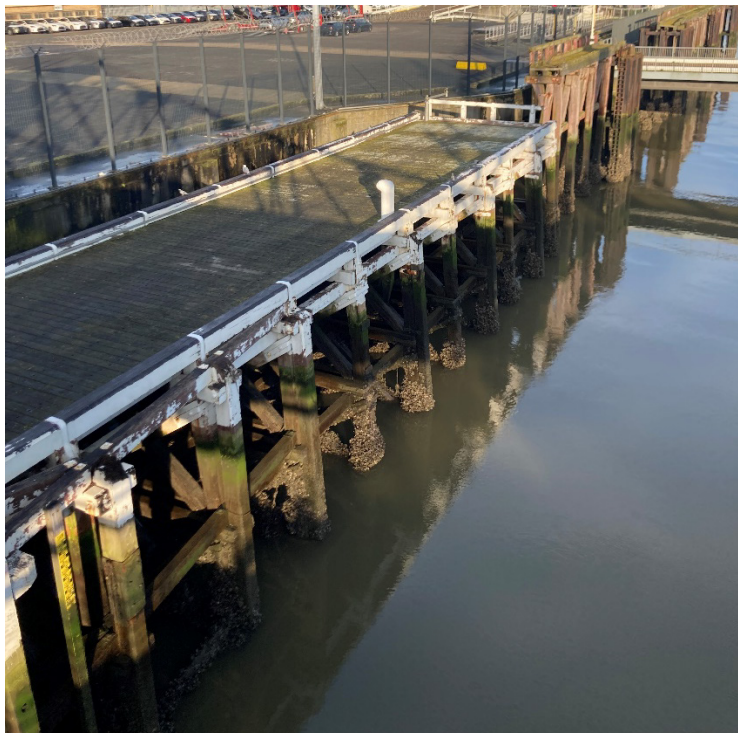
2 extra klassen voor het Klein Strand en de (nieuw aangelegde) Halve Maandijk werden gedefinieerd. De locatie van de types wordt weergegeven in Figuur 6. De waarde van de reflectie/absorptiecoëfficiënt is niet enkel afhankelijk van het type constructie maar ook van de waterstand. De relatie tussen de absorptiecoëfficiënten en de reflectiecoëfficiënt werd voor verschillende waterstanden onderzocht in Gruwez *et al.* (2012). Hierbij werd steeds loodrechte golfinval verondersteld. Bijlage B bevat de toegepaste reflectiecoëfficiënten op de modelrand t.p.v. de zeewaartse sluisdeuren van de Demeysluis. Er werd in alle scenario's volledige reflectie verondersteld op de sluisdeuren (CR=1).



Figuur 3 – indeling typeklassen voor definitie absorptiecoëfficiënten langs binnenhaven Oostende

Merk op dat in de bepaling van de reflectiecoëfficiënten werd uitgegaan van de eigenschappen (type wand, kruinpeil) van de bestaande kadeconstructies in de haven. Voor de golfbrandvoorwaarden t.p.v. de Demeysluis zijn i.h.b. de eigenschappen van de kademuren die de sluisopening vormen van belang:

- aan westelijke zijde: kademuur volle wand type 3 (Figuur 1);



Figuur 4 – Zicht op de westelijke kademuur van op de brug naast het zeevaartse sluis hoofd

- aan oostelijke zijde: kademuur met open palenrij en breuksteen talud (type 6 , zie Figuur 2)
- aan oostelijke zijde: talud tussen de open palenrij en het afwaartse sluis hoofd (type 5, zie Figuur 2)



Figuur 5 – Zicht op oostelijke toegangsmuur Demeysluis van op de brug naast het zeevaartse sluis hoofd

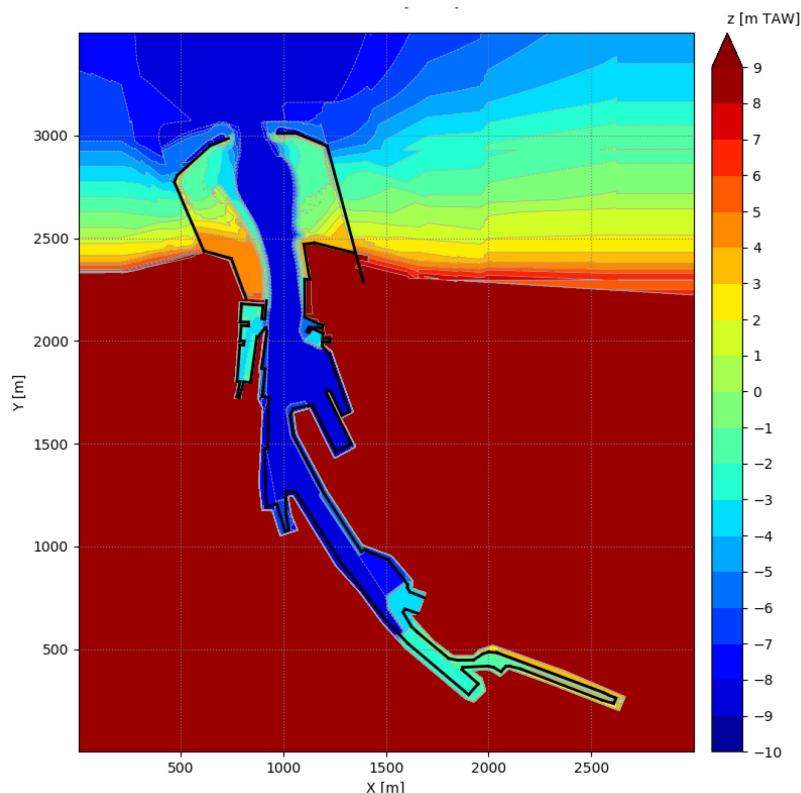
## 2.1.2 Lokale wind: SWAN

### Model

- Action-balance vergelijkingen, fasegemiddeld (spectraaldomein)
- fysische processen:
  - ✓ kortkruinige golfgeneratie door wind op basis van beschikbare strijklengte
  - ✓ golfdiffractie : wordt in principe gemodelleerd (zij het minder nauwkeurig dan in Mike21-BW), ook niet samen met reflectie
  - ✓ (partiële) golfreflectie : kademuren en taluds in haven, geen staande golven.
  - ✓ Golfbreking
- Rekenrooster: 2 x 2 m

### Bathymetrie

De bathymetrie (resolutie 2 x 2 m) en havengeometrie beschrijven de haven van Oostende na heraanleg van de Halve Maan (plannen oktober 2017). Het modeldomein bevat een uitbreiding in zuidelijke richting in vgl. met het Mike21-BW model. Figuur 6 toont de bathymetrie met aanduiding van de obstakels<sup>5</sup>. Bijlage B bevat de toegepaste reflectiecoëfficiënten ter plaatse van de Demeysluis. Er werd in alle scenario's gerekend met een reflectiecoëfficiënt van 0.9.



Figuur 6 – SWAN bathymetrie haven Oostende, (y-as = NNW)

<sup>5</sup> De numerieke implementatie van een (partieel) reflecterende rand in het modeldomein in SWAN vereist de definitie van een zg. *obstacle line* die langs beide zijden omgeven moet zijn door een natte gridcel. Dit heeft als gevolg dat de geografische locatie van de reflecterende wanden in Mike21-BW en SWAN niet exact dezelfde is. In de definitie van de uitvoerpunten (Gx) in de nabijheid van de sluisdeuren is hiermee rekening gehouden door eenzelfde *relatieve* afstand t.o.v. het gemodelleerde obstakel te beschouwen.



### 2.1.3 Resultierend golfspectrum ter hoogte van het kunstwerk

De berekening van de golfbelasting op de afwaartse vloeddeuren van de Demeysluis vereist de kennis van de golfparameters (golfhoogte, golfperiode) van het golfveld ter plaatse van het kunstwerk. Het totale golfveld wordt gekenmerkt door het gecombineerde golfspectrum dat de bijdrage van zowel de golfindringing als de windgolven bevat en samengesteld (gesuperponeerd) wordt op basis van de golfspectra uit beide golfmodellen. Dit is een benadering van de werkelijkheid in die zin dat de interactie tussen de langere indringingsgolven met de lokale wind niet gecapteerd wordt. Tot op heden is er echter geen (algemeen bruikbaar) faseoplossend golfvoortplantingsmodel beschikbaar dat alle hoger vermelde golftransformatieprocessen én windgroei combineert.

Het golfveld in de nabijheid van een reflecterende structuur vertoont echter een wezenlijk verschil in Mike en SWAN. In Mike21-BW wordt het (partieel) staande golfveld opgelost, zoals ook geïllustreerd in de linker panelen in Figuur 7. Theoretisch geldt dat ter plaatse van de reflecterende wand de *totale* golfhoogte gelijk is aan de *invallende* golfhoogte vermenigvuldigd met een factor  $(1+C_R)$ , met  $C_R$  de (frequentiegemiddelde) reflectiecoëfficiënt<sup>6</sup> die gedefinieerd wordt als de verhouding van de gereflecteerde t.o.v. invallende (significante) golfhoogte.

In SWAN echter bevat de oplossing weliswaar de invloed van de reflectie (toename golfenergie), maar vermits de fase niet opgelost wordt bevat het golfveld geen ruimtelijke variatie (zie Figuur 7 rechts). Theoretisch geldt dat de totale golfhoogte in SWAN ter plaatse van de reflecterende wand gelijk is aan de *invallende* golfhoogte vermenigvuldigd met een factor  $\sqrt{1 + C_R^2}$ .

Omwille van dit verschil dienen beide gemodelleerde golfspectra omgezet te worden in een *gelijkaardig* (invallend of totaal) golfspectrum ter plaatse van het kunstwerk (locatie G1 in Figuur 7), om vervolgens gesuperponeerd te worden.

- Het *invallend* M21-BW golfspectrum wordt bekomen door vermenigvuldiging van het gemodelleerde (totale) golfspectrum  $S_{f,M}$  met een factor  $1/(1 + C_{R,M})^2$ ;
- Het *invallend* SWAN golfspectrum wordt bekomen door vermenigvuldiging van het gemodelleerde golfspectrum  $S_{f,S}$  met een factor  $1/(1 + C_{R,S}^2)$ ;
- Het *totaal* SWAN golfspectrum wordt bekomen door vermenigvuldiging van het gemodelleerde golfspectrum  $S_{f,tot}$  met een factor  $1 + 2C_{R,S}/(1 + C_{R,S}^2)$ ;

waarbij  $C_{R,M}$  en  $C_{R,S}$  de (waterstandsafhankelijke) reflectiecoëfficiënten voorstellen die in resp. in Mike21-BW en SWAN toegepast werden t.h.v. de modelrand op de locatie van het beschouwde kunstwerk (sluisdeur of uitwateringsconstructie).

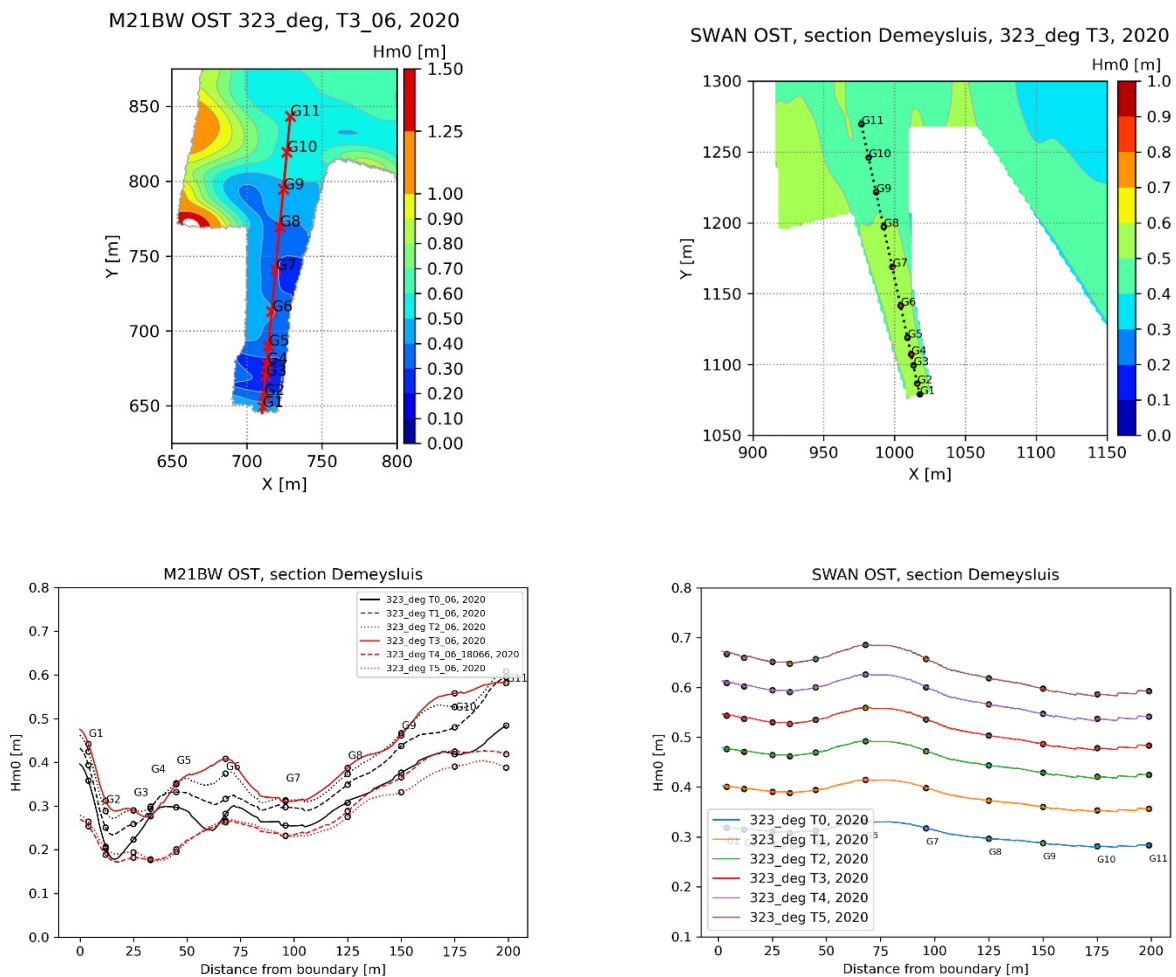
Het resulterend *invallend* golfspectrum ter plaatse van het kunstwerk wordt dan bekomen als:

$$S_{f,inc}(f) = \frac{S_{f,M}(f)}{(1 + C_{R,M})^2} + \frac{S_{f,S}(f)}{(1 + C_{R,S}^2)}$$

Het resulterend *totaal* golfspectrum ter plaatse van het kunstwerk wordt dan bekomen als:

$$S_{f,tot}(f) = S_{f,M}(f) + S_{f,S}(f) \left[ 1 + \frac{2C_{R,S}}{(1 + C_{R,S}^2)} \right]$$

<sup>6</sup> De reflectiecoëfficiënten zoals toegepast in Mike21-BW en SWAN (zie Bijlage B), waarbij loodrechte golfval verondersteld wordt.



Figuur 7 – illustratie golfveld gemodelleerd met M21BW (links) en SWAN (rechts) in de omgeving Demeysluis.

## 2.2 In-situ metingen Demeysluis

Sinds 2018 worden door de Vlaamse Hydrografie golven gemeten met een druksensor aan de ingang van de Demeysluis. De druksensor is bevestigd aan een buispaal naast het kaaiplatform aan de oostelijke toegangzijde van de Demeysluis (Figuur 8).



Figuur 8 – Locatie druksensor Demeysluis (OSE)

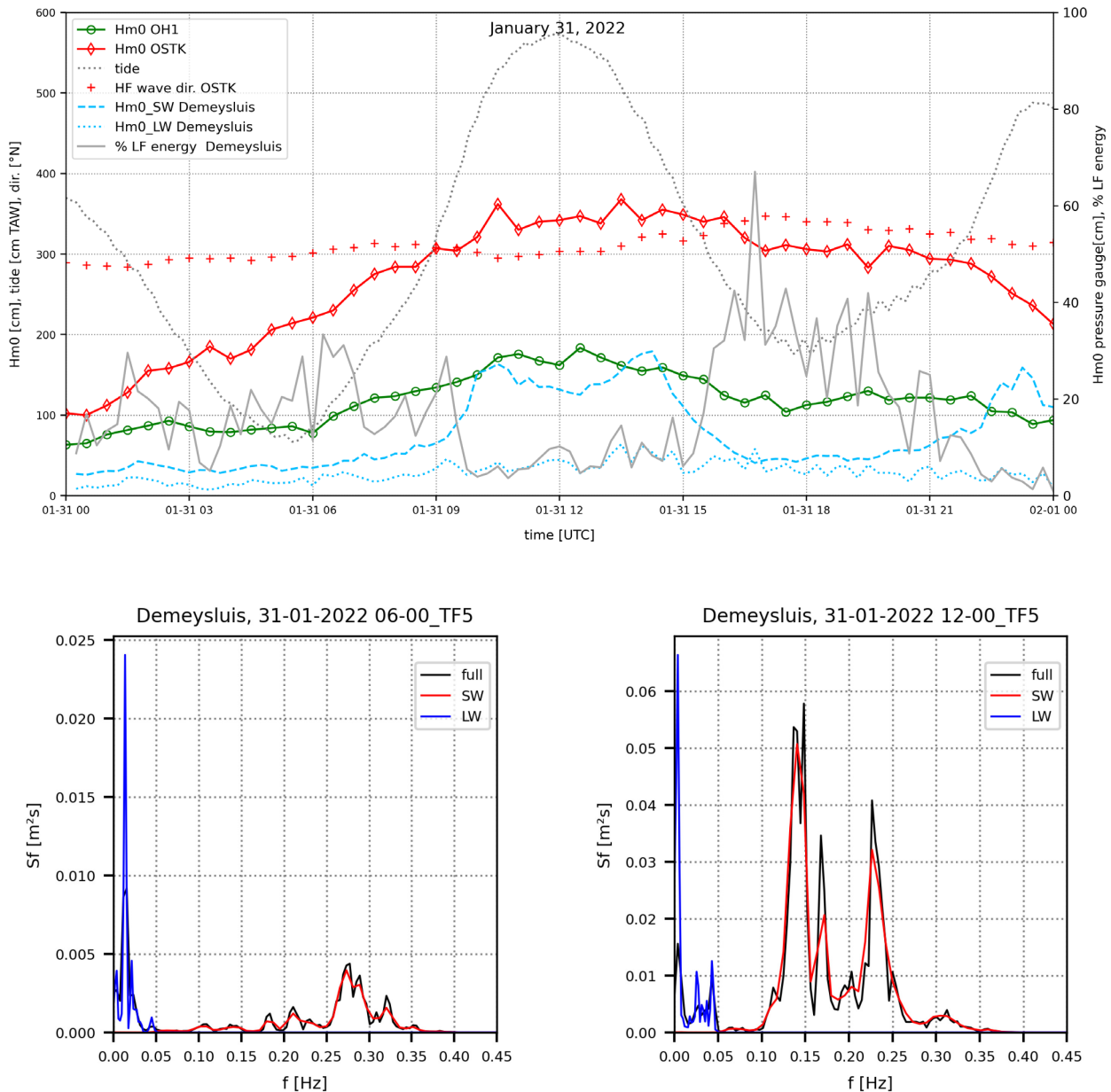
De druksignalen werden verwerkt door het Waterbouwkundig Laboratorium. Een collectie van 10 stormen in de periode 2019-2024 werd verzameld, met golfrichting buitengaats tussen WNW en N. Tabel 1 bevat de verschillende golfparameters (uitgemiddeld in een tijdvenster van 3 uur rond hoog- of laagwater).

Het gemeten golfspectrum t.p.v. de Demeysluis bestaat uit 2 componenten. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de gemeten storm op 31.01.2022 (Figuur 9):

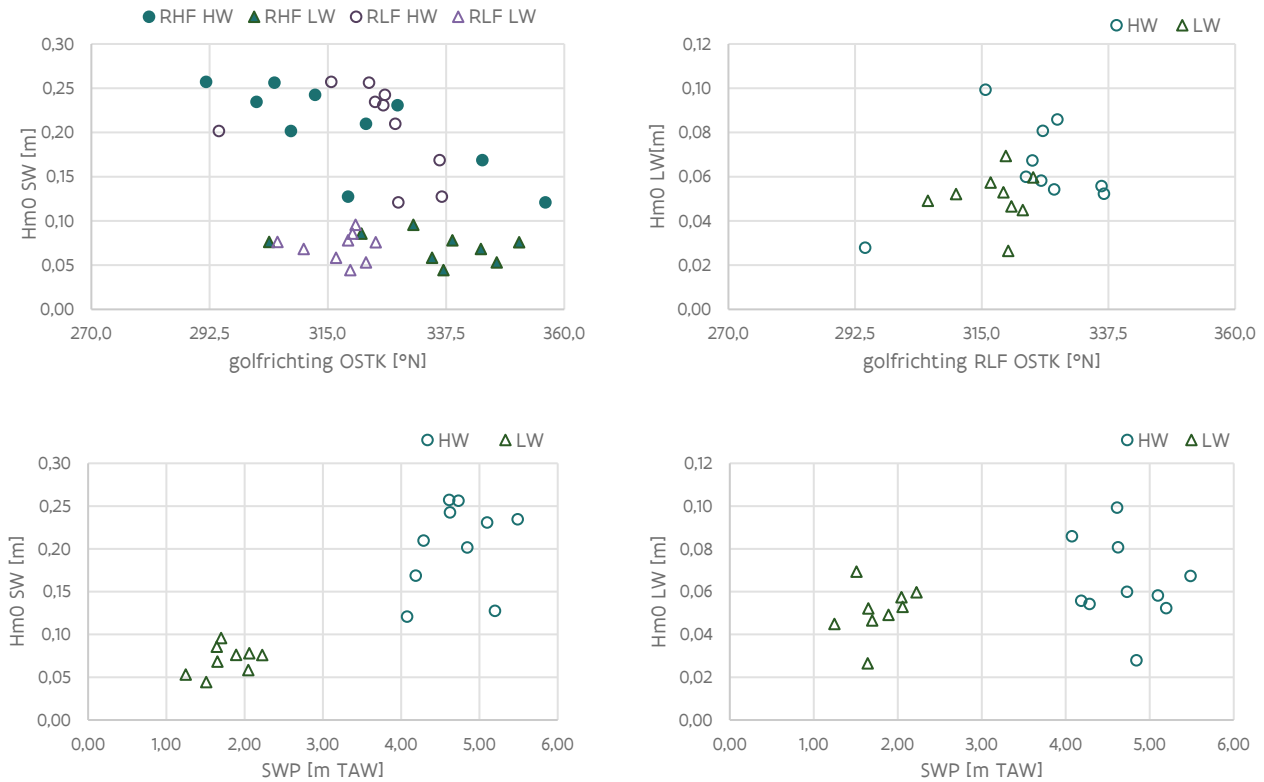
1. **lange golven** (*long waves, LW*) ( $f < 0.05$  Hz) : de golfhoogte blijft beperkt tot 10 cm, met een maximum tussen NW en NNW (Figuur 10 rechtsboven). De lange golfenergie is sterk gecorreleerd met de golfenergie buitengaats en wordt slechts beperkt beïnvloed door de waterstand (Figuur 10 rechtsonder). Daardoor neemt het aandeel laagfrequente golfenergie relatief gezien sterk toe tijdens laagtij. Mogelijke oorzaken voor de lange golven op de locatie Demeysluis zijn enerzijds resonantie-effecten in het havenbekken of anderzijds lange golven, opgewekt door golfbreking buitengaats (zg. *infragravity waves*), die de haven binnendringen.
2. **korte golven** (*short waves, SW*) ( $f > 0.05$  Hz) : de significante golfhoogte varieert tussen 10 en 30 cm rond hoogtij, en tussen 5 en 10 cm rond laagtij. De hoogste golfenergie wordt gemeten bij golfrichtingen buitengaats rond NW bij hoogtij (Figuur 10 linksboven). De korte golven worden sterk gemoduleerd door de waterstand t.g.v. golfbreking buitengaats (Figuur 10 linksonder) en zijn afkomstig van 2 processen: (i) **golfindringing** van langere golven buitengaats (*sea & swell*, 0.05-0.2 Hz) en (ii) kortere **windgolven** (*sea*, 0.2-0.4 Hz) in de haven opgewekt. Merk op dat het relatieve aandeel windgolven (>0.2 Hz) toeneemt bij laagwater ten gevolge van golfbreking buitengaats (zie golvenspectra in Figuur 9).

De golfindringing (van de korte golven) wordt gekenmerkt door de golfindringingscoëfficiënt ( $KD$ ) berekend als de verhouding van de  $H_{m0}$ -waarde ( $f > 0.05\text{Hz}$ ) op de meetlocatie Demeysluis en de waarde buitengaats t.p.v. de golfmeetboei Oostende Oosterstaketsel.  $KD$ -waarden variëren grosso modo tussen 0.06 en 0.12 bij hoogwater en tussen 0.02 en 0.04 bij laagwater (Figuur 11 rechtsonder).

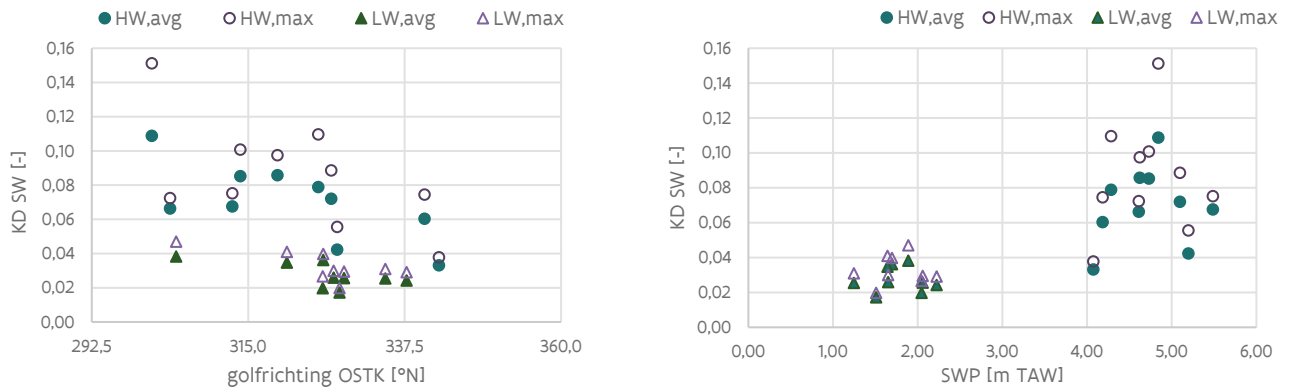
De observaties uit deze in-situ metingen worden verder meegenomen bij de interpretatie van modelresultaten, weliswaar rekening houdend met het feit dat de lange en korte golven (voornamelijk deze gelinkt aan golfindringing) zich anders kunnen gedragen in meer extreme omstandigheden met nóg hogere waterstanden (bv. door wijzigende invloed van golfreflectie op kademuren of verminderde golfbreking buitengaats) en windsnelheden (begrenzing door strijklengte).



