



**Vlaanderen**  
is wetenschap



20\_025\_2  
WL rapporten

## Toetsing kunstwerken in kusthavens

Deelrapport 2  
Golfbelasting Visserijsluis

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

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

# Toetsing kunstwerken in kusthavens

## Deelrapport 2 – Golfbelasting Visserijsluis

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

### 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 2022  
D/2022/3241/002

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Vanneste, D.; Nguyen, D.A.; De Roo, S.; Suzuki, T.** (2022). Toetsing kunstwerken in kusthavens: Deelrapport 2 – Golfbelasting Visserijsluis. Versie 3.0. WL Rapporten, 20\_025\_2. 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.:	WL2022R20_025_2
Trefwoorden (3-5):	Haven Oostende, Visserijsluis, 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.):	41	Bijlagen (p.):	42
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. ; Suzuki, T.	Getekend door: Sieglien De Roo (Signatur) Getekend op: 2022-01-06 20:48:53 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  <i>Sieglien De Roo</i> Getekend door: Tomohiro Suzuki (Signatur) Getekend op: 2022-01-10 12:12:48 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  <i>Tomohiro Suzuki</i>
Projectleider:	Vanneste, D.	Getekend door: Dieter Vanneste (Signatur) Getekend op: 2022-01-06 16:31:06 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  <i>Dieter Vanneste</i>

### Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Bellafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sig) Getekend op: 2022-01-06 12:42:41 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed  <i>Abdelkarim Bellafkih</i>
-----------------	---------------	--



## Abstract

Voor de uitvoering van de probabilistische toets van de Visserijsluis in de haven van Oostende zijn randvoorwaarden m.b.t. golfklimaat 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 Golfklimaat haven Oostende.....	3
2.1 Numerieke modellering.....	3
2.1.1 Golfindringing: Mike21-BW .....	3
2.1.2 Lokale wind: SWAN.....	7
2.1.3 Resultierend golfspectrum ter hoogte van het kunstwerk .....	8
2.2 Randvoorwaarden golfmodellen (aanlandige wind).....	10
2.2.1 Referentiejaar 2020.....	10
2.2.2 Referentiejaar 2050.....	11
2.3 Resultaten hoogwatersituatie Visserijsluis.....	12
2.3.1 Scenario 2020 .....	12
2.3.2 Scenario 2050 .....	16
2.4 Golftransformatie Visserijsluis .....	20
2.4.1 Mike21-BW .....	20
2.4.2 SWAN.....	24
3 Golfbelasting bij aanlandige wind .....	26
3.1 Methodiek .....	26
3.1.1 Omzetting golfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht.....	26
3.1.2 Kansverdeling golfkrachten en drukprofielen .....	27
3.1.3 Geometrische kenmerken Visserijsluis.....	28
3.2 Resultaten Visserijsluis hoogwatersituatie.....	28
3.2.1 Golfdrukprofielen onder golfkruin .....	28
3.2.2 Golfdrukprofielen onder golfdal.....	30
3.2.3 Golfkrachten scenario 2020.....	31
3.2.4 Golfkrachten scenario 2050.....	33
3.3 Evolutie golfbelasting tijdens stormperiode .....	35
3.3.1 Geval 1: combinatie hoge waterstand en maximale golfbelasting .....	35

3.3.2	Geval 2: combinatie laagwater en optredende golfbelasting tijdens stormopzet.....	37
4	Golfbelasting bij afluiddige wind .....	38
5	Conclusies .....	40
	Referenties .....	41
Bijlage A	Simulatiematrix (aanlandige wind).....	B1
Bijlage B	Reflectiecoëfficiënten Visserijsluis .....	B3
Bijlage C	Matrixplots golfspectra .....	B4
Bijlage D	KD-curves Mike21-BW .....	B8
Bijlage E	Significante drukprofielen .....	B10
Bijlage F	Evolutie golfhoogte tijdens stormtij .....	B11

## Lijst van de tabellen

Tabel 1 – overzicht beschikbare Mike21-BW en SWAN simulaties.....	11
Tabel 2 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020 .....	12
Tabel 3 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020 .....	14
Tabel 4 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050 .....	16
Tabel 5 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050 .....	18
Tabel 6 – Regressiecoëfficiënten SWAN-gemodelleerde golfparameters tpv. Visserijsluis.....	25
Tabel 7 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2020.....	31
Tabel 8 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2050.....	33
Tabel 9 – Richtingsafhankelijke limietwaarden waterstand bij maximale KD-factor.....	35



## Lijst van de figuren

Figuur 1 – Mike21-BW bathymetrie (peilen in m TAW), illustratie richting NNW en T=1 jaar .....	4
Figuur 2 – modelbathymetrie richting W (illustratie voor T1000) incl. onderwaterberm op de ‘knik’ van de W-dam. ....	5
Figuur 3 – indeling typeklassen voor definitie absorptiecoëfficiënten langs binnenhaven Oostende .....	6
Figuur 4 – SWAN bathymetrie haven Oostende .....	7
Figuur 5 – illustratie golfveld gemodelleerd met M21BW (links) en SWAN (rechts) in de omgeving Visserijsluis. ....	9
Figuur 6 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting NW, NNW en -37° N.....	20
Figuur 7 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting N en NNO .....	21
Figuur 8 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting W en WNW .....	21
Figuur 9 – richtingsafhankelijke transformatie van de periode .....	22
Figuur 10 – Havengeul Oostende (a) vóór verbreding (beeld 13-3-2014) en (b) na verbreding (beeld 31-7-2020) .....	23
Figuur 11 – SWAN gemodelleerde Hm0 (a) en Tm-1,0 (b) ter plaatse sluisdeur Visserijsluis in functie van lokale windsnelheid .....	24
Figuur 12 – gemodelleerde verdeling van individuele golven versus theoretische Rayleigh verdeling .....	27
Figuur 13 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Visserijsluis, scenario 2020 .....	29
Figuur 14 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Visserijsluis, scenario 2050 .....	29
Figuur 15 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Visserijsluis, scenario 2020.....	30
Figuur 16 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Visserijsluis, scenario 2050.....	30
Figuur 17 – Getijslag i.f.v. waargenomen hoogwaterstanden (1925-2019) voor verschillende drempelwaarden van stormopzet.....	36
Figuur 18 – SWAN simulaties windrichting O, ZO en Z.....	38

# 1 Inleiding

Onderhavig rapport kadert in de probabilistische studie naar het constructief faalgedrag van de Visserijsluis in de haven van Oostende door HKV en Deltares. Het rapport geeft een overzicht van de lokale golfspectra en -belastingen ter plaatse van de Visserijsluis. 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.

---

<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.

Een variatie van de waterstand tijdens de storm met aanlandige wind (geval 2) werd niet gemodelleerd. Er wordt verder in dit rapport (sectie 3.3) beschreven hoe hier verder mee om te gaan in de studie.

Voorlopig werd geen SWAN modellering uitgevoerd van de lokale windgolven voor afluiddige sectoren (gevallen 3 en 4). Indien geoordeeld wordt dat de lokale windgolven een relevante belasting veroorzaken zal WL bijkomende SWAN modellering uitvoeren. Dit wordt verder toegelicht in sectie 4 van dit rapport.

## 2 Golfklimaat haven Oostende

### 2.1 Numerieke modellering

#### 2.1.1 Golfindringing: Mike21-BW

##### Model

- 2DH Boussinesq vergelijkingen, faseoplossend
- fysische processen:
  - ✓ golfgeneratie : t.h.v. modelrand, kortkruining
  - ✓ 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 : kademuren en taluds in haven, incl. staande golven (zie verder)
  - ✓ golfbreking : voorhaven (onderwaterbermen staketsel, dijktaud Halve Maan, ...)
  - ✗ golfloop : niet beschouwd op havendammen en glooiingen<sup>3</sup>
  - ✗ golftransmissie : niet beschouwd over havendammen (kunstmatig verhoogd kruinpeil<sup>4</sup>)
- rekenrooster 1x1 m

##### 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 aangepast modelbathymetrie (Figuur 3).

##### 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 kademuren, taluds, ... langsheen het havenbekken ingedeeld in 7 typeklassen naargelang de geometrie (kruinpeil, rechte muur of talud, palenfundering, aanwezigheid stormmuur):

In de haven werden 7 typen constructies geïdentificeerd waarvoor dezelfde reflectiecoëfficiënt werd aangenomen:

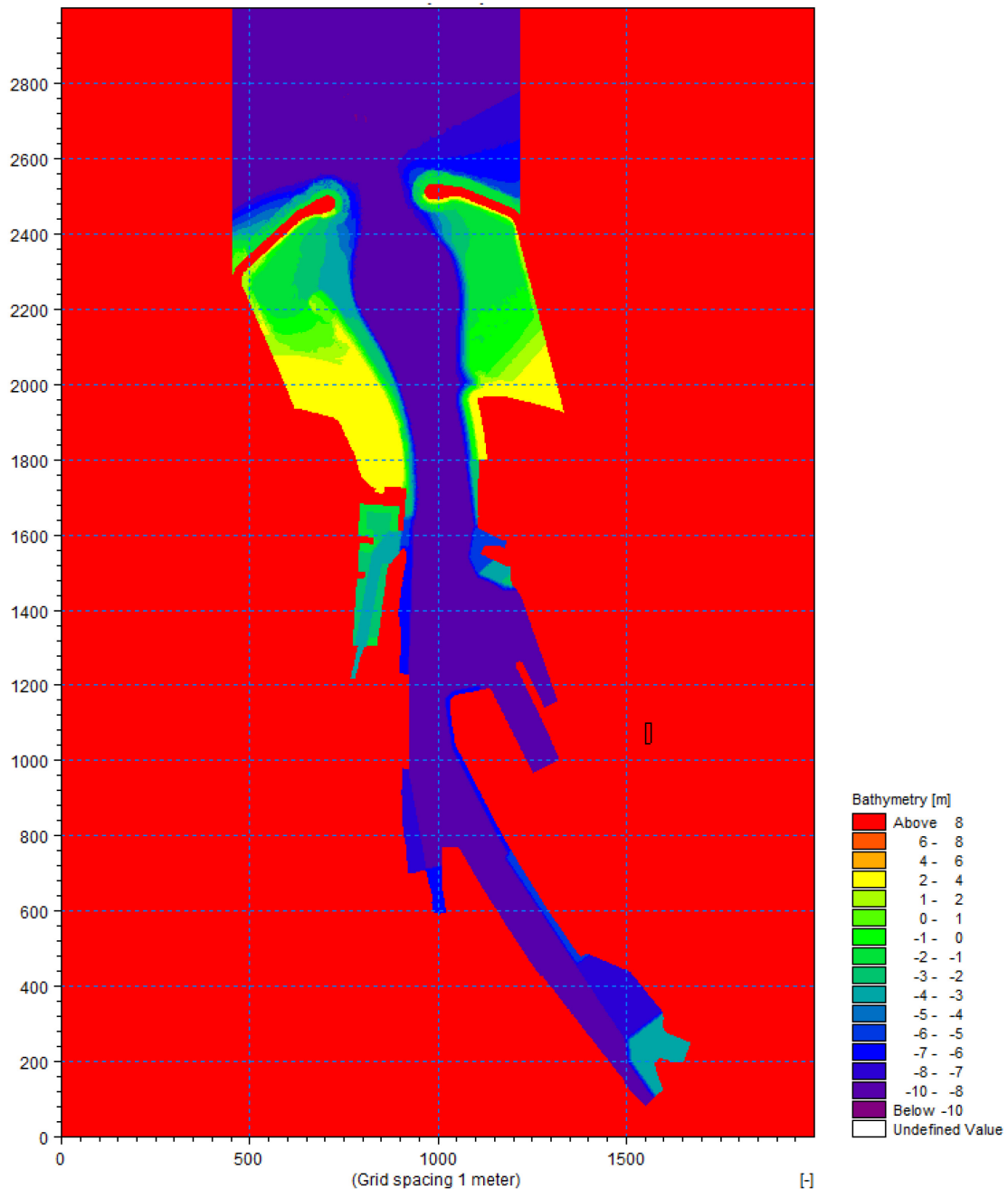
1. Onovertopbare kaaimuur (kaaimuur met onovertopbare stormmuur net aan de rand van de kaaimuur of dus bermbreedte = 0m);
2. Kaaimuur op peil ~6.90mTAW en met stormmuur op korte afstand van de rand (<15m);
3. Kaaimuur op peil ~6.90mTAW en met stormmuur op enige afstand van de rand (~15m);
4. Kaaimuur 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.

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

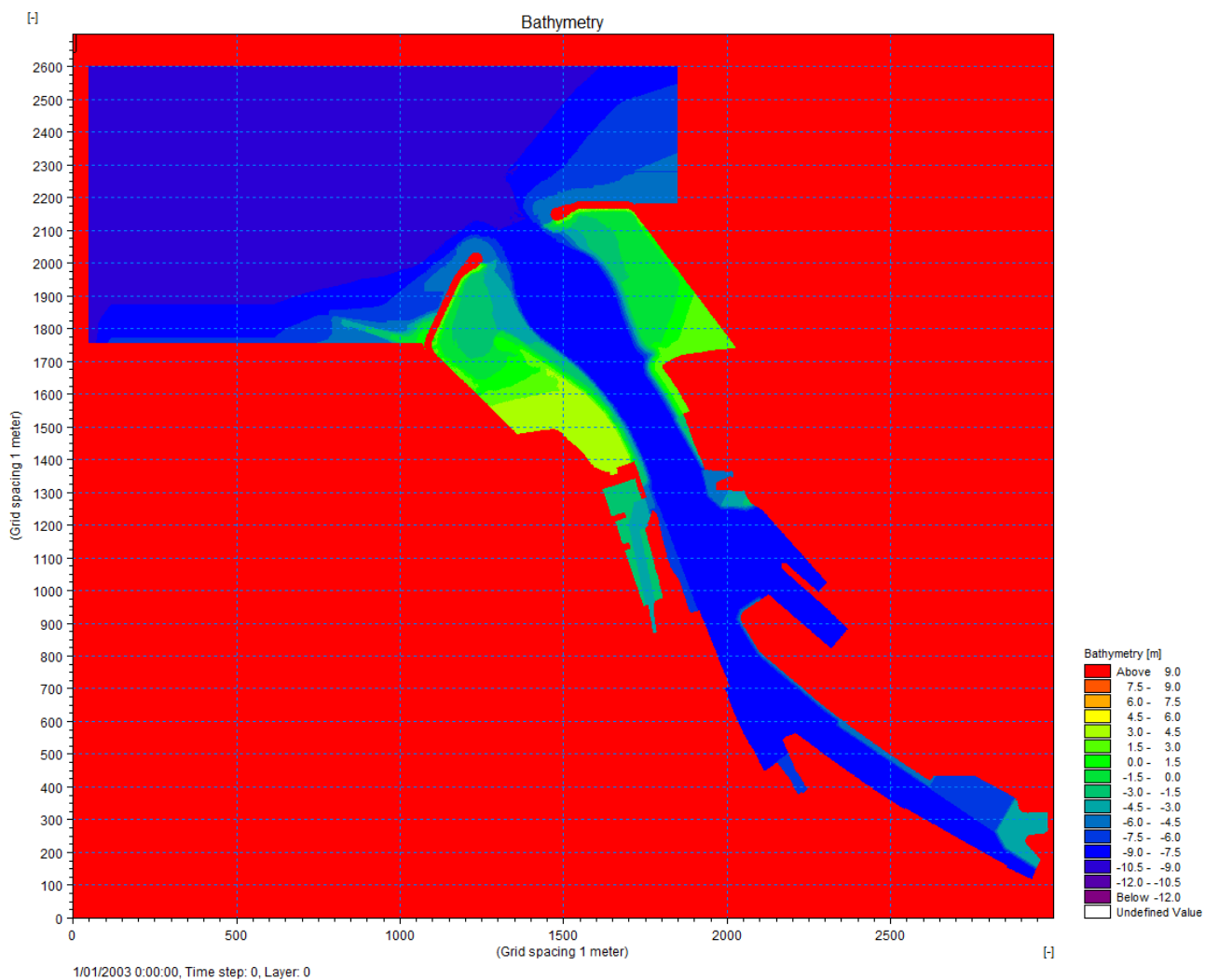
<sup>4</sup> De numerieke implementatie met porositeitslagen bleek geen optie omdat op die manier de geometrie niet accuraat ingebouwd kan worden en er bovendien stabiliteitsproblemen mee gepaard gaan (zie het oorspronkelijk modelopzet §3.1.5 in Gruwez *et al.* (2011)).

Merk op dat in de bepaling van de reflectiecoëfficiënten werd uitgegaan van de eigenschappen (type wand, kruinpeil) van de bestaande kadeconstructies in de haven.

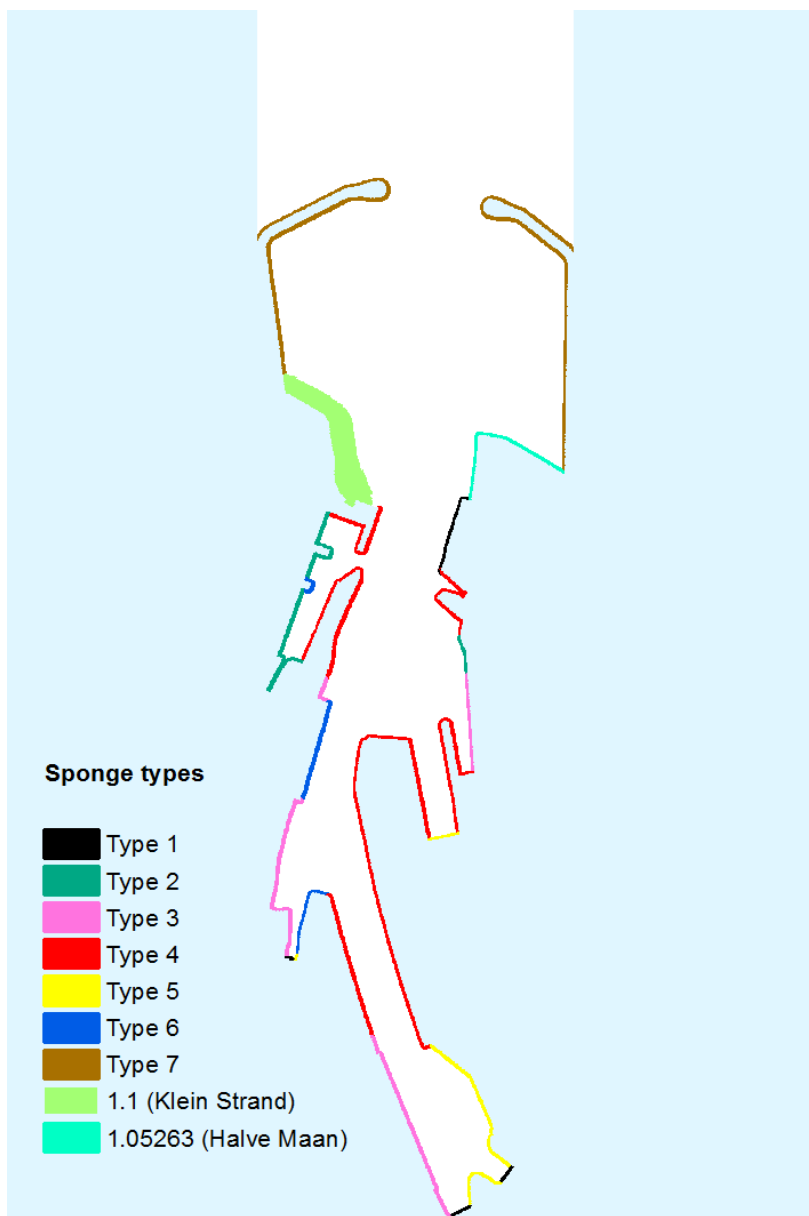
2 extra klassen voor het Klein Strand en de (nieuw aangelegde) Halve Maandijk werden gedefinieerd. De locatie van de types wordt weergegeven in Figuur 2. De waarde van de reflectie/absorptiecoëfficiënt is niet enkel afhankelijk van het type constructie maar ook van de waterstand. De relatie tussen de 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 zeevaartse sluisdeuren van de Visserijsluis.



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



Figuur 2 – modelbathymetrie richting W (illustratie voor T1000) incl. onderwaterberm op de 'kniek' van de W-dam.



Figuur 3 – indeling typeklassen voor definitie absorptiecoëfficiënten langs binnenhaven Oostende

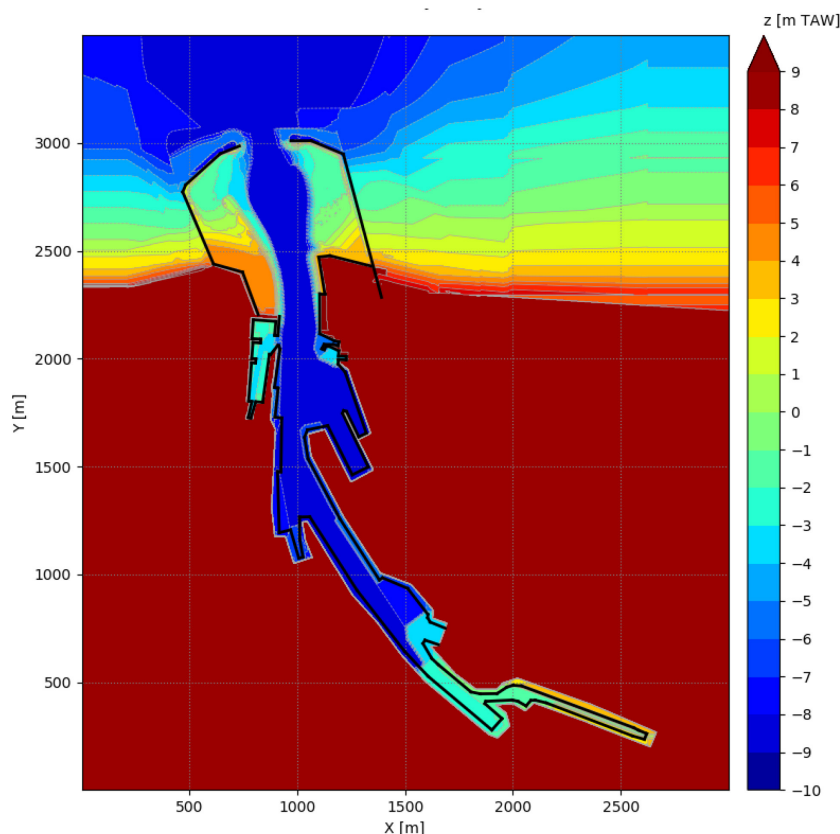
## 2.1.2 Lokale wind: SWAN

### 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 : kademuuren 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 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. Open havenmond. Figuur 3 toont de bathymetrie met aanduiding van de obstakels<sup>5</sup>. Zie Bijlage B voor toegepaste reflectiecoëfficiënten ter plaatse van de Visserijsluis.