Figuur 9 – stormverloop 31.01.2022 met gemeten golfspectrum nabij Demeysluis op tijdstip LW (onder links) en HW (onder rechts)



Figuur 10 -  $H_{m0}$  waarden van korte golven (links) en lange golven (rechts) gemeten t.p.v. Demeysluis i.f.v. golfrichting buitengaats (boven) en waterstand (onder). Waarden gemiddeld binnen een venster van 3 uur rond hoog of laagtij.



Figuur 11 – golfindringingscoëfficiënt korte golven i.f.v. (gemiddelde) golfrichting (links) en waterstand (rechts)

Tabel 1 – Dataset geselecteerde stormen met metingen nabij Demeysluis : korte en lange golven

Datum	Golfrichting OSTK [°N] (*)		SWP [m TAW]	H <sub>m0</sub> SW [m] (**)	H <sub>m0</sub> LW [m] (***)	H <sub>m0,LW</sub> / H <sub>m0,SW</sub> [-]	% laagfreq. golfenergie	
	RHF	RLF						
09.01.2019	NW	319	337	5.20	0.13	0.05	0.41	15
	NNW	337	319	1.51	0.04	0.07	1.56	68
09.12.2019	NW	308	294	4.84	0.20	0.03	0.14	3
	NNW	335	317	2.05	0.06	0.06	0.99	50
25.09.2020	WNW	292	316	4.61	0.26	0.10	0.39	14
	WNW	304	305	1.89	0.08	0.05	0.65	28
27.09.2020	N	356	328	4.07	0.12	0.09	0.71	34
	N	351	324	2.22	0.08	0.06	0.79	38
02.12.2021	NW	313	326	4.62	0.24	0.08	0.33	10
	NNW	331	320	1.70	0.10	0.05	0.49	20
10.12.2021	NW	305	323	4.73	0.26	0.06	0.23	5
	NW	321	320	1.64	0.09	0.03	0.31	9
31.01.2022	WNW	301	324	5.49	0.23	0.07	0.29	8
	NNW	339	319	2.06	0.08	0.05	0.68	32
17.09.2022	NW	322	328	4.28	0.21	0.05	0.26	7
	NNW	344	310	1.65	0.07	0.05	0.76	35
10.03.2023	NW	324	324	4.88	0.20	0.05	0.26	6
19.04.2024	NNW	344	336	4.18	0.17	0.06	0.33	11
	NNW	347	322	1.25	0.05	0.04	0.85	37

(\*) RHF/RLF : richting van golven met periode tussen resp. 2-5 sec en >10 s gemeten door de boei Oostende Oosterstaketsel (OSTK)  
(\*\*)  $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$ , met  $m_0$  het 0-de orde moment (geïntegreerde hoeveelheid spectrale energiedichtheid tussen 0.05 en 2 Hz).  
(\*\*\*) Berekend op basis van de energiedichtheid tussen 0.002 en 0.05 Hz.

Tabel 2 – Dataset geselecteerde stormen met metingen nabij Demeysluis : golfindringing

Datum	Golfrichting OSTK [°N] (*)	SWP		$H_{m0,OSTK}$ [m] (**)	$H_{m0,Demeysluis}$ [m] (***)	KD [-](+)		
		RHF	RLF			[m TAW]	gem.	max.
09.01.2019	NW	319	337	0.13	3.02	0.13	0.04	0.06
	NNW	337	319	0.04	2.58	0.04	0.02	0.02
09.12.2019	NW	308	294	0.20	1.94	0.20	0.11	0.15
	NNW	335	317	0.06	2.96	0.06	0.02	0.03
25.09.2020	WNW	292	316	0.22	3.88	0.26	0.07	0.07
	WNW	304	305	0.08	2.05	0.08	0.04	0.05
27.09.2020	N	356	328	0.12	3.65	0.12	0.03	0.04
	N	351	324	0.08	3.14	0.08	0.02	0.03
02.12.2021	NW	313	326	0.24	2.83	0.24	0.09	0.10
	NNW	331	320	0.10	2.64	0.10	0.04	0.04
10.12.2021	NW	305	323	0.26	3.01	0.26	0.04	0.06
	NW	321	320	0.09	2.47	0.09	0.03	0.04
31.01.2022	WNW	301	324	0.23	3.47	0.23	0.07	0.08
	NNW	339	319	0.08	3.04	0.08	0.03	0.03
17.09.2022	NW	322	328	0.21	2.69	0.21	0.08	0.11
	NNW	344	310	0.07	2.63	0.07	0.03	0.03
10.03.2023	NW	324	324	0.20	3.20	0.23	0.07	0.09
19.04.2024	NNW	344	336	0.17	2.79	0.17	0.06	0.07
	NNW	347	322	0.05	2.09	0.05	0.03	0.03

(\*) RHF/RLF : richting van golven met periode tussen resp. 2-5 sec en >10 s gemeten door de boei Oostende Oosterstaketsel (OSTK).

(\*\*)  $H_{m0,OSTK}$  ( $f > 0.035$  Hz) gemiddelde (30 min.) waarde in 3u venster rond hoog- of laagtij.

(\*\*\*)  $H_{m0,Demeysluis}$  ( $f > 0.05$  Hz), gemiddelde (15 min.) waarde in 3u venster rond hoog- of laagtij.

(+)  $KD = H_{m0,Demeysluis}/H_{m0,OSTK}$ , gemiddelde of maximale 30 min. waarde in 3u venster rond hoog- of laagtij.

## 2.3 Randvoorwaarden golfmodellen (aanlandige wind)

### 2.3.1 Referentiejaar 2020

De richtingsafhankelijke randvoorwaarden die toegepast werden in de golfmodellen Mike21-BW en SWAN werden afgeleid uit het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2014 (De Roo *et al.*, 2016a)<sup>7</sup>. Voor enkele ontbrekende windrichtingen binnen de aanlandige sector (ZW-NO) werden deze met een extra analyse aangevuld (De Roo *et al.*, 2021). De randvoorwaarden omvatten:

- hoogwaterstand te Oostende (beide modellen), terugkeerperiode tussen 1 en 100,000 jaar
- Mike21-BW : golfhoogte en -periode in ondiep water, terugkeerperiode tussen 1 en 100,000 jaar
- SWAN: 2u-gemiddelde windsnelheid  $u_{w,10}$ , terugkeerperiode  $T$  tussen 1 en 100,000 jaar<sup>8</sup>

De simulaties worden gedefinieerd voor vaste retourperiodes tussen 1 en 100,000 jaar, waarbij elke fysische parameter (waterstand, golven en wind) gecombineerd wordt op dezelfde retourperiode op basis van hun respectievelijke marginale kansverdeling uit de HR2014 (er wordt dus geen rekening gehouden met de fysische correlatie tussen waterstand, golven en wind). Merk op dat de beschouwde ondergrens  $T=1$  jaar een praktische keuze betreft gebaseerd op de POT drempelwaarden toegepast in de extremewaardeverdelingen van waterstand en windsnelheid in HR2014<sup>9</sup>. Voor de deelopdrachten in het bestek probabilistische toetsing (16EH/19/06) die betrekking hebben op het Masterplan Kustveiligheid volstaat een bovengrens  $T=1000$  jaar. De simulaties voor  $T=10,000$  en  $100,000$  jaar zijn nodig voor de probabilistische analyse in het kader van de overstromingsrisicoanalyse voor de kustvlakte.

De simulatiematrix (zie Bijlage A) bevat vaste aanlandige richtingssectoren (breedte 22.5 graden) van ZW t.e.m. NO. De kritieke richting voor golfindringing in de havens van Oostende en Zeebrugge ligt tussen de 'vaste' richtingen (- 37°N) en wordt expliciet meegenomen in de simulatiematrix.

Van het maximaal aantal richtingen werden in deze studie de richtingen W t.e.m. NNO gesimuleerd in Mike21-BW voor het scenario 2020. Voor de richtingen ZW, WZW en NO wordt de golfindringing in de haven van Oostende verwaarloosbaar geacht. Voor richtingen W en NNO is de bijdrage t.p.v. de zeewaartse sluisdeur van de Demeysluis voldoende gereduceerd (zie Bijlage C).

<sup>7</sup> Op het ogenblik van het bepalen van het opzet van deze studie was het inmiddels gepubliceerde Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (Vuik *et al.*, 2020) nog niet beschikbaar. Het gemodelleerde golfklimaat kan echter bepaald worden met HR2020 als randvoorwaarden op basis van de afgeleide golftransformatie (zie sectie 2.4).

<sup>8</sup> 2u gemiddelde waarde gecorrigeerd voor landwrijving met reductiefactor 0.72 voor aanlandige wind (afgeleid in De Roo *et al.* (2016b) op basis van een analyse van windgegevens buitengaats (MP0 en MP7) op de Zeebrugge daminstrumentatie. Voorheen werd een reductiefactor van 0.8 (of 0.9 voor NW) toegepast voor omzetting van offshore naar land, zie bijlage 4 in Gruwez *et al.* (2011)).

<sup>9</sup> De (richtingsafhankelijke) POT drempel voor waterstand en wind voor  $T=1$  jaar is kleiner dan de mediane waarde van deze respectievelijke parameters in de verdeling. Voor de golfhoogte is hier (nipt) niet aan voldaan.



De SWAN simulaties zijn uitgevoerd voor alle richtingen van ZW t.e.m. NO. Tabel 1 geeft een overzicht.

Tabel 3 – overzicht beschikbare Mike21-BW en SWAN simulaties

	Mike21-BW		SWAN	
	2020	2050	2020	2050
ZW	x	x	✓	✓
WZW	x	x	✓	✓
W	✓	x	✓	✓
WNW	✓	x	✓	✓
NW	✓	✓	✓	✓
-37 °N	✓	✓	✓	✓
NNW	✓	✓	✓	✓
N	✓	x	✓	✓
NNO	✓	x	✓	✓
NO	x	x	✓	✓

### 2.3.2 Referentiejaar 2050

Naast de huidige toestand dient de toetsing van de kunstwerken ook de toestand in het jaar 2050 te beschouwen (de vastgelegde horizon in het lopende Masterplan Kustveiligheid). De invloed van de verwachte klimaatverandering op de stormvloedpeilen wordt meegerekend op basis van het klimaatscenario dat gehanteerd wordt in het Masterplan Kustveiligheid (Verwaest *et al.*, 2009). Daarbij gaat men uit van geleidelijke versnelling van de zeespiegelstijging en de stormopzettingen over de 21<sup>ste</sup> eeuw, volgens onderstaand kwadratisch verband:

$$\Delta_{[m]}(t) = 0,001_{[m]} \cdot (0,04 \cdot (t - 2000)^2 + 4 \cdot (t - 2000))$$

T.o.v. het referentiejaar 2014<sup>10</sup> resulteert bovenstaande formule in een toename van de stormvloedpeilen met 0,236 m in 2050.

De windsnelheden in 2050 blijven ongewijzigd t.o.v. de waarden in HR2014. De golfhoogte en -periode op ondiep water met de zeespiegelstijging voor het referentiejaar 2050 werden niet expliciet onderzocht in HR2014. Deze werden benaderend ingeschat als volgt:

- de golfhoogte (Hm0) werd verhoogd door de verhouding Hm0/waterdiepte constant te houden
- de golfperiode werd aangepast op basis van de gefitte relatie i.f.v. de golfhoogte, zie HR2014.

Mike21-BW simulaties in het scenario 2050 werden enkel uitgevoerd voor richtingen NNW, NW en -37°N. Voor de opmaak van het gecombineerde spectrum voor de richtingen NNE, N, WNW en W werden de Mike21-BW simulaties overgenomen uit 2020. Gelet op de geringe verschillen in Hm0 waarden tussen scenario's 2020 en 2050 voor de richtingen NNW, NW en -37°N wordt de impact op de nauwkeurigheid als minimaal ingeschat.

De randvoorwaarden voor 2050 zijn eveneens opgenomen in de simulatiematrix in Bijlage A.

<sup>10</sup> Het referentiejaar van het gebruikte Hydraulische Randvoorwaardenboek is 2014. De historische meetreeks van waterstanden (1925-2014) werd op datzelfde referentiejaar teruggebracht op basis van de tot dusver waargenomen zeespiegelstijging.

## 2.4 Resultaten hoogwatersituatie (aanlandige wind)

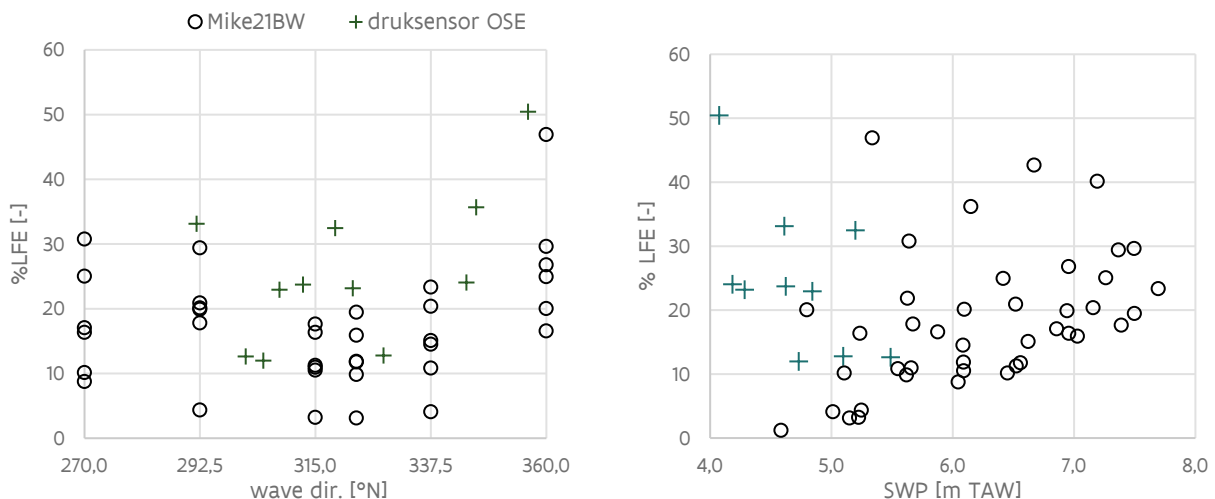
Samenvattende figuren van golvenspectra worden getoond in Bijlage C.

### 2.4.1 Lange golven ( $f < 0.05$ Hz)

De parameters van de laagfrequente golfenergie in het havenbekken gemodelleerd op basis van Mike21-BW worden samengevat in Tabel 4 en Tabel 5 voor resp. de simulaties met randvoorwaarden 2020 en 2050.

Laagfrequente  $H_{m0}$ -waarden<sup>11</sup> nemen eerst toe, bereiken een maximum en nemen dan weer af met toenemend waterpeil (T0 tem T5). De laagfrequente energie is maximaal bij golfrichting NNW en leidt tot een golfhoogte van ca 0.2 m.

Het relatieve aandeel laagfrequente energie door golfindringing (% LFE)<sup>12</sup> varieert nabij de Demeysluis tussen 0 en 50 % (zie Figuur 12). De grootteorde van de modelwaarden worden bevestigd door de in-situ metingen in de nabijheid van de Demeysluis. De grootste amplitude van de lange golven (in absolute waarde) treedt op voor NNW in de M21-BW resultaten, maar het aandeel laagfrequente energie lijkt iets toe te nemen tussen NNW en N, zowel in de metingen als in het model. De hoeveelheid laagfrequente energie lijkt niet significant beïnvloed te worden door de waterstand, zoals eerder aangetoond door de in-situ metingen. De ondergrens lijkt wel toe te nemen met toenemende waterstand boven +6 m TAW.



Figuur 12 – relatieve hoeveelheid laagfrequente energie (LFE) in golfspectrum, meetlocatie Demeysluis

<sup>11</sup> Berekend als  $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$ , met  $m_0$  het 0-de orde moment (geïntegreerde hoeveelheid spectrale energiedichtheid tussen 0.002 en 0.05 Hz).

<sup>12</sup> Voor M21-BW berekend als  $m_0(0.002-0.05 \text{ Hz})/m_0(0.002-2 \text{ Hz})$  en voor de in-situ metingen als  $m_0(0.002-0.05 \text{ Hz})/m_0(0.002-0.2 \text{ Hz})$ .

Tabel 4 – parameters totale langegolfspectrum ( $f < 0.05$  Hz) ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2020

		$H_{m0}$ [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_p$ [s]	LFE [-]			$H_{m0}$ [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_p$ [s]	LFE [-]
<b>T0</b>	<b>NNO</b>	0.01	70.97	66.67	1.2%	<b>NW</b>	0.06	67.01	52.63	3.2%	
<b>T1</b>		0.04	64.61	52.63	10.1%		0.13	63.23	52.63	11.0%	
<b>T2</b>		0.06	60.52	52.63	21.8%		0.16	66.40	50.00	10.5%	
<b>T3</b>		0.07	57.80	50.00	36.2%		0.19	68.10	52.63	11.2%	
<b>T4</b>		0.07	59.47	50.00	42.7%		0.14	65.64	50.00	16.4%	
<b>T5</b>		0.05	61.60	52.63	40.1%		0.13	69.25	52.63	17.6%	
<b>T0</b>	<b>N</b>	0.03	77.15	66.67	20.0%	<b>WNW</b>	0.04	61.71	50.00	4.3%	
<b>T1</b>		0.06	64.54	52.63	46.9%		0.09	55.82	50.00	17.8%	
<b>T2</b>		0.10	61.99	52.63	16.6%		0.12	56.79	50.00	20.1%	
<b>T3</b>		0.12	57.75	50.00	24.9%		0.12	54.67	50.00	20.9%	
<b>T4</b>		0.10	57.13	50.00	26.8%		0.10	55.37	50.00	19.9%	
<b>T5</b>		0.08	57.69	52.63	29.6%		0.11	56.15	50.00	29.4%	
<b>T0</b>	<b>NNW</b>	0.07	73.10	66.67	4.1%	<b>W</b>	0.01	93.80	333.33	16.4%	
<b>T1</b>		0.13	60.84	52.63	10.8%		0.02	75.08	52.63	30.8%	
<b>T2</b>		0.19	57.67	50.00	14.5%		0.03	68.26	52.63	8.8%	
<b>T3</b>		0.19	56.39	50.00	15.1%		0.03	66.65	52.63	10.1%	
<b>T4</b>		0.13	64.50	50.00	20.4%		0.02	72.41	50.00	17.1%	
<b>T5</b>		0.10	64.27	52.63	23.3%		0.02	81.96	50.00	25.0%	
<b>T0</b>	<b>-37°N</b>	0.06	67.53	66.67	3.1%						
<b>T1</b>		0.13	60.95	52.63	9.8%						
<b>T2</b>		0.14	69.91	50.00	11.9%						
<b>T3</b>		0.15	69.92	50.00	11.8%						
<b>T4</b>		0.10	73.12	50.00	15.9%						
<b>T5</b>		0.12	66.08	50.00	19.5%						

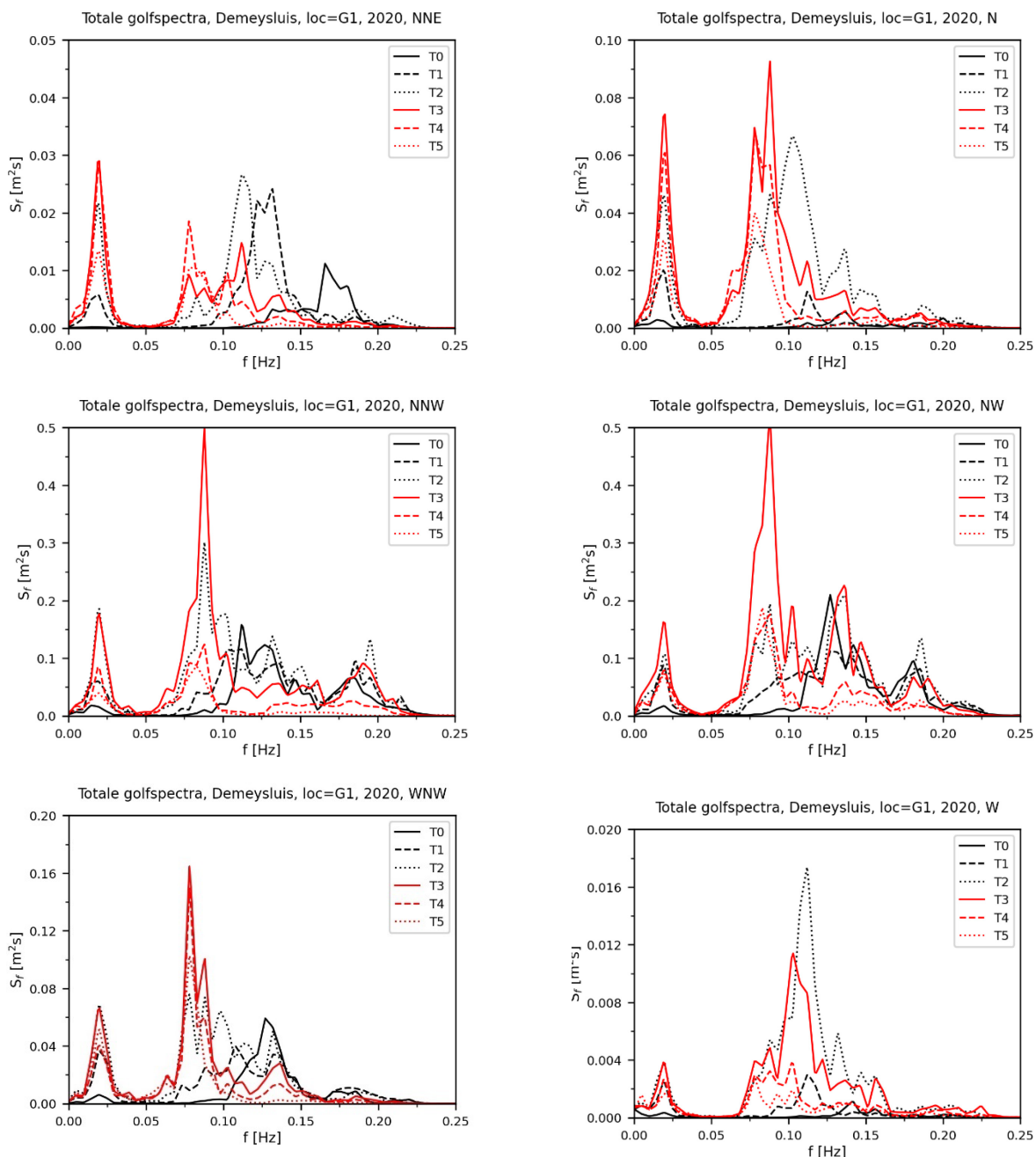
Tabel 5 – parameters totale langegolfspectrum ( $f < 0.05$  Hz) ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2050

		$H_{m0}$ [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_p$ [s]	LFE [-]			$H_{m0}$ [m]	$T_{m-1,0}$ [s]	$T_p$ [s]	LFE [-]
<b>T0</b>	<b>NNO</b>	0.01	70.97	66.67	1.2%	<b>NW</b>	0.07	65.32	52.63	3.7%	
<b>T1</b>		0.04	64.61	52.63	10.1%		0.14	61.79	52.63	10.0%	
<b>T2</b>		0.06	60.52	52.63	21.8%		0.15	69.10	52.63	9.1%	
<b>T3</b>		0.07	57.80	50.00	36.2%		0.18	67.73	52.63	13.3%	
<b>T4</b>		0.07	59.47	50.00	42.7%		0.12	66.32	50.00	16.2%	
<b>T5</b>		0.05	61.60	52.63	40.1%		0.11	70.37	52.63	15.2%	
<b>T0</b>	<b>N</b>	0.03	77.15	66.67	20.0%	<b>WNW</b>	0.04	61.71	50.00	4.3%	
<b>T1</b>		0.06	64.54	52.63	46.9%		0.09	55.82	50.00	17.8%	
<b>T2</b>		0.10	61.99	52.63	16.6%		0.12	56.79	50.00	20.1%	
<b>T3</b>		0.12	57.75	50.00	24.9%		0.12	54.67	50.00	20.9%	
<b>T4</b>		0.10	57.13	50.00	26.8%		0.10	55.37	50.00	19.9%	
<b>T5</b>		0.08	57.69	52.63	29.6%		0.11	56.15	50.00	29.4%	
<b>T0</b>	<b>NNW</b>	0.07	71.64	66.67	4.3%	<b>W</b>	0.01	93.80	333.33	16.4%	
<b>T1</b>		0.12	59.47	52.63	11.5%		0.02	75.08	52.63	30.8%	
<b>T2</b>		0.16	58.32	50.00	13.8%		0.03	68.26	52.63	8.8%	
<b>T3</b>		0.15	58.64	50.00	17.3%		0.03	66.65	52.63	10.1%	
<b>T4</b>		0.12	62.04	50.00	19.9%		0.02	72.41	50.00	17.1%	
<b>T5</b>		0.10	62.50	50.00	17.8%		0.02	81.96	50.00	25.0%	
<b>T0</b>	<b>-37°N</b>	0.07	66.39	52.63	3.3%						
<b>T1</b>		0.12	61.79	52.63	9.2%						
<b>T2</b>		0.12	72.52	50.00	10.0%						
<b>T3</b>		0.13	71.72	50.00	13.6%						
<b>T4</b>		0.11	70.00	41.67	14.2%						
<b>T5</b>		0.11	66.70	50.00	18.7%						

2.4.2 Korte golven ( $f > 0.05$  Hz)

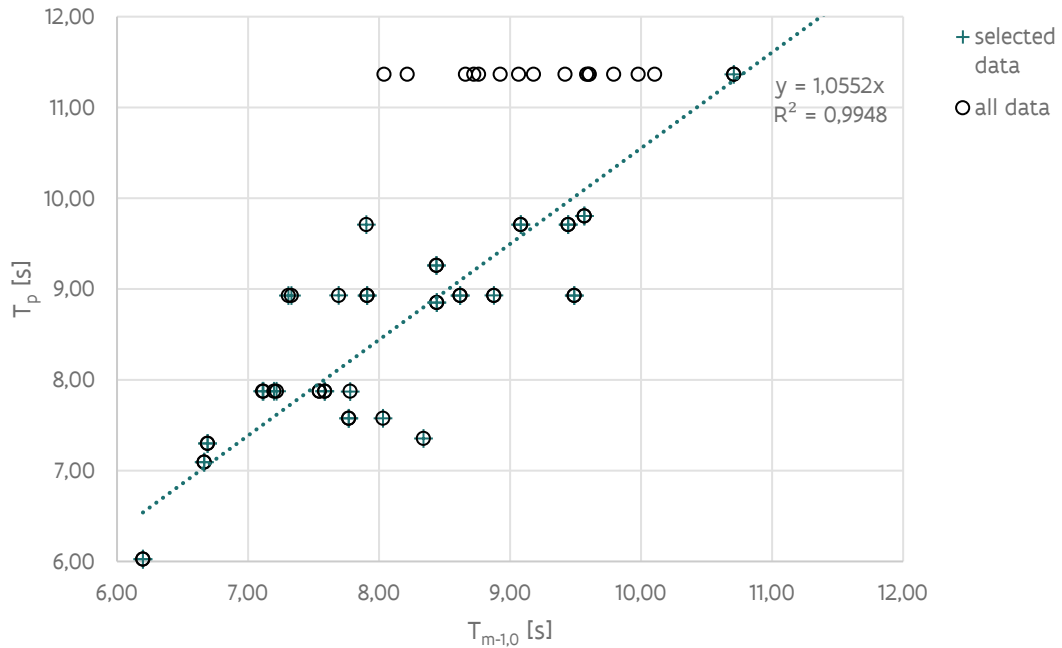
## Golfindringing

Figuur 13 toont de met Mike21-BW gemodelleerde totale golfspectra t.p.v. de Demeysluis (met de randvoorwaarden 2020). De grootste golfenergie treedt op bij richtingen NNW,  $-37^\circ\text{N}$  en NW. De hoeveelheid golfenergie neemt af voor waterstanden hoger dan  $+6.9$  m TAW (ongeveer het niveau van de kaaien in de haven) ten gevolge van de verminderde golfreflectie.