Figuur 4 – 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 Visserijsluis 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 4. 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 4 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 4), 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  $S_{f,M}$  met een factor  $1/(1 + C_{R,S}^2)$ ;
- Het *totaal* SWAN golfspectrum wordt bekomen door vermenigvuldiging van het gemodelleerde golfspectrum  $S_{f,M}$  met een factor  $1 + 2C_R/(1 + C_{R,S}^2)$ ;

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).

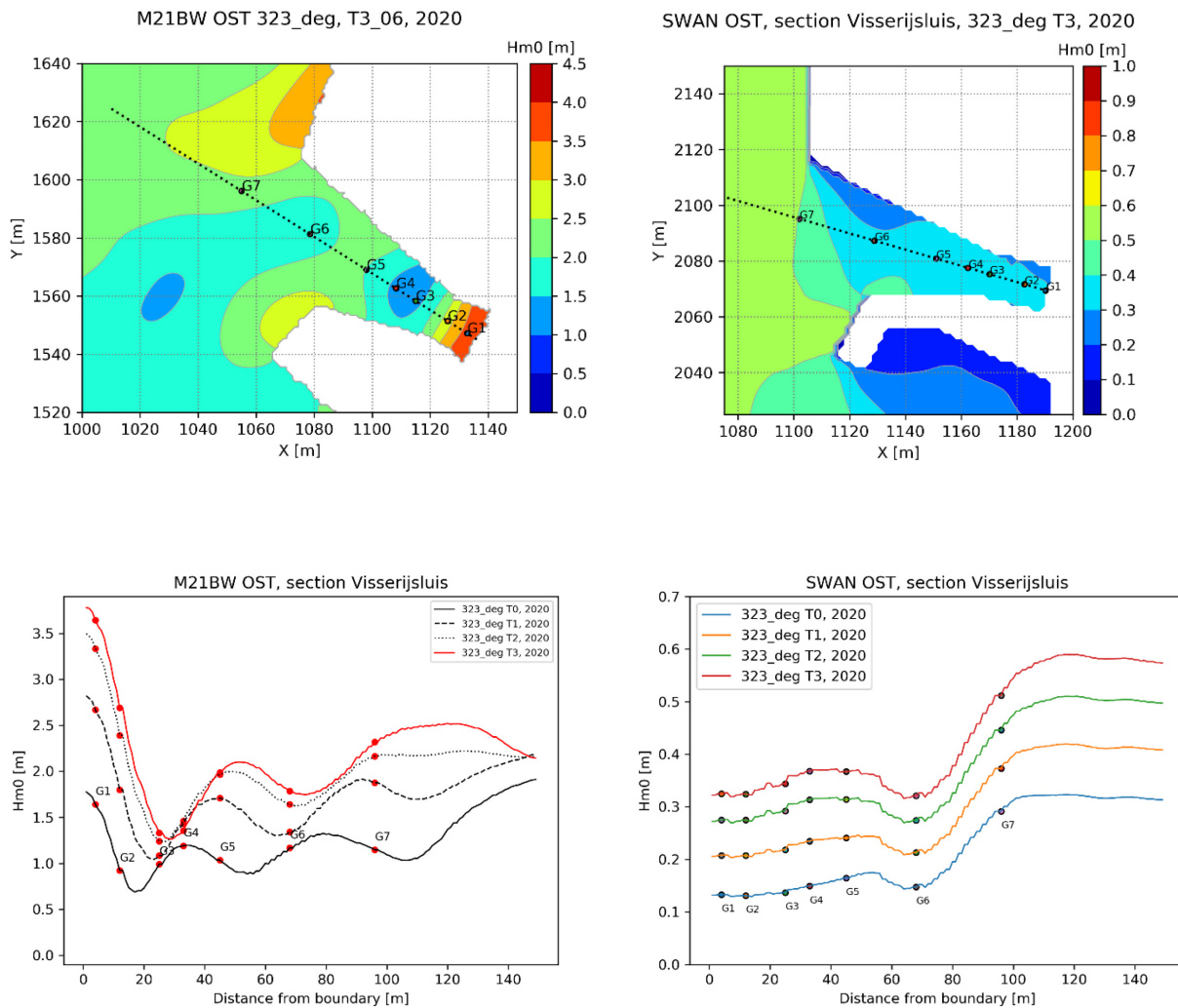
Het resultierend *invallend* golfspectrum ter plaatse van het kunstwerk wordt dan bekomen als:

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

Het resultierend *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 5 – illustratie golfveld gemodelleerd met M21BW (links) en SWAN (rechts) in de omgeving Visserijsluis.

## 2.2 Randvoorwaarden golfmodellen (aanlandige wind)

### 2.2.1 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 ( $-37^\circ\text{N}$ ) 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 NNE wordt de golfindringing in de haven van Oostende verwaarloosbaar geacht (dit wordt bevestigd in de resultaten voor W en NNO in Bijlage C).

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

<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.

Tabel 1 – 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	✓	✓

### 2.2.2 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 klimaatsverandering 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 stormopzetten 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 periode 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.

## 2.3 Resultaten hoogwatersituatie Visserijsluis

### 2.3.1 Scenario 2020

Tabel 2 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]
NO	T0			0.06	1.31	0.06	1.31
	T1			0.09	1.51	0.09	1.51
	T2			0.12	1.68	0.12	1.68
	T3			0.16	1.88	0.16	1.88
	T4			0.22	2.06	0.22	2.06
	T5			0.27	2.23	0.27	2.23
NNO	T0	0.09	7.31	0.05	1.04	0.10	5.85
	T1	0.22	9.53	0.07	1.23	0.23	8.77
	T2	0.33	10.70	0.12	1.57	0.35	9.64
	T3	0.37	11.34	0.19	1.93	0.41	9.45
	T4	0.39	11.94	0.24	2.16	0.46	9.23
	T5	0.37	12.56	0.29	2.30	0.47	8.76
N	T0	0.15	8.94	0.05	0.92	0.16	8.22
	T1	0.26	10.07	0.07	1.10	0.27	9.40
	T2	0.86	11.03	0.13	1.57	0.87	10.80
	T3	0.97	11.72	0.18	1.84	0.99	11.38
	T4	0.89	12.33	0.22	2.00	0.92	11.72
	T5	0.78	12.80	0.25	2.11	0.82	11.78
NNW	T0	0.79	9.16	0.08	1.03	0.79	9.09
	T1	1.21	10.13	0.12	1.32	1.22	10.04
	T2	1.62	10.95	0.18	1.66	1.63	10.84
	T3	1.84	11.43	0.22	1.80	1.86	11.29
	T4	1.77	11.91	0.25	1.89	1.78	11.72
	T5	1.41	12.24	0.29	1.98	1.44	11.83
-37°N	T0	0.84	8.86	0.10	1.12	0.85	8.75
	T1	1.37	10.21	0.15	1.44	1.38	10.10
	T2	1.71	10.80	0.20	1.69	1.73	10.68
	T3	1.93	11.10	0.24	1.82	1.94	10.96
	T4	1.78	11.44	0.27	1.91	1.80	11.22
	T5	1.44	11.85	0.29	1.96	1.47	11.45

Tabel 2 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020 (vervolg)

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]
NW	T0	0.85	8.64	0.11	1.19	0.86	8.51
	T1	1.29	10.14	0.17	1.50	1.31	9.99
	T2	1.68	10.83	0.21	1.70	1.69	10.69
	T3	1.94	11.19	0.25	1.83	1.96	11.03
	T4	1.56	11.60	0.28	1.91	1.58	11.30
	T5	1.37	11.89	0.30	1.96	1.40	11.43
WNW	T0	0.48	9.15	0.16	1.37	0.51	8.38
	T1	0.83	10.81	0.24	1.66	0.86	10.12
	T2	1.00	11.57	0.32	1.90	1.05	10.69
	T3	1.00	12.13	0.39	2.10	1.08	10.79
	T4	1.00	12.30	0.46	2.26	1.10	10.55
	T5	0.75	12.95	0.52	2.38	0.91	9.48
W	T0	0.07	8.84	0.19	1.48	0.20	2.35
	T1	0.14	10.28	0.29	1.78	0.33	3.42
	T2	0.31	10.41	0.40	2.06	0.51	5.24
	T3	0.38	10.46	0.51	2.33	0.63	5.21
	T4	0.32	10.79	0.61	2.56	0.69	4.31
	T5	0.35	11.03	0.71	2.74	0.79	4.37
WSW	T0			0.22	1.55	0.22	1.55
	T1			0.29	1.76	0.29	1.76
	T2			0.36	1.96	0.36	1.96
	T3			0.43	2.12	0.43	2.12
	T4			0.49	2.27	0.49	2.27
	T5			0.55	2.40	0.55	2.40
SW	T0			0.19	1.47	0.19	1.47
	T1			0.25	1.68	0.25	1.68
	T2			0.32	1.87	0.32	1.87
	T3			0.39	2.04	0.39	2.04
	T4			0.46	2.20	0.46	2.20
	T5			0.51	2.32	0.51	2.32

Tabel 3 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,tot [s]
NE	T0			0.12	1.31	0.12	1.31
	T1			0.17	1.51	0.17	1.51
	T2			0.22	1.68	0.22	1.68
	T3			0.31	1.88	0.31	1.88
	T4			0.42	2.06	0.42	2.06
	T5			0.51	2.23	0.51	2.23
NNE	T0	0.17	7.31	0.09	1.04	0.19	5.96
	T1	0.44	9.53	0.13	1.23	0.46	8.84
	T2	0.66	10.70	0.23	1.57	0.70	9.73
	T3	0.74	11.34	0.35	1.93	0.82	9.60
	T4	0.74	11.94	0.46	2.16	0.87	9.26
	T5	0.69	12.56	0.53	2.30	0.87	8.73
N	T0	0.30	8.94	0.09	0.92	0.31	8.29
	T1	0.53	10.07	0.14	1.10	0.55	9.46
	T2	1.71	11.03	0.26	1.57	1.73	10.82
	T3	1.84	11.72	0.35	1.84	1.88	11.38
	T4	1.66	12.33	0.42	2.00	1.71	11.71
	T5	1.38	12.80	0.47	2.11	1.46	11.71
NNW	T0	1.57	9.16	0.14	1.03	1.58	9.10
	T1	2.43	10.13	0.23	1.32	2.44	10.05
	T2	3.25	10.95	0.34	1.66	3.26	10.85
	T3	3.51	11.43	0.41	1.80	3.53	11.29
	T4	3.26	11.91	0.46	1.89	3.29	11.72
	T5	2.46	12.24	0.52	1.98	2.52	11.80
-37°N	T0	1.68	8.86	0.18	1.12	1.69	8.76
	T1	2.73	10.21	0.29	1.44	2.75	10.11
	T2	3.43	10.80	0.39	1.69	3.45	10.69
	T3	3.67	11.10	0.46	1.82	3.70	10.96
	T4	3.31	11.44	0.51	1.91	3.35	11.22
	T5	2.54	11.85	0.54	1.96	2.59	11.42

Tabel 3 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2020 (vervolg)

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,tot [m]	Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Tm_10 [s]
NW	T0	1.70	8.64	0.22	1.19	1.72	8.52
	T1	2.59	10.14	0.32	1.50	2.61	10.00
	T2	3.36	10.83	0.41	1.70	3.38	10.70
	T3	3.70	11.19	0.48	1.83	3.73	11.04
	T4	2.91	11.60	0.52	1.91	2.95	11.30
	T5	2.42	11.89	0.56	1.96	2.48	11.39
WNW	T0	0.96	9.15	0.30	1.37	1.01	8.45
	T1	1.66	10.81	0.45	1.66	1.72	10.18
	T2	2.00	11.57	0.60	1.90	2.09	10.77
	T3	1.91	12.13	0.75	2.10	2.05	10.80
	T4	1.87	12.30	0.86	2.26	2.06	10.53
	T5	1.32	12.95	0.96	2.38	1.63	9.29
W	T0	0.14	8.84	0.37	1.48	0.39	2.43
	T1	0.29	10.28	0.56	1.78	0.62	3.56
	T2	0.63	10.41	0.76	2.06	0.99	5.45
	T3	0.72	10.46	0.96	2.33	1.20	5.22
	T4	0.60	10.79	1.15	2.56	1.30	4.29
	T5	0.65	11.03	1.32	2.74	1.47	4.36
WSW	T0			0.41	1.55	0.41	1.55
	T1			0.55	1.76	0.55	1.76
	T2			0.69	1.96	0.69	1.96
	T3			0.81	2.12	0.81	2.12
	T4			0.92	2.27	0.92	2.27
	T5			1.03	2.40	1.03	2.40
SW	T0			0.35	1.47	0.35	1.47
	T1			0.48	1.68	0.48	1.68
	T2			0.61	1.87	0.61	1.87
	T3			0.74	2.04	0.74	2.04
	T4			0.86	2.20	0.86	2.20
	T5			0.97	2.32	0.97	2.32



2.3.2 Scenario 2050

Tabel 4 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]
NO	T0			0.06	1.31	0.06	1.31
	T1			0.09	1.51	0.09	1.51
	T2			0.13	1.72	0.13	1.72
	T3			0.18	1.94	0.18	1.94
	T4			0.23	2.10	0.23	2.10
	T5			0.27	2.24	0.27	2.24
NNO	T0	0.09	7.31	0.05	1.04	0.10	5.86
	T1	0.22	9.53	0.08	1.28	0.23	8.65
	T2	0.33	10.70	0.14	1.72	0.36	9.34
	T3	0.37	11.34	0.20	2.00	0.42	9.27
	T4	0.39	11.94	0.25	2.17	0.46	9.18
	T5	0.37	12.56	0.29	2.29	0.47	8.75
N	T0	0.15	8.94	0.05	0.91	0.16	8.22
	T1	0.26	10.07	0.09	1.32	0.28	9.10
	T2	0.86	11.03	0.14	1.64	0.87	10.77
	T3	0.97	11.72	0.18	1.84	0.99	11.38
	T4	0.89	12.33	0.22	1.97	0.92	11.74
	T5	0.78	12.80	0.25	2.10	0.82	11.79
NNW	T0	0.87	9.25	0.08	1.07	0.88	9.18
	T1	1.24	10.22	0.14	1.48	1.25	10.11
	T2	1.62	11.10	0.18	1.68	1.63	10.98
	T3	1.67	11.69	0.22	1.80	1.68	11.53
	T4	1.47	12.27	0.24	1.87	1.49	11.99
	T5	1.38	12.31	0.27	1.95	1.40	11.93
-37°N	T0	0.89	8.97	0.11	1.24	0.89	8.85
	T1	1.38	10.14	0.17	1.55	1.39	10.02
	T2	1.74	10.79	0.21	1.72	1.75	10.66
	T3	1.80	11.27	0.24	1.82	1.82	11.10
	T4	1.85	11.73	0.27	1.89	1.87	11.53
	T5	1.46	11.90	0.29	1.95	1.49	11.51

Tabel 4 – invallende golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050 (vervolg)

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,inc [s]
NW	T0	0.90	8.75	0.13	1.33	0.91	8.59
	T1	1.40	10.17	0.18	1.58	1.41	10.03
	T2	1.75	10.96	0.22	1.73	1.76	10.82
	T3	1.85	11.24	0.25	1.83	1.86	11.07
	T4	1.46	11.67	0.28	1.90	1.49	11.33
	T5	1.26	12.02	0.30	1.95	1.29	11.47
WNW	T0	0.48	9.15	0.17	1.45	0.51	8.29
	T1	0.83	10.81	0.25	1.72	0.86	10.07
	T2	1.00	11.57	0.32	1.93	1.05	10.66
	T3	1.00	12.13	0.39	2.10	1.08	10.79
	T4	1.00	12.30	0.46	2.26	1.11	10.53
	T5	0.75	12.95	0.52	2.37	0.91	9.51
W	T0	0.07	8.84	0.20	1.52	0.21	2.34
	T1	0.14	10.28	0.30	1.81	0.33	3.39
	T2	0.31	10.41	0.40	2.07	0.51	5.21
	T3	0.38	10.46	0.51	2.33	0.63	5.19
	T4	0.32	10.79	0.61	2.55	0.69	4.32
	T5	0.35	11.03	0.71	2.73	0.79	4.36
WSW	T0			0.22	1.58	0.22	1.58
	T1			0.30	1.79	0.30	1.79
	T2			0.37	1.98	0.37	1.98
	T3			0.43	2.13	0.43	2.13
	T4			0.49	2.26	0.49	2.26
	T5			0.54	2.38	0.54	2.38
SW	T0			0.19	1.48	0.19	1.48
	T1			0.26	1.70	0.26	1.70
	T2			0.33	1.89	0.33	1.89
	T3			0.39	2.05	0.39	2.05
	T4			0.45	2.19	0.45	2.19
	T5			0.52	2.32	0.52	2.32

Tabel 5 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,inc [m]	Tm_10,tot [s]
NO	T0			0.12	1.31	0.12	1.31
	T1			0.17	1.51	0.17	1.51
	T2			0.25	1.72	0.25	1.72
	T3			0.34	1.94	0.34	1.94
	T4			0.44	2.10	0.44	2.10
	T5			0.51	2.24	0.51	2.24
NNO	T0	0.17	7.31	0.09	1.04	0.19	5.97
	T1	0.44	9.53	0.15	1.28	0.47	8.72
	T2	0.66	10.70	0.27	1.72	0.71	9.45
	T3	0.74	11.34	0.38	2.00	0.83	9.43
	T4	0.74	11.94	0.46	2.17	0.88	9.23
	T5	0.69	12.56	0.53	2.29	0.87	8.78
N	T0	0.30	8.94	0.09	0.91	0.31	8.29
	T1	0.53	10.07	0.18	1.32	0.56	9.18
	T2	1.71	11.03	0.27	1.64	1.73	10.80
	T3	1.84	11.72	0.35	1.84	1.88	11.38
	T4	1.66	12.33	0.40	1.97	1.71	11.75
	T5	1.38	12.80	0.46	2.10	1.46	11.74
NNW	T0	1.75	9.25	0.15	1.07	1.75	9.19
	T1	2.48	10.22	0.27	1.48	2.49	10.12
	T2	3.08	11.10	0.35	1.68	3.10	10.98
	T3	3.11	11.69	0.41	1.80	3.14	11.53
	T4	2.61	12.27	0.45	1.87	2.64	11.97
	T5	2.39	12.31	0.48	1.95	2.44	11.90
-37°N	T0	1.77	8.97	0.21	1.24	1.79	8.86
	T1	2.76	10.14	0.32	1.55	2.78	10.03
	T2	3.31	10.79	0.39	1.72	3.33	10.66
	T3	3.39	11.27	0.45	1.82	3.42	11.11
	T4	3.41	11.73	0.50	1.89	3.44	11.52
	T5	2.55	11.90	0.53	1.95	2.60	11.48

Tabel 5 – totale golfparameters ter hoogte van de Visserijsluis, scenario 2050 (vervolg)

		M21BW		SWAN		gecombineerd	
		Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Hm0,tot [m]	Hm0,tot [m]	Tm_10,tot [s]	Tm_10 [s]
NW	T0	1.80	8.75	0.25	1.33	1.82	8.61
	T1	2.80	10.17	0.34	1.58	2.82	10.04
	T2	3.33	10.96	0.42	1.73	3.36	10.82
	T3	3.48	11.24	0.47	1.83	3.51	11.07
	T4	2.69	11.67	0.51	1.90	2.74	11.33
	T5	2.20	12.02	0.55	1.95	2.27	11.43
WNW	T0	0.96	9.15	0.32	1.45	1.01	8.37
	T1	1.66	10.81	0.47	1.72	1.72	10.14
	T2	2.00	11.57	0.61	1.93	2.09	10.74
	T3	1.91	12.13	0.74	2.10	2.05	10.82
	T4	1.87	12.30	0.86	2.26	2.06	10.54
	T5	1.32	12.95	0.94	2.37	1.62	9.36
W	T0	0.14	8.84	0.38	1.52	0.40	2.41
	T1	0.29	10.28	0.57	1.81	0.64	3.52
	T2	0.63	10.41	0.77	2.07	0.99	5.42
	T3	0.72	10.46	0.96	2.33	1.20	5.22
	T4	0.60	10.79	1.14	2.55	1.29	4.32
	T5	0.65	11.03	1.30	2.73	1.45	4.38
WSW	T0			0.42	1.58	0.42	1.58
	T1			0.56	1.79	0.56	1.79
	T2			0.70	1.98	0.70	1.98
	T3			0.82	2.13	0.82	2.13
	T4			0.92	2.26	0.92	2.26
	T5			1.01	2.38	1.01	2.38
SW	T0			0.36	1.48	0.36	1.48
	T1			0.49	1.70	0.49	1.70
	T2			0.62	1.89	0.62	1.89
	T3			0.75	2.05	0.75	2.05
	T4			0.86	2.19	0.86	2.19
	T5			0.97	2.32	0.97	2.32

## 2.4 Golftransformatie Visserijsluis

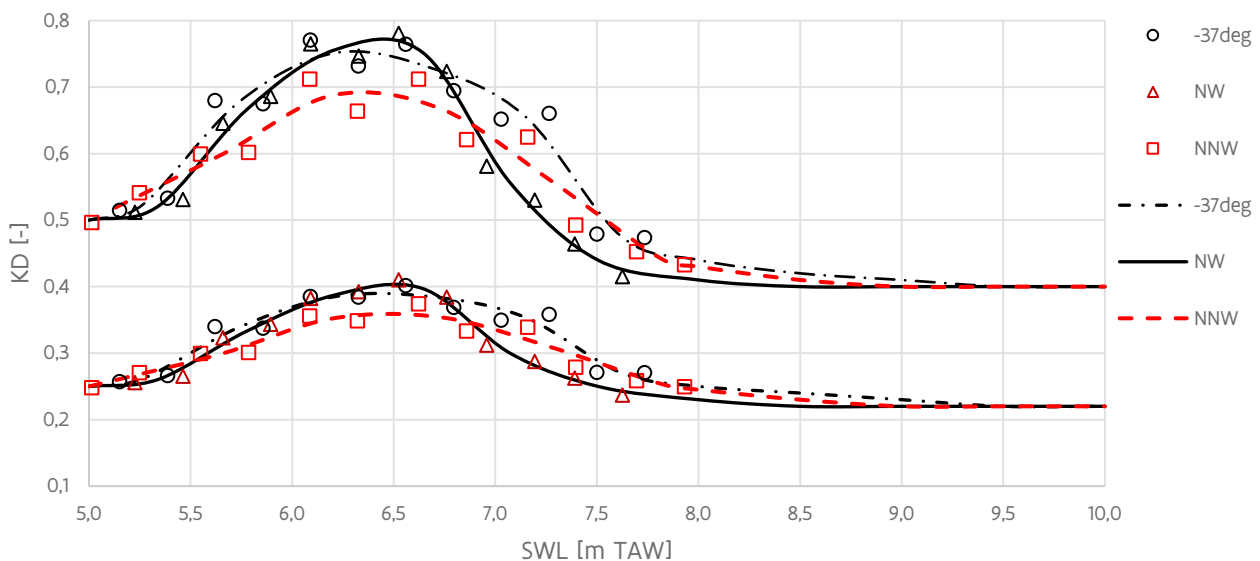
De resultaten van de golfsimulaties worden in deze sectie voorgesteld in een vorm die toelaat de golftransformatie te beschrijven tussen een opgelegde (richtingsafhankelijke) randvoorwaarde (de waterstand en golfcondities buitengaats en de lokale windsnelheid) en de kenmerken van de golf ter plaatse van de deur van de Visserijsluis. Dit stelt de gebruiker van deze resultaten in staat om het lokale golfveld te berekenen in functie van een gekozen randvoorwaarde, b.v. op basis van het meest recente Hydraulisch Randvoorwaardenboek 2020 (Vuik *et al.*, 2020)<sup>11</sup>.

### 2.4.1 Mike21-BW

De zg. invallende ( $K_D^{inc}$ ) of totale ( $K_D^{tot}$ ) *diffractioncoëfficiënt* wordt gedefinieerd als de verhouding van de resp. lokale invallende of totale golfhoogte tot de golfhoogte buitengaats (opgelegd aan de Mike21-BW modelrand):

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

De KD-factor 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.



Figuur 6 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting NW, NNW en -37° N (bovenste kromme totaal, onderste invallend)

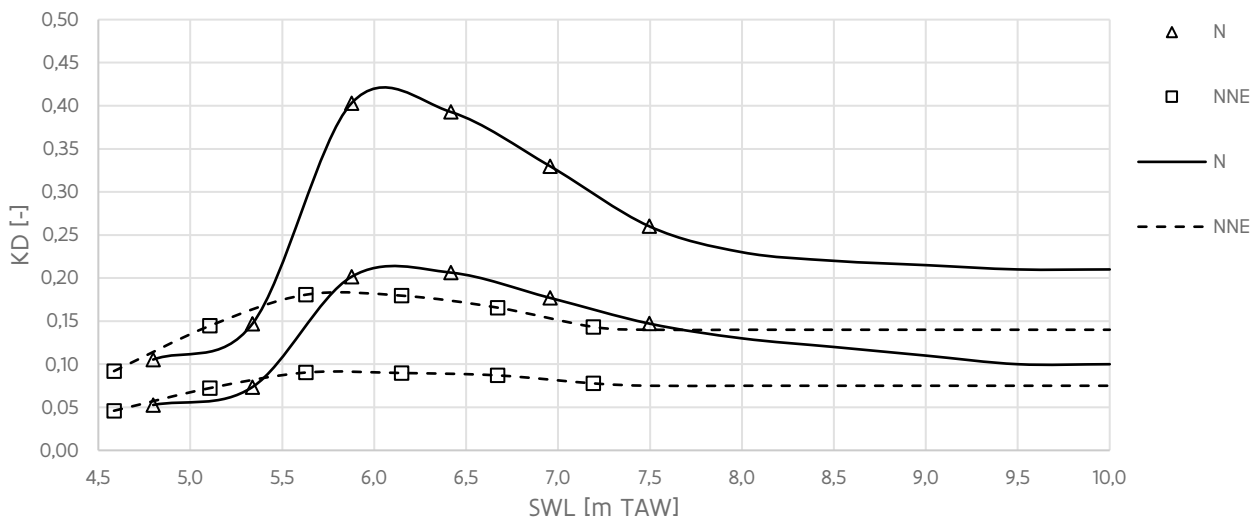
Figuur 6 toont de KD-coëfficiënten voor de golfrichtingen NW, NNW en -37°N in functie van de waterstand (SWL). De symbolen in Figuur 6 tonen de gemodelleerde waarden. Bemerkt dat deze punten geen monotoon stijgend of dalend verloop kennen, dit is het gevolg van de verschillen tussen de simulaties voor 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>12</sup>.

<sup>11</sup> Als locatie dient het beschikbare uitvoerpunt 117 nabij de haveningang Oostende gekozen te worden [X=493920.54 m, Y= 5677439.60 m UTM31 WGS84, Z=-7.78 m TAW] volgens BCP2020.

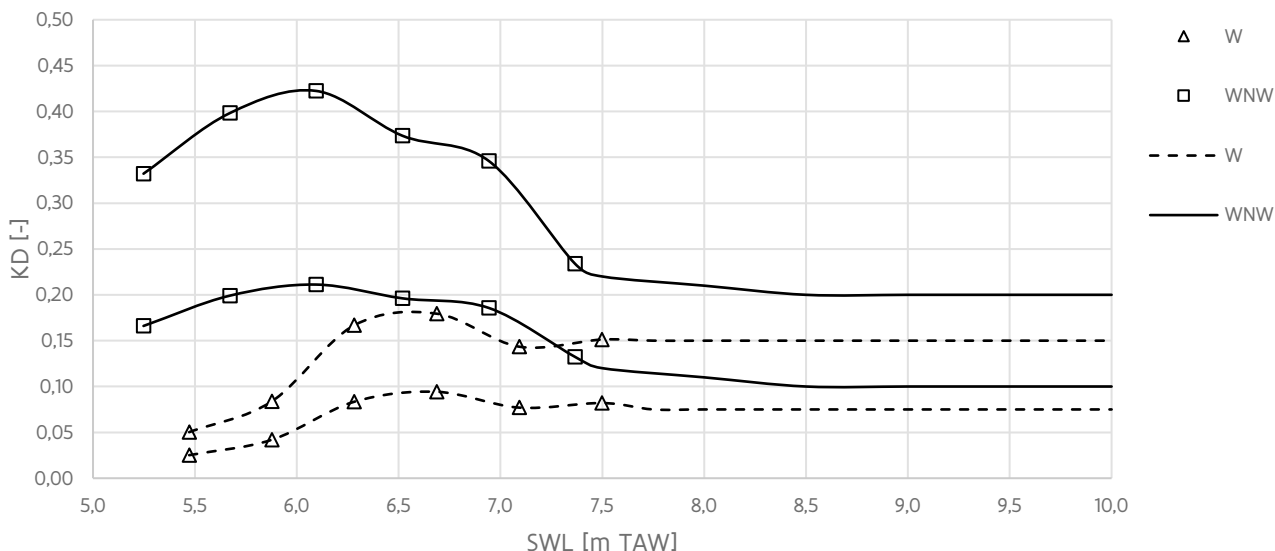
<sup>12</sup> Voor praktisch gebruik kan kubische interpolatie toegepast worden teneinde de krommen in Figuur 6 te benaderen.

De krommen vertonen een maximum rond tussen + 6.0 en 6.5 m TAW. Dit kan toegeschreven worden aan de maximale reflectie in het havenbekken in dit interval van waterstand. Tussen +6.75 en +7.5 m TAW is de KD-waarde het hoogst voor de richting -37 °N (de richting van de vaargeul). Voor hogere waterstanden neemt de KD-coëfficiënt terug af wegens de golftransmissie over de kaavlakken.

Figuur 7 en 8 geven de KD-curves voor resp. richtingen N,NNO en W,WNW weer. Het bereik van deze curves werd artificeel uitgebreid tussen+5 en +10 m TAW. Getalwaarden dewelke deze KD-curves bepalen zijn opgenomen in Bijlage D.



Figuur 7 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting N en NNO (bovenste kromme totaal, onderste invallend)



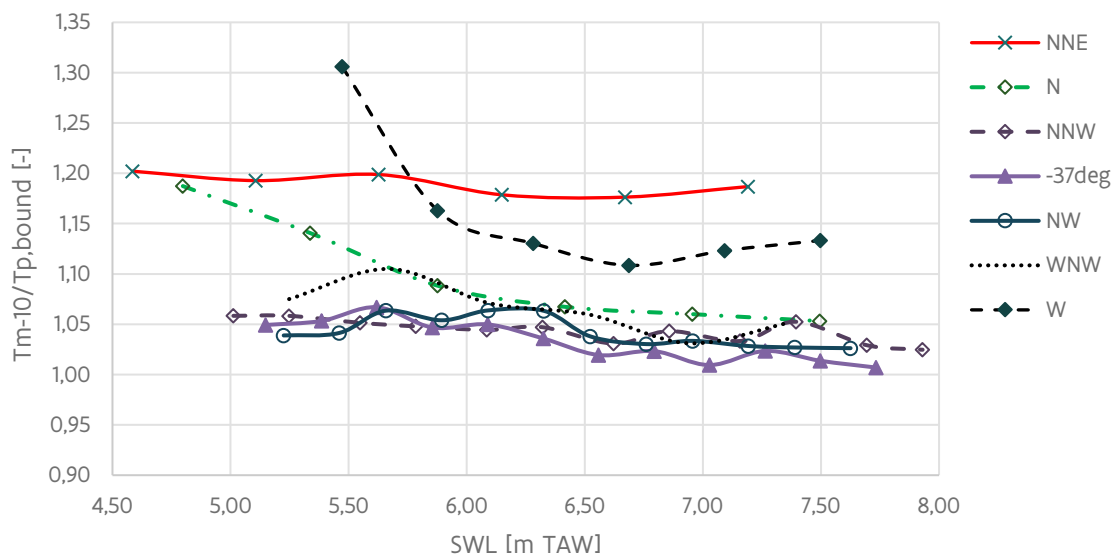
Figuur 8 – KD-coëfficiënten Visserijsluis golfrichting W en WNW (bovenste kromme totaal, onderste invallend)

Naast de transformatie van de golfhoogte dient ook de transformatie van de golfperiode in het Mike21-BW gekarakteriseerd te worden. Daartoe wordt de verhouding tussen de spectrale periode  $T_{m-1,0}$  en de golfpiekperiode buitengaats  $T_{p,bound}$  (op de modelrand) gebruikt.

De evolutie van deze verhouding in functie van de waterstand wordt weergegeven in Figuur 9. Behalve voor richtingen NNO, N en W ligt deze verhouding tussen 1 en 1.1, en neemt deze licht af met toenemende waterstand. Voor praktisch gebruik kan gesteld worden:

$$T_{m-1,0} = 1.05 * T_{p,bound} ; \text{golfrichting N, NNW, } -37^\circ\text{N, NW, WNW}$$

$$T_{m-1,0} = 1.15 * T_{p,bound} ; \text{golfrichting NNE, W}$$



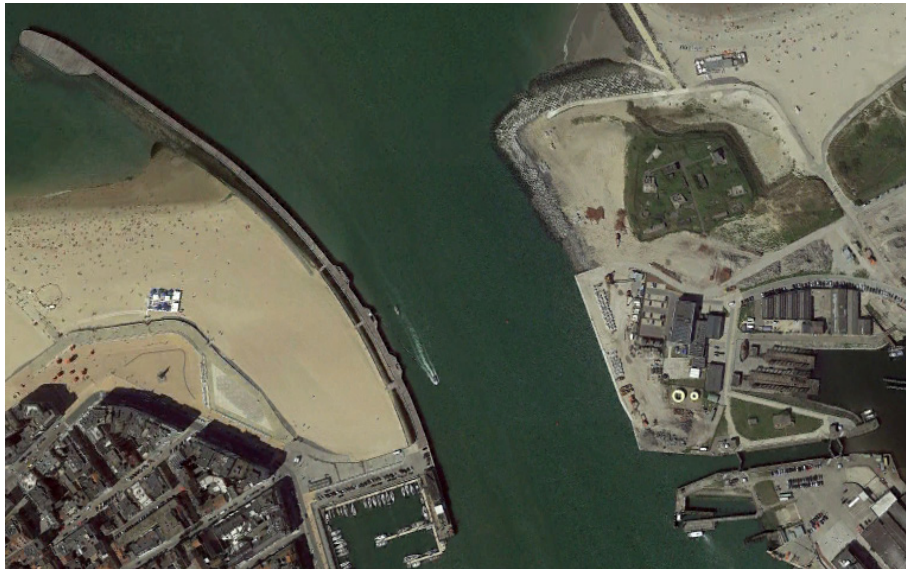
Figuur 9 – richtingsafhankelijke transformatie van de periode

De maximale waarde van de totale KD-factor ter plaatse van de deur van de Visserijsluis bedraagt bijna 0.8 (Figuur 6) en is nog een stuk hoger dan de waarde 0.4-0.5 vermeld in De Roo *et al.* (2020), die echter bepaald werd aan de ingang van de fuik (ter hoogte van uitvoerpunt G6 in Figuur 5).

De KD-factoren zijn een stuk hoger dan de gemeten waarden 0.2-0.3 tijdens stormcondities (IMDC, 2015). De verbreding van de vaargeul ter hoogte van de Halve Maan (zie Figuur 10) is, zoals ook aangegeven in De Roo *et al.* (2020) de reden voor de toegenomen golfenergie ter hoogte van de Visserijsluis.



(a)



(b)

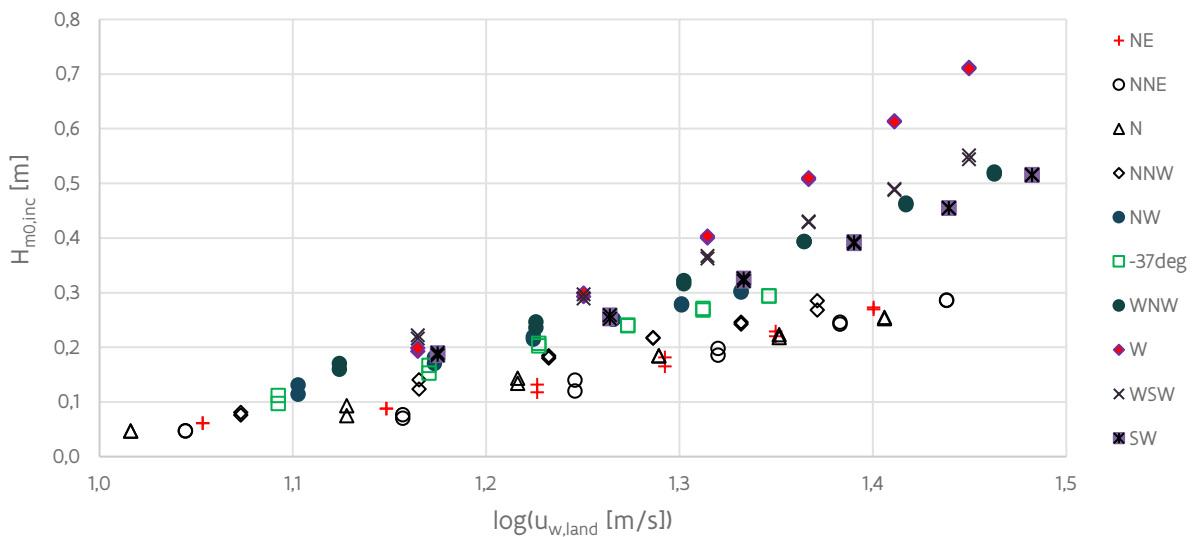
Figuur 10 – Havengeul Oostende (a) vóór verbreding (beeld 13-3-2014) en (b) na verbreding (beeld 31-7-2020)



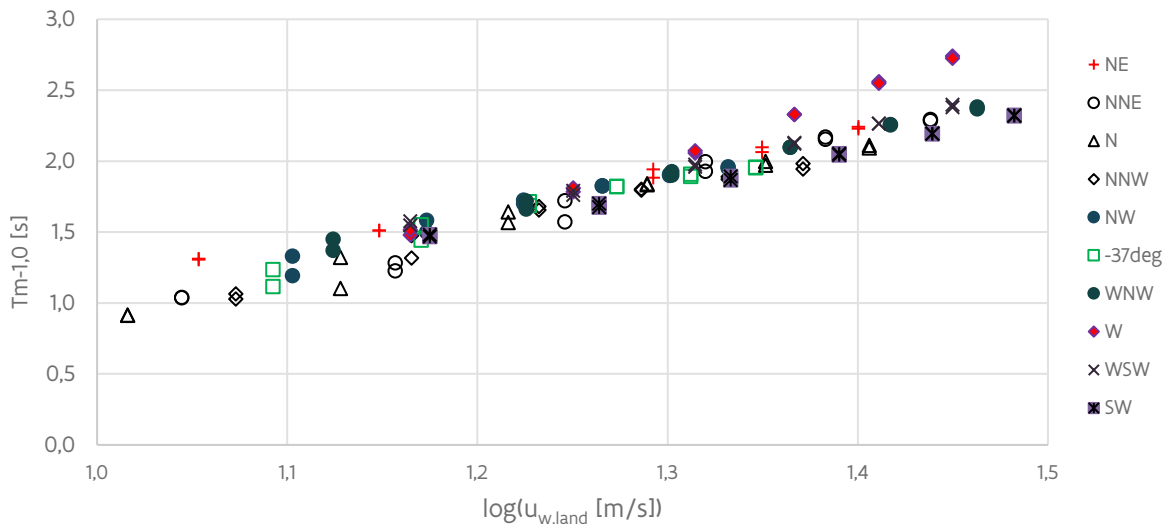
2.4.2 SWAN

Uit de analyse van de golfhoogte en -periode ter plaatse van de Visserijsluis blijkt dat deze sterk gecorreleerd zijn met de windsnelheid (Figuur 10). 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 (zie tabel B.2). 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.

De verschillen in gemodelleerde  $H_{m0}$  of  $T_{m-1,0}$  voor gelijke windsnelheid (en -richting) en beide waterstanden (2020 en 2050) zijn beperkt en treden voornamelijk op voor waterstanden in de nabijheid van de kruinpeilen van de kademuren (grosso modo tussen +6.5 en +7.5 m TAW in de haven van Oostende).



(a)



(b)

Figuur 11 – SWAN gemodelleerde  $H_{m0}$  (a) en  $T_{m-1,0}$  (b) ter plaatse sluisdeur Visserijsluis in functie van lokale windsnelheid

Voor de verschillende windrichtingen wordt een lineair verband afgeleid<sup>13</sup> tussen het logaritme van de lokale windsnelheid (zie §2.2) en de invallende golfhoogte en spectrale periode:

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

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

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 CR de waarde voor de (waterstandsafhankelijke) reflectiecoëfficiënt (zie tabel B.2).

Tabel 6 – Regressiecoëfficiënten SWAN-gemodelleerde golfparameters t.p.v. Visserijsluis

	$h_1$ [m*log(s/m)]	$h_2$ [m]	$t_1$ [s*log(s/m)]	$t_2$ [m]
NO	0.7358	-0.7682	2.9044	-1.8379
NNO	0.7678	-0.8199	3.7373	-3.0266
N	0.6090	-0.6022	3.1740	-2.3073
NNW	0.6874	-0.6676	2.6856	-1.6881
-37°N	0.7640	-0.7334	2.5985	-1.5131
NW	0.7984	-0.7605	2.6182	-1.5082
WNW	1.1799	-1.2111	2.9135	-1.8782
W	2.0850	-2.3260	4.7505	-4.1558
WZW	1.2698	-1.3000	3.0684	-2.0627
ZW	1.1901	-1.2561	2.9042	-1.9858

<sup>13</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.

## 3 Golfbelasting bij aanlandige wind

### 3.1 Methodiek

#### 3.1.1 Omzetting golfspectrum in golfdrukprofiel en golfkracht

De golfbelasting op het kunstwerk wordt op basis van het golfspectrum op 2 manieren berekend: (i) volgens de methode Goda-Takahashi (2010) en (ii) op basis van het golfdrukprofiel volgens de lineaire golftheorie.