Figuur 13 – totale golfspectra M21-BW t.p.v. Demeysluis (blauw gearceerd: verwachte frequentieband resonantie)

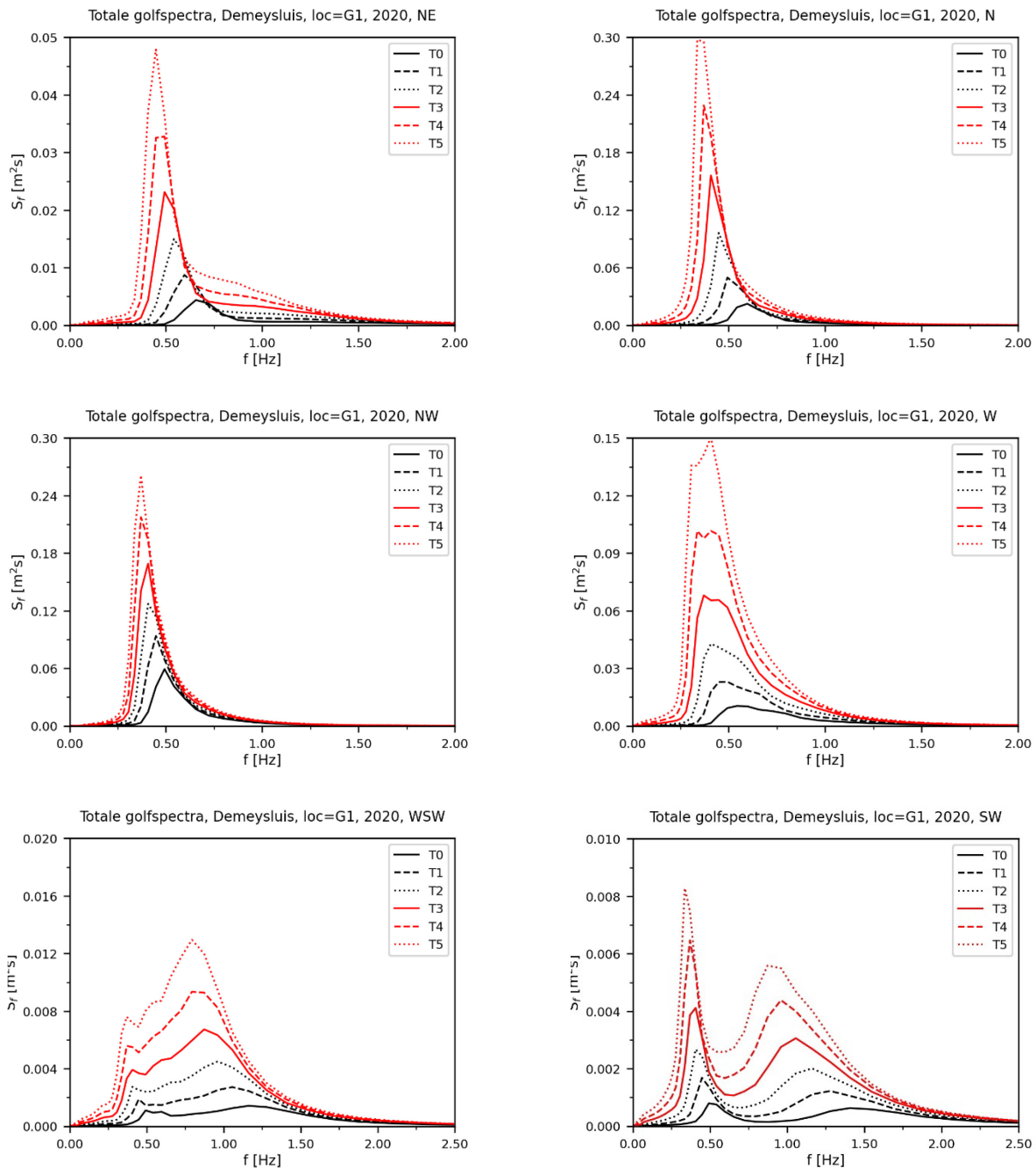
Uit analyse van de gemodelleerde M21-BW-golfpiekperiodes (Tabel 6 en 7) blijkt dat deze niet altijd monotoon stijgend zijn met de terugkeerperiode. Dit is het gevolg van de onzekerheid op de bepaling van de ligging van de energiepiek in de spectraalanalyse. Er wordt geopteerd om de golfpiekperiode onrechtstreeks af te leiden uit de spectrale periode  $T_{m-1,0}$  vermits deze een stabiele parameter is met een monotoon stijgend verloop (zie Figuur 14). De geschatte golfpiekperiode voor gebruik in het golfbelastingmodel (§ 3.1) bedraagt:

$$T_p = 1.055 * T_{m-1,0}$$


Figuur 14 – Fit M21-BW gemodelleerde  $T_p$  waarden i.f.v.  $T_{m-1,0}$  t.p.v. Demeysluis

## Windgolven

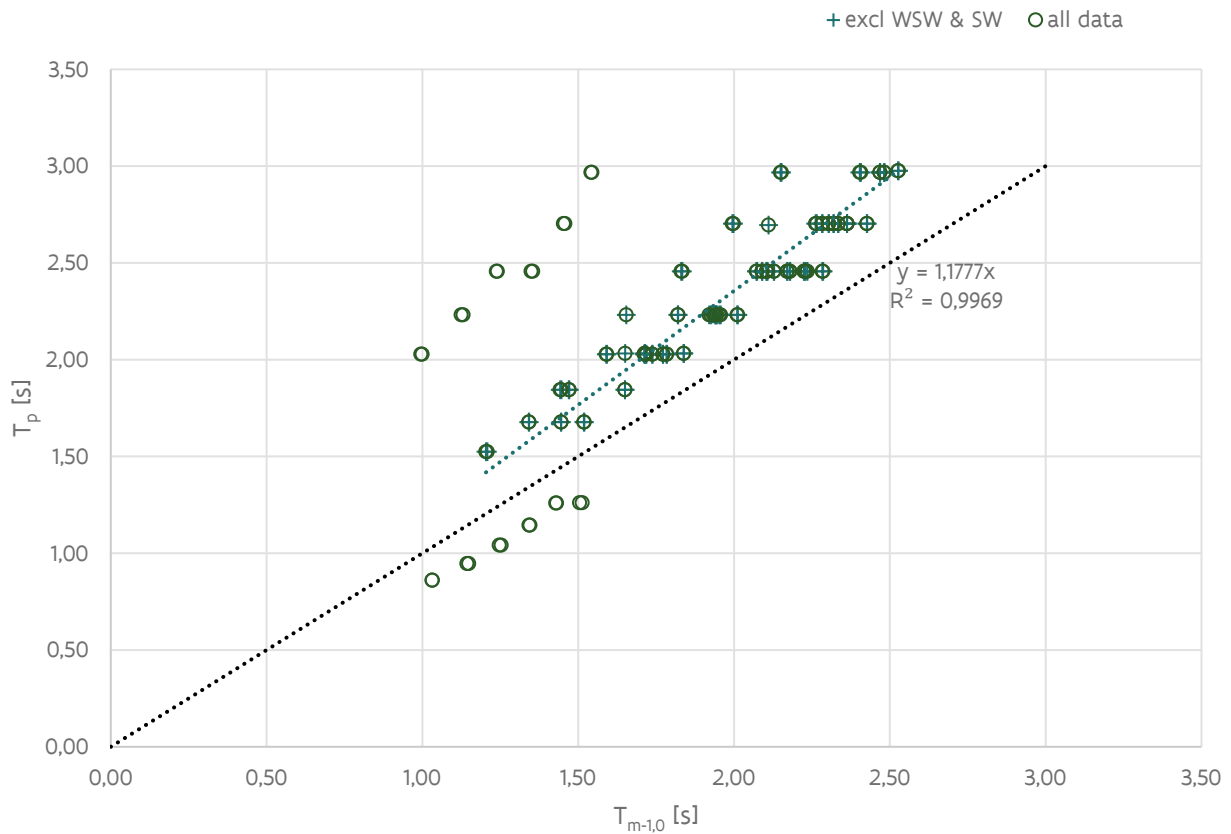
Figuur 14 toont de met SWAN gemodelleerde golfspectra t.p.v. de Demeysluis. Het spectrum vertoont 1 piek voor richting NO t.e.m. ZW, waarbij de golfpiekperiode tussen 1 en 3 s is gelegen. De grootste energie en laagste piekfrequenties treden op tussen windrichting N en WNW. Vanaf richting WNW tot ZW neemt de golfenergie stelselmatig af.



Figuur 15 – totale golvenspectra SWAN t.p.v. Demeysluis

Opvallend is de verschuiving van de piekfrequentie voor de windrichting WZW en het ontstaan van een dubbelpiekig spectrum bij richting ZW. In deze gevallen ligt de ingang van de Demeysluis beschut achter de kaaiterreinen. De betrouwbaarheid van de ligging van de piekfrequentie en vorm van het spectrum kan hierdoor aangetast worden. In verdere toepassing wordt daarom de spectrale periode afgeleid uit de gecorrigeerde golfpiekperiode.

Figuur 16 toont de regressie op basis van de resultaten van alle simulaties, uitgezonderd richtingen WZW en ZW (gelet op de verminderde betrouwbaarheid voor deze richtingen, zie hoger). De geschatte golfpiekperiode voor gebruik in het golfbelastingmodel (§ 3.1) bedraagt:  $T_{p,SWAN} = 1.178 * T_{m-1,0;SWAN}$ .



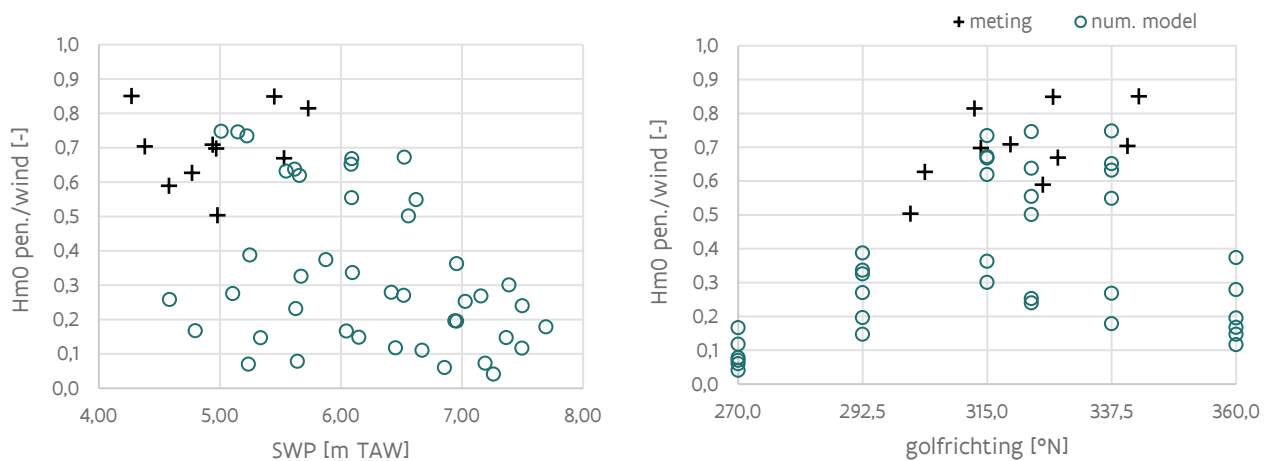
Figuur 16 – Fit SWAN gemodelleerde  $T_p$  waarden ifv.  $T_{m-1,0}$  t.p.v. Demeysluis (excl. richtingen WZW en ZW)



## Validatie met golfmetingen

Voor de validatie van de gemodelleerde golfparameters wordt de verhouding beschouwd van de (invalende) significante golfhoogte ( $H_{m0}$ ) gelinkt aan resp. golfindringing en windgeneratie (Figuur 17)<sup>13</sup>. De modelwaarden worden berekend als de verhouding van  $H_{m0}$  gemodelleerd met resp. Mike21-BW en SWAN. De gemeten waarden worden berekend in het frequentiegebied 0.05 - 0.2 Hz voor golfindringing en 0.2 – 2 Hz<sup>14</sup> voor windgeneratie.

Het relatieve aandeel golfenergie opgewekt door golfindringing is maximaal (tussen 0.5 en 0.9) voor golfrichtingen tussen NW tot NNW, waarbij een vrij goede overeenkomst waargenomen wordt (Figuur 17 rechts). De lagere modelwaarden (<0.4) bij deze richtingen corresponderen met de simulaties met de hoogste waterstanden (+7 m TAW en hoger). De verminderde reflectie op de kademuren resulteert in die gevallen voor een verlaagde golfenergie door golfindringing t.o.v. de lokaal opgewekte windgolfenergie.



Figuur 17 – verhouding (invalende) significante golfhoogte door golfindringing en windgeneratie, omgeving Demeysluis

De invalende *diffRACTIECOEFFICIËNT* ( $K_D^{inc}$ ) wordt gedefinieerd als de verhouding van de lokale invalende golfhoogte tot de golfhoogte buitengaats<sup>15</sup>,  $H_{m0,bound}$ :

$$K_D^{inc} = \frac{H_{m0,loc}^{inc}}{H_{m0,bound}}$$

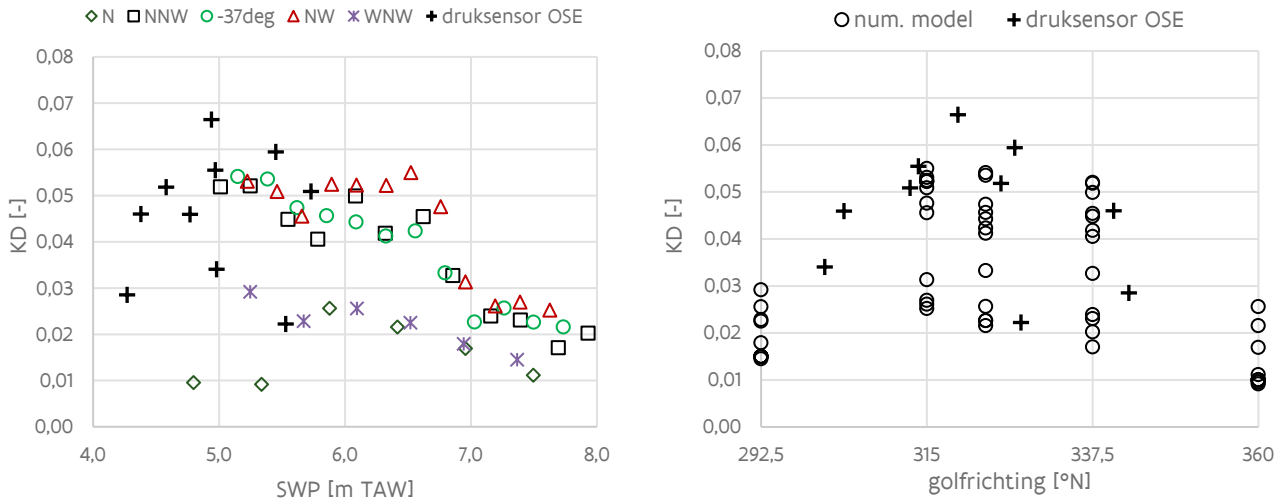
De gemeten waarde schommelt tussen 0.04 en 0.06 voor golfrichtingen van NW tot NNW (Figuur 18 rechts). De gemodelleerde (invalende) diffRACTIECOEFFICIËNT door golfindringing vertoont een vrij goede overeenkomst met de metingen<sup>16</sup> in het bereik van waterstanden tussen +4 en +6 m TAW (Figuur 18 links).

<sup>13</sup> Hierbij wordt impliciet verondersteld dat de combinatie van windsnelheid en golfparameters volgens hun resp. marginale kansverdeling (volledige correlatie) als randvoorwaarden voor de numeriek modellen ook geldt voor waargenomen stormgebeurtenissen, hetgeen niet (noodzakelijk) het geval is.

<sup>14</sup> De scheiding tussen golfindringing en windgeneratie rond 0.2 Hz is enigszins arbitrair, maar wordt bevestigd door visuele observatie van de gemeten golvenspectra (Bijlage F).

<sup>15</sup> Opgelegd aan de Mike21-BW modelrand of ter plaatse van de golfmeetboei Oostende Oosterstaketsel.

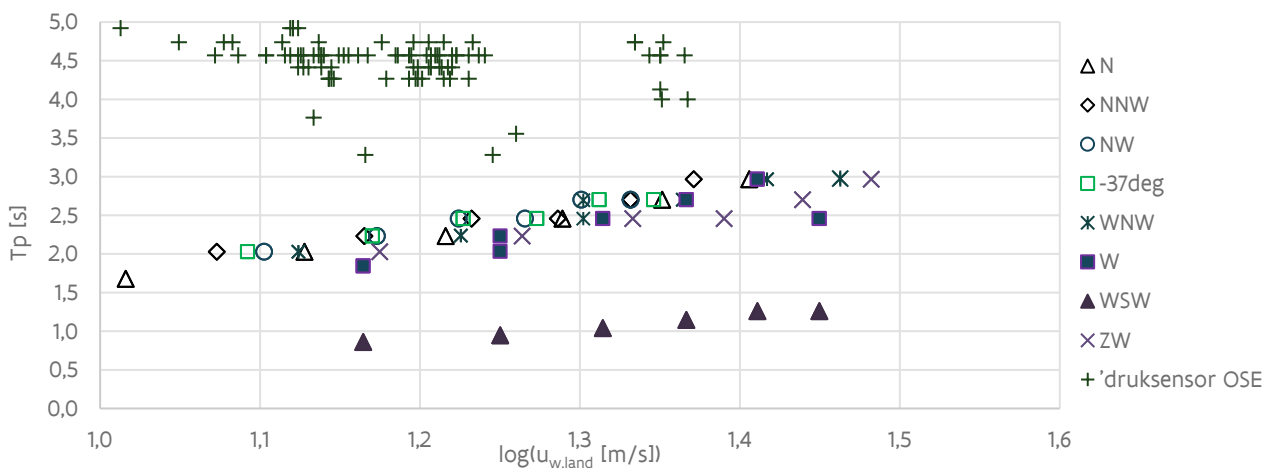
<sup>16</sup> De metingen kunnen in principe een invloed bevatten van reflectie op de buispaal waarop de druksensor is gemonteerd. Dit effect wordt evenwel als beperkt ingeschat.



Figuur 18 – Diffractiecoëfficiënt t.p.v. Demeysluis door golfindringing i.f.v. hoogwaterstand. Vergelijking (invallende) waarden gemodelleerd met Mike21-BW en metingen nabij de Demeysluis (druksensor OSE).

In de studie van de randvoorwaarden voor de Mercatorsluis (Vanneste *et al.*, 2023) werd een biascorrectie van +2.5 s toegepast op de met SWAN gemodelleerde golfpiekperiodes. De vergelijking met de metingen toont ook op de locatie Demeysluis een beduidende onderschatting van de gemodelleerde golfpiekperiode (Figuur 19).

De meetwaarden van de geselecteerde stormen (binnen een sector W tot N) vertonen een gemiddelde golfpiekperiode van 4.48 s met een standaardafwijking van 0.3 s. De SWAN modelwaarden (binnen sector W-N) vertonen een gemiddelde golfpiekperiode van 2.44 s. De bias op de modelwaarden wordt ingeschat als  $4.78 (\mu + \sigma) - 2.44 = 2.34$  s. Op basis hiervan wordt voorgesteld een uniforme biascorrectie van +2.5 s op de golfpiekperiode door te voeren, zoals ook toegepast in de studie voor de Mercatorsluis. Er wordt aangenomen dat de spectrale golfperiode evenredig gecorrigeerd kan worden door verhoging met  $2.5/1.178$  s (zie Figuur 16).



Figuur 19 – gemeten en gemodelleerde  $T_p$ -waarden i.f.v. windsnelheid nabij de Demeysluis (druksensor OSE). De windsnelheden zijn resp. de randvoorwaarde in SWAN en de windsnelheid gemeten op locatie Oostende Meteopark (Meetnet Vlaamse Banken).

## Parameters golfspectrum

Tabel 6 – parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2020

		M21BW				SWAN					Eq. enkelpiekig spectrum		
		H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s] (*)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>m-1,0</sub> [s] (**)	T <sub>p</sub> [s](+)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
NO	T0					0.08	1.21	1.52	3.33	3.92	0.08	3.33	3.92
	T1					0.11	1.34	1.68	3.47	4.08	0.11	3.47	4.08
	T2					0.14	1.47	1.85	3.59	4.23	0.14	3.59	4.23
	T3					0.17	1.59	2.03	3.71	4.37	0.17	3.71	4.37
	T4					0.20	1.71	2.03	3.84	4.52	0.20	3.84	4.52
	T5					0.24	1.82	2.23	3.94	4.64	0.24	3.94	4.64
NNO	T0	0.04	6.20	6.02	6.54	0.14	1.45	1.68	3.57	4.20	0.14	3.73	4.35
	T1	0.05	7.77	7.58	8.20	0.19	1.65	1.85	3.77	4.44	0.20	4.05	4.71
	T2	0.06	8.44	8.85	8.91	0.25	1.84	2.03	3.96	4.66	0.26	4.19	4.88
	T3	0.05	9.49	8.93	10.01	0.31	2.01	2.23	4.13	4.87	0.32	4.25	4.98
	T4	0.04	10.86	12.82	11.46	0.38	2.17	2.46	4.29	5.06	0.38	4.37	5.13
	T5	0.03	11.52	12.66	12.16	0.44	2.32	2.70	4.44	5.23	0.44	4.48	5.27
N	T0	0.03	6.69	7.30	7.06	0.16	1.52	1.68	3.64	4.29	0.16	3.72	4.36
	T1	0.03	7.91	8.93	8.34	0.22	1.74	2.03	3.86	4.55	0.23	3.95	4.63
	T2	0.11	9.44	9.71	9.96	0.29	1.94	2.23	4.06	4.79	0.31	4.72	5.42
	T3	0.10	10.71	11.36	11.30	0.36	2.13	2.46	4.25	5.01	0.38	4.72	5.46
	T4	0.09	11.54	12.82	12.17	0.44	2.30	2.70	4.43	5.21	0.44	4.69	5.47
	T5	0.06	12.24	12.82	12.91	0.51	2.47	2.97	4.59	5.41	0.51	4.69	5.51
NNW	T0	0.16	7.31	8.93	7.71	0.22	1.72	2.03	3.84	4.52	0.27	5.08	5.67
	T1	0.18	7.69	8.93	8.12	0.29	1.92	2.23	4.04	4.76	0.34	5.08	5.72
	T2	0.23	8.72	11.36	9.21	0.35	2.09	2.46	4.21	4.96	0.42	5.56	6.23
	T3	0.22	9.61	11.36	10.14	0.41	2.24	2.46	4.36	5.13	0.47	5.57	6.29
	T4	0.12	9.79	11.36	10.33	0.46	2.36	2.70	4.49	5.28	0.48	4.84	5.62
	T5	0.09	11.76	12.05	12.41	0.52	2.48	2.97	4.61	5.42	0.53	4.83	5.64
-37°N	T0	0.18	7.22	7.87	7.62	0.24	1.77	2.03	3.90	4.59	0.30	5.08	5.67
	T1	0.19	7.54	7.87	7.96	0.30	1.95	2.23	4.08	4.80	0.35	5.08	5.71
	T2	0.20	8.04	11.36	8.48	0.36	2.10	2.46	4.23	4.98	0.41	5.12	5.80
	T3	0.20	8.66	11.36	9.14	0.41	2.22	2.46	4.35	5.12	0.45	5.21	5.93
	T4	0.11	9.18	11.36	9.69	0.45	2.33	2.70	4.46	5.25	0.47	4.74	5.52
	T5	0.12	9.65	12.05	10.19	0.50	2.43	2.70	4.55	5.36	0.51	4.83	5.62

(\*) gevalideerde T<sub>p</sub>-waarden berekend als  $T_p = 1.055 * T_{m-1,0\_ORIG}$  (zie hoger).

(+) gevalideerde T<sub>p</sub>-waarden berekend als  $T_p = 1.178 * T_{m-1,0\_ORIG} + 2.5$  (s) (zie hoger)

(\*\*) gevalideerde T<sub>m-1,0</sub> waarden berekend als  $T_{m-1,0} = T_{m-1,0\_ORIG} + 2.5/1.178$  (s) (zie hoger).

Tabel 6– parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2020 (vervolg)

		M21BW				SWAN					Eq. enkelpiekig spectrum		
		H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s] (*)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>m-1,0</sub> [s] (**)	T <sub>p</sub> [s](+)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
NW	T0	0.18	7.11	7.87	7.50	0.24	1.78	2.03	3.91	4.60	0.30	5.03	5.62
	T1	0.18	7.78	7.87	8.21	0.29	1.94	2.23	4.06	4.79	0.35	5.09	5.73
	T2	0.23	8.34	7.35	8.80	0.34	2.07	2.46	4.19	4.94	0.41	5.47	6.13
	T3	0.26	9.60	11.36	10.13	0.39	2.18	2.46	4.30	5.07	0.47	5.95	6.64
	T4	0.16	10.10	11.36	10.66	0.43	2.28	2.70	4.41	5.19	0.46	5.07	5.83
	T5	0.14	10.55	12.05	11.13	0.47	2.36	2.70	4.49	5.28	0.49	4.99	5.77
WNW	T0	0.08	7.59	7.87	8.00	0.22	1.71	2.03	3.83	4.52	0.23	4.33	4.97
	T1	0.10	8.44	9.26	8.90	0.29	1.93	2.24	4.06	4.78	0.31	4.48	5.17
	T2	0.12	9.89	12.82	10.43	0.36	2.11	2.46	4.23	4.98	0.38	4.81	5.54
	T3	0.12	11.03	12.82	11.64	0.43	2.26	2.70	4.38	5.16	0.44	4.84	5.60
	T4	0.10	11.59	12.82	12.23	0.49	2.40	2.97	4.53	5.33	0.50	4.79	5.59
	T5	0.08	12.41	12.82	13.09	0.56	2.53	2.98	4.65	5.48	0.56	4.81	5.64
W	T0	0.01	6.67	7.09	7.03	0.15	1.44	1.85	3.57	4.20	0.15	3.58	4.21
	T1	0.02	8.62	8.93	9.09	0.21	1.65	2.03	3.77	4.44	0.21	3.80	4.47
	T2	0.05	8.88	8.93	9.37	0.28	1.83	2.46	3.95	4.66	0.28	4.09	4.78
	T3	0.04	9.08	9.71	9.58	0.35	1.99	2.70	4.12	4.85	0.35	4.19	4.91
	T4	0.03	9.57	9.80	10.10	0.42	2.15	2.97	4.27	5.03	0.42	4.29	5.05
	T5	0.02	9.39	12.82	9.91	0.48	2.28	2.46	4.41	5.19	0.48	4.41	5.20
WZW	T0					0.08	1.03	0.86	3.16	3.72	0.08	3.16	3.72
	T1					0.11	1.14	0.95	3.27	3.85	0.11	3.27	3.85
	T2					0.13	1.25	1.04	3.37	3.97	0.13	3.37	3.97
	T3					0.16	1.34	1.15	3.47	4.08	0.16	3.47	4.08
	T4					0.18	1.43	1.26	3.55	4.18	0.18	3.55	4.18
	T5					0.20	1.50	1.26	3.63	4.27	0.20	3.63	4.27
ZW	T0					0.06	1.00	2.03	3.12	3.67	0.06	3.12	3.67
	T1					0.08	1.12	2.23	3.25	3.82	0.08	3.25	3.82
	T2					0.10	1.24	2.46	3.36	3.96	0.10	3.36	3.96
	T3					0.12	1.35	2.46	3.47	4.09	0.12	3.47	4.09
	T4					0.14	1.45	2.70	3.58	4.21	0.14	3.58	4.21
	T5					0.16	1.54	2.97	3.66	4.31	0.16	3.66	4.31

Tabel 7 – parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2050

		M21BW				SWAN					Eq. enkelpiekig spectrum		
		H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s] (*)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>m-1,0</sub> [s] (**)	T <sub>p</sub> [s](+)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
NO	T0					0.08	1.20	1.52	3.33	3.92	0.08	3.33	3.92
	T1					0.11	1.34	1.68	3.46	4.08	0.11	3.46	4.08
	T2					0.14	1.47	1.85	3.59	4.23	0.14	3.59	4.23
	T3					0.17	1.59	2.03	3.71	4.37	0.17	3.71	4.37
	T4					0.20	1.71	2.03	3.84	4.52	0.20	3.84	4.52
	T5					0.24	1.82	2.23	3.94	4.64	0.24	3.94	4.64
NNO	T0	0.04	6.20	6.02	6.54	0.14	1.45	1.68	3.57	4.20	0.14	3.73	4.35
	T1	0.05	7.77	7.58	8.20	0.19	1.65	1.85	3.77	4.44	0.20	4.05	4.71
	T2	0.06	8.44	8.85	8.91	0.25	1.84	2.03	3.96	4.67	0.26	4.19	4.88
	T3	0.05	9.49	8.93	10.01	0.31	2.01	2.23	4.14	4.87	0.32	4.25	4.98
	T4	0.04	10.86	12.82	11.46	0.38	2.17	2.46	4.29	5.06	0.38	4.37	5.13
	T5	0.03	11.52	12.66	12.16	0.44	2.32	2.70	4.44	5.23	0.44	4.48	5.27
N	T0	0.03	6.69	7.30	7.06	0.16	1.52	1.68	3.64	4.29	0.16	3.73	4.37
	T1	0.03	7.91	8.93	8.34	0.22	1.74	2.03	3.86	4.55	0.23	3.95	4.63
	T2	0.11	9.44	9.71	9.96	0.29	1.94	2.23	4.07	4.79	0.31	4.72	5.42
	T3	0.10	10.71	11.36	11.30	0.36	2.13	2.46	4.25	5.01	0.38	4.72	5.46
	T4	0.09	11.54	12.82	12.17	0.44	2.30	2.70	4.43	5.21	0.44	4.69	5.47
	T5	0.06	12.24	12.82	12.91	0.51	2.47	2.97	4.59	5.41	0.51	4.69	5.51
NNW	T0	0.17	7.33	8.93	7.74	0.22	1.71	2.03	3.84	4.52	0.28	5.13	5.71
	T1	0.17	7.90	9.71	8.34	0.29	1.93	2.23	4.05	4.77	0.33	5.01	5.66
	T2	0.19	9.07	11.36	9.57	0.35	2.09	2.46	4.21	4.96	0.40	5.36	6.05
	T3	0.16	9.98	11.36	10.53	0.41	2.23	2.46	4.35	5.13	0.44	5.14	5.88
	T4	0.12	10.27	12.05	10.84	0.46	2.36	2.70	4.49	5.28	0.48	4.86	5.64
	T5	0.11	10.44	12.05	11.01	0.52	2.48	2.97	4.60	5.42	0.53	4.86	5.67
-37°N	T0	0.04	6.20	6.02	7.59	0.24	1.77	2.03	3.89	4.59	0.30	5.09	5.67
	T1	0.05	7.77	7.58	7.96	0.30	1.96	2.23	4.08	4.81	0.35	5.05	5.69
	T2	0.06	8.44	8.85	8.67	0.36	2.10	2.46	4.23	4.98	0.40	5.09	5.77
	T3	0.05	9.49	8.93	9.24	0.41	2.23	2.46	4.35	5.12	0.44	4.96	5.69
	T4	0.04	10.86	12.82	9.94	0.45	2.33	2.70	4.46	5.25	0.47	4.84	5.61
	T5	0.03	11.52	12.66	10.35	0.50	2.43	2.70	4.55	5.36	0.51	4.82	5.61

(\*) gevalideerde T<sub>p</sub>-waarden berekend als  $T_p = 1.055 * T_{m-1,0\_ORIG}$  (zie hoger).

(+) gevalideerde T<sub>p</sub>-waarden berekend als  $T_p = 1.178 * T_{m-1,0\_ORIG} + 2.5$  (s) (zie hoger)

(\*\*) gevalideerde T<sub>m-1,0</sub> waarden berekend als  $T_{m-1,0} = T_{m-1,0\_ORIG} + 2.5/1.178$  (s) (zie hoger).

Tabel 7 – parameters invallende kortegolfspectrum ter hoogte van de Demeysluis, scenario 2050 (vervolg)

		M21BW				SWAN					Eq. enkelpiekig spectrum		
		H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s] (*)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0_ORIG</sub> [s]	T <sub>p_ORIG</sub> [s]	T <sub>m-1,0</sub> [s] (**)	T <sub>p</sub> [s](+)	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>m-1,0</sub> [s]	T <sub>p</sub> [s]
NW	T0	0.17	7.12	7.87	7.51	0.24	1.78	2.03	3.91	4.60	0.30	4.99	5.59
	T1	0.21	8.03	7.58	8.47	0.30	1.94	2.23	4.07	4.79	0.37	5.43	6.06
	T2	0.23	8.92	11.36	9.42	0.34	2.07	2.46	4.20	4.94	0.42	5.68	6.35
	T3	0.23	9.59	11.36	10.11	0.39	2.18	2.46	4.30	5.07	0.45	5.67	6.37
	T4	0.13	10.45	12.05	11.03	0.43	2.28	2.70	4.41	5.19	0.45	4.93	5.69
	T5	0.13	11.22	12.05	11.84	0.47	2.36	2.70	4.49	5.28	0.49	4.99	5.78
WNW	T0	0.08	7.59	7.87	8.00	0.22	1.72	2.03	3.84	4.52	0.23	4.33	4.97
	T1	0.10	8.44	9.26	8.90	0.29	1.94	2.24	4.06	4.78	0.31	4.48	5.17
	T2	0.12	9.89	12.82	10.43	0.36	2.11	2.70	4.23	4.99	0.38	4.81	5.54
	T3	0.12	11.03	12.82	11.64	0.43	2.27	2.70	4.39	5.17	0.44	4.84	5.61
	T4	0.10	11.59	12.82	12.23	0.49	2.41	2.97	4.53	5.33	0.50	4.79	5.59
	T5	0.08	12.41	12.82	13.09	0.56	2.53	2.98	4.65	5.48	0.56	4.82	5.64
W	T0	0.01	6.67	7.09	7.03	0.15	1.45	1.85	3.57	4.20	0.15	3.58	4.22
	T1	0.02	8.62	8.93	9.09	0.21	1.65	2.23	3.78	4.45	0.21	3.81	4.48
	T2	0.05	8.88	8.93	9.37	0.28	1.83	2.46	3.96	4.66	0.28	4.09	4.79
	T3	0.04	9.08	9.71	9.58	0.35	2.00	2.70	4.12	4.85	0.35	4.19	4.92
	T4	0.03	9.57	9.80	10.10	0.42	2.15	2.97	4.28	5.03	0.42	4.29	5.05
	T5	0.02	9.39	12.82	9.91	0.49	2.29	2.46	4.41	5.19	0.49	4.42	5.20
WZW	T0					0.08	1.03	0.86	3.15	3.71	0.08	3.15	3.71
	T1					0.11	1.15	0.95	3.27	3.85	0.11	3.27	3.85
	T2					0.13	1.25	1.04	3.38	3.98	0.13	3.38	3.98
	T3					0.16	1.35	1.15	3.47	4.08	0.16	3.47	4.08
	T4					0.18	1.43	1.26	3.55	4.18	0.18	3.55	4.18
	T5					0.21	1.51	1.26	3.64	4.28	0.21	3.64	4.28
ZW	T0					0.06	1.00	2.03	3.12	3.68	0.06	3.12	3.68
	T1					0.08	1.13	2.23	3.25	3.83	0.08	3.25	3.83
	T2					0.10	1.24	2.46	3.36	3.96	0.10	3.36	3.96
	T3					0.12	1.35	2.46	3.48	4.10	0.12	3.48	4.10
	T4					0.14	1.46	2.70	3.58	4.22	0.14	3.58	4.22
	T5					0.16	1.54	2.97	3.67	4.32	0.16	3.67	4.32

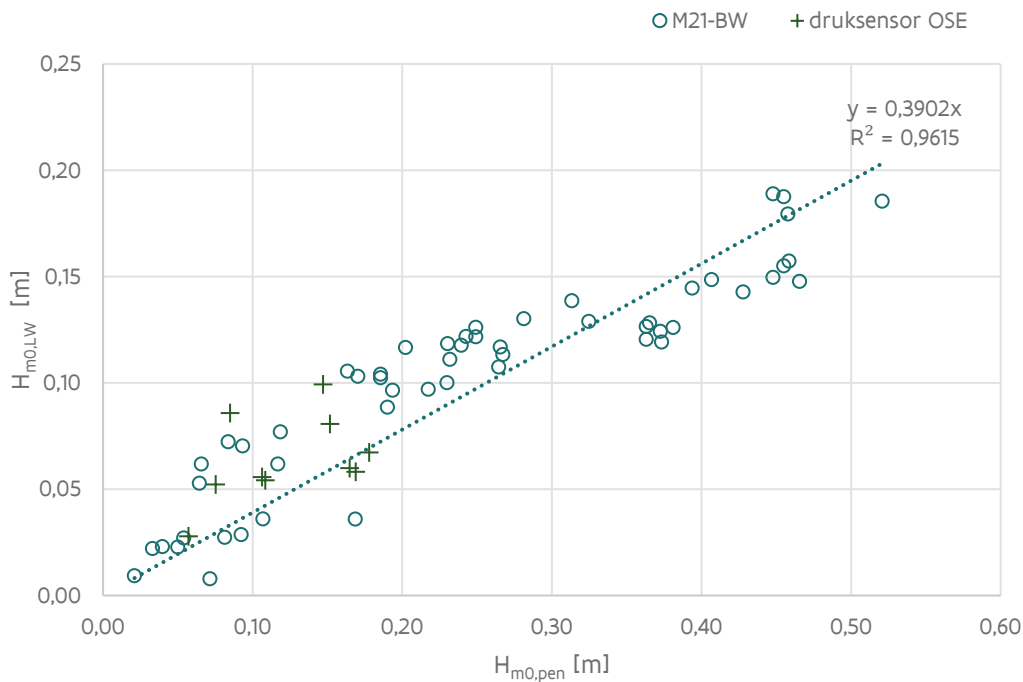
## 2.5 Golftransformatie Demeysluis

De modelresultaten worden in deze sectie voorgesteld in een vorm die toelaat de golftransformatie te beschrijven tussen een opgelegde (richtingsafhankelijke) randvoorwaarde (de waterstand en golfcondities buitengaats en de lokale windsnelheid) en de kenmerken van de golf ter plaatse van de deur van de Demeysluis. Dit stelt de gebruiker van deze resultaten in staat om het lokale golfveld te berekenen in functie van een gekozen randvoorwaarde.

### 2.5.1 Lange golven ( $f < 0.05$ Hz)

Voor toepassing in de probabilistische analyse (zie §3.1.1) wordt voorgesteld om de golfhoogte van de lange golven ( $H_{m0,LW}$ , 0.002-0.05 Hz) af te leiden uit de significante golfhoogte van de indringingsgolven ( $H_{m0,pen}$ ,  $>0.05$  Hz).

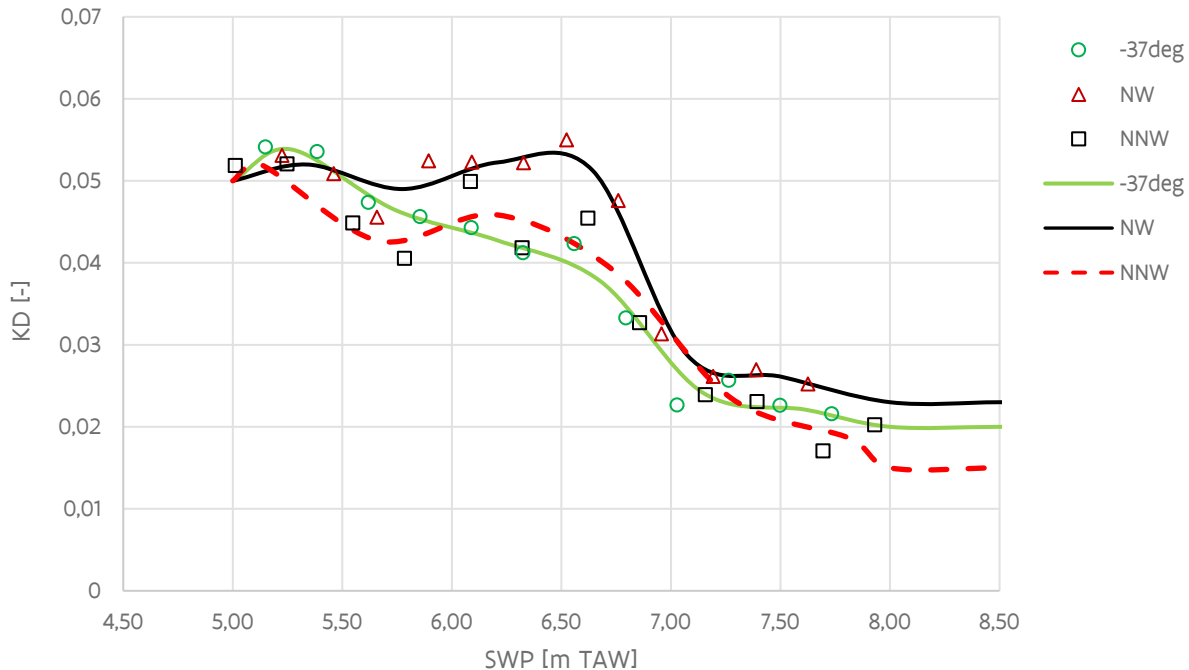
Figuur 20 toont het gefitte lineaire verband:  $H_{m0,LW} = 0.39 * H_{m0,pen}$ . Deze fit is onafhankelijk van de golfrichting buitengaats tussen (NNO en W). De vergelijking met de gemeten waarden nabij de ingang van de Demeysluis lijkt de trend te bevestigen, weliswaar in een beperkte range van waargenomen indringingsgolven (0.05-0.2 Hz).



Figuur 20 –  $H_{m0}$  lange golven i.f.v. golfindringing t.p.v. Demeysluis

## 2.5.2 Golfindringing

De invallende *diffractioncoëfficiënt* (KD) is in principe onafhankelijk van de golfhoogte, voor zover er geen brekingsprocessen optreden tussen de modelrand en de haveningang of in bepaalde ondiepe zones van de haven. In de toepassing van de KD-factor mag de modelrand gelijkgesteld worden met uitvoerlocatie 117 in het Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (Vuik *et al.*, 2020)<sup>17</sup>.



Figuur 21 – invallende KD-coëfficiënt t.p.v. Demeysluis, golfrichting NW, NNW en -37° N

Figuur 21 toont de KD-coëfficiënten voor de golfrichtingen NW, NNW en -37°N in functie van de waterstand (SWP). De symbolen tonen de gemodelleerde waarden. Bemerkt dat deze punten geen monotoon stijgend of dalend verloop kennen, dit is het gevolg van de verschillen tussen de simulaties voor eenzelfde retourperiode met en zonder zeespiegelstijging. Voor een praktische toepassing wordt voorgesteld de uitgemiddelde curves te gebruiken. Het bereik van deze curves werd artificeel uitgebreid tussen +5 en +10 m TAW. De punten (getalwaarden) die deze KD-curves bepalen zijn opgenomen in Bijlage D<sup>18</sup>.

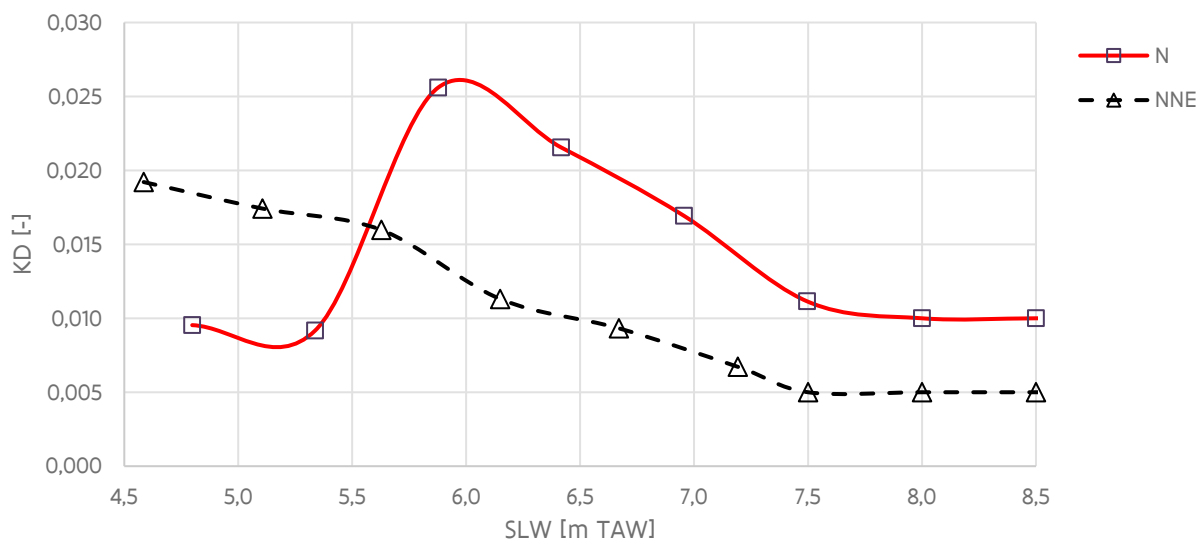
De krommen vertonen een maximum rond + 6.0 m TAW. Dit kan toegeschreven worden aan de maximale reflectie in het Montgomerydok rond deze waterstand. Voor hogere waterstanden neemt de KD-coëfficiënt terug af wegens de golftransmissie over de kaivlakken.

Figuur 22 en Figuur 23 geven de KD-curves weer voor resp. richtingen N, NNO en W,WNW. Het bereik van deze curves werd artificeel uitgebreid tussen +5 en +10 m TAW. Getalwaarden die deze KD-curves bepalen zijn opgenomen in Bijlage D KD-krommen Mike21-BW.

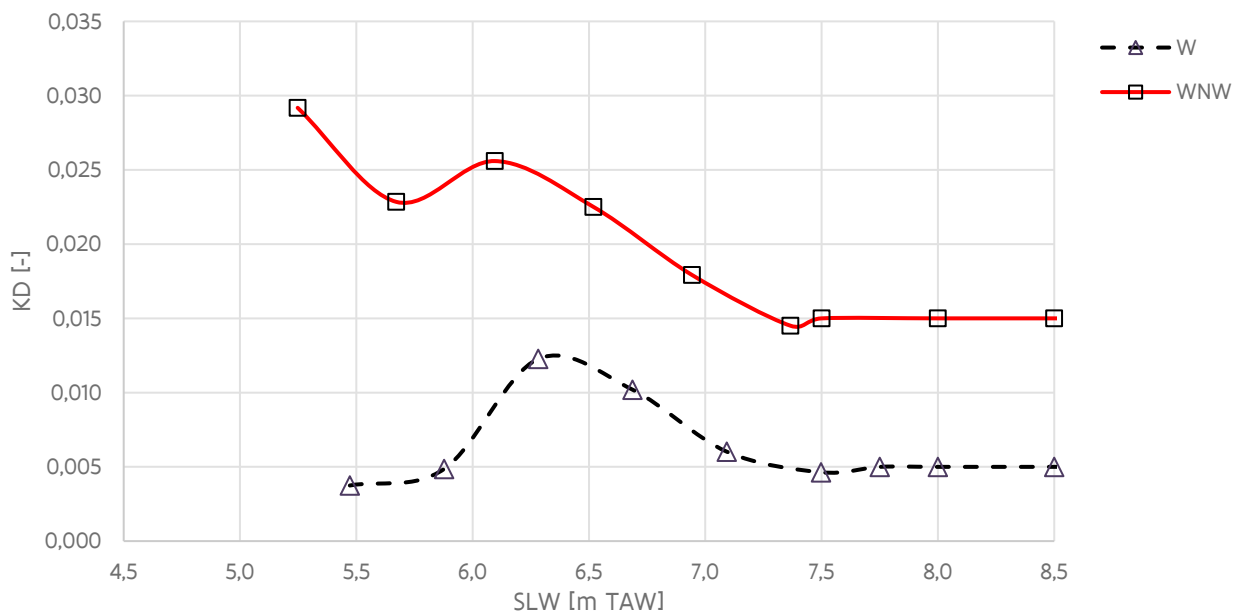
<sup>17</sup> uitvoerpunt 117 nabij de haveningang Oostende : X=493920.54 m ,Y= 5677439.60 m UTM31 WGS84, Z=-7.78 m TAW volgens BCP2020.

<sup>18</sup> Voor praktisch gebruik kan kubische interpolatie toegepast worden teneinde de krommen in Figuur 15 te benaderen.