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 werd als invoer gebruikt, welke overeenstemt met een significante golfkracht  $F_s$ ;
- de golflengte berekend op basis van de *invallende* golfpiekperiode  $T_p \approx 1.1 * T_{m-1,0}$ ;
- een dichtheid van zeewater  $\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$ ;
- loodrechte golfval<sup>14</sup>;
- 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 energieinhoud vertonen<sup>15</sup>. Als alternatief kunnen 'equivalente' waarden voor  $H_{m0}$  en  $T_p$  gebruikt worden als invoer (gewogen gemiddeldes) evenwel zonder kennis van de impact op de betrouwbaarheid van de methode.

De significante golfkracht  $F_s$  (kracht per eenheidsbreedte op een vlakke wand) onder een enkeltoppig<sup>16</sup> golfspectrum wordt op basis van de **lineaire golftheorie** berekend als:

$$F_s^\pm = \pm \int_{-h}^{\pm H_s/2} \frac{\rho_w g H_s}{2} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} dz \quad (1)$$

waarbij  $H_s$  de *totale* significante golfhoogte inclusief gemodelleerde reflectie ( $H_s \approx H_{m0}$ ) en  $k = 2\pi/L_p$  het golfgetal op basis van de golfpiekperiode  $T_p \approx 1.1 * T_{m-1,0}$ . In vergelijking (1) staat het plusteken voor de kracht onder een golfkruin, het minteken onder een golfdal.

Hoewel de golfdruk in vergelijking (1) strikt genomen theoretisch geldig is tot op de stilwaterlijn ( $z=0$ ), werd de kracht in voorliggende berekeningen geïntegreerd tot op de golfkruin (voor zover deze onder het kruinpeil van de sluisdeur blijft). Vermits de lineaire golftheorie slechts geldig is voor golven met beperkte amplitude kunnen grotere afwijkingen verwacht worden naarmate de golven sterker niet-lineair worden.

<sup>14</sup> De golfrichting in de fuik van de Visserijsluis werd niet bepaald in Mike21-BW en SWAN. Voor de windgolven uit sector ZW-WNW kan deze met goede benadering als loodrecht invallend op de sluisdeuren ingeschat worden (zie bijlage C). Voor de indringingsgolven uit sector N-WNW treedt er diffractie op de hoek van de C-power kaai en reflectie op de kademuuren op. In dat geval is de golfrichting niet met hoge nauwkeurigheid vast te stellen. De golfrichting wordt daarom (conservatief) vastgelegd als loodrecht invallend op de sluisdeuren, voor alle golfrichtingen.

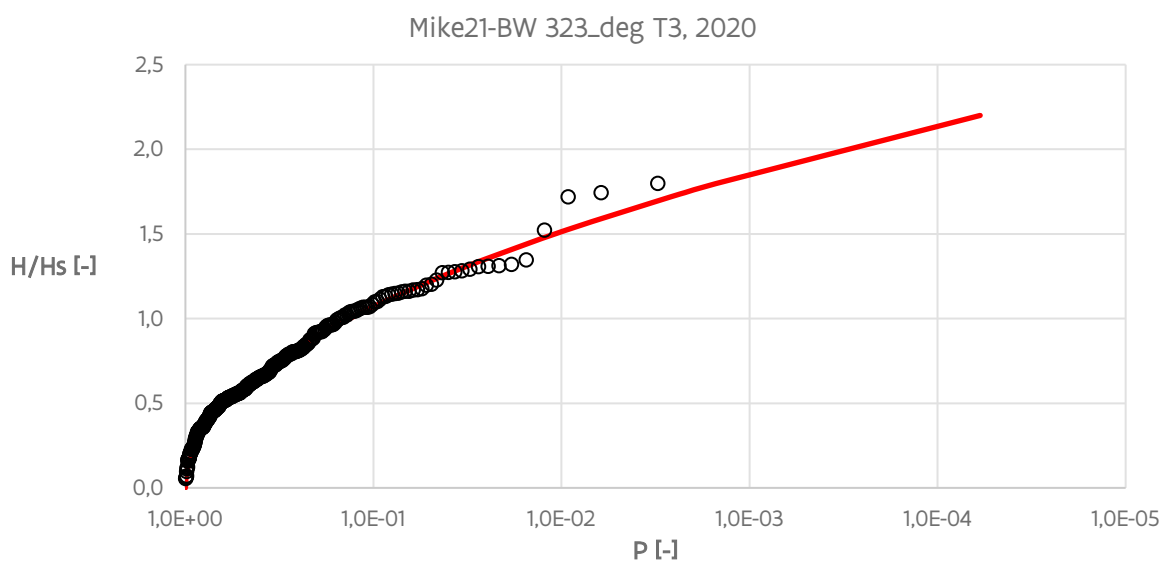
<sup>15</sup> Uit de studie van de gemodelleerde golfspectra blijkt dat dit enkel voor de Demeysluis het geval is.

<sup>16</sup> Als alternatief voor een dubbeltoppig spectrum kan de methode 2x toegepast worden en de resultaten kwadratisch gesommeerd (persoonlijke communicatie H. Tuin).

In Tuin (2020) werden de Goda methode en de lineaire golftheorie vergeleken met de lineaire spectrale golftheorie. Voor het geval van de Visserijsluis, waar een enkeltoppig golfspectrum van toepassing is, werd een goede overeenkomst tussen de lineaire golftheorie en de spectrale lineaire golftheorie bekomen. Beiden resulteerden voor het beschouwde geval in iets hogere waarden van golfkracht in vergelijking met de Goda methode. In de resultaten wordt de hoogste waarde resulterend uit beide methodes weerhouden.

### 3.1.2 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). Dit gegeven wordt geïllustreerd aan de hand van een met Mike21-BW gemodelleerd golfspectrum nabij de Visserijsluis (Figuur 4).



Figuur 12 – gemodelleerde verdeling van individuele golven versus theoretische Rayleigh verdeling (rode lijn).

De kans op overschrijden van een golfkracht kan conditioneel aan het golfveld beschouwd worden<sup>17</sup>. In Tuin (2020) 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>18</sup>:

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

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 (2) 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.

<sup>17</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>18</sup> Afgeleid op basis van  $P\left(\frac{H}{\bar{H}}\right) = \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right]$  en  $H_s \approx 1.6\bar{H}$  (zie hoofdstuk 2 Goda (2010))

### 3.1.3 Geometrische kenmerken Visserijsluis

Bodempeil ter plaatse van sluiskolk: -5.6 m TAW<sup>19</sup>.

Kruinpeil vloeddeuren: +6.91 m TAW.

De aanwezigheid van de klapperdeuren wordt verwaarloosd. De belastbare breedte van een enkele puntdeur bedraagt 9.5 m<sup>20</sup>. In dit rapport worden de golfkrachten echter per eenheidsbreedte uitgedrukt.

## 3.2 Resultaten Visserijsluis hoogwatersituatie

### 3.2.1 Golfdrukprofielen onder golfkruin

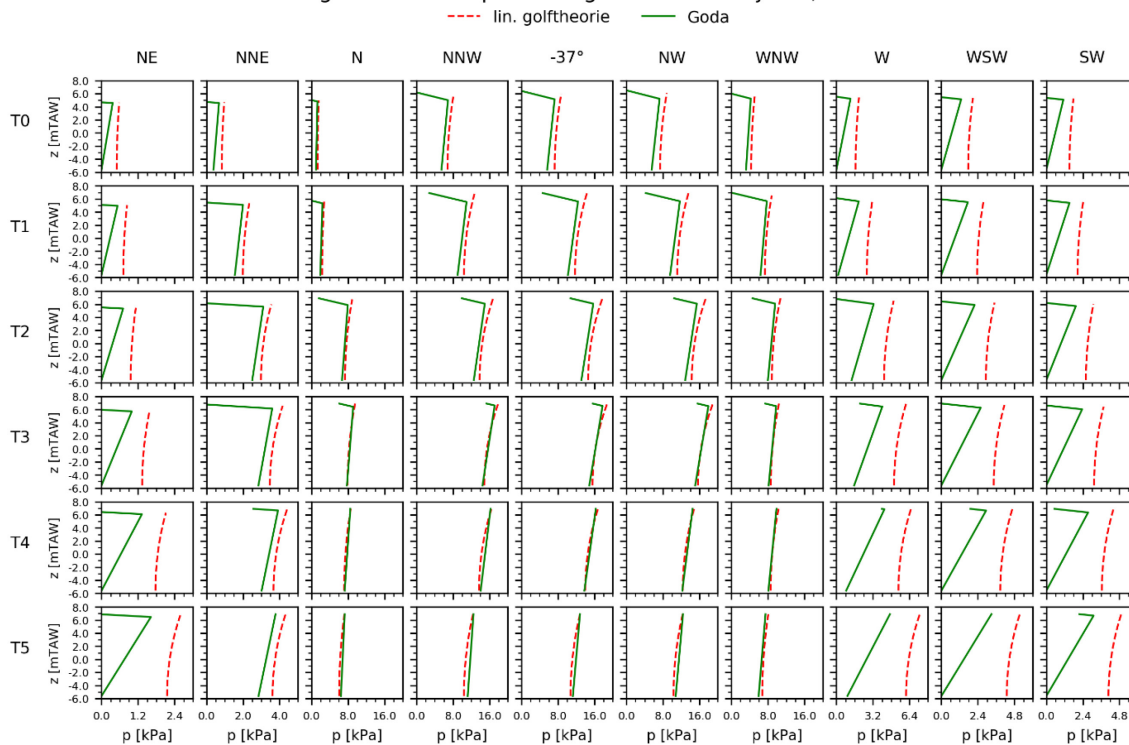
Het overzicht van significante golfdrukprofielen berekend voor de scenario's 2020 en 2050 wordt getoond in resp. Figuur 5 en 6. Voor de richtingen N, NNW, -37°N, NW en WNW, gekenmerkt door vrij lange indringingsgolven, is er een vrij goede overeenkomst tussen beide berekeningsmethoden. Door de grote golflengte komt het hyperbolisch drukprofiel volgens de lineaire golftheorie in deze gevallen vrij goed overeen met het lineaire drukprofiel volgens Goda. Voor de grootste retourperiodes ( $\geq T3$ ) levert de Goda methode de grootste waarde van de resulterende golfkracht, zij het verschil met de lineaire golftheorie beperkt (tot ca. 15%). Voor de overige richtingen, gekenmerkt door vrij korte windgolven, levert de Goda methode een beduidende onderschatting van de golfkracht, zoals ook vermeld in Tuin (2020). De getalwaarden van alle significante drukprofielen zijn opgenomen in Bijlage E.

---

<sup>19</sup> Afgeleid op peilplan 181009\_724\_HA\_OST\_HAV\_AB\_SB\_33 (peiling 33kHz dd. 9/10-10-2018).

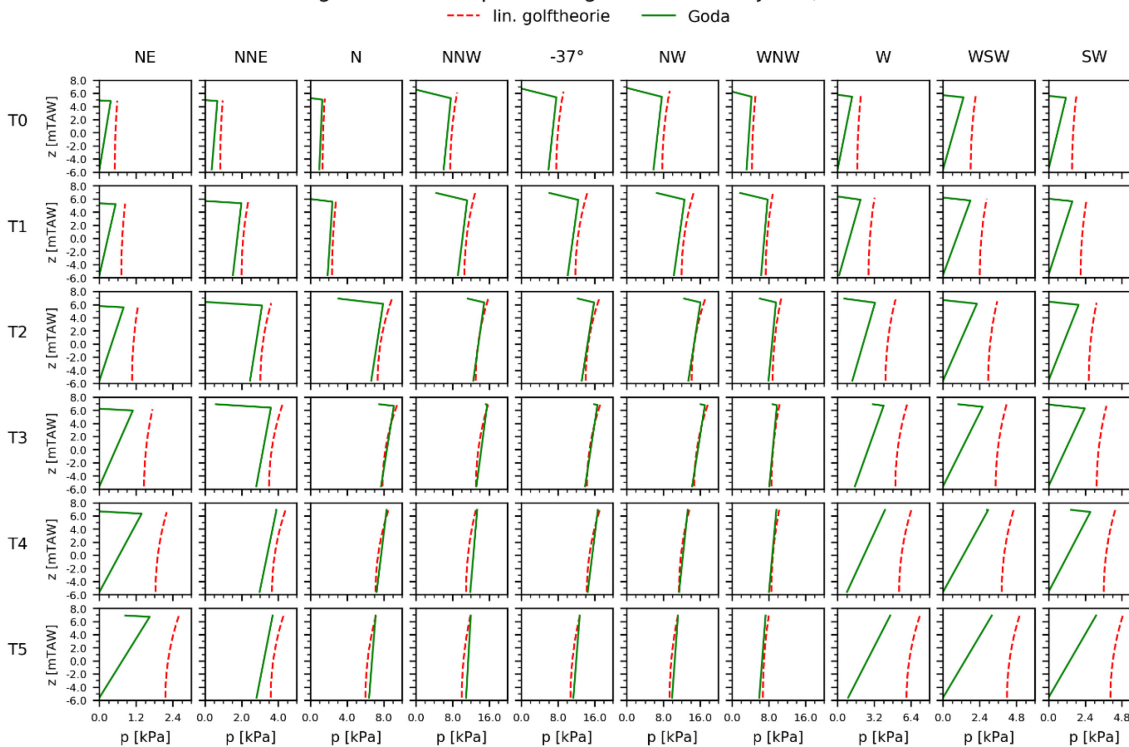
<sup>20</sup> 219020\_plan2-4 Toetsing sluisen en stuwen Oostende. Vloeddeuren benedenhoofd Visserijsluis – afmetingen hout OSS.0001

Significante drukprofielen golfkruin Visserijsluis, 2020



Figuur 13 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Visserijsluis, scenario 2020

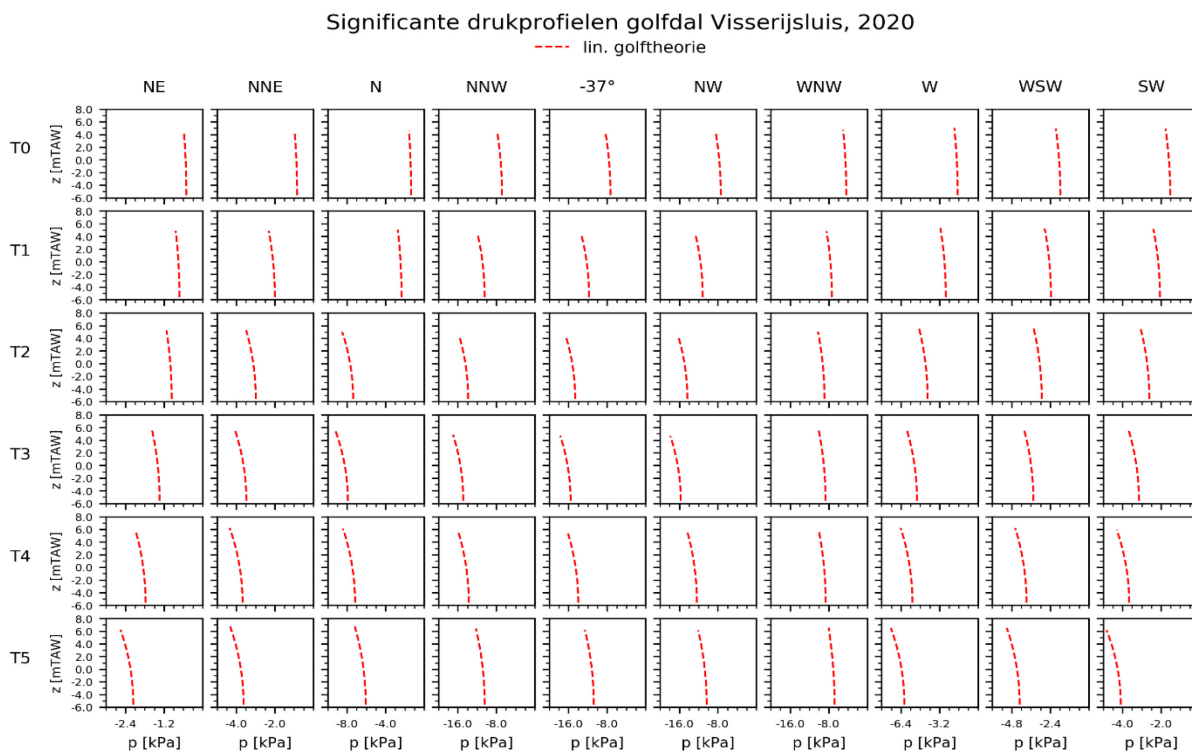
Significante drukprofielen golfkruin Visserijsluis, 2050



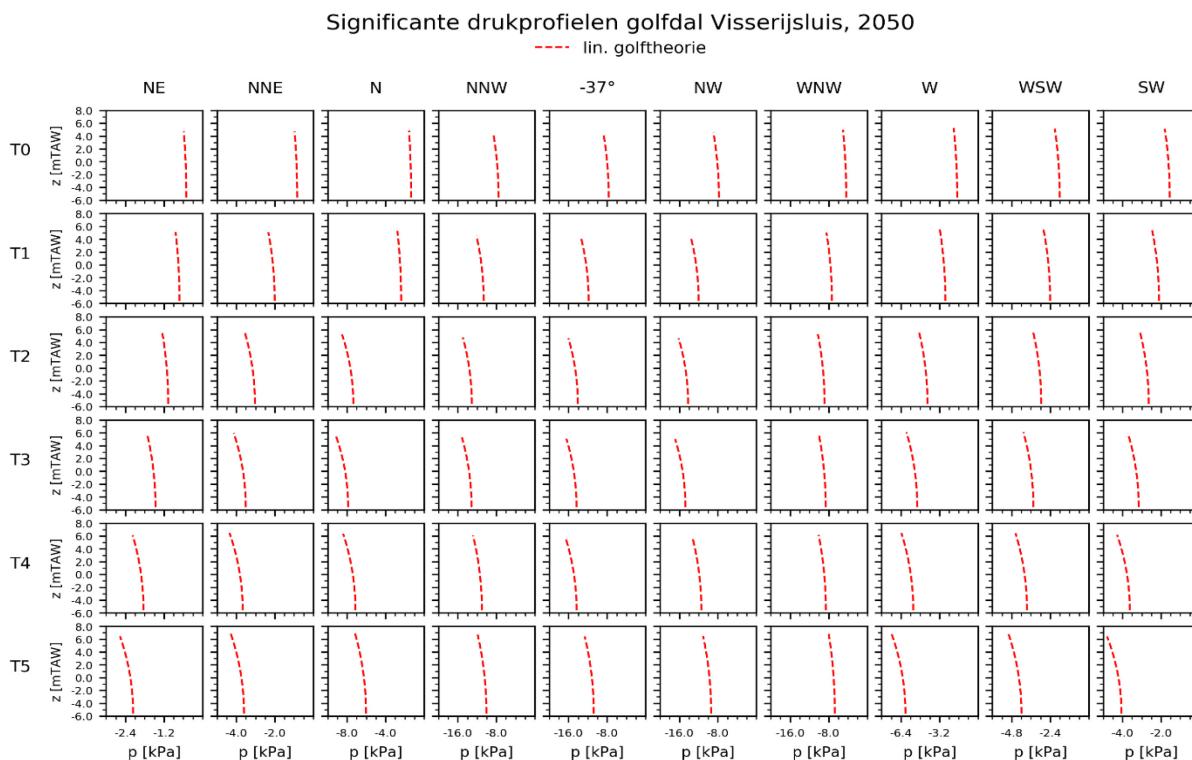
Figuur 14 – Significante golfdrukprofielen onder golfkruin, Visserijsluis, scenario 2050

### 3.2.2 Golfdrukprofielen onder golfdal

Figuur 7 en 8 tonen de golfdrukprofielen onder een golfdal berekend met de lineaire golftheorie, voor resp. scenario 2020 en 2050.