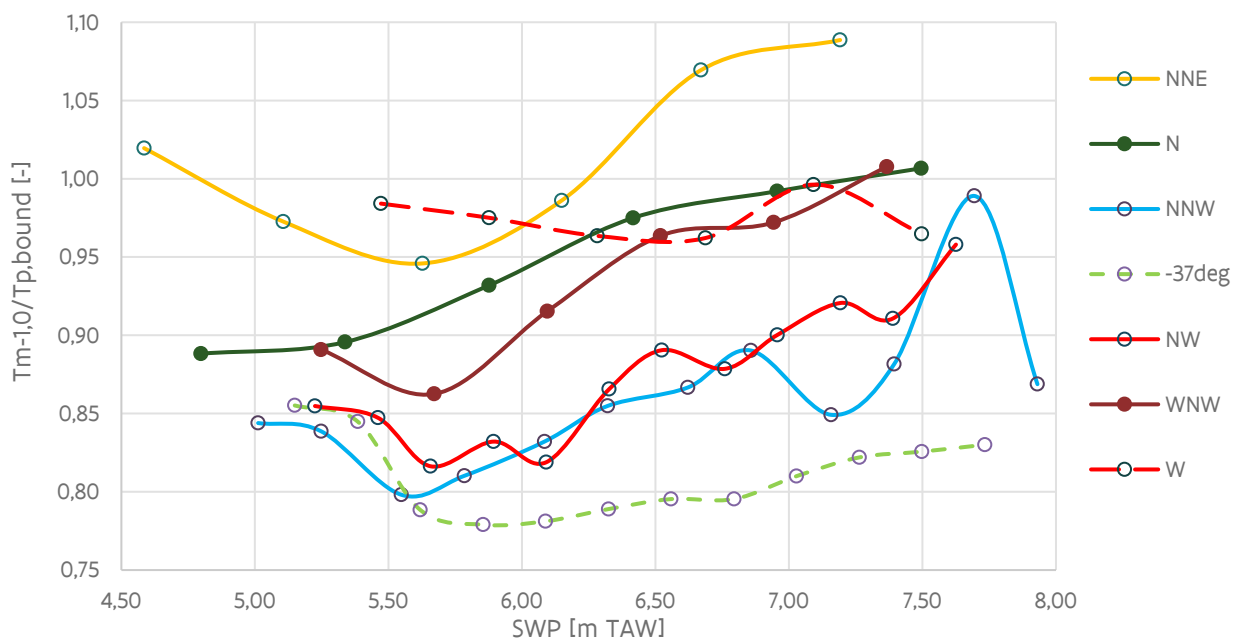
Figuur 22 – KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis, golfrichting N en NNO



Figuur 23 – KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis, golfrichting W en WNW

Naast de transformatie van de golfhoogte dient ook de transformatie van de golfperiode in Mike21-BW gekarakteriseerd te worden. Figuur 24 toont de verhouding van de gemodelleerde spectrale golfperiode  $T_{m-1,0}$  t.o.v. de opgelegde golfpiekperiode  $T_{p,bound}$  op de modelrand. Deze verhouding heeft als gemiddelde/standaardafwijking 0.90/0.08 (0.88/0.07 voor sectoren N tot W). Als (veilige) benadering wordt voorgesteld om de spectrale golfperiode gelijk te stellen aan de piekperiode buitengaats.

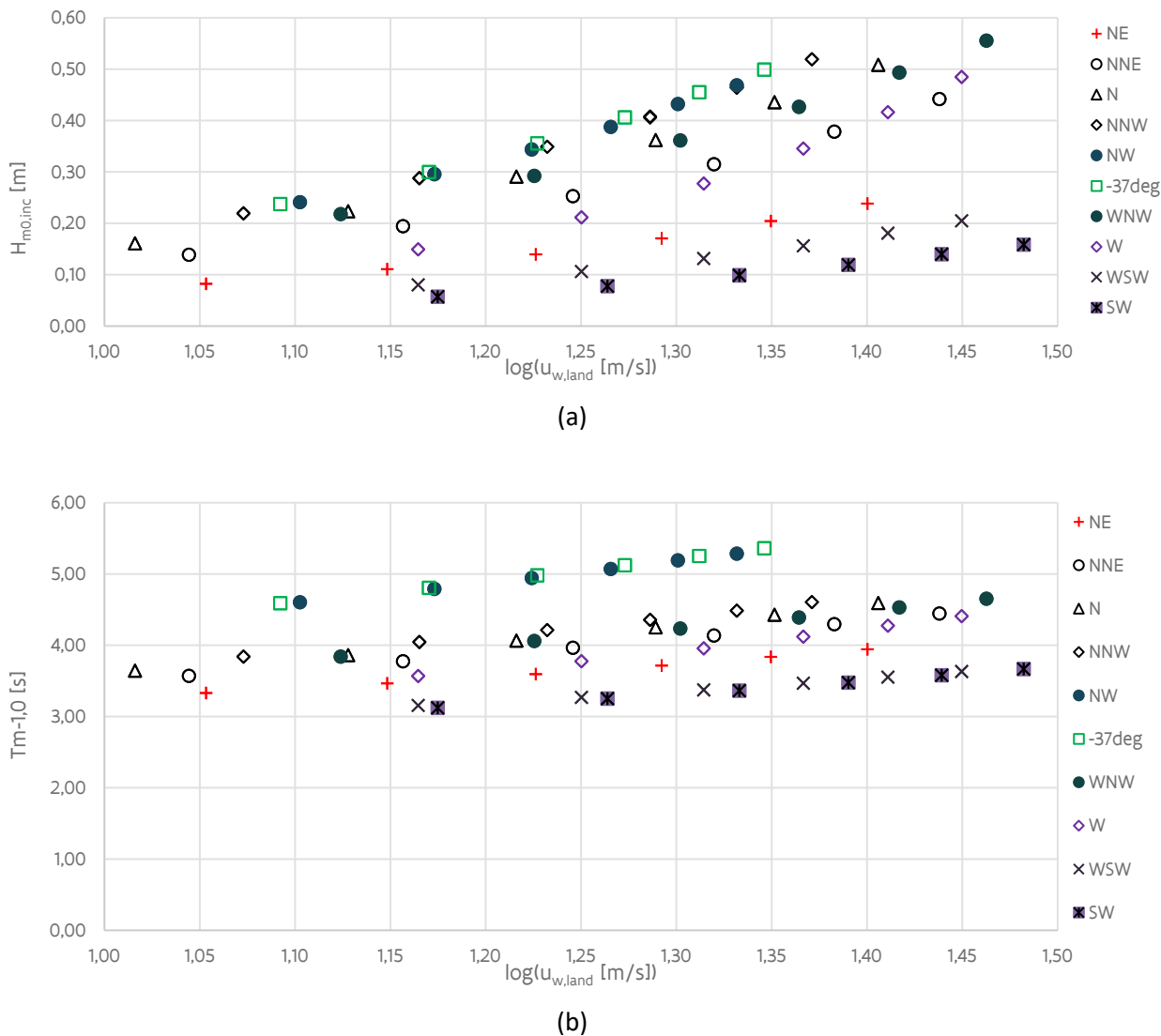
De golfpiekperiode door golfindringing t.p.v. de Demeysluis kan berekend worden op basis van de spectrale periode :  $T_p = 1.055 * T_{m-1,0}$ . (zie § 2.4.2).



Figuur 24 – Verhouding spectrale golfperiode  $T_{m-1,0}$  (t.p.v. Demeysluis) tot  $T_p$  buitengaats i.f.v. waterstand.

### 2.5.3 Windgolven

Uit de analyse van de golfhoogte en -periode ter plaatse van de Demeysluis blijkt dat deze sterk gecorreleerd zijn met de windsnelheid (Figuur 25). Fysische processen gerelateerd aan de waterdiepte spelen hier niet mee in de lokale opwekking van golven, maar er is wel onrechtstreeks een invloed van de waterstand via de in SWAN toegepaste reflectiecoëfficiënten langs de modelranden van het havenbekken. Merk op dat de beschikbare modelresultaten impliciet een correlatie tussen waterstand en windsnelheid bevatten wegens de geselecteerde combinaties waterstand-windsnelheid op hun beider (richtingsafhankelijke) marginale verdeling.



Figuur 25 – SWAN (invalende)  $H_{m0}$  (a),  $T_{m-1,0}$  (b) tpv. sluisdeur Demeysluis in functie van lokale windsnelheid

Voor de verschillende windrichtingen wordt een lineair verband afgeleid<sup>19</sup> tussen het logaritme van de lokale windsnelheid (zie §2.3) en de invallende golfhoogte en spectrale periode<sup>20</sup>:

$$H_{m0,inc} = h_1 \log u_{w,land} + h_2$$

$$T_{m-1,0} = t_1 \log u_{w,land} + t_2$$

De totale golfhoogte ter plaatse van de sluisdeur kan afgeleid worden uit de invallende golfhoogte als:

$$H_{m0,tot} = (1 + C_R) * H_{m0,inc}$$

met  $C_R$  de waarde voor de (waterstandsafhankelijke) reflectiecoëfficiënt.

De geschatte golfpiekperiode voor gebruik in het golfbelastingmodel (§ 3.1) bedraagt:  $T_p = 1.178 * T_{m-1,0}$  (zie § 2.4.2).

Tabel 8 – Regressiecoëfficiënten SWAN-gemodelleerde golfparameters tpv. Demeysluis

	$h_1$ [m*log(s/m)]	$h_2$ [m]	$t_1$ [s*log(s/m)]	$t_2$ [s]
NO	0.505	-0.476	1.903	1.268
NNO	0.877	-0.832	2.377	1.011
N	1.022	-0.942	2.624	0.886
NNW	1.119	-1.024	2.709	0.881
-37°N	1.135	-1.033	2.684	0.934
NW	1.096	-0.995	2.661	0.940
WNW	1.108	-1.075	2.507	0.975
W	1.367	-1.510	3.179	-0.212
WZW	0.494	-0.515	1.818	0.989
ZW	0.371	-0.393	1.918	0.816

<sup>19</sup> In de lineaire regressie worden enkel de resultaten T1-T5 meegenomen, vermits dit de kwaliteit van de regressie ten goede komt en bij voorkeur de golfkarakteristieken nauwkeurig(er) voorspeld worden in het extreme(re) bereik van windsnelheden.

<sup>20</sup> Berekend als  $T_{m-1,0\_ORIG} + 2.5/1.178$  (s) na toepassing van de biascorrectie van 2.5 s op de golfpiekperiode.

## 3 Golfbelasting bij aanlandige wind

### 3.1 Methodiek

#### 3.1.1 Invloed lange golven

De invloed van de langegolfcomponent ( $f < 0.05$  Hz) ten gevolge van resonantie in de berekening van het drukprofiel onder een golfkruin resp. golfdal wordt in aanmerking genomen door het verhogen, resp. verlagen, van het stilwaterpeil met de halve laagfrequente *totale* significante golfhoogte  $H_{m0}$  (zie Tabel 4 en Tabel 5). Hierdoor wordt telkens de meest nadelige situatie beschouwd.

#### 3.1.2 Omzetting kortegolfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht

In dit rapport wordt de golfbelasting op het kunstwerk op 3 manieren berekend: (i) volgens de methode Goda-Takahashi (2010), (ii) op basis van een samengesteld drukprofiel met dubbele toepassing van de lineaire golftheorie voor de bijdragen van golfindringing en windgolven afzonderlijk en (iii) a.d.h.v. de lineaire golftheorie en spectraalmethode (*SLWT*).

#### Methodie Goda-Takahashi

Bij de methode **Goda-Takahashi** (hierna verder afgekort tot 'Goda methode') zijn de volgende aannames en parameterwaarden van toepassing (zie ook Bijlage D in Bree *et al.*, 2018):

- de *invallende* significante golfhoogte ( $H_s \approx H_{m0}$ ) ter plaatse van het kunstwerk wordt als invoer gebruikt, welke overeenstemt met een significante golfkracht  $F_s$ ;
- de golflengte wordt berekend op basis van de golfpiekperiode  $T_p$ ;
- een dichtheid van zeewater  $\rho_w = 1025$  kg/m<sup>3</sup>;
- loodrechte golfinval, opgelegd door de relatief smalle toegang tot de Demeysluis ;
- de golfdrukformules veronderstellen 100 % golfreflectie, waardoor een eventuele overschatting van de belasting te verwachten is bij optreden van significante golfoverslag of overloop;
- het Goda model heeft betrekking op de belasting onder een golfkruin. Voor een golfdal kunnen de berekeningsdiagrammen in sectie 4.2.3 in Goda (2010) gebruikt worden. Deze leveren de totale kracht onder een golfdal, het aangrijpingspunt van de resultante en druk ter hoogte van de bodem. Deze diagrammen werden theoretisch afgeleid voor staande (niet-brekende) golven. Deze diagrammen werden echter niet toegepast in deze studie;
- de methode is ontwikkeld voor unimodale spectra (vertoont 1 energiepiek) en is minder geschikt indien zowel lokale windgeneratie als golfindringing een gelijkwaardige energie-inhoud vertonen. Als alternatief kan een 'equivalente' waarde  $T_{p,eq}$  gebruikt worden (van der Meer *et al.*, 2002), berekend als:

$$T_{p,eq} = \left( \frac{H_{m0,swell}}{H_{m0,tot}} \right)^2 T_{p,swell} + \left( \frac{H_{m0,wind}}{H_{m0,tot}} \right)^2 T_{p,wind} \quad (1)$$

waarbij ( $H_{m0,swell}, T_{p,swell}$ ) en ( $H_{m0,wind}, T_{p,wind}$ ) de combinatie significante golfhoogte, golfpiekperiode van resp. de golfindringings- en windgolfcomponente zijn.

### Lineaire golftheorie – kwadratische sommatie

De significante golfkracht  $F_{s,dal}$  (kracht per eenheidsbreedte op een vlakke wand) onder een golfkruin wordt op basis van de lineaire golftheorie (LWT) berekend als de geïntegreerde druk tussen de onderzijde van de sluisdeur  $z_{d,bot}$  en  $z_{kr}$  (=minimum van peil golfkruin ( $SWP+0.5 * (1 + CR) * H_{m0,inc}$ ) of kruinpeil  $z_{d, cr}$  van de constructie):

$$F_{s,kr} = \frac{(1+CR)\rho_w g H_{s,inc}}{2} * \left[ \int_{z_{d,bot}}^0 \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} dz + \int_0^{z_{kr}} \left( 1 - \frac{z}{(1+CR)H_{m0,inc}/2} \right) dz \right] \quad (2)$$

waarbij  $H_{s,inc}$  de invallende significante golfhoogte ( $H_{s,inc} \approx H_{m0,inc}$ ) en  $k = 2\pi/L_p$  het golfgetal op basis van de golfpiekperiode  $T_p$ .

Analoog wordt de golfkracht  $F_{s,dal}$  onder een golfdal (tegengesteld aan de invalrichting van de golven) berekend door integratie van de golfdruk tussen  $z_{d,bot}$  en  $z_{dal}$  (=minimum van peil golfdal ( $SWP-0.5 * (1 + CR) * H_{m0,inc}$ ) of kruinpeil  $z_{d, cr}$  van de constructie):

$$F_{s,dal} = - \frac{(1+CR)\rho_w g H_{s,inc}}{2} * \int_{z_{d,bot}}^{z_{dal}} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} dz \quad (3)$$

Bij voorkomen van een bimodaal (dubbelpiekgig) golfspectrum is het toepassen van **kwadratische sommatie (LWT-QS)** van de resultaten van de lineaire golftheorie van de afzonderlijke componenten van golfindringing  $F_{LWT,swell}$  en windgolven  $F_{LWT,sea}$  een goede benadering van de spectrale lineaire golftheorie (Tuin, 2022):

$$F_{LWT,QS} = \sqrt{F_{LWT,swell}^2 + F_{LWT,sea}^2} \quad (4)$$

### Lineaire golftheorie – spectrale methode

De resultaten uit de spectraalmethode gebaseerd op de lineaire golftheorie worden hierna aangeduid met de notatie **SLWT**. In deze berekeningswijze wordt het (invallende) energiedichtheidsspectrum  $S_{\eta\eta}(f)$  ( $m^2s$ ) omgezet in een (diepte-afhankelijk) drukspectrum en krachtspectrum d.m.v. druk- en krachtresponsfuncties ( $R_{\eta p}$  en  $R_{\eta F}$ ) die gebaseerd zijn op de lineaire golftheorie:

$$S_{pp}(f, z) = R_{\eta p}^2(f, z) \cdot S_{\eta\eta}(f) \quad (5)$$

$$S_{FF}(f) = R_{\eta F}^2(f, z) \cdot S_{\eta\eta}(f) \quad (6)$$

In de uitdrukking van de druk- en krachtresponsfuncties wordt gebruik gemaakt van een referentieamplitude ( $a_{ref}$ ) die gelijkgesteld wordt aan de helft van de invallende significante golfhoogte ( $H_{m0}$ ), volgens de aanbeveling in Tuin et al. (2022). De methode maakt gebruik van invallende golfkarakteristieken en een mate van golfreflectie die hoofdzakelijk afhankelijk is van het vrijboord. De significante golfdruk (op diepte  $z$ ) en golfkracht worden berekend als:

$$p_{m0}(z) = 2\sqrt{m_{0,p}(z)} \quad (7)$$

$$F_{m0} = 2\sqrt{m_{0,F}} \quad (8)$$

met  $m_{0,p(z)}$  en  $m_{0,F}$  resp. het 0-de orde moment van het druk en krachtspectrum. Voor meer info i.v.m. de uitwerking van de responsfuncties wordt verwezen naar van Maris (2018) of Tuin et al. (2022).

### 3.1.3 Kansverdeling golfkrachten en drukprofielen

De verdeling van individuele golfhoogtes binnen een golfspectrum van niet-brekende golven kan met goede benadering d.m.v. een Rayleigh verdeling beschreven worden. Dit geldt zowel voor enkeltoppige als dubbeltoppige golfspectra (Goda, 2010).

De kans op overschrijden van een golfkracht kan conditioneel aan het golfveld beschouwd worden<sup>21</sup>. In Tuin (2022) wordt op basis van experimenteel gemeten golf- en golfkrachtspectra aangetoond dat de krachten Rayleigh verdeeld zijn, zowel voor enkeltoppige als dubbeltoppige spectra.

De overschrijdingskans van de golfkracht  $F$  op basis van de Rayleigh verdeling luidt<sup>22</sup>:

$$P(F) = \exp \left[ -2 \left( \frac{F}{F_s} \right)^2 \right] \quad (9)$$

waarin  $F_s$  de significante golfkracht als schaalparameter, berekend op basis van  $H_s \approx H_{m0}$ . De significante golfkracht heeft een overschrijdingskans van 13.5%. Eenmaal de waarde  $F_s$  gekend, levert vergelijking (9) de golfkrachtwaarde voor een willekeurige overschrijdingskans.

Op dezelfde manier als voor de golfkracht kan ook het significante drukprofiel verschaald worden op basis van een Rayleigh verdeling met de significante golfdruk als schaalparameter.

### 3.1.4 Geometrische kenmerken Demeysluis

Volgende peilen werden afgelezen op het As Built plan 016 revC As Built.dwg "Puntdeuren type 2A en 2B - Positie van de gaten in de achterplaat tbv de wrijfhouten - Overzichtsplan + type bevestiging" door afdeling Kust ter beschikking gesteld.

- Bodempeil ter plaatse van sluiskolk: -5.1 m TAW.
- Onderzijde vloeddeuren: -4.95 m TAW
- Drempel -4.7 m TAW
- Kruinpeil vloeddeuren: +8.00 m TAW.
- De belastbare breedte van een enkele puntdeur bedraagt 9.97 m. In dit rapport worden de golfkrachten echter per eenheidsbreedte uitgedrukt.

## 3.2 Resultaten hoogwatersituatie

### 3.2.1 Golfkrachten

Figuur 32 stelt de dimensieloze significante golfkracht ( $F_{m0}^* = F_{m0}/\rho g H_{m0,inc} h$ ) onder een golfkruin voor i.f.v. de relatieve waterdiepte  $k_p h$ <sup>23</sup>. Hoewel dit volgens Tuin et al. (2022) geen correcte werkwijze is, wordt de golfkracht uit de spectraalmethode (SLWT) ook berekend door het drukprofiel te integreren over de diepte ( $F_{SLWT\_intp}$ ),.

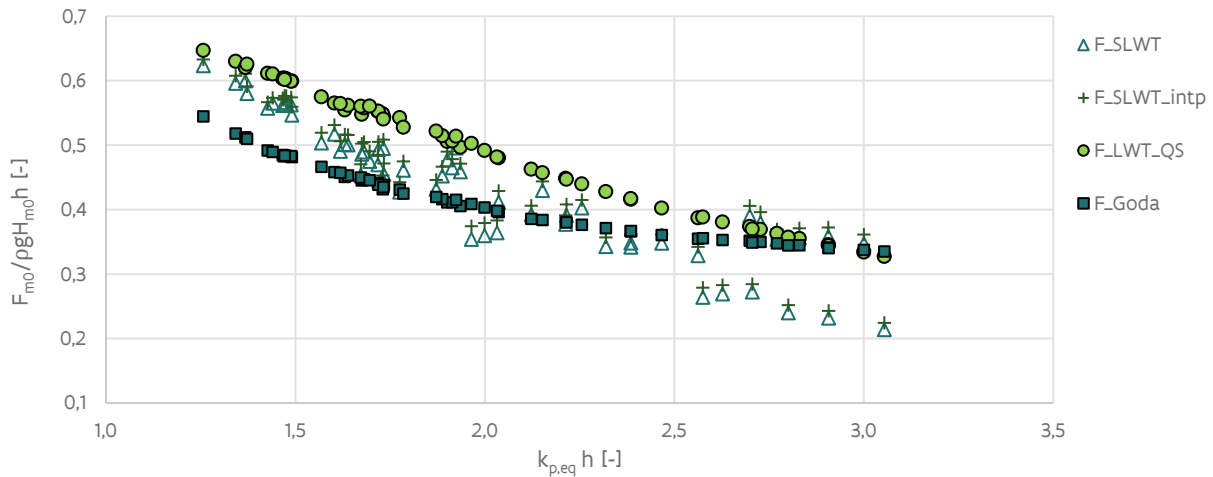
<sup>21</sup> Indien er destructieve interferentie optreedt tussen de inkomende en gereflecteerde golf kan in principe de 1-op-1 relatie tussen golfhoogte en golfkracht verbroken worden, waardoor de kansverdelingen van golven en krachten onderling kunnen afwijken.

<sup>22</sup> Afgeleid op basis van  $tP \left( \frac{H}{\bar{H}} \right) = \exp \left[ -\frac{\pi}{4} \left( \frac{H}{\bar{H}} \right)^2 \right]$  en  $H_s \cong 1.6 \bar{H}$  (zie hoofdstuk 2 Goda (2010))

<sup>23</sup>  $k_p = 2\pi/L_p$ , met  $L_p$  de golflengte berekend op basis van de golfpiekperiode en de waterdiepte  $h$ . In de voorstelling van  $F^*$  op basis van LWT-QS wordt  $k_p h$  op berekend met  $T_{p,eq}$  (zie vgl. (1)).

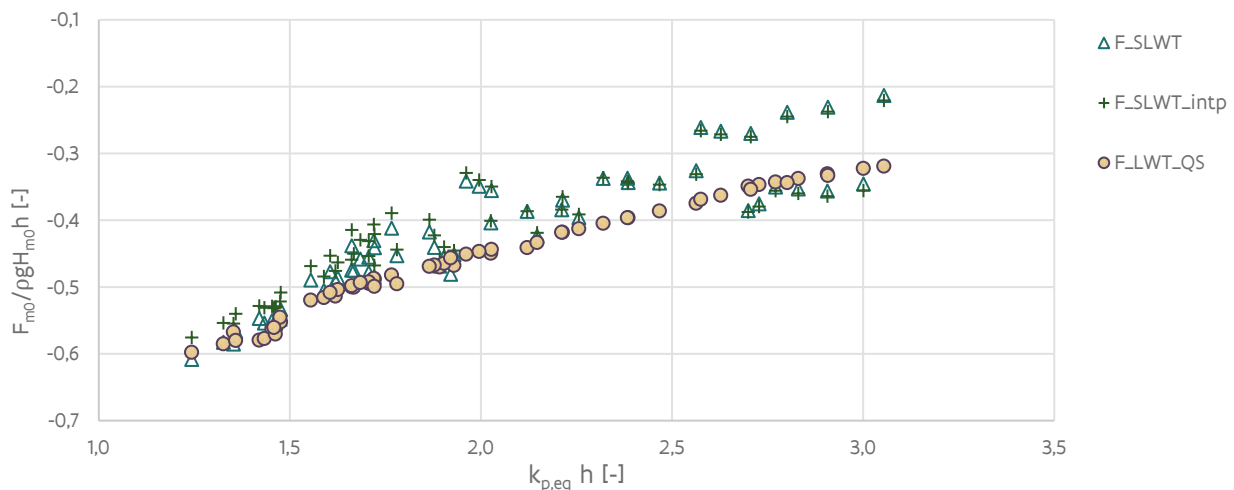
De vergelijking toont echter aan dat de verschillen tussen beide beperkt zijn: de geïntegreerde waarde resulteert gemiddeld in een 3% grotere krachtresultante onder golfkruin en een 2% lagere waarde bij golfdal<sup>24</sup>, in vergelijking met de waarde berekend op basis van de krachtresponsiefactor.

De krachtwaarden zijn het grootst op basis van de methode met kwadratische sommatie (FLWT\_QS): gemiddeld 16% hoger, met uitschieters tot 50% hoger voor richting ZW. Zoals vermeld in Tuin et al. (2022) levert de Goda methode een onderschatting van de golfkrachten voor waarden van relatieve waterdiepte ( $k_p h$ ) lager dan 2.5.



Figuur 26 – Dimensieloze golfkracht onder golfkruin voor verschillende berekeningswijzen (resultaten 2020)

Figuur 33 toont analoog de dimensieloze golfkracht onder een golfdal. De krachtwaarden zijn het grootst op basis van de methode met kwadratische sommatie (FLWT\_QS): gemiddeld 10% hoger, met uitschieters tot 50% hoger voor richting ZW.