Figuur 15 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Visserijsluis, scenario 2020



Figuur 16 – Significante golfdrukprofielen onder golfdal, Visserijsluis, scenario 2050

## 3.2.3 Golfkrachten scenario 2020

Tabel 7 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2020

		SWL	H <sub>m0,inc</sub>	T <sub>m_10,inc</sub>	H <sub>m0,tot</sub>	T <sub>m_10,tot</sub>	F <sub>s</sub> golfkruin [kN/m]		F <sub>s</sub> golfdal [kN/m]
		[m TAW]	[m]	[s]	[m]	[s]	lin. golftheorie	Goda	lin. golftheorie
NO	T0	4.59	0.06	1.31	0.12	1.31	5.40	1.88	-5.33
	T1	4.96	0.09	1.51	0.17	1.51	8.06	2.82	-7.91
	T2	5.34	0.12	1.68	0.22	1.68	11.22	3.95	-10.96
	T3	5.72	0.16	1.88	0.31	1.88	16.25	5.76	-15.75
	T4	6.10	0.22	2.06	0.42	2.06	22.42	7.99	-21.56
	T5	6.48	0.27	2.23	0.51	2.23	28.30	10.14	-26.98
NNO	T0	4.59	0.10	5.85	0.19	5.96	9.06	5.49	-8.87
	T1	5.11	0.23	8.77	0.46	8.84	23.05	19.37	-21.99
	T2	5.63	0.35	9.64	0.70	9.73	36.71	32.34	-34.21
	T3	6.15	0.41	9.45	0.82	9.60	44.98	38.98	-41.60
	T4	6.67	0.46	9.23	0.87	9.26	48.96	43.34	-46.00
	T5	7.19	0.47	8.76	0.87	8.73	48.15	47.84	-47.49
N	T0	4.80	0.16	8.22	0.31	8.29	14.99	12.13	-14.50
	T1	5.34	0.27	9.40	0.55	9.46	27.74	24.22	-26.25
	T2	5.88	0.87	10.80	1.73	10.82	97.06	89.05	-82.00
	T3	6.42	0.99	11.38	1.88	11.38	105.63	105.34	-92.23
	T4	6.96	0.92	11.72	1.71	11.71	95.40	106.66	-88.52
	T5	7.50	0.82	11.78	1.46	11.71	80.44	93.12	-79.40
NNW	T0	5.01	0.79	9.09	1.58	9.10	82.50	69.84	-70.02
	T1	5.55	1.22	10.04	2.44	10.05	138.16	120.87	-108.11
	T2	6.09	1.63	10.84	3.26	10.85	185.08	171.20	-145.36
	T3	6.62	1.86	11.29	3.53	11.29	198.22	197.87	-162.60
	T4	7.16	1.78	11.72	3.29	11.72	182.58	205.03	-160.23
	T5	7.69	1.44	11.83	2.52	11.80	138.23	161.16	-132.39
-37°N	T0	5.15	0.85	8.75	1.69	8.76	89.90	73.99	-75.47
	T1	5.62	1.38	10.10	2.75	10.11	157.44	137.71	-120.62
	T2	6.09	1.73	10.68	3.45	10.69	195.52	179.63	-151.93
	T3	6.56	1.94	10.96	3.70	10.96	207.84	204.31	-167.69
	T4	7.03	1.80	11.22	3.35	11.22	186.20	204.77	-160.66
	T5	7.50	1.47	11.45	2.59	11.42	142.96	164.24	-133.95



Tabel 6 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2020 (vervolg)

		SWL [m TAW]	H <sub>m0,inc</sub> [m]	T <sub>m_10,inc</sub> [s]	H <sub>m0,tot</sub> [m]	T <sub>m_10,tot</sub> [s]	F <sub>s</sub> golfkruin [kN/m]		F <sub>s</sub> golfdal [kN/m]
							lin. golftheorie	Goda	lin. golftheorie
NW	T0	5.23	0.86	8.51	1.72	8.52	91.88	73.97	-76.94
	T1	5.66	1.31	9.99	2.61	10.00	149.25	129.77	-115.74
	T2	6.09	1.69	10.69	3.38	10.70	191.61	176.10	-149.48
	T3	6.52	1.96	11.03	3.73	11.04	209.56	206.73	-168.20
	T4	6.96	1.58	11.30	2.95	11.30	164.52	181.76	-143.73
	T5	7.39	1.40	11.43	2.48	11.39	137.21	157.98	-128.05
WNW	T0	5.25	0.51	8.38	1.01	8.45	52.03	41.96	-46.94
	T1	5.67	0.86	10.12	1.72	10.18	94.79	84.71	-80.07
	T2	6.10	1.05	10.69	2.09	10.77	118.51	108.59	-99.03
	T3	6.52	1.08	10.79	2.05	10.80	115.31	112.27	-100.94
	T4	6.94	1.10	10.55	2.06	10.53	114.71	123.63	-104.55
	T5	7.37	0.91	9.48	1.63	9.29	90.01	95.15	-87.13
W	T0	5.24	0.20	2.35	0.39	2.43	19.62	6.91	-18.87
	T1	5.64	0.33	3.42	0.62	3.56	32.69	12.41	-30.73
	T2	6.05	0.51	5.24	0.99	5.45	54.04	28.07	-49.22
	T3	6.45	0.63	5.21	1.20	5.22	67.55	35.05	-61.18
	T4	6.86	0.69	4.31	1.30	4.29	72.51	31.79	-67.96
	T5	7.26	0.79	4.37	1.47	4.36	81.28	59.56	-78.50
WSW	T0	5.14	0.22	1.55	0.41	1.55	20.41	7.21	-19.56
	T1	5.52	0.29	1.76	0.55	1.76	28.38	10.08	-26.87
	T2	5.90	0.36	1.96	0.69	1.96	36.84	13.17	-34.46
	T3	6.28	0.43	2.12	0.81	2.12	45.08	16.20	-41.79
	T4	6.65	0.49	2.27	0.92	2.27	51.66	18.66	-48.36
	T5	7.03	0.55	2.40	1.03	2.40	57.25	41.40	-55.24
SW	T0	5.09	0.19	1.47	0.35	1.47	17.41	6.14	-16.80
	T1	5.41	0.25	1.68	0.48	1.68	24.45	8.67	-23.32
	T2	5.72	0.32	1.87	0.61	1.87	32.15	11.46	-30.27
	T3	6.04	0.39	2.04	0.74	2.04	40.20	14.38	-37.44
	T4	6.36	0.46	2.20	0.86	2.20	48.30	17.33	-44.48
	T5	6.68	0.51	2.32	0.97	2.32	54.50	19.70	-50.99

## 3.2.4 Golfkrachten scenario 2050

Tabel 8 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2050

		SWL	H <sub>m0,inc</sub>	T <sub>m_10,inc</sub>	H <sub>m0,tot</sub>	T <sub>m_10,tot</sub>	F <sub>s</sub> golfkruin [kN/m]		F <sub>s</sub> golfdal [kN/m]
		[m TAW]	[m]	[s]	[m]	[s]	lin. golftheorie	Goda	lin. golftheorie
NO	T0	4.82	0.06	1.31	0.12	1.31	5.54	1.94	-5.47
	T1	5.20	0.09	1.51	0.17	1.51	8.23	2.89	-8.10
	T2	5.58	0.13	1.72	0.25	1.72	12.75	4.51	-12.45
	T3	5.96	0.18	1.94	0.34	1.94	18.23	6.47	-17.61
	T4	6.33	0.23	2.10	0.44	2.10	23.76	8.48	-22.83
	T5	6.71	0.27	2.24	0.51	2.24	28.81	10.38	-27.63
NNO	T0	4.82	0.10	5.86	0.19	5.97	9.24	5.55	-9.06
	T1	5.34	0.23	8.65	0.47	8.72	23.68	19.62	-22.59
	T2	5.86	0.36	9.34	0.71	9.45	38.05	32.83	-35.54
	T3	6.39	0.42	9.27	0.83	9.43	46.34	39.49	-42.87
	T4	6.91	0.46	9.18	0.88	9.23	48.82	43.10	-46.89
	T5	7.43	0.47	8.75	0.87	8.78	47.76	47.19	-47.76
N	T0	5.03	0.16	8.22	0.31	8.29	15.27	12.30	-14.80
	T1	5.57	0.28	9.10	0.56	9.18	28.79	24.55	-27.27
	T2	6.11	0.87	10.77	1.73	10.80	98.22	89.79	-83.74
	T3	6.65	0.99	11.38	1.88	11.38	105.12	105.23	-93.96
	T4	7.19	0.92	11.74	1.71	11.75	94.77	105.29	-90.02
	T5	7.73	0.82	11.79	1.46	11.74	79.92	91.99	-79.92
NNW	T0	5.25	0.88	9.18	1.75	9.19	94.06	79.52	-78.51
	T1	5.78	1.25	10.11	2.49	10.12	142.24	124.98	-112.56
	T2	6.32	1.63	10.98	3.10	10.98	174.71	171.53	-142.04
	T3	6.86	1.68	11.53	3.14	11.53	175.08	180.32	-150.05
	T4	7.39	1.49	11.99	2.64	11.97	146.02	170.96	-135.16
	T5	7.93	1.40	11.93	2.44	11.90	133.24	156.19	-130.88
-37°N	T0	5.39	0.89	8.85	1.79	8.86	96.97	79.96	-81.00
	T1	5.85	1.39	10.02	2.78	10.03	158.41	139.25	-124.39
	T2	6.32	1.75	10.66	3.33	10.66	187.92	181.74	-150.79
	T3	6.79	1.82	11.10	3.42	11.11	191.22	191.26	-160.48
	T4	7.26	1.87	11.53	3.44	11.52	190.56	212.09	-167.57
	T5	7.73	1.49	11.51	2.60	11.48	142.83	164.79	-136.76

Tabel 7 – significante golfkrachten Visserijsluis, scenario 2050 (vervolg)

		SWL	H <sub>m0,inc</sub>	T <sub>m_10,inc</sub>	H <sub>m0,tot</sub>	T <sub>m_10,tot</sub>	F <sub>s</sub> golfkruin [kN/m]		F <sub>s</sub> golfdal [kN/m]
		[m TAW]	[m]	[s]	[m]	[s]	lin. golftheorie	Goda	lin. golftheorie
NW	T0	5.46	0.91	8.59	1.82	8.61	99.27	80.08	-82.67
	T1	5.89	1.41	10.03	2.82	10.04	160.57	141.49	-126.35
	T2	6.33	1.76	10.82	3.36	10.82	189.37	184.60	-151.94
	T3	6.76	1.86	11.07	3.51	11.07	196.42	196.17	-163.68
	T4	7.19	1.49	11.33	2.74	11.33	151.96	168.51	-137.46
	T5	7.63	1.29	11.47	2.27	11.43	124.63	143.97	-119.98
WNW	T0	5.48	0.51	8.29	1.01	8.37	53.34	42.48	-48.19
	T1	5.91	0.86	10.07	1.72	10.14	96.72	85.69	-81.82
	T2	6.33	1.05	10.66	2.09	10.74	118.12	108.87	-101.13
	T3	6.75	1.08	10.79	2.05	10.82	114.65	111.89	-102.75
	T4	7.18	1.11	10.53	2.06	10.54	114.11	122.11	-106.51
	T5	7.60	0.91	9.51	1.62	9.36	89.11	93.85	-88.27
W	T0	5.47	0.21	2.34	0.40	2.41	20.53	7.24	-19.72
	T1	5.88	0.33	3.39	0.64	3.52	33.87	12.78	-31.87
	T2	6.28	0.51	5.21	0.99	5.42	55.35	28.30	-50.41
	T3	6.69	0.63	5.19	1.20	5.22	67.20	34.76	-62.33
	T4	7.09	0.69	4.32	1.29	4.32	71.49	52.12	-68.54
	T5	7.50	0.79	4.36	1.45	4.38	80.03	58.83	-79.04
WSW	T0	5.38	0.22	1.58	0.42	1.58	21.41	7.58	-20.51
	T1	5.76	0.30	1.79	0.56	1.79	29.67	10.57	-28.07
	T2	6.14	0.37	1.98	0.70	1.98	38.06	13.62	-35.61
	T3	6.51	0.43	2.13	0.82	2.13	45.97	16.45	-42.66
	T4	6.89	0.49	2.26	0.92	2.26	51.21	18.50	-49.02
	T5	7.27	0.54	2.38	1.01	2.38	55.70	40.51	-55.04
SW	T0	5.32	0.19	1.48	0.36	1.48	18.15	6.41	-17.50
	T1	5.64	0.26	1.70	0.49	1.70	25.60	9.08	-24.35
	T2	5.96	0.33	1.89	0.62	1.89	33.21	11.86	-31.28
	T3	6.28	0.39	2.05	0.75	2.05	41.15	14.77	-38.35
	T4	6.60	0.45	2.19	0.86	2.19	48.27	17.38	-45.11
	T5	6.91	0.52	2.32	0.97	2.32	53.94	38.93	-51.62

### 3.3 Evolutie golfbelasting tijdens stormperiode

In hetgeen voorafging werden golfkarakteristieken en bijhorende belasting op de zeevaartse deuren van de Visserijsluis 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 KD-factor ter plaatse van de Visserijsluis (bij golfindringing) is afhankelijk van de waterstand, zoals blijkt uit de analyse van de Mike21-BW resultaten (Figuur 6 t.e.m.8). Tabel 9 bevat de waterstanden waarvoor de maximale KD-factor bereikt wordt, gegeven de golfrichting.

Tabel 9 – Richtingsafhankelijke limietwaarden waterstand bij maximale KD-factor

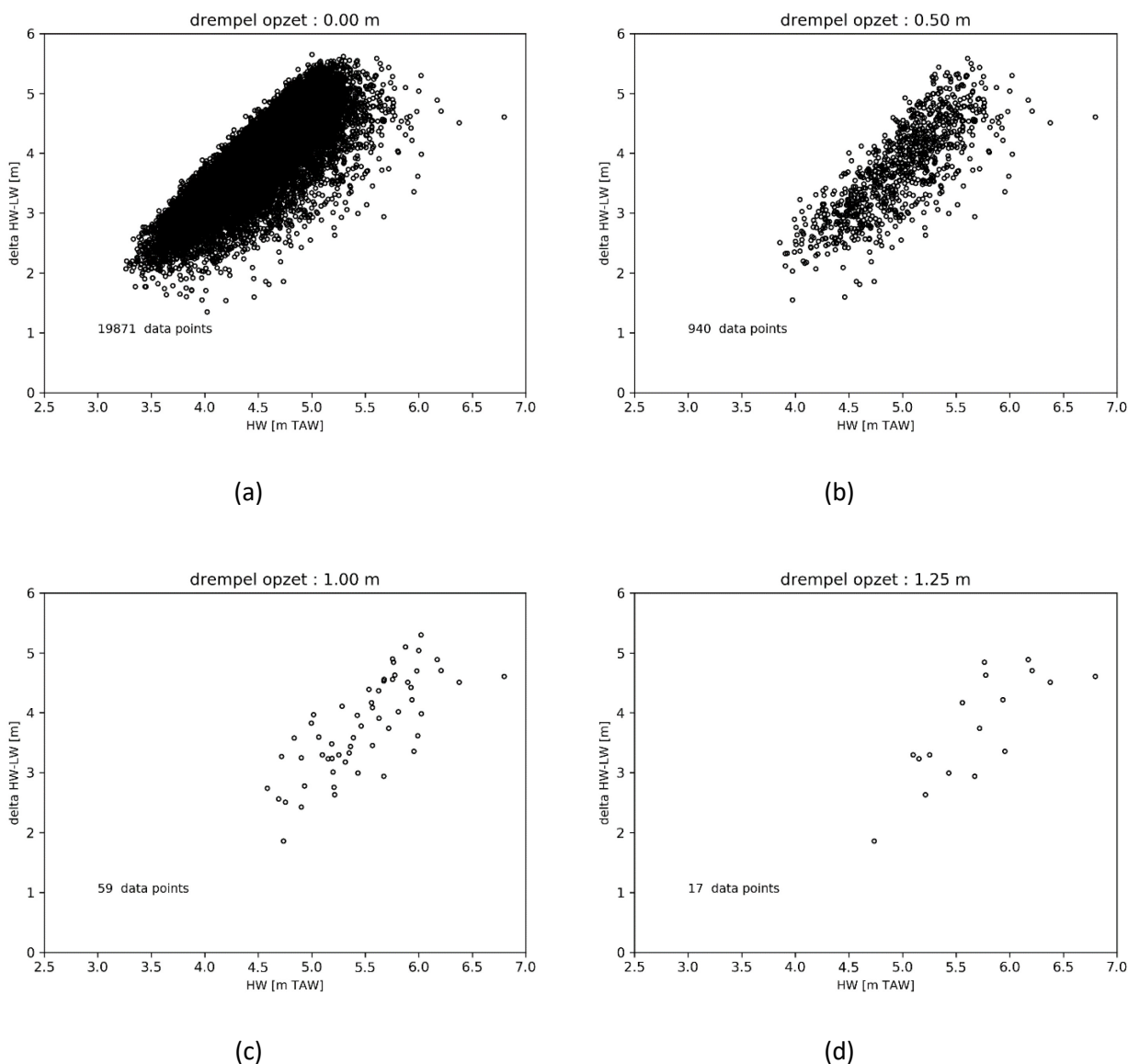
<b>golfrichting</b>	<b>Limietwaterstand [m TAW]</b>	<b>Max. KD (totaal) [-]</b>
W	+6.5	0.195
WNW	+6.0	0.42
NW	+6.5	0.78
-37°N	+6.3	0.75
NNW	+6.3	0.69
N	+6	0.42
NNE	+5.75	0.18

Indien de maximale hoogwaterstand tijdens de storm zich onder de waterstand bevindt die hoort bij de maximale KD-factor (Tabel 9), 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 9 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>21</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.

<sup>21</sup> In het meest extreme geval zou de laagwaterstand onder stormopzet de limietwaarde uit Tabel 9 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.

Figuur 17 toont de gemeten waarden van getijslag (*delta HW-LW* gedefinieerd als het verschil tussen het hoogwater en het daaropvolgend laagwater) in functie van de gemeten hoogwaters (met stormopzet) in de periode 1925-2019<sup>22</sup>. De figuren tonen een duidelijke correlatie tussen de getijslag en de optredende hoogwaterstand. Op basis hiervan kan men concluderen dat bij extreme hoogwaterstanden (>+7 m TAW) de waterstand vóór of na het hoogwater de limietwaarden uit Tabel 9 zal bereiken.



Figuur 17 – Getijslag i.f.v. waargenomen hoogwaterstanden (1925-2019) voor verschillende drempelwaarden van stormopzet (brondata: Meetnet Vlaamse Banken, Vuik *et al.*, 2020)

<sup>22</sup> Hiertoe werden de waterstandsgegevens in de meetreeks *WP2-waterstanden.csv* uit Vuik *et al.* (2020) gebruikt, dewelke de gemeten hoogwaterstanden en het daarmee corresponderende opzet en windrichting bevatten.

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

Een analyse van beschikbare golfmetingen binnen en buiten de haven van Oostende werd uitgevoerd om inzicht te krijgen in de fysische correlatie tussen de golfhoogte ter hoogte van de ingang Visserijsluis en het getij, gedurende een stormperiode met opzet. De nota die de resultaten van deze analyse behandelt is opgenomen in Bijlage F.

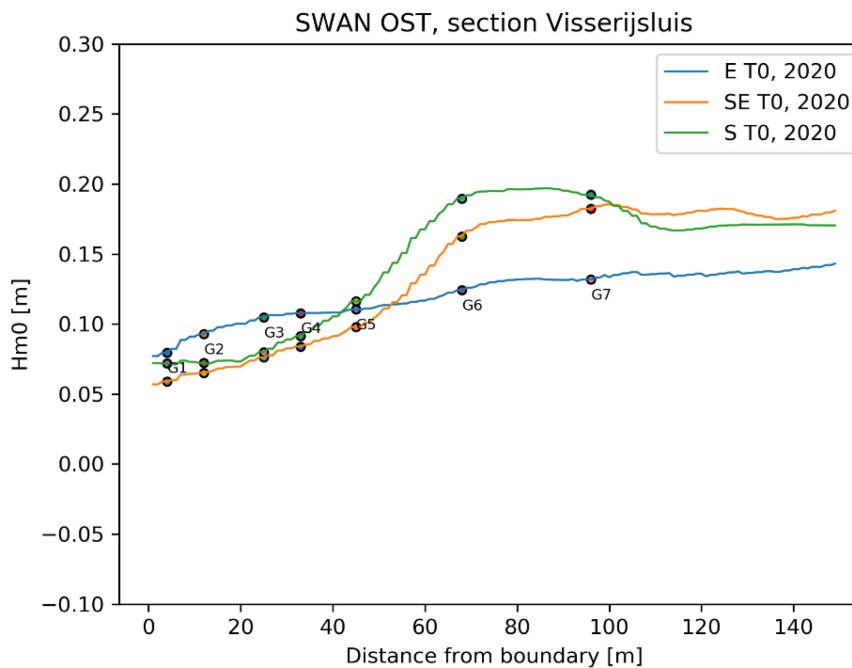
Uit een analyse van de golfhoogte ter plaatse van de ingang Visserijsluis tijdens enkele gemeten (NW) stormen blijkt dat de energie van de korte golven (periode < 20 s) gereduceerd kan worden tijdens het laagwater binnen een beschouwde stormperiode met opzet, bij een onveranderlijke golfhoogte buitengaats. Er zijn echter verschillende onzekerheden hierbij, waardoor het aangewezen is (veiligheidshalve) geen reductie van de lokale golfhoogte toe te passen in het nazicht op constructief falen:

- een reductie is sterk afhankelijk van de optredende laagwaterstand (springtij of doortij cyclus en synchronisatie van het stormopzet t.o.v. astronomisch getij). Hoe hoger de laagwaterstand, hoe minder sterk de reductie zou moeten worden op basis van fysische argumenten (b.v. bodemwrijving, golfbreking);
- een reductie kan teniet gedaan worden door wijziging van de windsterkte en de bijhorende golfhoogte buitengaats (onzekerheid m.b.t. het verloop van de storm);
- de reductie is waargenomen voor een beperkt aantal golfmetingen t.p.v. de Visserijsluis. Er is (vooralsnog) geen kennis over een eventuele golfreductie bij hogere laagwaterstanden onder een extremer stormopzet (in het gebied tussen +2 en +4 m TAW).

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 sectie 3.3.1.

## 4 Golfbelasting bij afluiddige wind

Vermits de golfbelasting bij afluiddige wind veroorzaakt wordt door lokale windgolven alleen, kan het lokale golfspectrum met SWAN gemodelleerd worden. Voor de Visserijsluis is het moeilijk a priori in te schatten of in dit geval effectief een windgolfbelasting op het beschouwde kunstwerk kan optreden, vermits het NNW-ZZO georiënteerde havenbekken voldoende strijklengte biedt en golven via reflectie en diffractie de sluisopening kunnen bereiken. Op basis van enkele verkennende simulaties kan geconcludeerd worden dat een geringe hoeveelheid golfenergie de toegang tot de Visserijsluis bereikt.



Figuur 18 – SWAN simulaties windrichting O, ZO en Z (SWL=+4.7 m TAW en  $u_{w10,land} = 10$  m/s in alle simulaties).

Voor de Visserijsluis is het dus zinvol beperkt verder onderzoek te doen aan de hand van SWAN modellering. Analoog als bij aanlandige wind kan ook hier onderscheid gemaakt worden tussen de situatie bij hoogwater en laagwater (en waterstanden daartussen), al gaat het in dit geval om een afwaaiing van de waterstand. Men kan zich inbeelden dat de meest kritieke situatie ontstaat -vanuit het oogpunt van het onderzoeken van constructiefalen- bij maximale afwaaiing in combinatie met een ogenblikkelijke verlaging van de waterstand ten gevolge van de golfwerking.