<sup>24</sup> In de integratie van de golfdruk werd gerekend vanaf de onderzijde van de deuren (-4.95 m TAW). Voor de krachtresponsiefactor werd gerekend op basis van de theoretische uitdrukking in Tuin et al. (2022) waarbij vanaf het bodempeil (-5.1 m TAW) geïntegreerd wordt. Dit gegeven heeft ook een (minimale) invloed in de vergelijking tussen beide berekeningswijzen.



Figuur 27 – Dimensieloze golfkracht onder golfdal voor verschillende berekeningswijzen (resultaten 2020)

Tabel 9 en 10 bevatten de gerapporteerde krachtwaarden (per eenheidsbreedte) op basis van de lineaire golftheorie met kwadratische sommatie, voor resp. het scenario 2020 en 2050.

Tabel 9 – Significante golfkrachten onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2020

		SWP(*) [m TAW]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>p,eq</sub> [s]	F <sub>s,kruin</sub> [kN/m]	F <sub>s,dal</sub> [kN/m]		SWP(*) [m TAW]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>p,eq</sub> [s]	F <sub>s,kruin</sub> [kN/m]	F <sub>s,dal</sub> [kN/m]
<b>T0</b>	<b>NO</b>	4.59	0.08	3.92	3.11	-3.01	<b>NW</b>	5.26	0.30	5.62	18.80	-17.64
<b>T1</b>		4.96	0.11	4.08	4.51	-4.33		5.72	0.35	5.73	22.72	-20.91
<b>T2</b>		5.34	0.14	4.23	6.11	-5.81		6.17	0.41	6.13	29.27	-26.75
<b>T3</b>		5.72	0.17	4.37	7.96	-7.53		6.62	0.47	6.64	35.57	-32.35
<b>T4</b>		6.10	0.20	4.52	10.13	-9.51		7.03	0.46	5.83	32.21	-28.77
<b>T5</b>		6.48	0.24	4.64	12.44	-11.60		7.45	0.49	5.77	34.67	-30.77
<b>T0</b>	<b>NNO</b>	4.59	0.14	4.35	6.45	-6.14	<b>WNW</b>	5.27	0.23	4.97	12.83	-12.00
<b>T1</b>		5.12	0.20	4.71	10.28	-9.65		5.72	0.31	5.17	18.04	-16.52
<b>T2</b>		5.66	0.26	4.88	14.17	-13.10		6.16	0.38	5.54	24.34	-21.98
<b>T3</b>		6.18	0.32	4.98	18.27	-16.65		6.58	0.44	5.60	29.25	-26.07
<b>T4</b>		6.71	0.38	5.13	23.23	-20.96		6.99	0.50	5.59	34.21	-30.16
<b>T5</b>		7.22	0.44	5.27	28.63	-25.63		7.42	0.56	5.64	39.58	-34.53
<b>T0</b>	<b>N</b>	4.81	0.16	4.36	7.44	-7.03	<b>W</b>	5.24	0.15	4.21	6.49	-6.16
<b>T1</b>		5.37	0.23	4.63	11.41	-10.61		5.65	0.21	4.47	10.25	-9.56
<b>T2</b>		5.93	0.31	5.42	19.08	-17.52		6.06	0.28	4.78	15.19	-13.95
<b>T3</b>		6.47	0.38	5.46	23.96	-21.64		6.46	0.35	4.91	19.88	-18.02
<b>T4</b>		7.01	0.44	5.47	29.36	-26.15		6.87	0.42	5.05	25.20	-22.56
<b>T5</b>		7.53	0.51	5.51	35.29	-31.15		7.27	0.48	5.20	30.99	-27.47
<b>T0</b>	<b>NNW</b>	5.05	0.27	5.67	17.12	-16.11	<b>WSW</b>	5.14	0.08	3.72	2.76	-2.67
<b>T1</b>		5.61	0.34	5.72	22.08	-20.36		5.52	0.11	3.85	3.91	-3.74
<b>T2</b>		6.18	0.42	6.23	29.78	-27.18		5.90	0.13	3.97	5.15	-4.90
<b>T3</b>		6.72	0.47	6.29	34.32	-30.88		6.28	0.16	4.08	6.48	-6.12
<b>T4</b>		7.22	0.48	5.62	33.20	-29.46		6.65	0.18	4.18	7.89	-7.41
<b>T5</b>		7.75	0.53	5.64	37.40	-32.94		7.03	0.20	4.27	9.34	-8.71
<b>T0</b>	<b>-37°N</b>	5.18	0.30	5.67	18.69	-17.56	<b>SW</b>	5.09	0.06	3.67	1.92	-1.87
<b>T1</b>		5.68	0.35	5.71	23.17	-21.33		5.41	0.08	3.82	2.82	-2.73
<b>T2</b>		6.16	0.41	5.80	27.58	-25.07		5.72	0.10	3.96	3.82	-3.67
<b>T3</b>		6.63	0.45	5.93	32.08	-28.83		6.04	0.12	4.09	4.93	-4.71
<b>T4</b>		7.08	0.47	5.52	31.73	-28.18		6.36	0.14	4.21	6.13	-5.84
<b>T5</b>		7.56	0.51	5.62	36.09	-31.85		6.68	0.16	4.31	7.29	-6.92

(\*) SWP vermeerderd met de halve significante golfhoogte uit de laagfrequente golfenergie

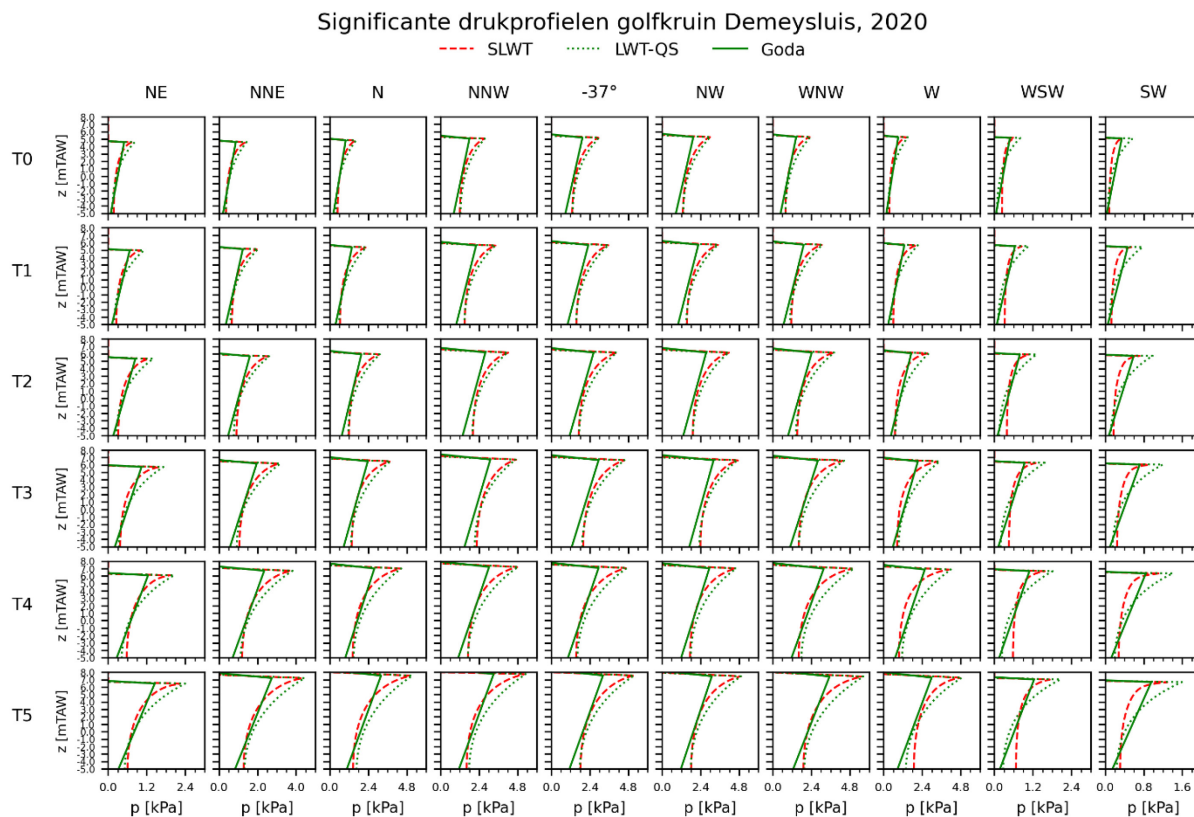
Tabel 10 – significante golfkrachten Demeysluis, scenario 2050

		SWP(*) [m TAW]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>p,eq</sub> [s]	F <sub>s,kruin</sub> [kN/m]	F <sub>s,dal</sub> [kN/m]			SWP [m TAW]	H <sub>m0</sub> [m]	T <sub>p,eq</sub> [s]	F <sub>s,kruin</sub> [kN/m]	F <sub>s,dal</sub> [kN/m]
<b>T0</b>	<b>NO</b>	4.82	0.08	3.92	3.10	-3.00	<b>NW</b>	5.50	0.30	5.59	14.97	-17.60	
<b>T1</b>		5.20	0.11	4.08	4.52	-4.34		5.97	0.37	6.06	20.56	-23.43	
<b>T2</b>		5.58	0.14	4.23	6.10	-5.81		6.40	0.42	6.35	25.10	-27.85	
<b>T3</b>		5.96	0.17	4.37	7.96	-7.52		6.85	0.45	6.37	27.86	-30.52	
<b>T4</b>		6.33	0.20	4.52	10.15	-9.53		7.25	0.45	5.69	25.32	-27.95	
<b>T5</b>		6.71	0.24	4.64	12.50	-11.66		7.68	0.49	5.78	27.84	-30.90	
<b>T0</b>	<b>NNO</b>	4.83	0.14	4.35	6.49	-6.17	<b>WNW</b>	5.50	0.23	4.97	10.47	-12.13	
<b>T1</b>		5.36	0.20	4.71	10.37	-9.74		5.95	0.31	5.17	14.69	-16.73	
<b>T2</b>		5.89	0.26	4.88	14.29	-13.23		6.39	0.38	5.54	19.97	-22.23	
<b>T3</b>		6.42	0.32	4.98	18.42	-16.82		6.81	0.44	5.61	23.97	-26.36	
<b>T4</b>		6.94	0.38	5.13	23.39	-21.13		7.23	0.50	5.59	27.77	-30.46	
<b>T5</b>		7.45	0.44	5.27	28.76	-25.74		7.65	0.56	5.64	31.40	-34.88	
<b>T0</b>	<b>N</b>	5.05	0.16	4.37	7.50	-7.07	<b>W</b>	5.48	0.15	4.22	5.80	-6.20	
<b>T1</b>		5.60	0.23	4.63	11.50	-10.69		5.89	0.21	4.48	8.86	-9.65	
<b>T2</b>		6.16	0.31	5.42	19.31	-17.76		6.30	0.28	4.79	12.73	-14.10	
<b>T3</b>		6.71	0.38	5.46	24.18	-21.88		6.70	0.35	4.92	16.53	-18.17	
<b>T4</b>		7.24	0.44	5.47	29.58	-26.40		7.10	0.42	5.05	20.77	-22.77	
<b>T5</b>		7.77	0.51	5.51	35.51	-31.40		7.51	0.49	5.20	25.22	-27.72	
<b>T0</b>	<b>NNW</b>	5.28	0.28	5.71	17.56	-16.57	<b>WSW</b>	5.38	0.08	3.71	2.83	-2.66	
<b>T1</b>		5.84	0.33	5.66	21.65	-19.97		5.76	0.11	3.85	3.95	-3.78	
<b>T2</b>		6.40	0.40	6.05	28.02	-25.54		6.14	0.13	3.98	5.10	-4.94	
<b>T3</b>		6.93	0.44	5.88	30.70	-27.57		6.51	0.16	4.08	6.31	-6.15	
<b>T4</b>		7.45	0.48	5.64	33.43	-29.66		6.89	0.18	4.18	7.59	-7.44	
<b>T5</b>		7.98	0.53	5.67	38.24	-33.64		7.27	0.21	4.28	8.93	-8.79	
<b>T0</b>	<b>-37°N</b>	5.42	0.30	5.67	18.98	-17.83	<b>SW</b>	5.32	0.06	3.68	2.00	-1.88	
<b>T1</b>		5.91	0.35	5.69	23.26	-21.43		5.64	0.08	3.83	2.85	-2.75	
<b>T2</b>		6.39	0.40	5.77	27.35	-24.86		5.96	0.10	3.96	3.78	-3.73	
<b>T3</b>		6.86	0.44	5.69	30.04	-26.98		6.28	0.12	4.10	4.73	-4.75	
<b>T4</b>		7.32	0.47	5.61	32.80	-29.16		6.60	0.14	4.22	5.77	-5.87	
<b>T5</b>		7.79	0.51	5.61	36.20	-31.93		6.91	0.16	4.32	6.78	-6.95	

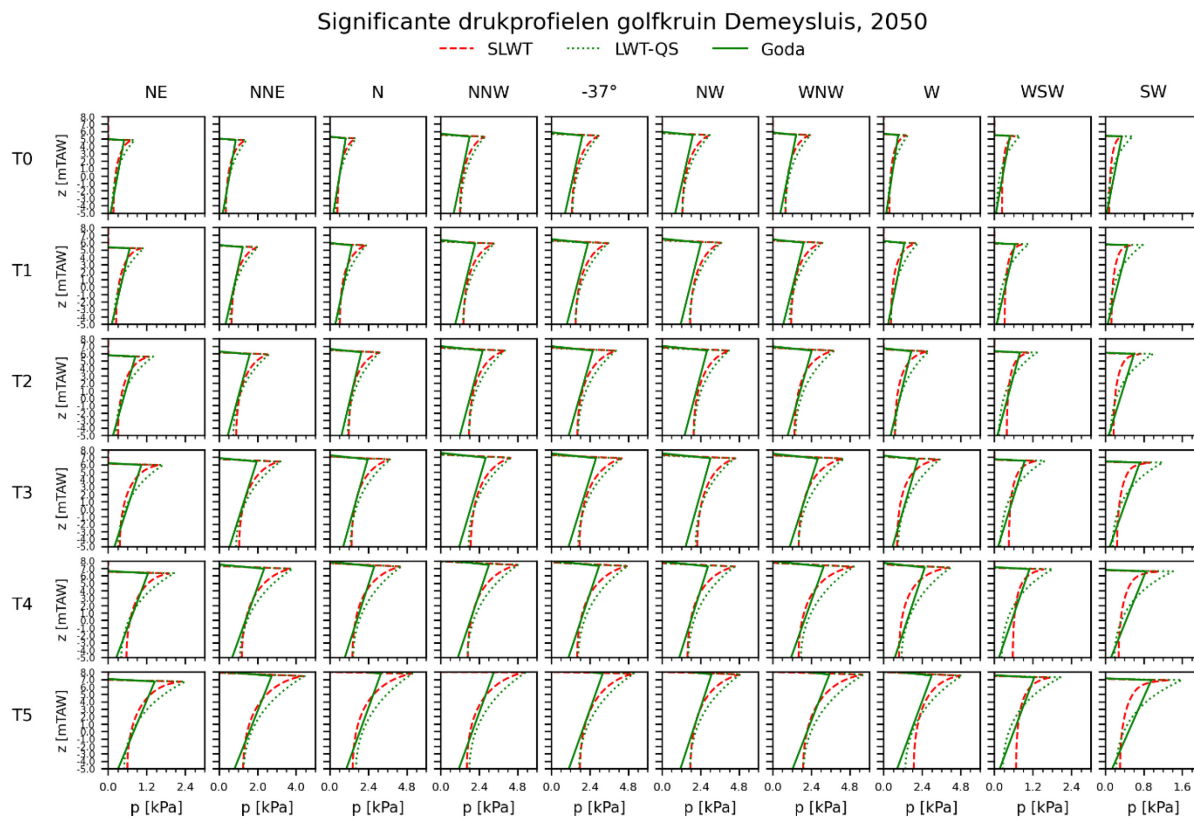
(\*) SWP vermeerderd met de halve significante golfhoogte uit de laagfrequente golfenergie

### 3.2.2 Golfdrukprofielen onder golfkruin

Het overzicht van significante golfdrukprofielen berekend voor de scenario's 2020 en 2050 wordt getoond in resp. Figuur 28 en Figuur 29. De getalwaarden van alle significante drukprofielen zijn opgenomen in Bijlage E Significante drukprofielen.



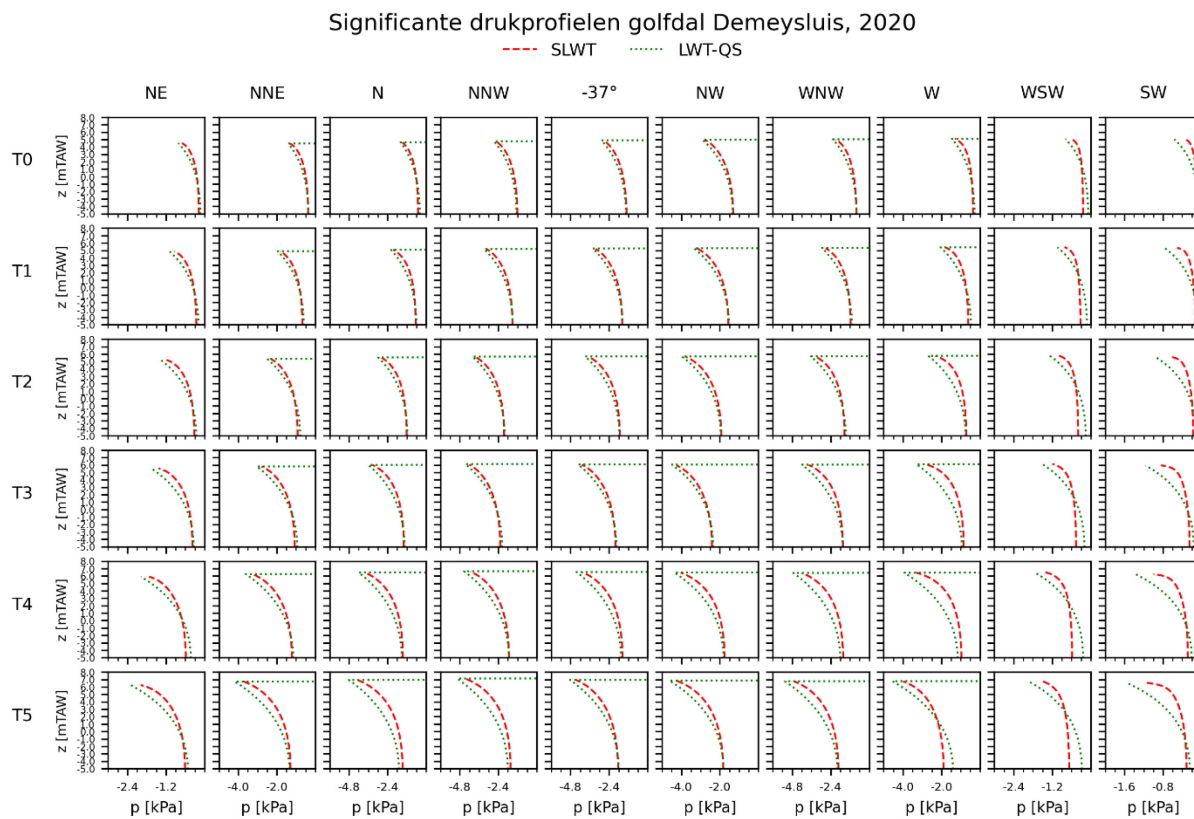
Figuur 28 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2020



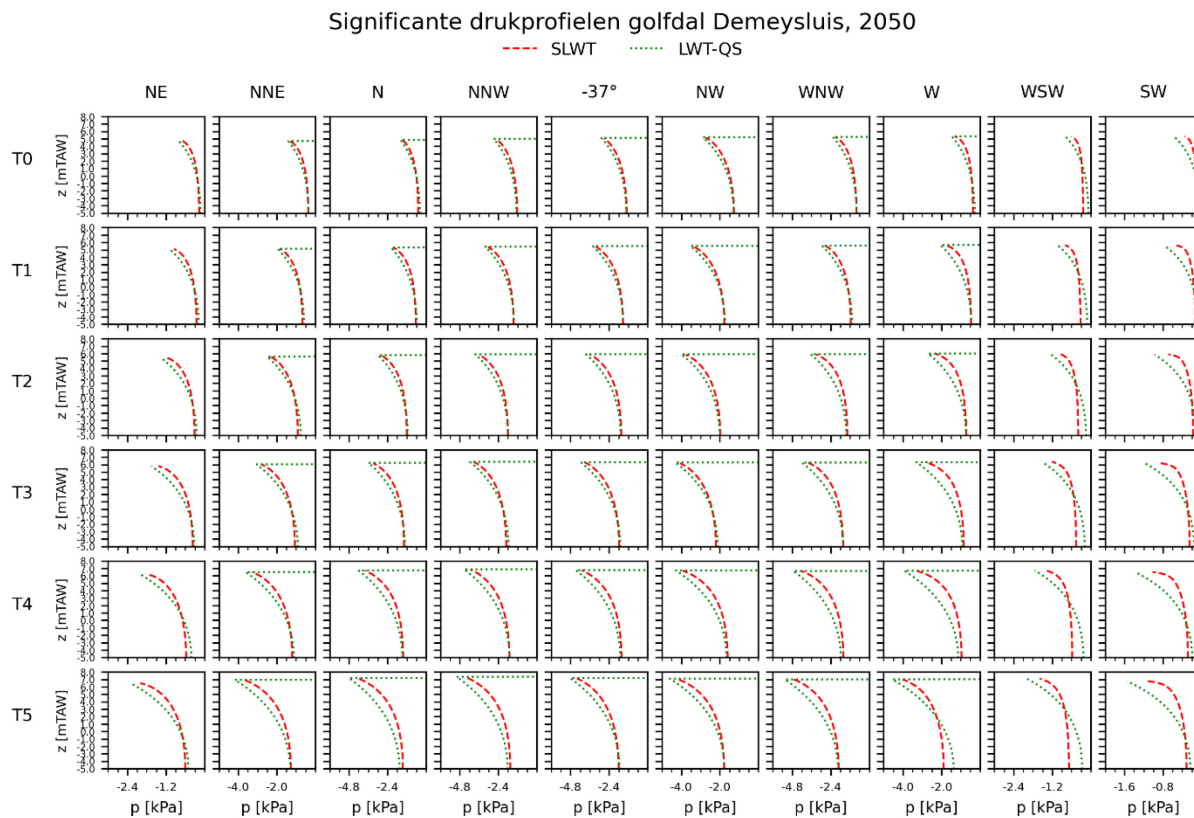
Figuur 29 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Demeysluis, scenario 2050

### 3.2.3 Golfdrukprofielen onder golfdal

Figuur 30 en 31 tonen de golfdrukprofielen onder een golfdal berekend met de lineaire golftheorie, voor resp. scenario 2020 en 2050.



Figuur 30 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Demeysluis, scenario 2020



Figuur 31 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Demeysluis, scenario 2050

### 3.3 Evolutie golfbelasting tijdens stormperiode

In hetgeen voorafging werden golfkarakteristieken en bijhorende belasting op de vloeddeuren van de Demeysluis behandeld op het moment van hoogwater (verondersteld de stormpiek) tijdens een storm met stormopzet. De vraag stelt zich echter of er op een ander tijdstip gedurende de storm zich een meer kritieke situatie kan voordoen voor een bepaald faalmechanisme. 2 gevallen worden onderscheiden:

Geval 1: de combinatie van een hoge waterstand (niet noodzakelijk de stormpiek) en maximale golfbelasting is bepalend voor het faalmechanisme (bv. bezwijken van sluisdeur)

Geval 2: de combinatie van een lage waterstand en optredende golfbelasting is bepalend voor het faalmechanisme (bv. stabiliteit van kolk- of keermuren)

Hierna wordt een redenering uiteengezet om de golfbelasting in te schatten die ontstaat op een tijdstip verschillend van hoogwater, tijdens een storm met opzet. Daarbij wordt verondersteld dat de golfhoogte op ondiep water buitengaats constant blijft gedurende een voldoende lange periode (min. 6 uur) vóór of na de stormpiek (hoogwater).

#### 3.3.1 Geval 1: combinatie hoge waterstand en maximale golfbelasting

De golfbelasting ten gevolge van lokaal opgewekte windgolven t.p.v. de Demeysluis kan onafhankelijk van de waterstand beschouwd worden (voor zover geen significante golfoverslag optreedt over de constructie).

De golfparameters door golfindringing ter plaatse van de Demeysluis zijn afhankelijk van de waterstand, zoals blijkt uit de analyse van de Mike21-BW resultaten (Figuur 21 t.e.m. Figuur 23). Tabel 11 bevat de waterstanden waarvoor de maximale KD-factor bereikt wordt, gegeven de golfrichting. Uit deze waarden blijkt een relatief beperkte hoeveelheid golfenergie, de maximale KD-factor bedraagt ca 0.05.

Tabel 11 – richtingsafhankelijke limietwaarden waterstand bij maximale KD-factor

<b>golfrichting</b>	<b>Limietwaterstand [m TAW]</b>	<b>Max. KD (invalend) [-]</b>
W	+6.28	0.012
WNW	+6.10	0.026
NW	+6.50	0.055
-37°N	+5.40	0.054
NNW	+5.25	0.052
N	+5.88	0.026
NNE	+4.59	0.019

Indien de maximale hoogwaterstand tijdens de storm zich onder de waterstand bevindt die hoort bij de maximale KD-factor (Tabel 11), zal de grootste golfbelasting ontstaan op het hoogwater (stormpiek). Dit is de meest kritieke situatie te beschouwen in de studie van het constructief falen.

Indien de maximale hoogwaterstand zich echter boven de waterstand bevindt die hoort bij de maximale KD-factor, zal de meest kritieke situatie ontstaan op het tijdstip voor of na hoogwater wanneer de limietwaterstand uit Tabel 11 bereikt wordt. Er dient echter opgemerkt te worden dat deze situatie zich voordoet bij opkomend of afgaand tij, en van significant kortere duur is dan de hoogwatersituatie (geschat 1-2 uur)<sup>25</sup>. In de uitwerking van de studie van het constructief faalgedrag dient verder beoordeeld te worden of deze situatie al dan niet als kritiek beschouwd dient te worden. Vermits de golfindringing t.p.v. de Demeysluis relatief beperkt is t.o.v. de lokaal opgewekte windgolven kan er ook voor geopteerd worden de maximale (richtingsafhankelijke) KD-factor aan te houden over de volledige stormduur.

### 3.3.2 Geval 2: combinatie laagwater en optredende golfbelasting tijdens stormopzet

Voor toepassing in de studie naar het constructief faalgedrag wordt aanbevolen de golfbelasting op hoogwater ongewijzigd te combineren met de optredende laagwaterstand. Daarbij dient wel rekening gehouden te worden met de overwegingen uit §3.3.1.

---

<sup>25</sup> In het meest extreme geval zou de laagwaterstand onder stormopzet de limietwaarde uit Tabel 11 benaderen. Het daartoe benodigde stormopzet is echter dermate groot (waterstand >+10 m TAW) dat dit zou leiden tot een totale overstroming van de Oostendse haven. Dit scenario lijkt niet van praktisch nut in een toets anno vandaag of met een beperkte horizon voor zeespiegelstijging.



## 4 Golfbelasting bij afluiddige wind

Gelet op de N-Z oriëntatie van de toegang tot de Demeysluis wordt aangenomen dat er bij afluiddige wind (windsector ZW tot O) geen merkbare golfbelasting door windgolven ontstaat op de sluisdeuren. Dit geval wordt hier dus niet behandeld.

## 5 Conclusies

In het kader van de probabilistische toetsing van de kunstwerken in de kusthavens werd een studie uitgevoerd naar de golfbelasting op verschillende waterkerende kunstwerken in de haven van Oostende. Dit rapport behandelt de randvoorwaarden van de Demeysluis.

Het golfklimaat onder aanlandige wind (stormopzet) werd gemodelleerd op basis van Mike21-BW en SWAN, waarbij enkel de hoogwatersituatie beschouwd werd. De afzonderlijke bijdragen van golfindringing en lokaal gegenereerde windgolven werden gecombineerd (voor de simulatiematrix op basis van HR2014) met aandacht voor de specifieke manier waarop golfreflectie op het kunstwerk in rekening gebracht wordt in beide golfmodellen.

De transformatie van de golfkarakteristieken buitengaats (nabij de haveningang) naar karakteristieken in de onmiddellijke nabijheid van de Demeysluis werd analytisch beschreven. Dit laat de gebruiker van dit rapport toe om de transformatie toe te passen vertrekkend van willekeurige (zij het fysische gecorreleerde) randvoorwaarden buitengaats (bv. op basis van HR2020).

Het lokale golfveld ter plaatse van de vloeddeuren van de Demeysluis werd vervolgens gebruikt als invoer voor een berekening van de golfbelasting. Voor de belasting onder een golfkruin werd het significante golfdrukprofiel en de golfkracht berekend op basis van verschillende methoden, waarbij uiteindelijk de lineaire golftheorie met kwadratische sommatie van de afzonderlijke bijdragen van indringingsgolven en windgolven geselecteerd werd als veilige inschatting van de golfbelasting. De aanwezigheid van lange golven werd in rekening gebracht door het verhogen/verlagen van de waterstand in de berekening van het drukprofiel onder resp. golfkruin en golfdal.

De waarden van de significante golfkrachten en -drukprofielen kunnen gebruikt worden als schaalparameter in een Rayleigh verdeling, teneinde de golfkrachten en -drukprofielen te bepalen voor specifieke overschrijdingskansen binnen de beschouwde hoogwatersituatie.

De golfbelasting bij een lagere waterstand tijdens een stormgebeurtenis met aanlandige wind werd niet gemodelleerd. Er wordt aanbevolen de golfbelasting op hoogwater ongewijzigd te combineren met de optredende laagwaterstand.

## Referenties

- Bree, B. van; Delhez, R.; Casteleijn, A.; Jongejan, R.** (2018). Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie. Groene versie 1 november 2018. Rijkswaterstaat-WVL Waterkeringen
- De Roo, S.; Trouw, K.; Ruiz Parrado, I.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016a). Het Hydraulisch randvoorwaardenboek (2014). *WL Rapporten*, 14\_014. Waterbouwkundig Laboratorium/Fides Engineering: Antwerpen
- De Roo, S.; Trouw, K.; Ruiz Parrado, I.; Willems, P.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016b). Het hydraulisch randvoorwaardenboek 2014: achtergrondrapport. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 14\_014\_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. XXIII, 104 + 96 p. appendices pp.
- De Roo, S.; Vanneste, D.; Mostaert, F.** (2021). Probabilistische faalgedraganalyse kunstwerken kusthavens: deelrapport 1. Uitbreiding directionele hydraulische randvoorwaarden kust. Versie 2.0. *WL Rapporten*, 20\_025\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=334267>
- De Roo, S.; Vanneste, D.; Suzuki, T.; Mostaert, F.** (2020). Numerieke modellering van het kortkruinig golfklimaat in de haven van Oostende: huidige en toekomstige havengeometrie. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 17\_052\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Goda, Y.** (2010). Random Seas and Design of Maritime Structures. 3rd ed. *Advanced Series on Ocean Engineering*, 33 (P. L.-F. Liu, Ed.). World Scientific. ISBN 978-981-4282-39-0. doi:10.1142/7425
- Gruwez, V.; Bolle, A.; Hassan, W.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2011). Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: deel 1. Haven van Oostende. *WL Rapporten*, 769\_03. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen
- Gruwez, V.; Bolle, A.; Suzuki, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2012). Numerieke modellering van het extreem golfklimaat in de Belgische havens: deel 2: haven van Zeebrugge. *WL Rapporten*, 769\_03. Waterbouwkundig Laboratorium/IMDC: Antwerpen
- Tuin H.; Voortman H. ; de Almeida E.;** (2022). Evaluation and validation of the spectral linear wave theory and ‘traditional’ formulae for pulsating wave loads for unimodal and bimodal seas. *J. Coast. Hydraul. Struct.* 2(21)
- Tuin, H.** (2020). Golfbelastingen Visserijsluis Oostende - toepassing spectrale lineaire golftheorie.. *D10010739:105*. Arcadis Nederland BV
- van der Meer, J.; W. Langenberg, J.; Klein Breteler, M.; Hurdle, D.; den Heijer, F.** (2002). Wave boundary conditions and overtopping in complex areas. *Coast. Eng.*: 2092–2104
- van Maris, B.E.** (2018). Wave loads on vertical walls. Validation of design methods for non-breaking waves of bimodal spectra. Delft University of Technology
- Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.** (2023). Toetsing kunstwerken in kusthavens: deelrapport 3. Golfbelasting Mercatorsluis. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 20\_025\_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=380625>

**Verwaest, T.; Reyns, J.; Mostaert, F.** (2009). Overstromingsrisico's aan de Vlaamse kust: impact van de klimaatsevolutie. *WL Adviezen*, 718\_02m. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

**Vuik, V.; Kuijper, B.; Geerse, C.P.M.; Strijker, B.; Gautier, C.; Trouw, K.; Vanneste, D.; Suzuki, T.; Nossent, J.; Thoon, D.; De Roo, S.; Mostaert, F.** (2020). Het hydraulisch randvoorwaardenboek (2020): rapport. Versie 2.0. *WL Rapporten*, 18\_037\_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=332127>

# Bijlage A Simulatiematrix (aanlandige wind)

Tabel A-1 – Simulatiematrix met randvoorwaarden voor de Oostende MIKE21-BW OST en SWAN modellen

Run ID	T	Hoofdgolrichting	Scenario 2020 (HR2014)			Scenario 2050			Windrichting.	Windsnelheid $u_{w10,land}$ (*)
			$h$ (p50)	$H_{m0}$	$T_p$	$h$ (p50)	$H_{m0}$	$T_p$		
	[jaar]	[-/° N]	[m TAW]	[m]	[s]	[m TAW]	[m]	[s]	[-, °N]	[m/s]
T0_01	1	ZW/225	5.09	1.33	4.30	5.32	1.35	4.34	ZW/225	14.96
T1_01	10	ZW/225	5.41	1.33	5.47	5.64	1.35	5.50	ZW/225	18.36
T2_01	100	ZW/225	5.72	1.63	5.81	5.96	1.66	5.84	ZW/225	21.53
T3_01	1000	ZW/225	6.04	1.96	6.15	6.28	1.99	6.18	ZW/225	24.56
T4_01	10000	ZW/225	6.36	2.24	6.39	6.60	2.28	6.42	ZW/225	27.49
T5_01	100000	ZW/225	6.68	2.48	6.59	6.91	2.52	6.63	ZW/225	30.35
T0_02	1	WZW/247.5	5.14	1.91	5.54	5.38	1.94	5.59	WZW/247.5	14.61
T1_02	10	WZW/247.5	5.52	2.03	6.73	5.76	2.06	6.77	WZW/247.5	17.79
T2_02	100	WZW/247.5	5.90	2.52	7.29	6.14	2.56	7.34	WZW/247.5	20.62
T3_02	1000	WZW/247.5	6.28	2.86	7.64	6.51	2.91	7.69	WZW/247.5	23.26
T4_02	10000	WZW/247.5	6.65	3.13	7.90	6.89	3.18	7.95	WZW/247.5	25.76
T5_02	100000	WZW/247.5	7.03	3.36	8.11	7.27	3.41	8.15	WZW/247.5	28.16
T0_03	1	W/270	5.24	2.80	6.77	5.47	2.85	6.84	W/270	13.64
T1_03	10	W/270	5.64	3.41	8.84	5.88	3.47	8.90	W/270	17.90
T2_03	100	W/270	6.05	3.76	9.21	6.28	3.83	9.28	W/270	22.16
T3_03	1000	W/270	6.45	3.99	9.44	6.69	4.05	9.50	W/270	26.42
T4_03	10000	W/270	6.86	4.15	9.60	7.09	4.22	9.67	W/270	30.68
T5_03	100000	W/270	7.26	4.29	9.73	7.50	4.35	9.79	W/270	34.95
T0_04	1	WNW/292.5	5.25	2.89	8.52	5.48	2.94	8.60	WNW/292.5	13.30
T1_04	10	WNW/292.5	5.67	4.16	9.78	5.91	4.23	9.91	WNW/292.5	16.81
T2_04	100	WNW/292.5	6.10	4.74	10.80	6.33	4.82	10.94	WNW/292.5	20.05
T3_04	1000	WNW/292.5	6.52	5.12	11.45	6.75	5.20	11.58	WNW/292.5	23.14
T4_04	10000	WNW/292.5	6.94	5.40	11.93	7.18	5.48	12.07	WNW/292.5	26.12
T5_04	100000	WNW/292.5	7.37	5.63	12.31	7.60	5.72	12.45	WNW/292.5	29.02
T0_05	1	NW/315	5.23	3.33	8.32	5.46	3.39	8.40	NW/315	12.67
T1_05	10	NW/315	5.66	4.01	9.53	5.89	4.08	9.65	NW/315	14.90
T2_05	100	NW/315	6.09	4.39	10.18	6.33	4.46	10.31	NW/315	16.76
T3_05	1000	NW/315	6.52	4.74	10.78	6.76	4.81	10.91	NW/315	18.44
T4_05	10000	NW/315	6.96	5.00	11.22	7.19	5.08	11.35	NW/315	19.99
T5_05	100000	NW/315	7.39	5.22	11.58	7.63	5.30	11.71	NW/315	21.47

(\*) reductiefactor 0.72 voor aanlandige wind

Tabel A-1 – Simulatiematrix met randvoorwaarden voor de Oostende MIKE21-BW OST en SWAN modellen (vervolg)

Run ID	T	Hoofd-golfrichting	Scenario 2020 (HR2014)			Scenario 2050			Wind-richting.	Windsnelheid $u_{w10,land}$ (*)
			$h$ (p50)	$H_{mo}$	$T_p$	$h$ (p50)	$H_{mo}$	$T_p$		
	[jaar]	[-/° N]	[m TAW]	[m]	[s]	[m TAW]	[m]	[s]	[-, °N]	[m/s]
T0_06	1	-37	5.15	3.27	8.44	5.39	3.33	8.52	-37	12.37
T1_06	10	-37	5.62	4.02	9.57	5.85	4.09	9.69	-37	14.80
T2_06	100	-37	6.09	4.45	10.29	6.32	4.52	10.41	-37	16.87
T3_06	1000	-37	6.56	4.81	10.89	6.79	4.88	11.01	-37	18.75
T4_06	10000	-37	7.03	5.08	11.33	7.26	5.16	11.46	-37	20.52
T5_06	100000	-37	7.50	5.30	11.69	7.73	5.38	11.82	-37	22.19
T0_07	1	NNW/337.5	5.01	3.17	8.66	5.25	3.23	8.74	NNW/337.5	11.83
T1_07	10	NNW/337.5	5.55	4.05	9.64	5.78	4.12	9.75	NNW/337.5	14.63
T2_07	100	NNW/337.5	6.09	4.56	10.48	6.32	4.63	10.61	NNW/337.5	17.07
T3_07	1000	NNW/337.5	6.62	4.93	11.08	6.86	5.01	11.21	NNW/337.5	19.33
T4_07	10000	NNW/337.5	7.16	5.21	11.53	7.39	5.29	11.65	NNW/337.5	21.46
T5_07	100000	NNW/337.5	7.69	5.44	11.89	7.93	5.52	12.01	NNW/337.5	23.50
T0_08	1	N/360	4.80	2.83	7.53	5.03	2.88	7.60	N/360	10.22
T1_08	10	N/360	5.34	3.58	8.83	5.57	3.65	8.95	N/360	13.27
T2_08	100	N/360	5.88	4.25	10.13	6.11	4.32	10.27	N/360	16.29
T3_08	1000	N/360	6.42	4.69	10.98	6.65	4.77	11.12	N/360	19.30
T4_08	10000	N/360	6.96	5.03	11.63	7.19	5.11	11.77	N/360	22.31
T5_08	100000	N/360	7.50	5.32	12.15	7.73	5.40	12.30	N/360	25.30
T0_09	1	NNO/22.5	4.59	1.86	6.08	4.82	1.89	6.14	NNO/22.5	11.08
T1_09	10	NNO/22.5	5.11	3.07	7.99	5.34	3.12	8.08	NNO/22.5	14.34
T2_09	100	NNO/22.5	5.63	3.66	8.92	5.86	3.72	9.02	NNO/22.5	17.61
T3_09	1000	NNO/22.5	6.15	4.13	9.62	6.39	4.19	9.72	NNO/22.5	20.88
T4_09	10000	NNO/22.5	6.67	4.49	10.15	6.91	4.56	10.25	NNO/22.5	24.15
T5_09	100000	NNO/22.5	7.19	4.80	10.58	7.43	4.87	10.68	NNO/22.5	27.42
T0_10	1	NO/45	4.59	1.26	4.99	4.82	1.28	5.04	NO/45	11.31
T1_10	10	NO/45	4.96	-	-	5.20	-	-	NO/45	14.07
T2_10	100	NO/45	5.34	-	-	5.58	-	-	NO/45	16.84
T3_10	1000	NO/45	5.72	-	-	5.96	-	-	NO/45	19.60
T4_10	10000	NO/45	6.10	-	-	6.33	-	-	NO/45	22.37
T5_10	100000	NO/45	6.48	-	-	6.71	-	-	NO/45	25.13

(\*) reductiefactor 0.72 voor aanlandige wind

## Bijlage B Reflectiecoëfficiënten Demeysluis

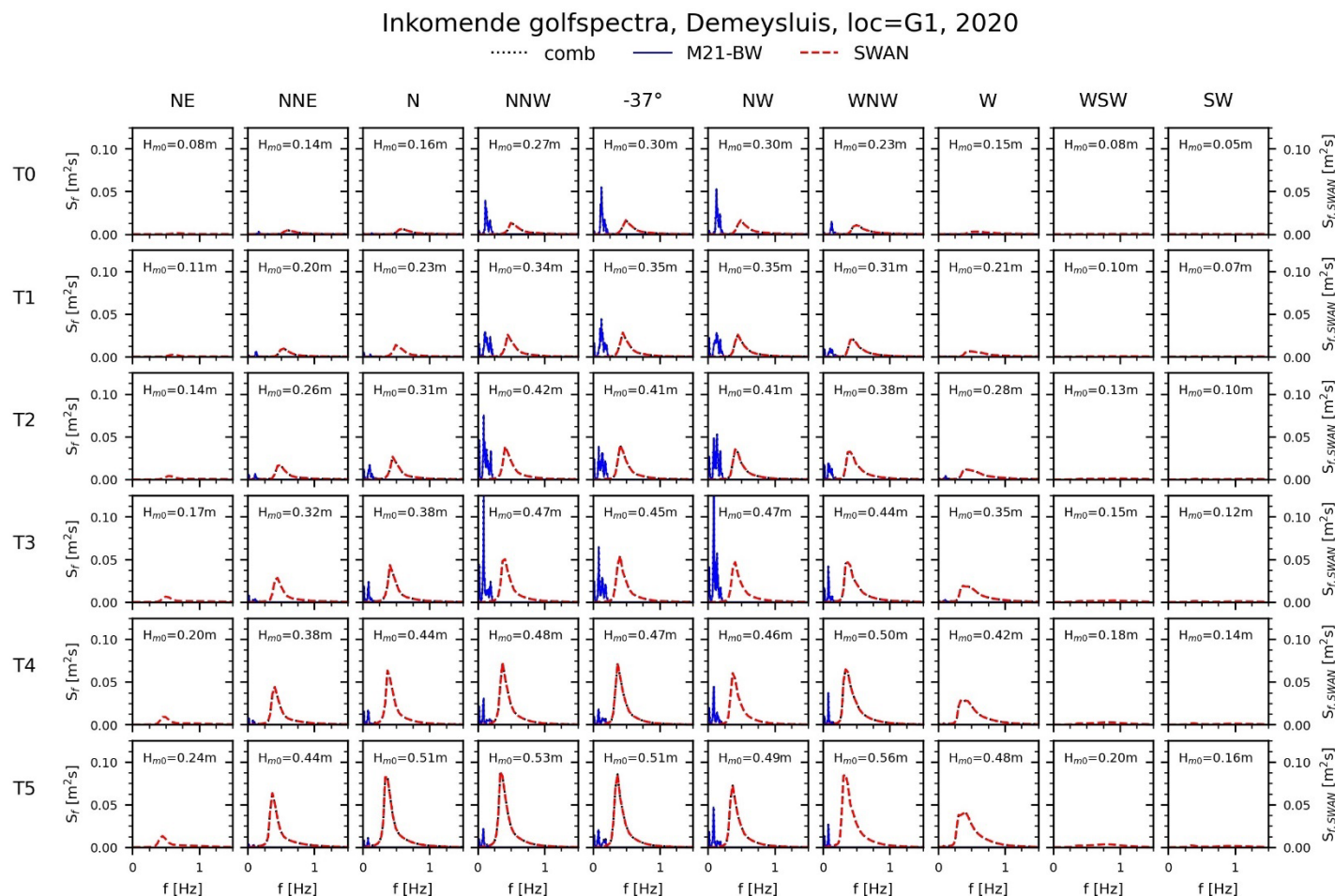
Tabel B-1 – Reflectiecoëfficiënten in het Mike21-BW model t.p.v. de deuren Demeysluis

	<b>NNO</b>	<b>N</b>	<b>NNW</b>	<b>-37°N</b>	<b>NW</b>	<b>WNW</b>	<b>W</b>
<b>2020</b>							
T0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>2050</b>							
T0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
T5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel B-2 – Reflectiecoëfficiënten in het SWAN model t.p.v. de deuren Demeysluis

	<b>NO</b>	<b>NNO</b>	<b>N</b>	<b>NNW</b>	<b>-37°N</b>	<b>NW</b>	<b>WNW</b>	<b>W</b>	<b>WSW</b>	<b>SW</b>
<b>2020</b>										
<b>T0</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T1</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T2</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T3</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T4</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T5</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>2050</b>										
<b>T0</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T1</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T2</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T3</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T4</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
<b>T5</b>	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900

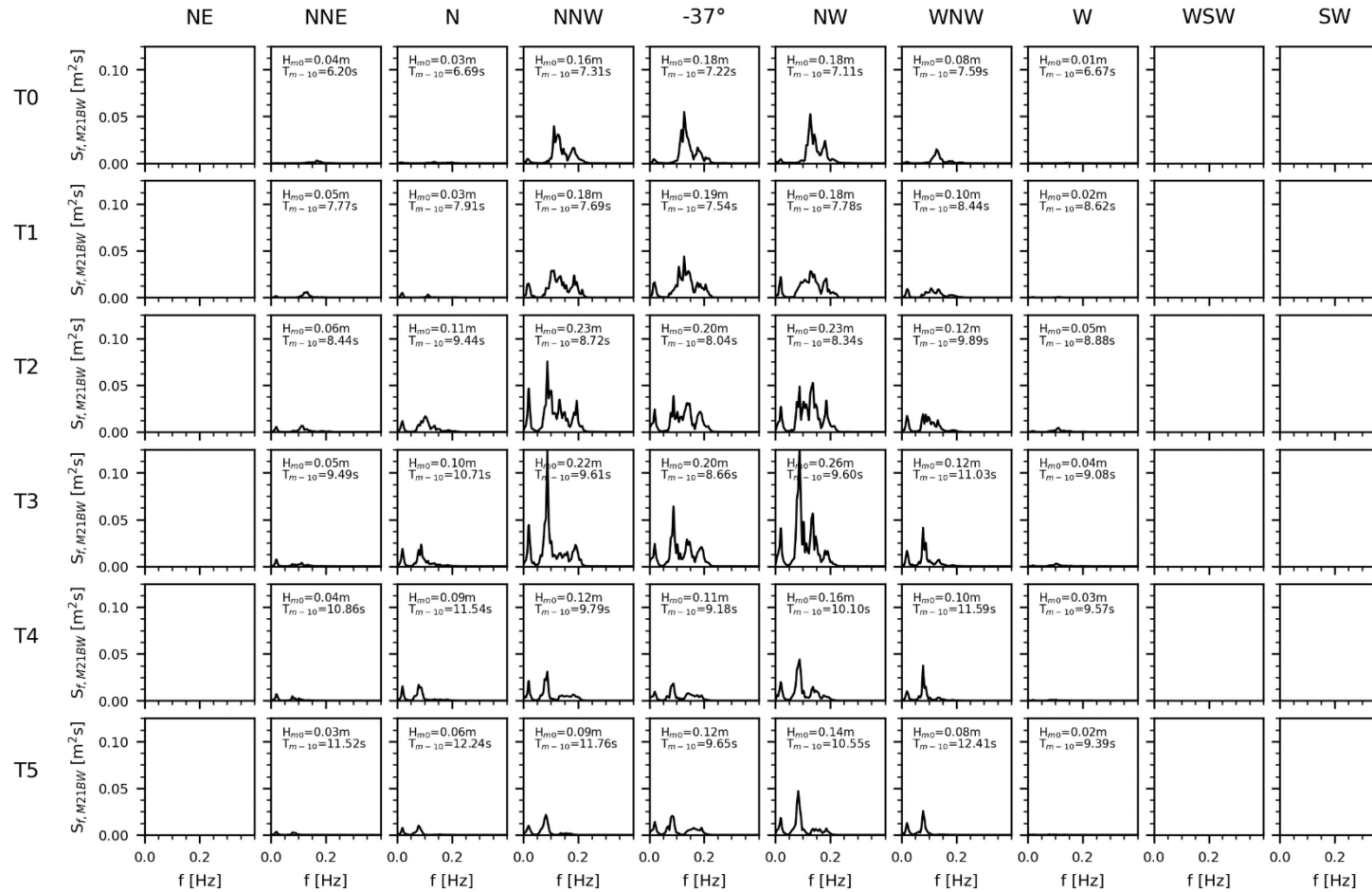
## Bijlage C Matrixplots invallende golfspectra t.p.v. Demeysluis



Figuur C-1 – Matrixplot invallende kortegolfspectra ( $f > 0.05$ Hz), scenario 2020 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linkeras, SWAN golfspectra op rechteras).