Om (fysisch zinvolle) combinaties van waterstand en wind vast te leggen als randvoorwaarden van het SWAN model, is echter de kennis van de onderliggende richtingsafhankelijke (marginale of idealiter gezamenlijke) kansverdeling van windsnelheid en waterstand noodzakelijk. Deze kansverdeling is echter op heden nog niet onderzocht voor de afluiddige windsectoren. Deze taak (indien opportuun geacht) valt ten laste van de opdrachtnemers HKV/Deltares.

Om inzicht te verwerven in het fenomeen van (extreme) afwaaiing werd een verkennend kwalitatief onderzoek uitgevoerd op de meetgegevens van waterstand, wind en luchtdruk in de periode 2000-2019 (Vanneste, 2020). Daarbij werd het verloop van de windsnelheid, windrichting en luchtdruk vergeleken met de gemeten laagwaterstand en het voorspeld astronomisch getij, voor geselecteerde gebeurtenissen van afwaaiing of extreme laagwaterstand. De conclusies van dit onderzoek luiden:

- De invloed luchtdruk op de waterstand is niet eenduidig af te leiden. Het effect is in elk geval begrensd en kleiner dan het windeffect (afwaaiing)<sup>23</sup>;
- De invloed van de afluiddige wind op de afwaaiing is grosso modo beperkt tot de sector van NO tot ZW (in wijzerzin doorlopen).
- De afwaaiing stelt zich vrij snel in; een periode van ca 6 uur afluiddige wind voor het optreden van laagwater heeft reeds een significant effect;
- De mate van afwaaiing bij een afluiddige windrichting lijkt vrij gevoelig te zijn aan de windrichting: een klein verschil in windrichting kan relatief veel verschil in afwaaiing veroorzaken;
- Een zuidelijke windrichting heeft het grootste effect op de afwaaiing, d.w.z. dat er reeds afwaaiing ontstaat bij lagere windsnelheden (2-4 m/s) en deze beduidend groter is t.o.v. een meer westelijke of oostelijke windrichting bij eenzelfde windsnelheid.

Er wordt voorgesteld om de te volgen aanpak voor de afleiding van de afluiddige windgolfbelasting in gezamenlijk overleg vast te leggen. Daarbij kunnen de volgende 2 opties in acht genomen worden:

1. Er wordt een matrix van (fysisch zinvolle) combinaties van waterstanden en windsnelheden opgesteld binnen afluiddige richtingen die in SWAN gemodelleerd wordt (door WL). A posteriori wordt aan elke SWAN-simulatie een kans toegekend op basis van de (gezamenlijke) kansverdeling van de laagwaterstand en windsnelheid in de beschouwde sector.
2. De gezamenlijke kansverdeling wordt eerst onderzocht (door de opdrachtnemers), waarna de gevallenmatrix opgesteld wordt en gesimuleerd wordt. Vermits het SWAN Oostende havenmodel een beperkte rekenduur heeft, kunnen een groot aantal gevallen op een beperkte tijdsspanne gesimuleerd worden, zodat de voortgang van de studie niet in het gedrang hoeft te komen.

De tweede optie heeft als voordeel dat de correcte combinaties voor de gewenste discrete kansen a priori vastgesteld worden. Zo kan vermeden worden dat combinaties met quasi geen kans op voorkomen gesimuleerd worden of dat er een vorm van interpolatie toegepast dient te worden in de matrix van gesimuleerde belastingen.

---

<sup>23</sup> De waargenomen maximale luchtdruk veroorzaakt theoretisch een daling van de waterspiegel van ca. 0.3 m, de afwaaiing kan oplopen tot 1 m en meer.



## 5 Conclusies

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

Het golfklimaat onder aanlandige wind (stormopzet) werd gemodelleerd op basis van Mike21-BW en SWAN, waarbij (vooralsnog) 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 Visserijsluis werd eveneens analytisch geanalyseerd. Dit laat de gebruiker van dit rapport toe om de transformatie toe te passen op willekeurige randvoorwaarden buitengaats (bv. op basis van HR2020).

Het lokale golfveld nabij de Visserijsluis 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 de methode Goda-Takahashi en de lineaire golftheorie. Er wordt (conservatief) aanbevolen de maximale waarde van golfkracht (en corresponderend golfdrukprofiel) te gebruiken in de verdere studie. De golfbelasting onder een golfdal werd enkel berekend op basis van de lineaire golftheorie.

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. Op basis van fysische inzichten en het gekende verloop van de KD-factor i.f.v. de waterstand werd een aanbeveling gedaan voor de te beschouwen kritieke combinatie van waterstand en golfbelasting.

De golfbelasting onder afluende wind (afwaaiing), die in principe via louter SWAN modellering kan bepaald worden, werd (voorlopig) nog niet gemodelleerd. Er wordt voorgesteld om de optimale aanpak in samenspraak met de opdrachtnemer van de probabilistische toetsing vast te leggen.

## 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
- IMDC.** (2015). Golfmetingen in de kusthavens. Analyserapport, I/RA/11410/15.039/SDO
- Tuin, H.** (2020). Golfbelastingen Visserijsluis Oostende - toepassing spectrale lineaire golftheorie.. *D10010739:105*. Arcadis Nederland BV
- Vanneste, D.** (2020). Correlatie laagwaterstanden en meteorologische condities – verkennend onderzoek. *WL Memo's*, 17\_099\_8. Waterbouwkundig Laboratorium
- 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	Hoofdgolfrichting	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 in WP2 (vervolg)

Run ID	T	Hoofd-golfrichting	Scenario 2020 (HR2014)			Scenario 2050			Wind-richting	Windsnelheid U <sub>w10,land</sub> (*)
			h (p50)	H <sub>mo</sub>	T <sub>p</sub>	h (p50)	H <sub>mo</sub>	T <sub>p</sub>		
	[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 Visserijsluis

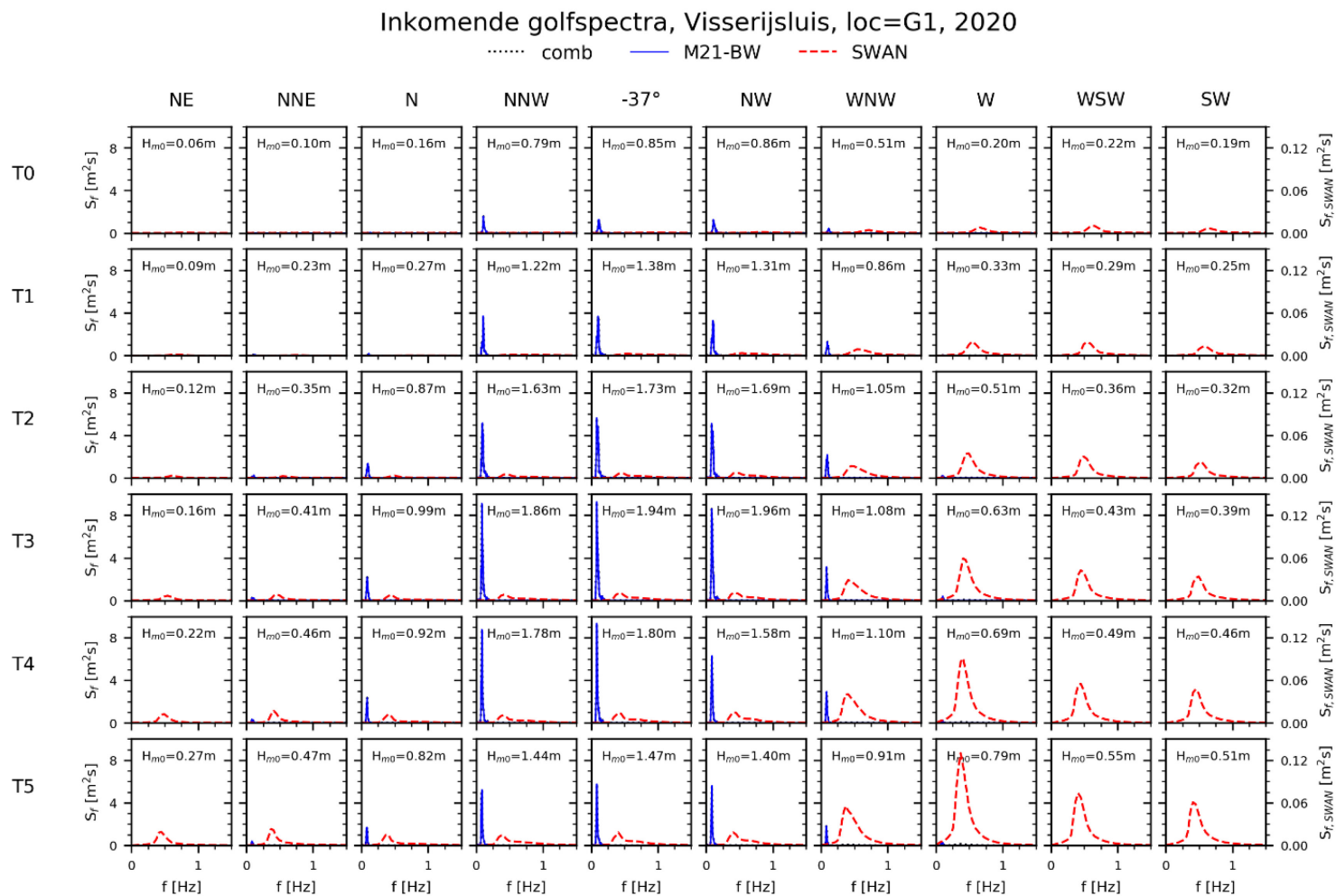
Tabel B-1 – Reflectiecoëfficiënten in het Mike21-BW model ter plaatse deuren Visserijsluis

	<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	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904	0.904
T4	0.904	0.864	0.844	0.864	0.864	0.863	0.863
T5	0.844	0.767	0.750	0.767	0.767	0.767	0.844
<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	0.904	0.904	0.904	1.000	1.000
T3	1.000	0.904	0.863	0.884	0.884	0.904	0.904
T4	0.904	0.864	0.767	0.844	0.844	0.863	0.863
T5	0.844	0.767	0.734	0.750	0.750	0.767	0.844

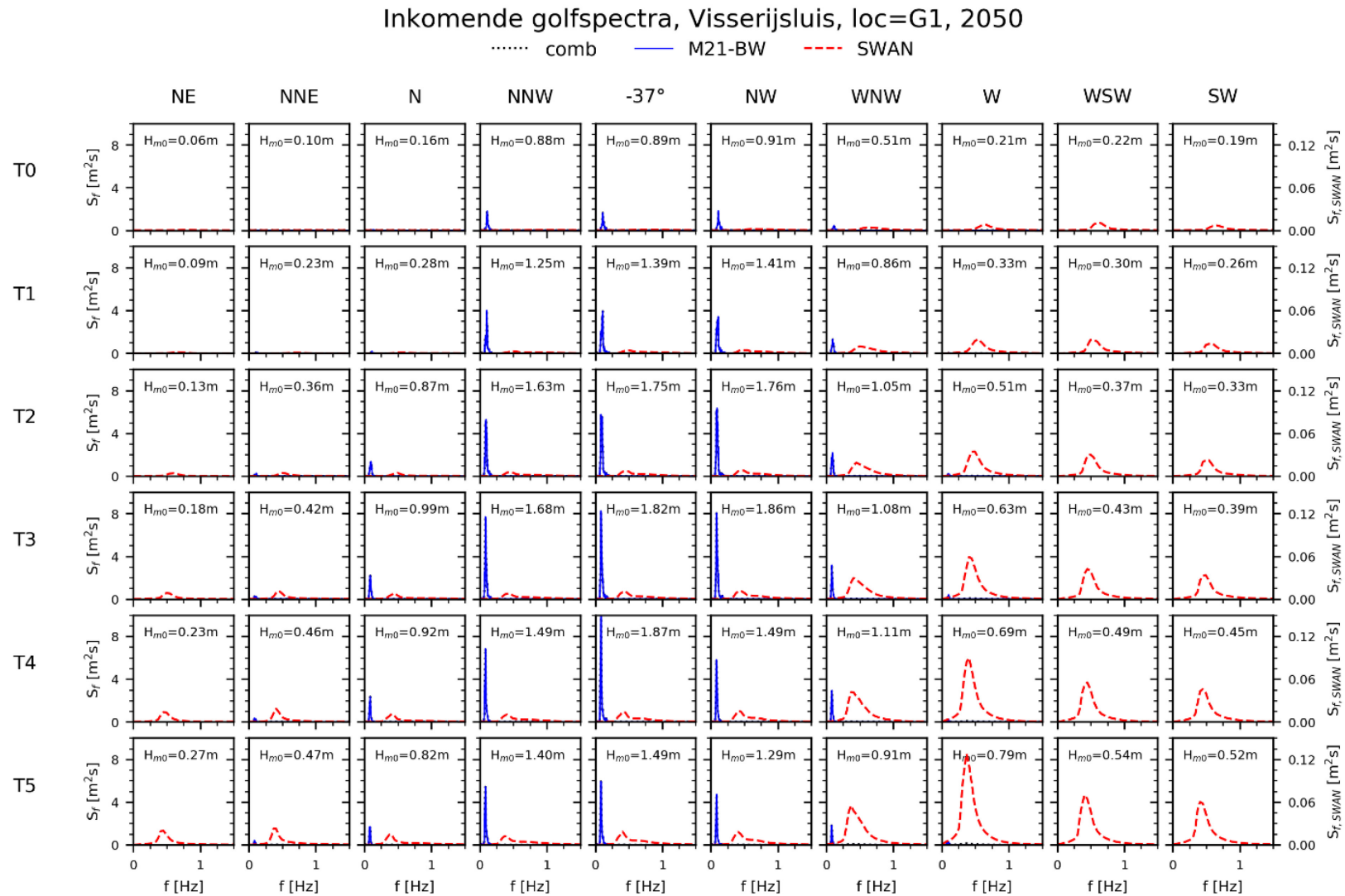
Tabel B-2 – Reflectiecoëfficiënten in het SWAN model ter plaatse deuren Visserijsluis

	<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	0.893	0.896	0.899	0.899	0.900	0.900	0.900
<b>T4</b>	0.900	0.890	0.873	0.857	0.868	0.873	0.873	0.879	0.891	0.900
<b>T5</b>	0.900	0.855	0.830	0.818	0.830	0.839	0.841	0.849	0.867	0.889
<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	0.891	0.879	0.882	0.884	0.885	0.889	0.899	0.900
<b>T4</b>	0.900	0.876	0.855	0.838	0.849	0.855	0.856	0.863	0.877	0.894
<b>T5</b>	0.887	0.836	0.816	0.804	0.816	0.822	0.824	0.830	0.849	0.875

# Bijlage C Matrixplots golfspectra

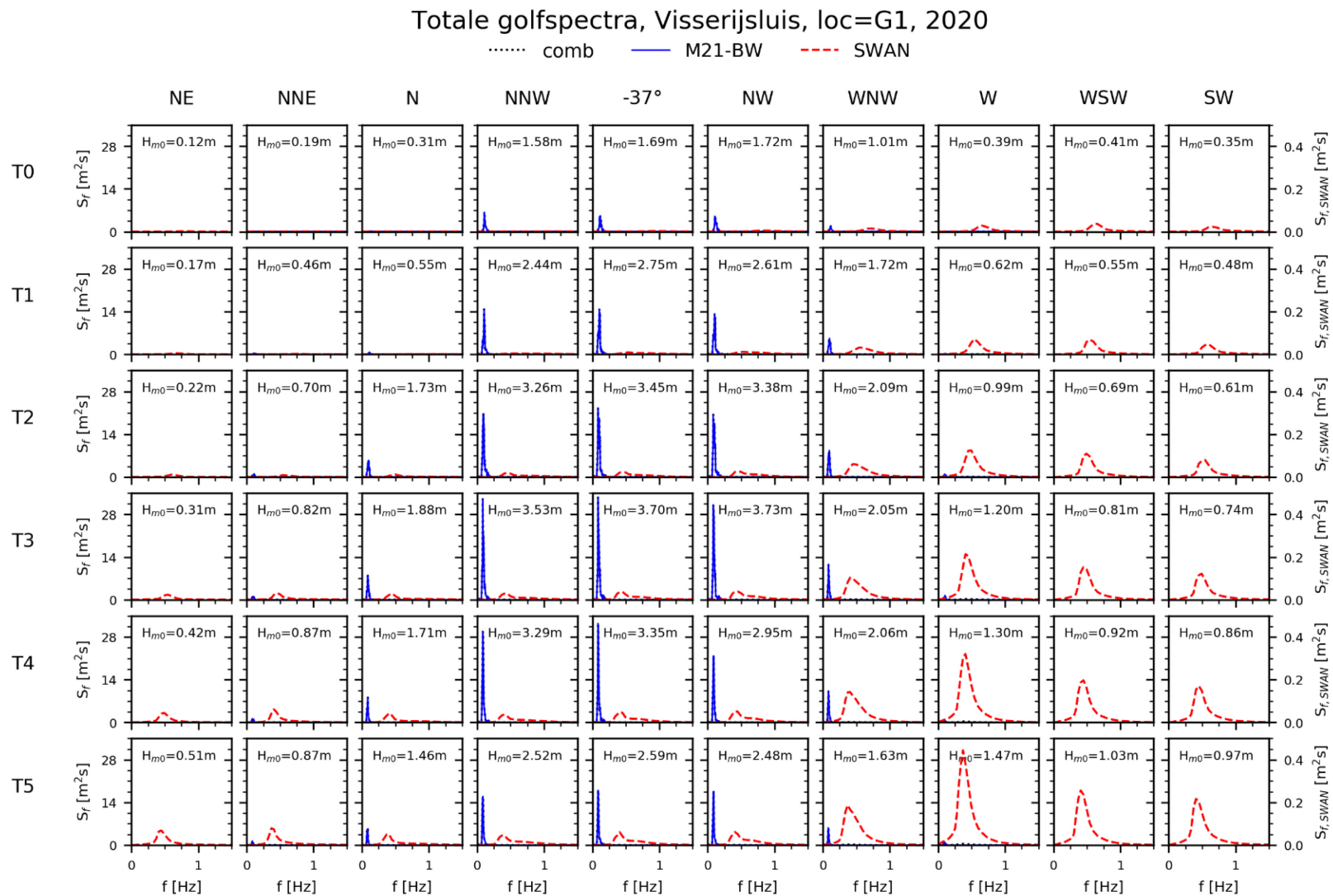


Figuur C-1 – Matrixplot inkomende golfspectra Visserijsluis scenario 2020 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linkeras, SWAN golfspectra op rechteras).

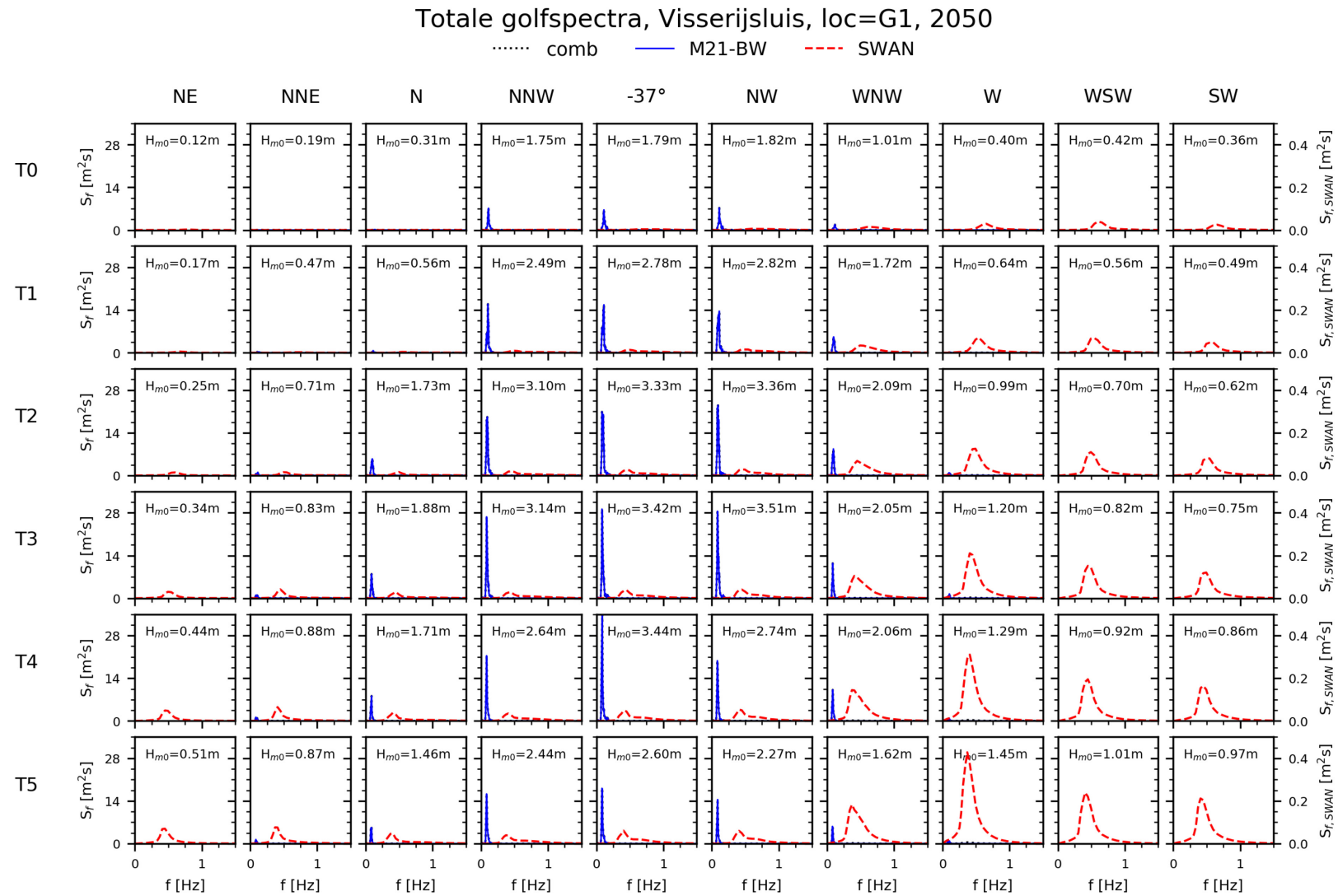


Figuur C-2 – Matrixplot inkomende golfspectra Visserijsluis scenario 2050 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linkeras, SWAN golfspectra op rechteras).