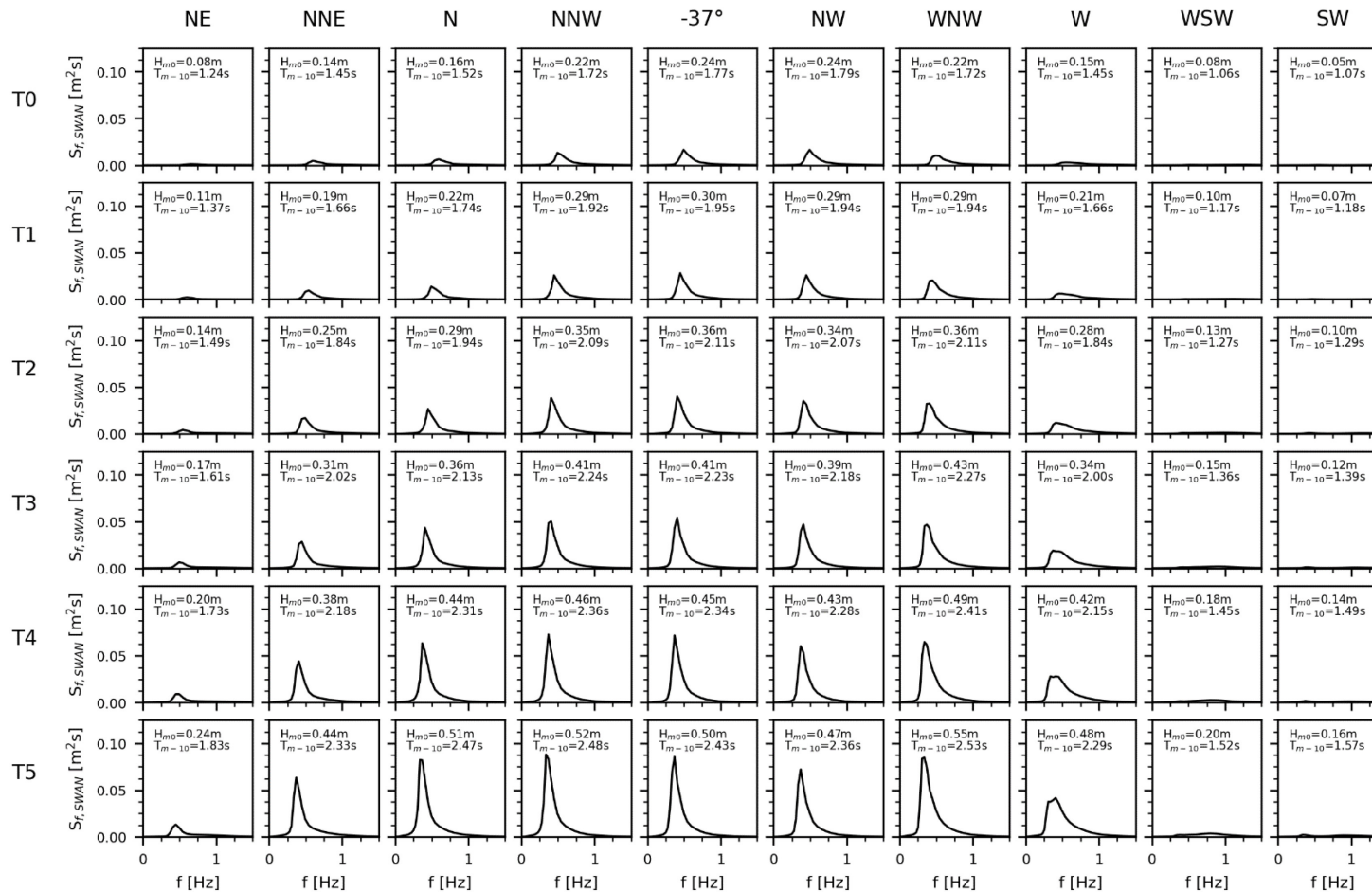


Inkomende golfspectra M21-BW, Demeysluis, loc=G1, 2020

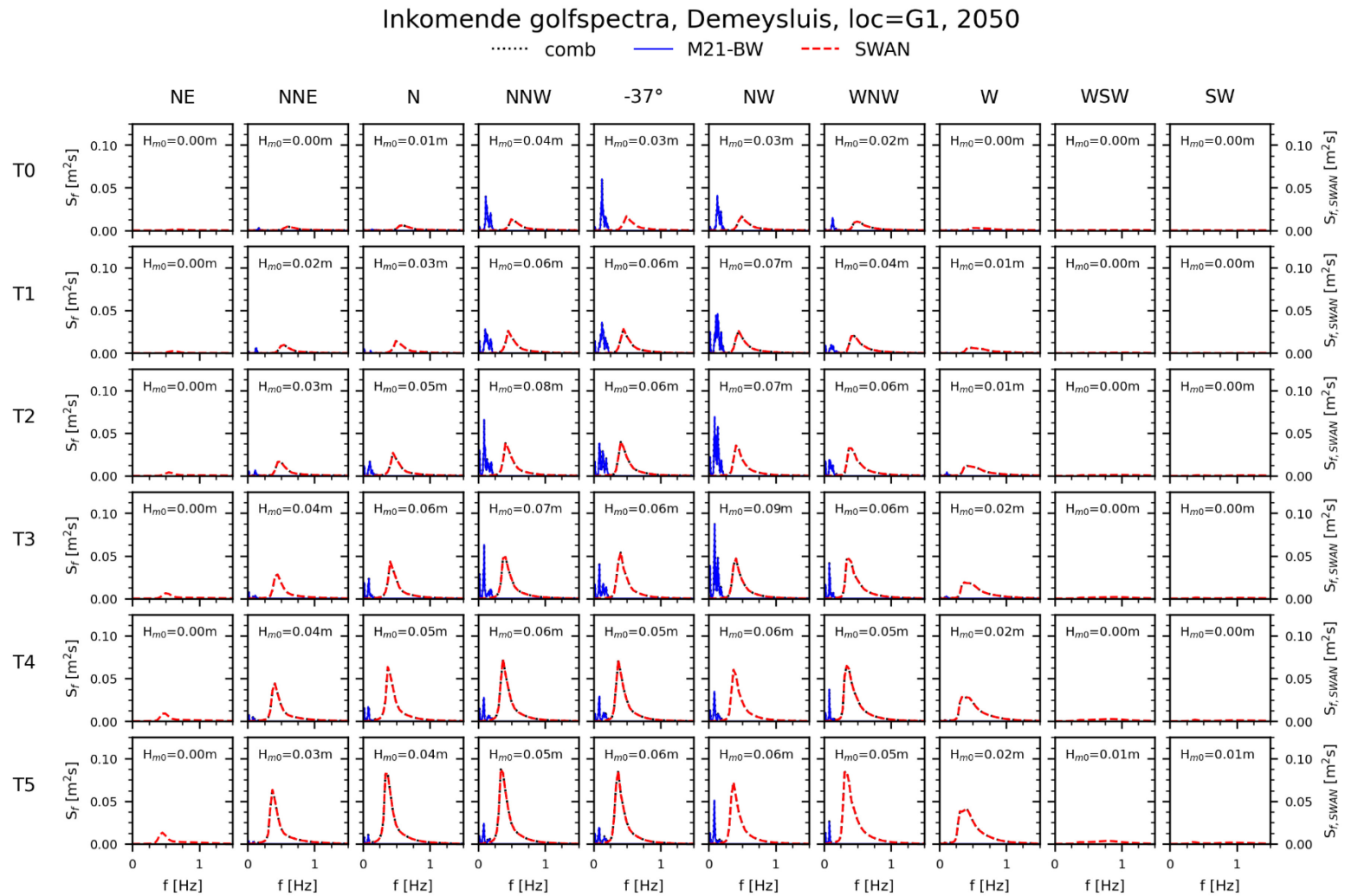


Figuur C-2 – Matrixplot invallende kortgolfspectra M21-BW, scenario 2020

Inkomende golfspectra SWAN, Demeysluis, loc=G1, 2020

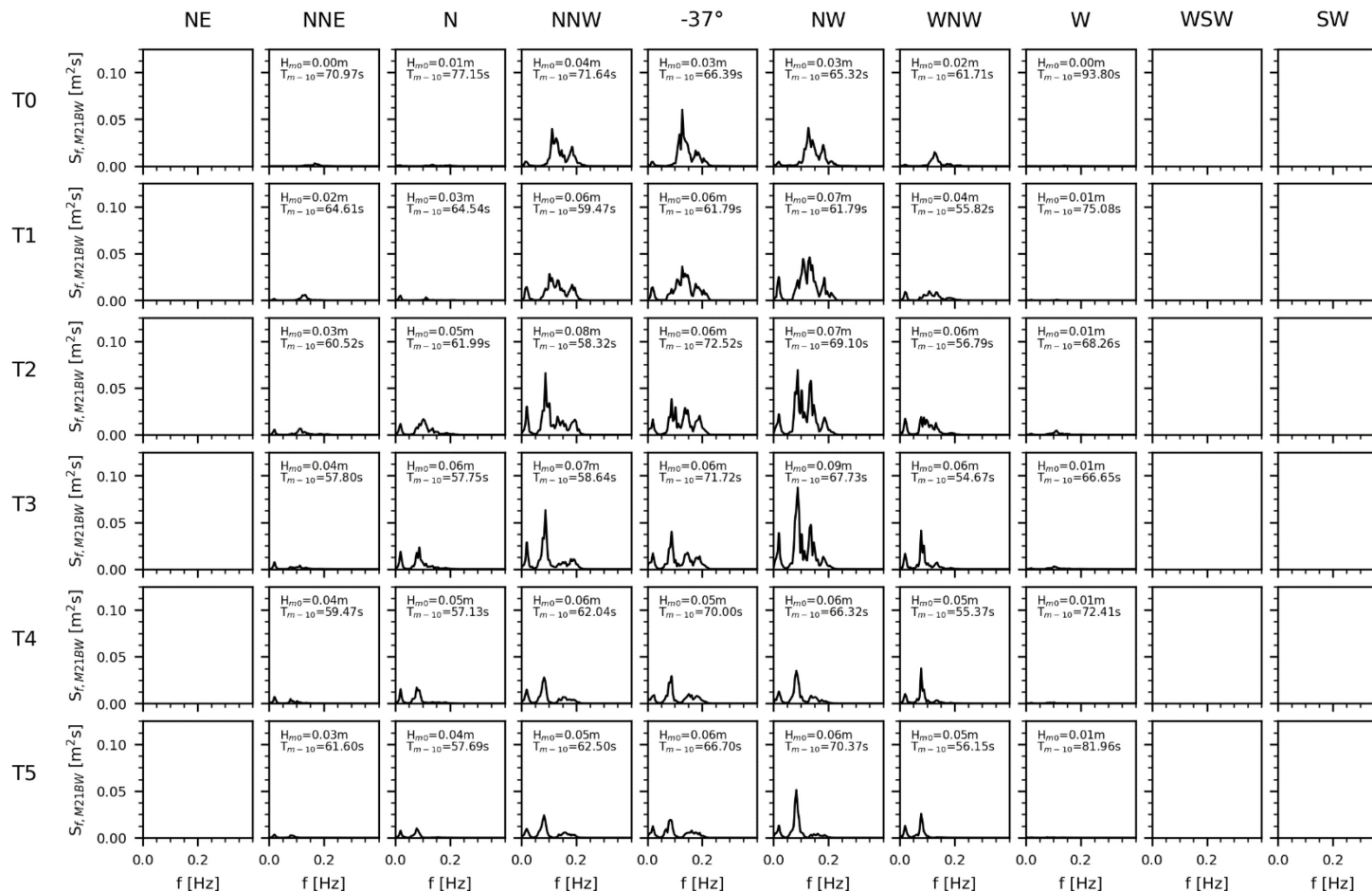


Figuur C-3 – Matrixplot invallende kortgolfspectra SWAN Mercatorsluis scenario 2020



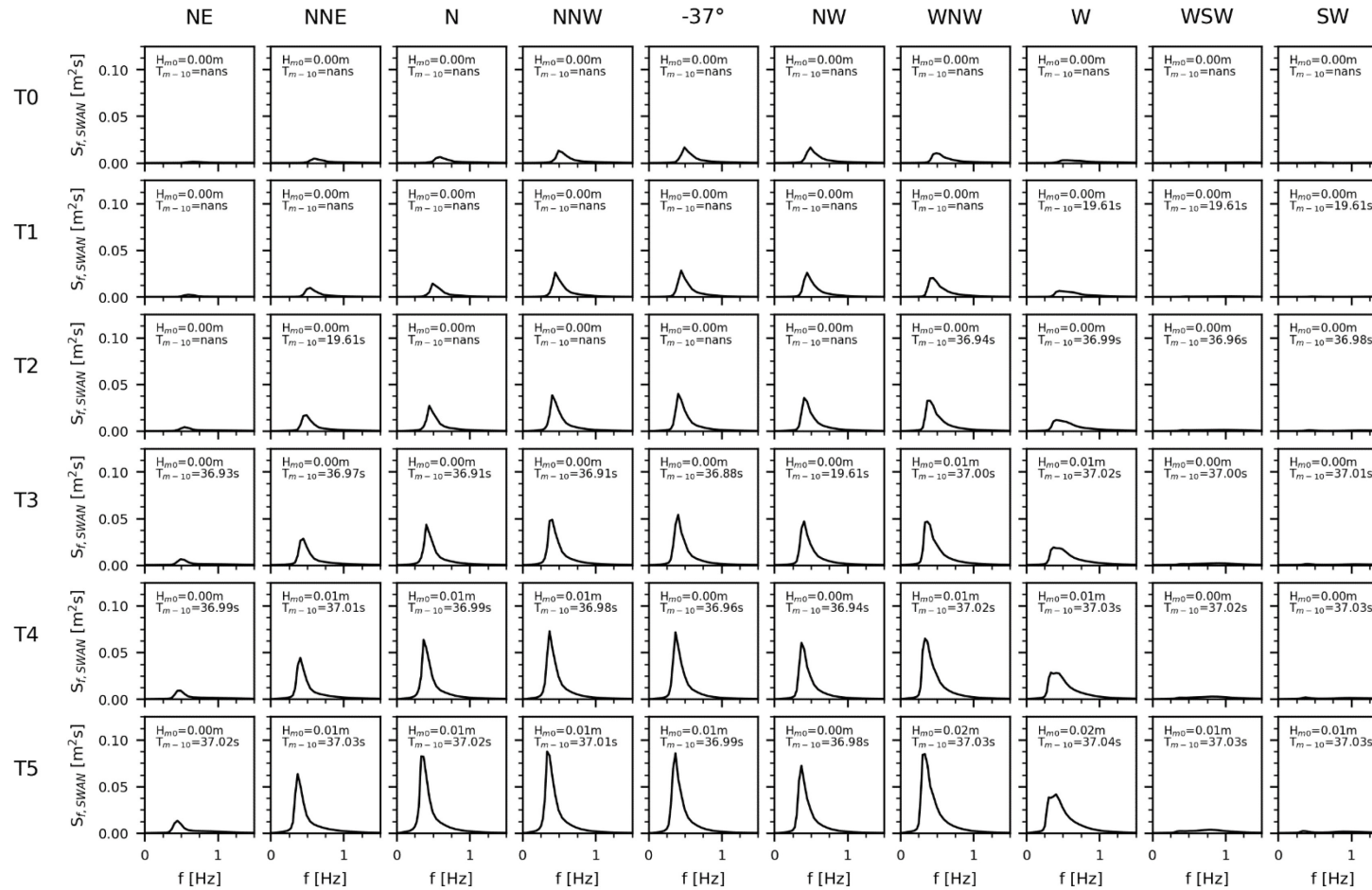
Figuur C-4 – Matrixplot invallende golfspectra, scenario 2050 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linkeras, SWAN golfspectra op rechteras).

Inkomende golfspectra M21-BW, Demeysluis, loc=G1, 2050



Figuur C-5 – Matrixplot invallende kortgolfspectra M21-BW, scenario 2050

Inkomende golfspectra SWAN, Demeysluis, loc=G1, 2050



Figuur C-6 – Matrixplot invallende kortegolfspectra SWAN, scenario 2050

## Bijlage D KD-krommen Mike21-BW

Tabel D-1 – Mike21-BW KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis

<b>NE</b>			<b>N</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
4.585	0.019		4.798	0.010	
5.106	0.017		5.337	0.009	
5.628	0.016		5.877	0.026	
6.149	0.011		6.416	0.022	
6.670	0.009		6.956	0.017	
7.192	0.007		7.495	0.011	
7.500	0.005		8.000	0.010	
8.000	0.005		8.500	0.010	
8.500	0.005		9.000	0.010	
9.000	0.005		9.500	0.010	
9.500	0.005		10.000	0.010	
10.000	0.005				
<b>W</b>			<b>WNW</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
5.472	0.004		5.248	0.029	
5.877	0.005		5.672	0.023	
6.282	0.012		6.095	0.026	
6.687	0.010		6.519	0.023	
7.092	0.006		6.943	0.018	
7.497	0.005		7.366	0.015	
7.750	0.005		7.500	0.015	
8.000	0.005		8.000	0.015	
8.500	0.005		8.500	0.015	
9.000	0.005		9.000	0.015	
9.500	0.005		9.500	0.015	
10.000	0.005		10.000	0.015	

Tabel D-1 – Mike21-BW KD-coëfficiënten t.p.v. Demeysluis (vervolg)

<b>NNW</b>			<b>-37°N</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
5.000	0.050		5.000	0.050	
5.130	0.052		5.267	0.054	
5.667	0.043		5.737	0.046	
6.203	0.046		6.207	0.043	
6.740	0.039		6.676	0.038	
7.276	0.023		7.146	0.024	
7.813	0.019		7.616	0.022	
8.000	0.015		8.000	0.020	
8.500	0.015		8.500	0.020	
9.000	0.015		9.000	0.020	
9.500	0.015		9.500	0.020	
10.000	0.015		10.000	0.020	
<b>NW</b>					
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]			
5.000	0.050				
5.343	0.052				
5.776	0.049				
6.209	0.052				
6.642	0.051				
7.075	0.029				
7.507	0.026				
8.000	0.023				
8.500	0.023				
9.000	0.023				
9.500	0.023				
10.000	0.023				

## Bijlage E Significante drukprofielen

Digitale bijlage bij het rapport : *p\_profiles\_Demeysluis.zip*.

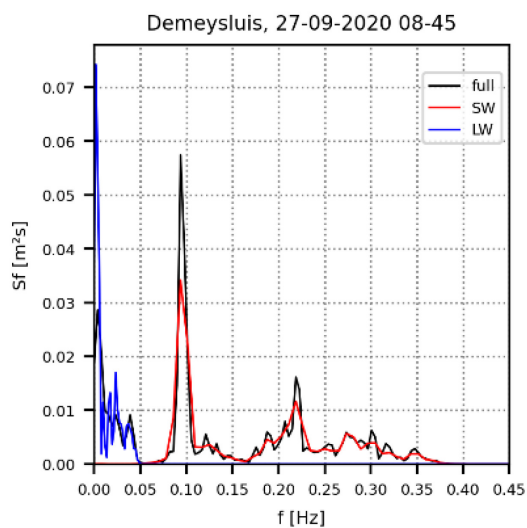
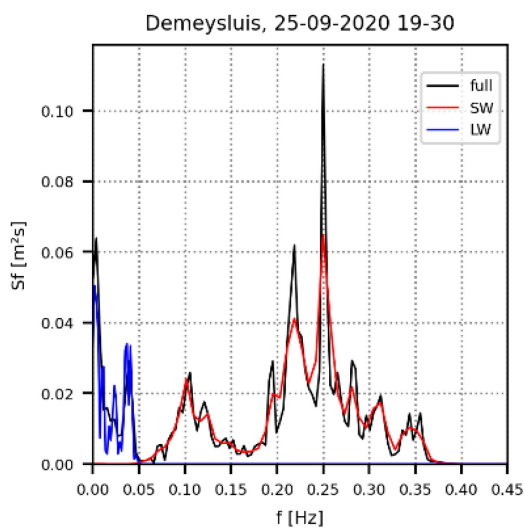
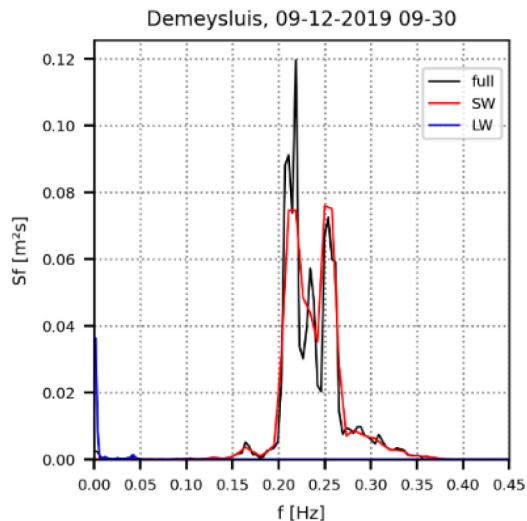
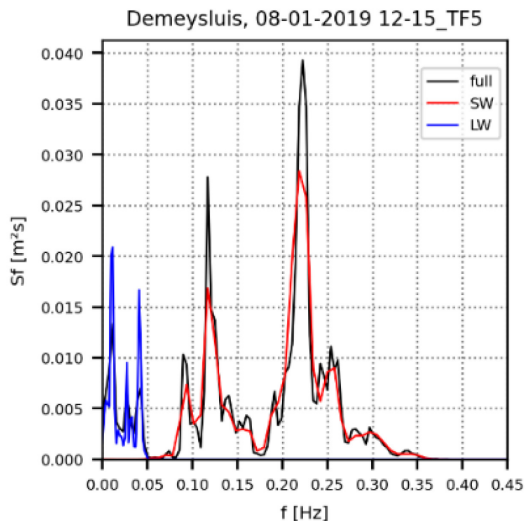
Dit zip bestand bevat \*.txt bestanden met getalwaarden van positie  $z$  [m TAW] en corresponderende significante golfdruk [kPa].

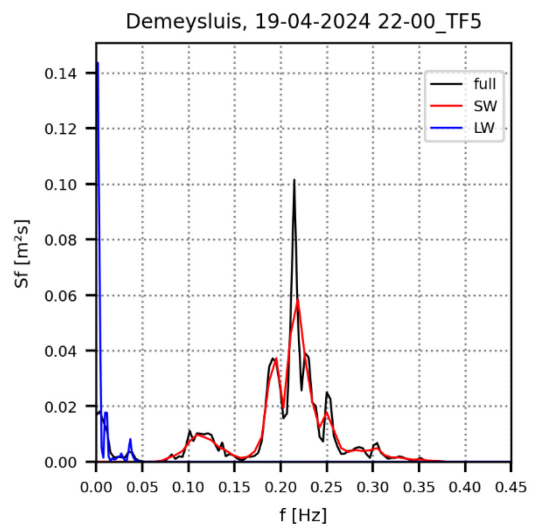
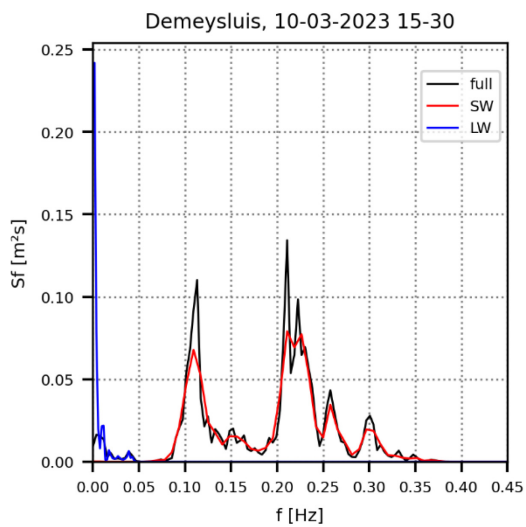
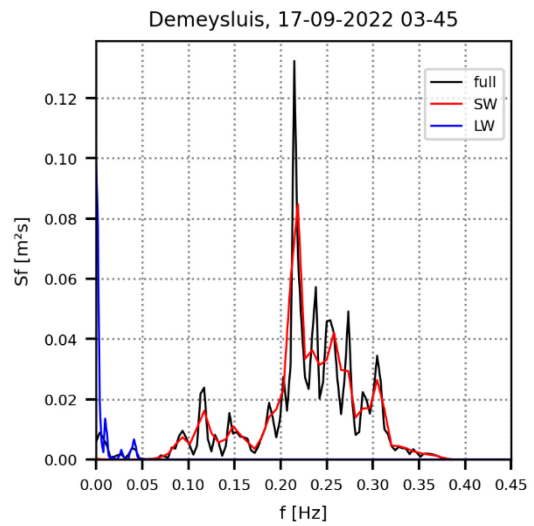
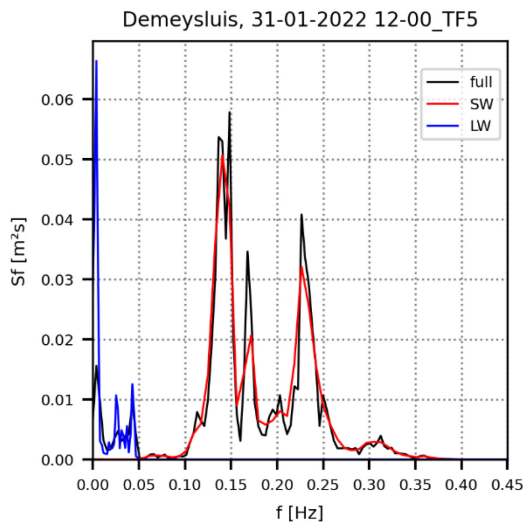
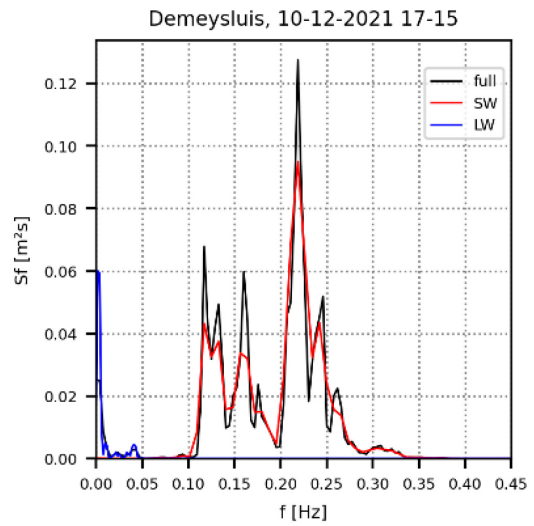
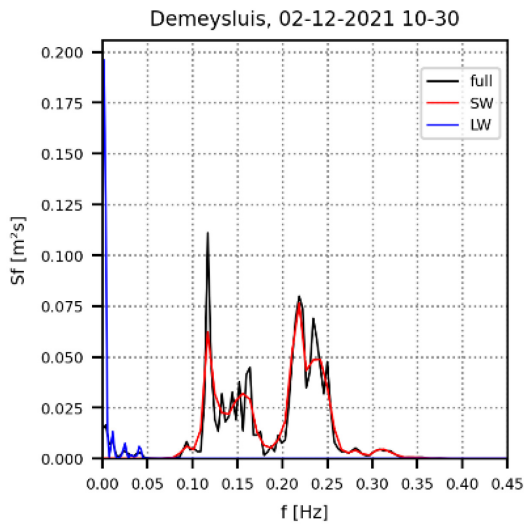
Naamgeving betanden: b.v. **N\_T0\_2050\_LWT\_QS\_kruin.txt** of **323\_deg\_T3\_2020\_LWT\_QS\_dal.txt**

- N/323\_deg : windrichting
- Tn : retourperiode  $10^n$  jaar
- 2020/2050 : scenario
- LWT\_QS : significant drukprofiel berekend met lineaire golftheorie kwadratisch gesommeerd
- kruin/dal : drukprofiel onder golfkruin/golfdal



# Bijlage F Gemeten golvenspectra





DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)