Figuur C-3 – Matrixplot totale golfspectra Visserijsluis scenario 2020 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linkeras, SWAN golfspectra op rechteras).



Figuur C-3 – Matrixplot totale golfspectra Visserijsluis scenario 2050 (Mike21-BW en gecombineerde golfspectra op linker as, SWAN golfspectra op rechter as).

# Bijlage D KD-curves Mike21-BW

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

<b>NNE</b>			<b>N</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
4.585	0.046	0.092	4.798	0.053	0.105
5.106	0.072	0.145	5.337	0.073	0.147
5.628	0.090	0.181	5.877	0.202	0.403
6.149	0.090	0.180	6.416	0.206	0.393
6.670	0.087	0.166	6.956	0.177	0.330
7.192	0.078	0.143	7.495	0.147	0.260
7.500	0.075	0.140	8.000	0.130	0.230
8.000	0.075	0.140	8.500	0.120	0.220
8.500	0.075	0.140	9.000	0.110	0.215
9.000	0.075	0.140	9.500	0.100	0.210
9.500	0.075	0.140	10.000	0.100	0.210
10.000	0.075	0.140			
<b>W</b>			<b>WNW</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
5.472	0.025	0.050	5.248	0.166	0.332
5.877	0.042	0.084	5.672	0.199	0.398
6.282	0.083	0.167	6.095	0.211	0.422
6.687	0.094	0.179	6.519	0.196	0.373
7.092	0.077	0.143	6.943	0.186	0.346
7.497	0.082	0.151	7.366	0.132	0.234
7.750	0.075	0.150	7.500	0.120	0.220
8.000	0.075	0.150	8.000	0.110	0.210
8.500	0.075	0.150	8.500	0.100	0.200
9.000	0.075	0.150	9.000	0.100	0.200
9.500	0.075	0.150	9.500	0.100	0.200
10.000	0.075	0.150	10.000	0.100	0.200

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

<b>NNW</b>			<b>-37°N</b>		
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]	SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]
5.000	0.250	0.500	5.000	0.250	0.500
5.130	0.259	0.519	5.267	0.262	0.524
5.667	0.300	0.601	5.737	0.339	0.677
6.203	0.352	0.688	6.207	0.385	0.751
6.740	0.354	0.666	6.676	0.385	0.729
7.276	0.309	0.559	7.146	0.354	0.656
7.813	0.254	0.443	7.616	0.271	0.476
8.000	0.245	0.430	8.000	0.250	0.440
8.500	0.230	0.410	8.500	0.240	0.420
9.000	0.220	0.400	9.000	0.230	0.410
9.500	0.220	0.400	9.500	0.220	0.400
10.000	0.220	0.400	10.000	0.220	0.400
<b>NW</b>					
SWL [m TAW]	KD_inc [-]	KD_tot [-]			
5.000	0.250	0.500			
5.343	0.261	0.521			
5.776	0.333	0.666			
6.209	0.387	0.756			
6.642	0.397	0.752			
7.075	0.300	0.556			
7.507	0.250	0.439			
8.000	0.230	0.410			
8.500	0.220	0.400			
9.000	0.220	0.400			
9.500	0.220	0.400			
10.000	0.220	0.400			

## Bijlage E Significante drukprofielen

Digitale bijlage bij het rapport : *p\_profiles\_Visserijsluis.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\_Airy\_kruin.txt** of **323\_deg\_T3\_2020\_Goda\_dal.txt**

- N/323\_deg : windrichting
- Tn : retourperiode  $10^n$  jaar
- 2020/2050 : scenario
- Airy/Goda : significant drukprofiel berekend met lineaire golftheorie of Goda methode
- kruin/dal : drukprofiel onder golfkruin/golfdal

## Bijlage F Evolutie golfhoogte tijdens stormtij



# Memo

////////////////////////////////////  
Titel: Evolutie golfhoogte nabij ingang Visserijsluis tijdens stormtij

Datum: 20/12/2021

Auteurs: Vanneste, Dieter

Referentie: Vanneste, Dieter (2021) Evolutie golfhoogte nabij haveningang Oostende en Visserijsluis tijdens stormtij. Versie 1.0 WL Memo's, 20\_025\_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

////////////////////////////////////

## INHOUD

1	Context en vraagstelling .....	2
2	Methodiek .....	2
2.1	Golfmeetboeien Oosterstaketsel en OH1 .....	2
2.2	Drukmetingen in haven Oostende .....	4
3	Analyse golfmeetboei OH1 .....	6
3.1	Windsector ZW-W .....	6
3.2	Windsector W-N .....	14
3.3	Windsector N-O .....	18
3.4	Correlatie tussen golven en waterstand .....	23
3.5	KD factor meetlocatie OH1 .....	25
4	Drukmetingen nabij ingang Visserijsluis .....	26
4.1	Analyserapport IMDC .....	26
4.2	Storm Dieter (januari 2017) .....	29
5	Conclusie .....	30
	Referenties .....	31

# 1 Context en vraagstelling

Voor het onderzoek naar bepaalde faalmechanismen in het kader van de probabilistische toets van de Visserijsluis (bv. geotechnisch falen van de sluiswolk of keermuren) is de kennis van de golfbelasting vereist die optreedt op het moment van laagtij tijdens een storm met opzet. De analyse van het golfklimaat in de kusthavens (in ontwerpstudies b.v.) wordt in de regel uitgevoerd op het tijdstip van hoogwater. Over de evolutie van de golfhoogte (en periode) tijdens het getij is slechts beperkte informatie beschikbaar.

In De Roo *et al.* (2017) werd op basis van enkele geselecteerde stormen en de golfgegevens te Westhinder en Oostende Oosterstaketsel geconcludeerd dat de golfhoogte (buitengaats Oostende) onafhankelijk is van de waterstand op voorwaarde dat geen diepte-geïnduceerde golfbreking kan optreden.

In een stormrapport van golfmetingen (IMDC, 2015) wordt geconcludeerd dat de korte golven binnen de haven van Oostende gemoduleerd worden door de waterstand, in tegenstelling tot de registreerde golfhoogte net buiten de haven. Het vermoeden bestaat dus dat de waterstand een invloed heeft op de golfhoogte ter plaatse van de Visserijsluis en dat dit verder onderzocht dient te worden.

In onderhavige nota worden beschikbare hydrometeodata en rapportering van golfmetingen in de haven van Oostende geanalyseerd met als doel inzicht te verwerven in de evolutie van de golfhoogte nabij de Visserijsluis tijdens een periode van stormopzet.

## 2 Methodiek

Op basis van beschikbare meetgegevens wordt getracht een beeld te vormen van de invloed van het getij op het lokale golfklimaat ter plaatse van de Visserijsluis (tijdens stormopzet). Daartoe worden 2 types gegevens geanalyseerd:

1. golfboeimetingen buiten en binnen de havendammen Oostende. De vergelijking tussen beide laat toe een beeld te vormen van de reductie van de golfhoogte doorheen havenmond tijdens laagtij.
2. golfmetingen nabij de ingang van de Visserijsluis. Er zijn een beperkt aantal metingen beschikbaar (tijdens stormopzet) dewelke een inzicht kunnen bieden in de verdere reductie van de golfhoogte tot op de locatie Visserijsluis.

Hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van de beschikbare metingen en analyserapporten.

### 2.1 Golfmeetboeien Oosterstaketsel en OH1

#### 2.1.1 Golfmeetboeien

De meetgegevens van de directionele waveriders meetboeien 'Oostende Oosterstaketsel' en OH1 worden gebruikt in de analyse (Tabel 1). Figuur 1 toont de locatie van beide meetboeien op een satellietbeeld.

Bemerk dat meetboei OH1 afscherming ondervindt van de oostelijke havendam voor golfindringing in de windsector N-ZW (in wijzerzin doorlopen).

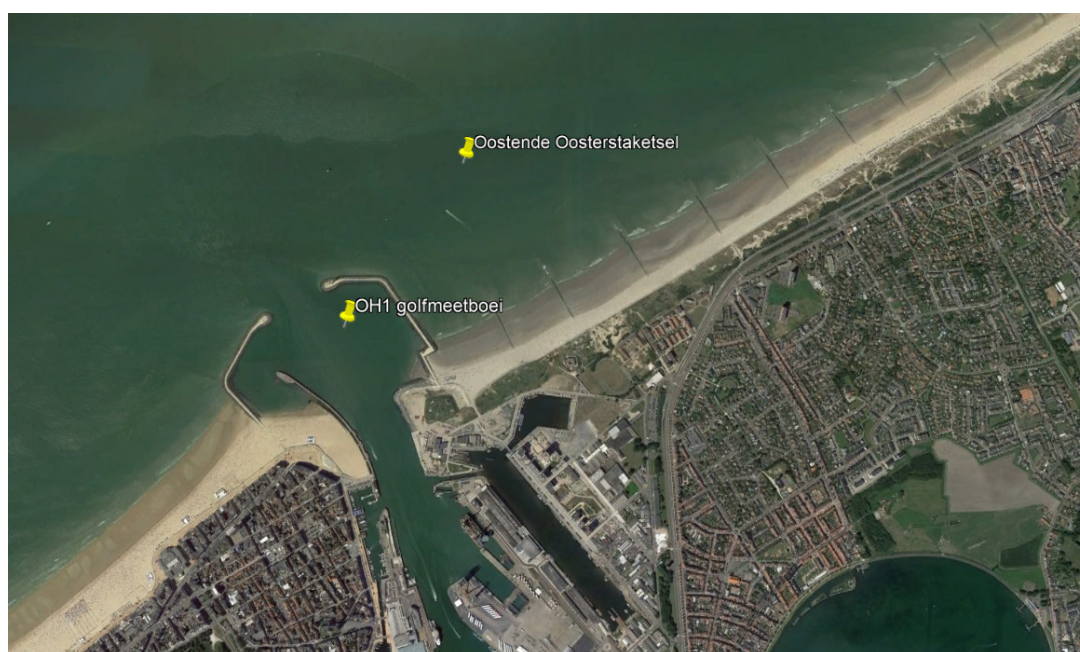


### 2.1.2 Getijmeting

Voor de info ivm. getij worden de peilregistraties van de maregraaf te Oostende gebruikt (beschikbaar op Meetnet Vlaamse Banken<sup>1</sup>). De peilgegevens zijn beschikbaar met een tijdsinterval van 5 min en worden berekend als een gecentreerd gemiddelde van de 1-minuut registraties.

Tabel 1 : Golfmeetboeien

Golfmeetboei	Type	Positie	Bodempcil [m TAW]	Operationeel sinds
Oostende Oosterstaketsel (OSTK)	Directionele waverider	51°14'48" N – 02° 55' 39" O		08/04/1997
OH1	Directionele waverider Datawell DWR-G (70cm) <sup>2</sup>	51°14'25"N – 02°55'15"O		26/03/2018



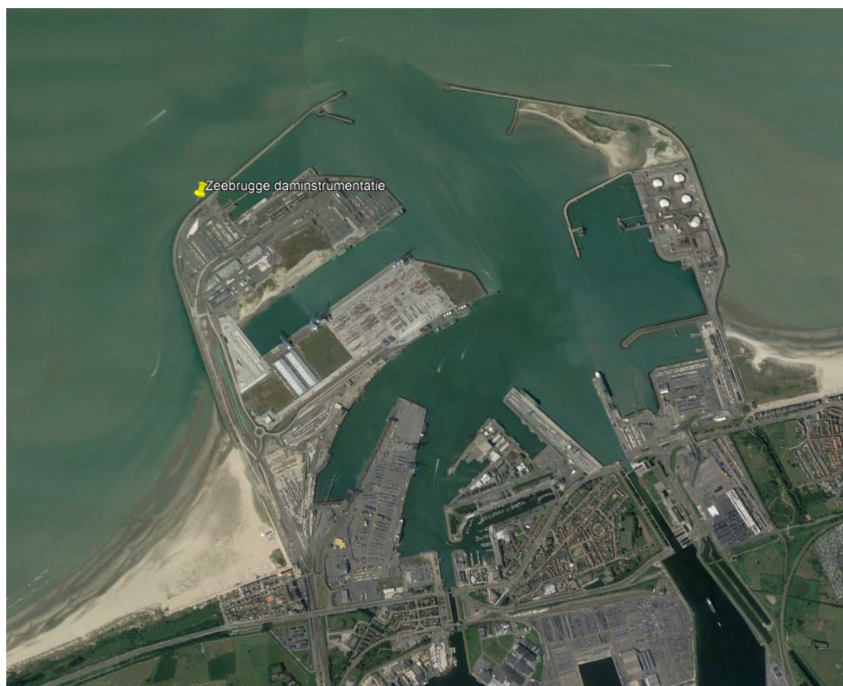
Figuur 1 : Locatie golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel en OH1

### 2.1.3 Windmeting

Een vergelijking met windmetingen van de Zeebrugge daminstrumentatie laat toe inzicht te bekomen in het verloop van de storm en dient tevens als verificatie van de geregistreeerde golfrichting door de golfmeetboeien. Figuur 2 toont de meetlocatie.

<sup>1</sup> <https://meetnetvlaamsebanken.be/>

<sup>2</sup> <https://www.datawell.nl/Products/Buoys.aspx>



---

Figuur 2 : meetlocatie Zeebrugge daminstrumentatie (3° 10' 19"E - 51° 21' 15"N)

---

## 2.2 Drukmetingen in haven Oostende

Naast de meetgegevens van de golfmeetboeien Oostende Oosterstaketsel en OH1 zijn ook golfmetingen beschikbaar nabij de ingang van de Visserijsluis.

### 2.2.1 Golfmeetcampagne IMDC (2012-2015)

In de periode van 1 september 2012 tot 1 februari 2015 (met uitzondering van de zomermaanden) werd in de haven van Oostende een meetcampagne uitgevoerd met druksensoren in opdracht van MDK-aKUST. De resultaten werden door IMDC gepubliceerd in een analyserapport (IMDC, 2015a).

De metingen op locatie OST-B worden gebruikt om de invloed van het getij op de lokale golfhoogte te bestuderen. Deze meetlocatie bevindt zich op het uiteinde van de zuidelijke kademuur voor de ingang van de Visserijsluis (Figuur 3).

### 2.2.2 Golfmeting 'storm Dieter' (januari 2017)

In een ad-hoc meetcampagne uitgevoerd tijdens storm Dieter (13-14/01/2017) heeft het Waterbouwkundig Laboratorium golven gemeten met een druksensor bevestigd aan een trapladder in de zuidelijke kademuur van de toegang Visserijsluis, ongeveer op dezelfde locatie als meetlocatie OST\_B.

De resultaten werden gepubliceerd in Vanneste *et al.* (2017). De druksensor bevond zich op een peil van ca. +2.3 m TAW waardoor de golven niet gemeten konden worden tijdens laagtij. Dit belemmert enigszins de conclusies die uit deze meting getrokken kunnen worden m.b.t. de invloed van de waterstand op de golfhoogte.



Figuur 3 : Locaties druksensoren OST\_A en OST\_B in de haven Oostende.

### 3 Analyse golfmeetboei OH1

Hieronder worden voor de gegevens van golfmetingen (OSTK en OH1), getij en wind op basis van een gezamenlijk tijdsverloop bestudeerd. Uit de beschikbare gegevens (maart 2018-heden) worden enkele stormen geselecteerd en geclusterd in 3 intervallen aan windsectoren (ZW-W/ W-N en N-O).

Voor elke storm wordt een KD factor bepaald (geschat uit de grafiek als de verhouding van de golfhoogte  $H_{OH1}$  t.o.v.  $H_{OSTK}$ ) op het moment dat de golven volledig ontwikkeld zijn.

#### 3.1 Windsector ZW-W

##### 3.1.1 20.09.2018

###### Fase golfgroei

ZZW ->W 10->20 m/s

$H_{OSTK}$  : toename tijdens laagwater 21/9 omstreeks 4u, versnelling met windshift ZZW-W.

$H_{OH1}$  : toename tijdens LW, tragere stijging in vergelijking met  $H_{OSTK}$ .

###### Fase ontwikkelde golven

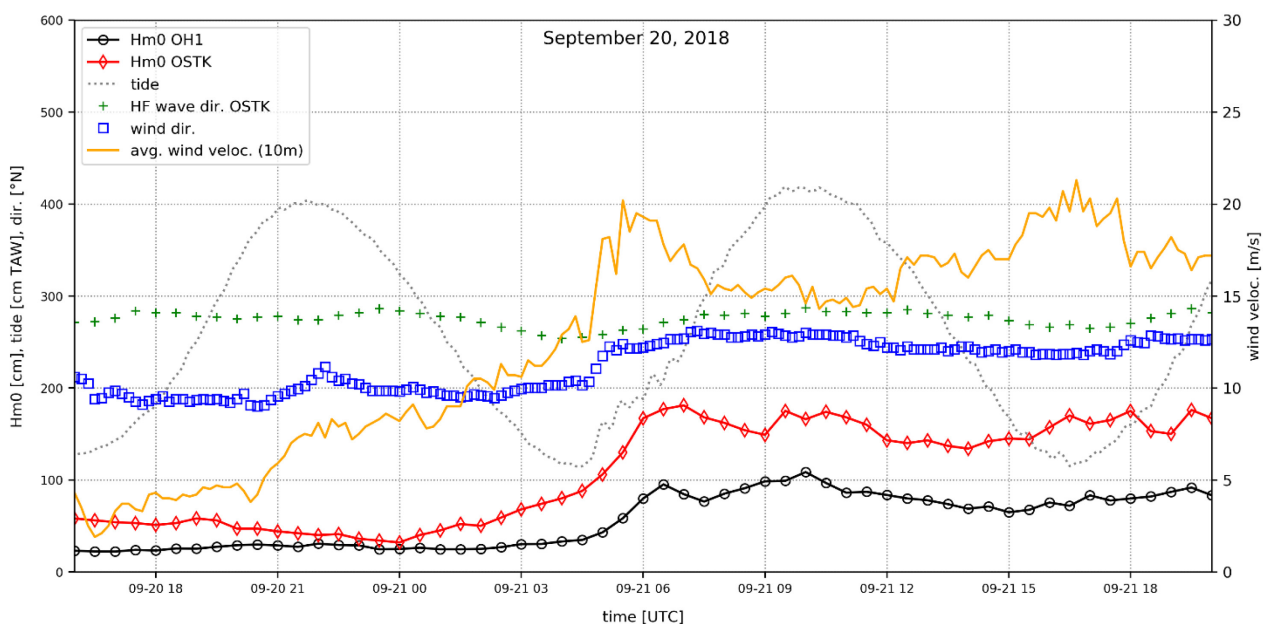
W->WZW 15-20 m/s

$H_{OSTK}$  : 1.75->1.5 m bij afgaand tij, terug toename met wind op LW 21/9 16u.

$H_{OH1}$  : geen toename tijdens laagwater 21/9 16u.

$KD_{HW} = 1/1.7 = 0.59$  (21/9 10u)

$KD_{LW} = 0.75/1.75 = 0.43$  (21/9 16u)



3.1.2 10.03.2019

**Fase golfgroei**

Wind O -> ZW, snelle toename van 5 tot 25 m/s.

H\_OSTK : toename bij afgaand tij. Deze toename wordt gestopt op het laagwater (springtij ca +0.6 m TAW), waarna H\_OSTK pas verder toeneemt met opkomend tij.

H\_OH1 : drempel golfgroei op LW.

**Fase ontwikkelde golven**

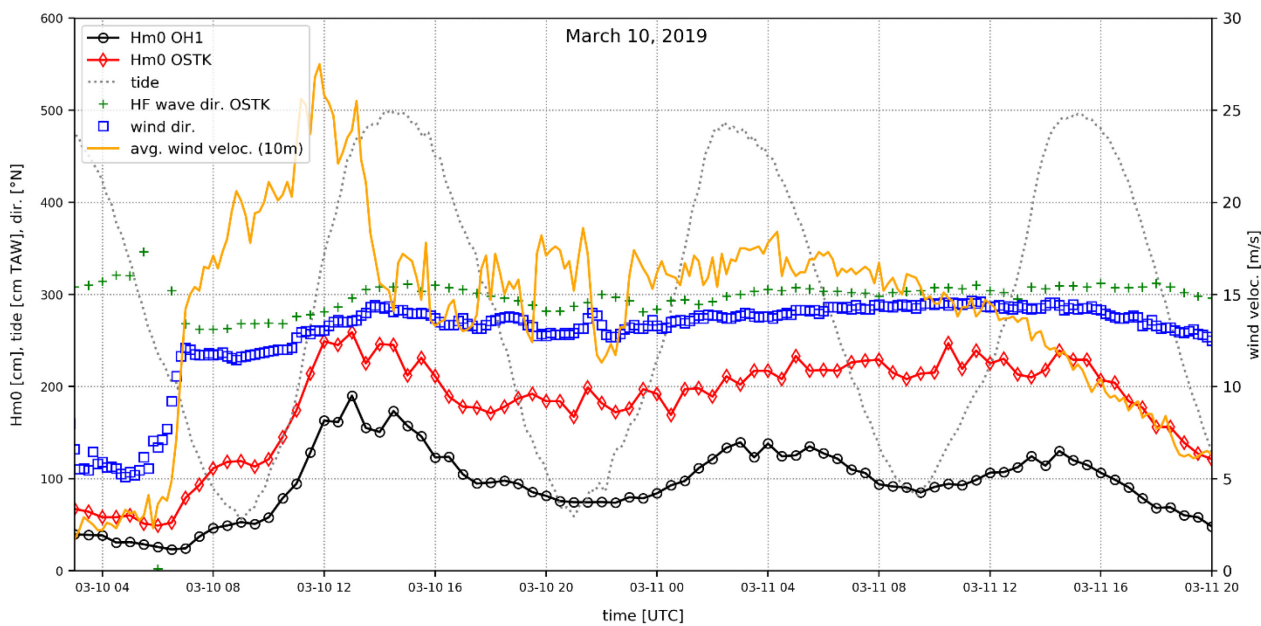
W 14-18 m/s

H\_OSTK blijft constant (zelfs met afnemende wind op LW 11/3 9u).

H\_OH1 daalt licht tijdens LW.

$KD_{LW} = 0.76/1.83 = 0.41$  (10/3 20:00-22:00) (wind 263 °N)

$KD_{HW} = 1.31/200.7 = 0.65$  (11/3 02:00-03:00) (wind 275 °N)



3.1.3 08.06.2019

**Fase golfgroei**

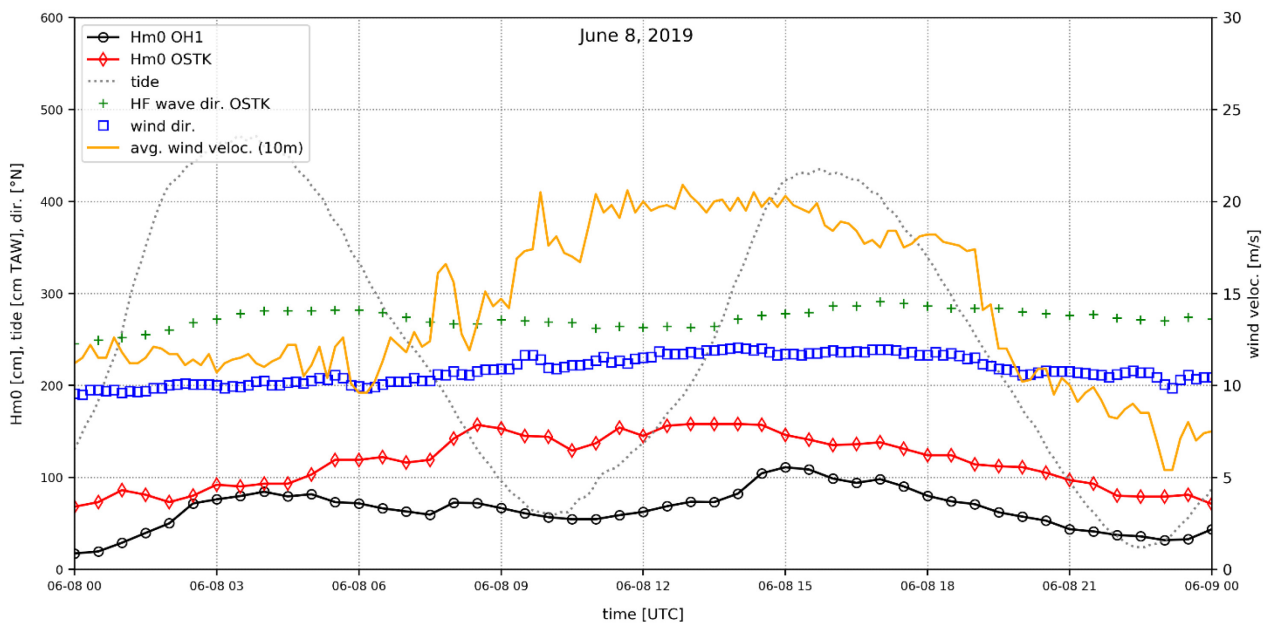
ZZW->ZW , 10 -> 20 m/s

H\_OSTK : toename van 1 m tot 1.5 m, lichte afname van 1.5 -> 1.25 m op laagwater 8/6 10u

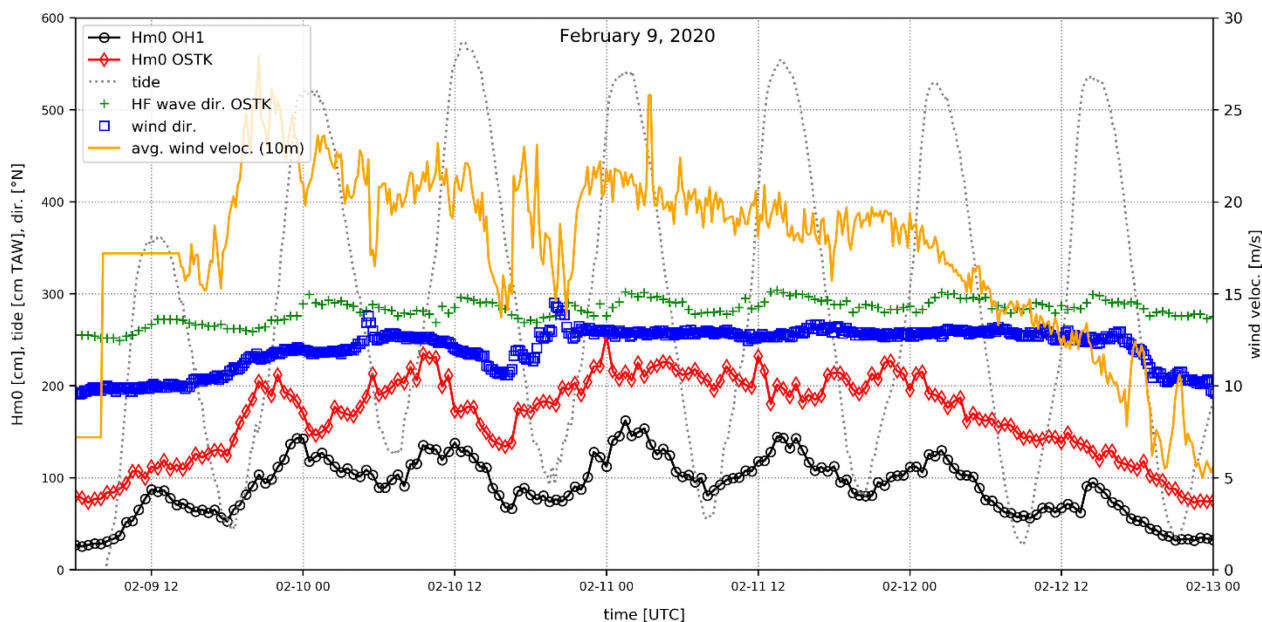
H\_OH1: geen toename tijdens laagtij, pas op eerstvolgende hoogwater toename van 0.5 tot ca. 1m.

$KD_{LW} = 0.5/1.5 = 0.33$

$KD_{HW} = 1/1.4 = 0.71$



3.1.4 09.02.2020 (storm Ciara)

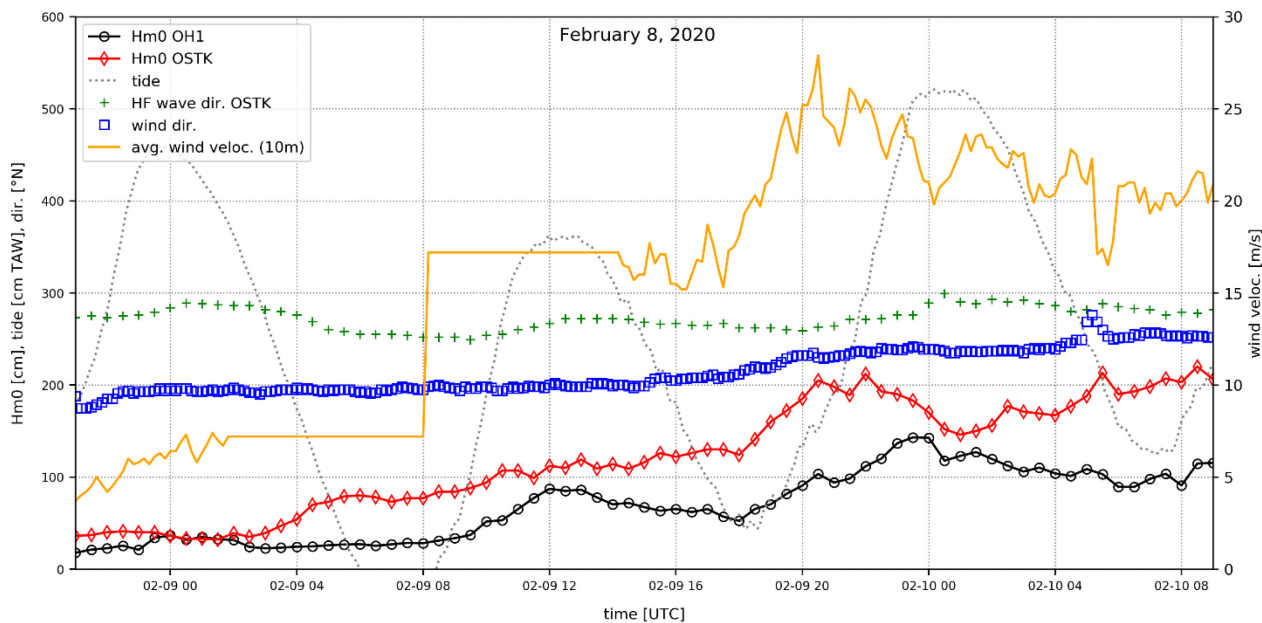


**Fase golfgroei**

ZZW->ZW, 15->25 m/s

H\_ OSTK : geen invloed op afgaand tij, vervolgens toename met wind na LW

H\_ OH1 neemt af met afgaand tij (0.9->0.5 m) en vervolgens toe met toenemende wind op opkomend tij.



**Fase ontwikkelde golven**

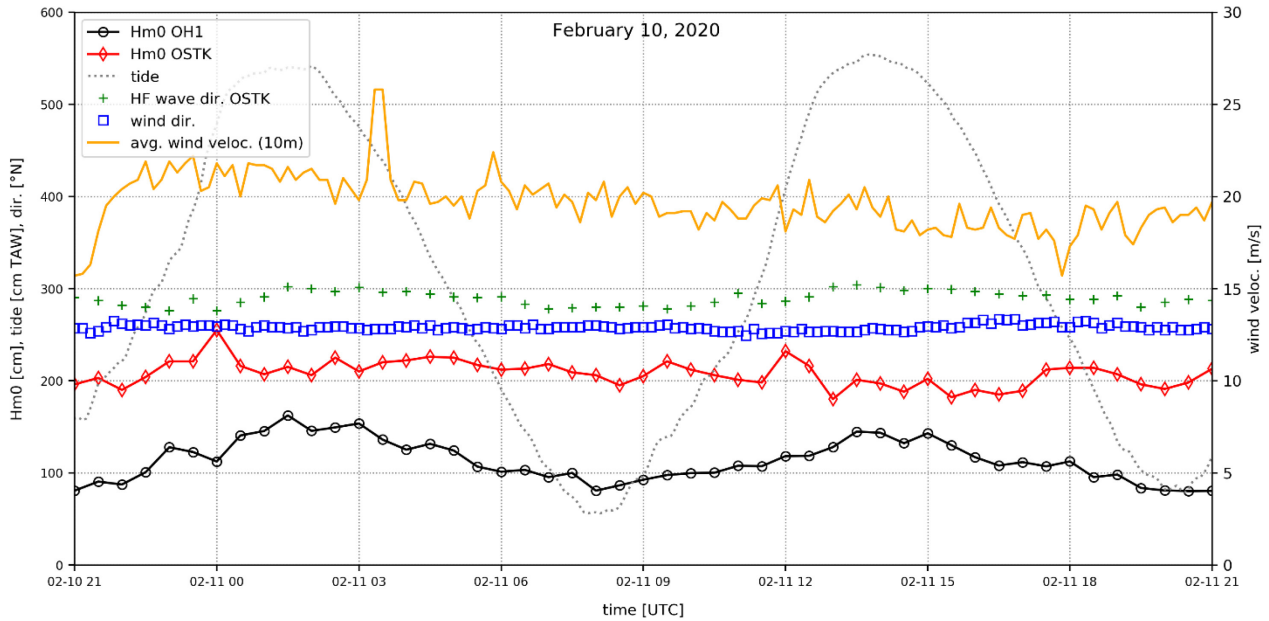
Vanaf 10.02 21u : wind W 22->18 m/s.

H\_OSTK : 2.2 -> 2m, geen invloed getij.

H\_OH1 : afname bij laagtij, toename bij hoogtij

KD\_HW = 1.38/1.93 = 0.71 (11/2 13:00-15:00) (wind 255°N)

KD\_LW = 0.91/2.07 = 0.44 (11/2 07:00-09:00) (wind 258°N)





3.1.5 16.02.2020 (storm Dennis)

**Fase golfgroei**

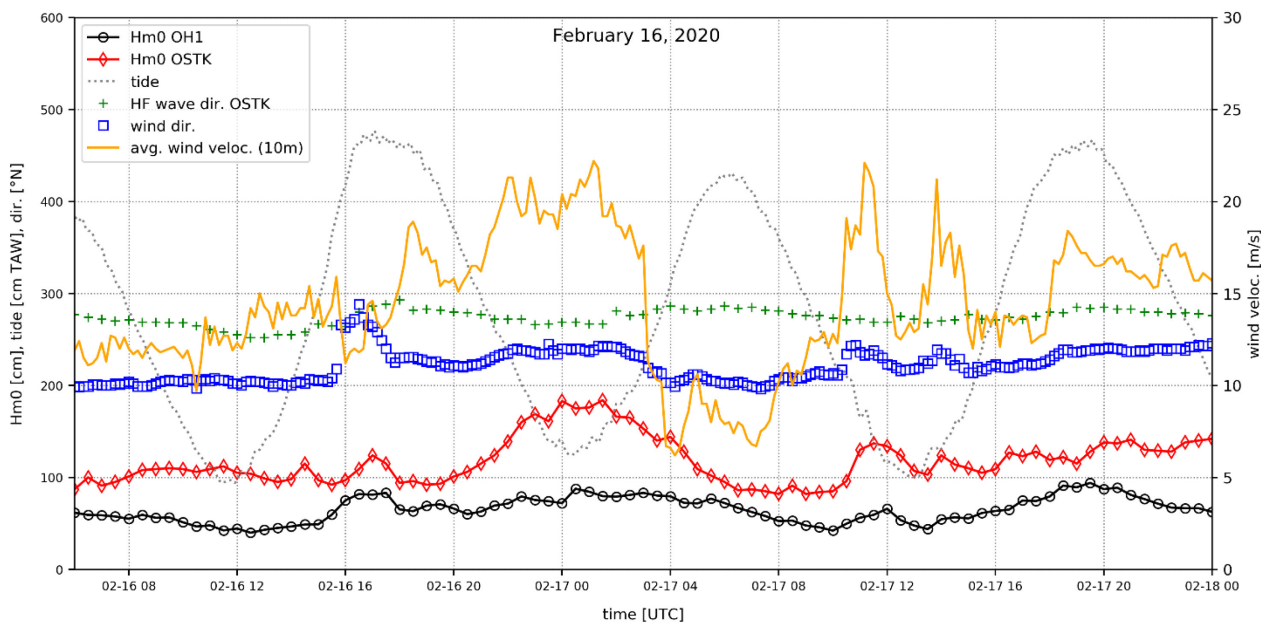
ZZW->WZW 10->20 m/s

H\_OSTK : sterke correlatie met wind op laagtij 17/2 om 0u.

H\_OH1 : neemt niet toe met windtoename op afgaand tij.

KD\_LW :  $0.9/1.8 = 0.5$

KD\_HW :  $0.8/1.2 = 0.67$



3.1.6 25.08.2020 (storm Francis)

**Fase golfgroei**

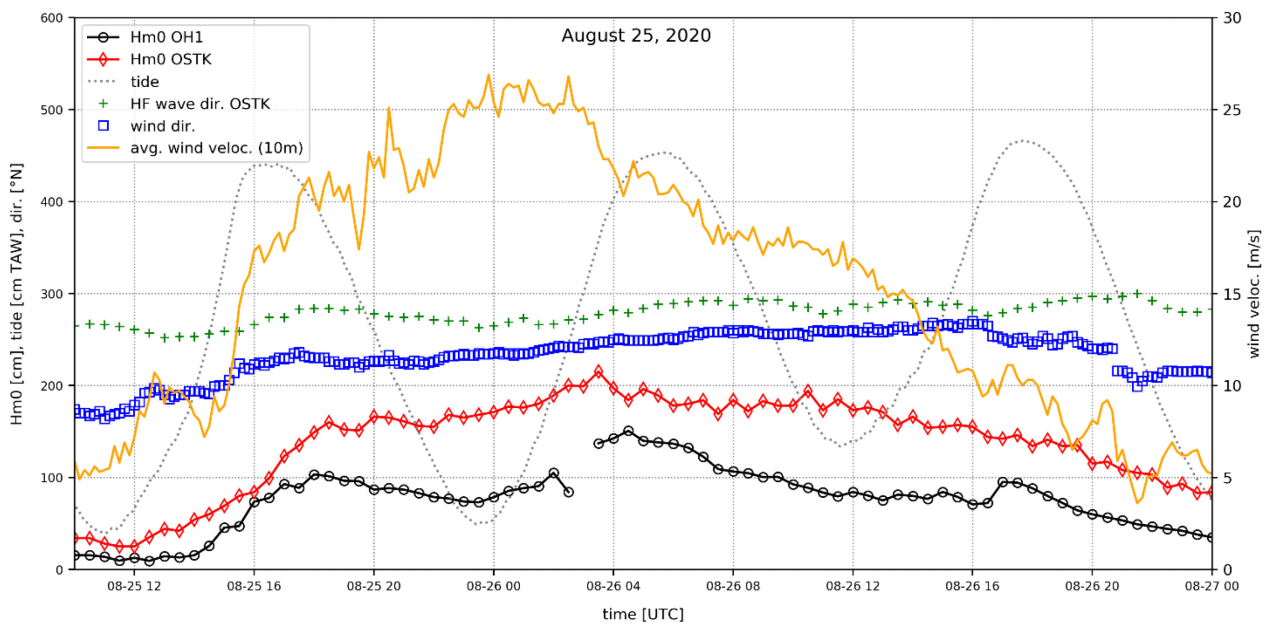
ZW 10-> 25 m/s

H\_OSTK : toename afgeremd bij afgaand tij, terug groei bij opkomend tij (bij toenemende wind)

H\_OH1 : afname bij afgaand tij ondanks toenemende wind, terug toename na LW 25/8 23u

KD\_HW :  $1.4/1.95 = 0.7$

KD\_LW :  $0.75/1.65 = 0.45$



3.1.7 20.05.2021

**Fase golfgroei**

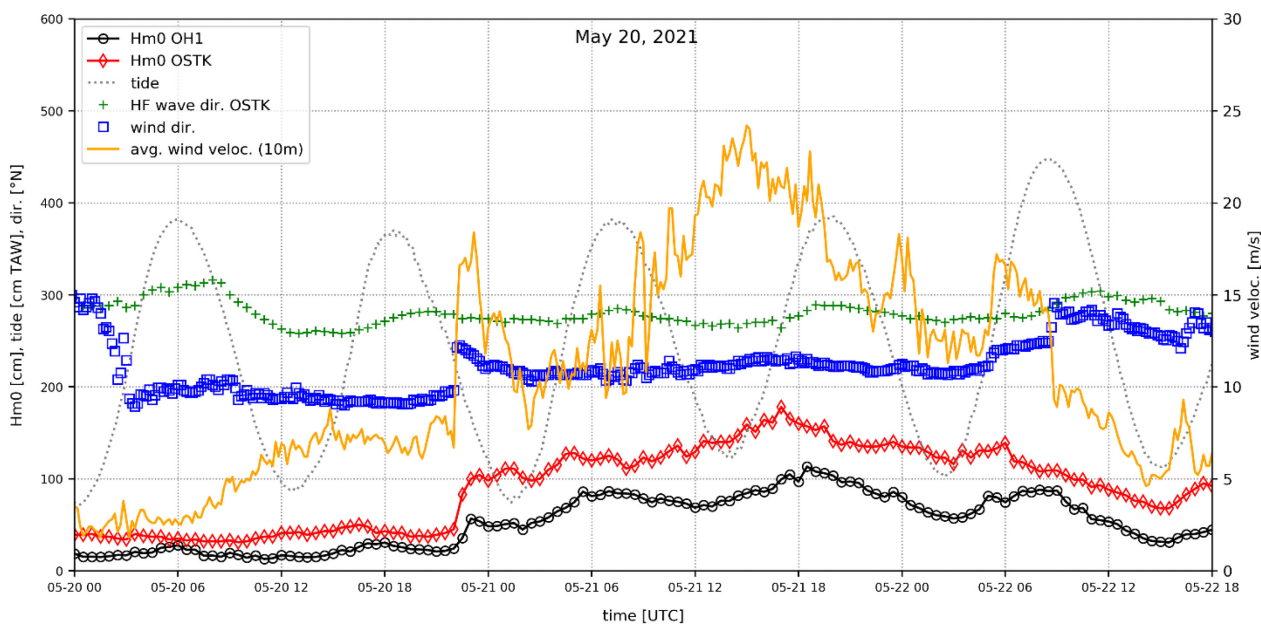
ZW 10->24 m/s

H\_OSTK gecorreleerd met wind, ook op LW 21.05 omstreeks 14u.

H\_OH1 : reductie LW 21.05 14u (0.9->0.7 m)

KD\_LW :  $0.77/1.45 = 0.53$  (21/5 13:00-15:00) (wind 224°N)

KD\_HW :  $1.06/1.50 = 0.70$  (21/5 19:00-20:00) (wind 224 °N)



### 3.2 Windsector W-N

#### 3.2.1 25.09.2020 (storm Odette)

##### Fase golfgroei

W->WNW 5->20 m/s

H\_OSTK : geen invloed laagtij op golfgroei

H\_OH1 : geen afremming golfgroei door laagtij, tragere toename in vgl. met H\_OSTK

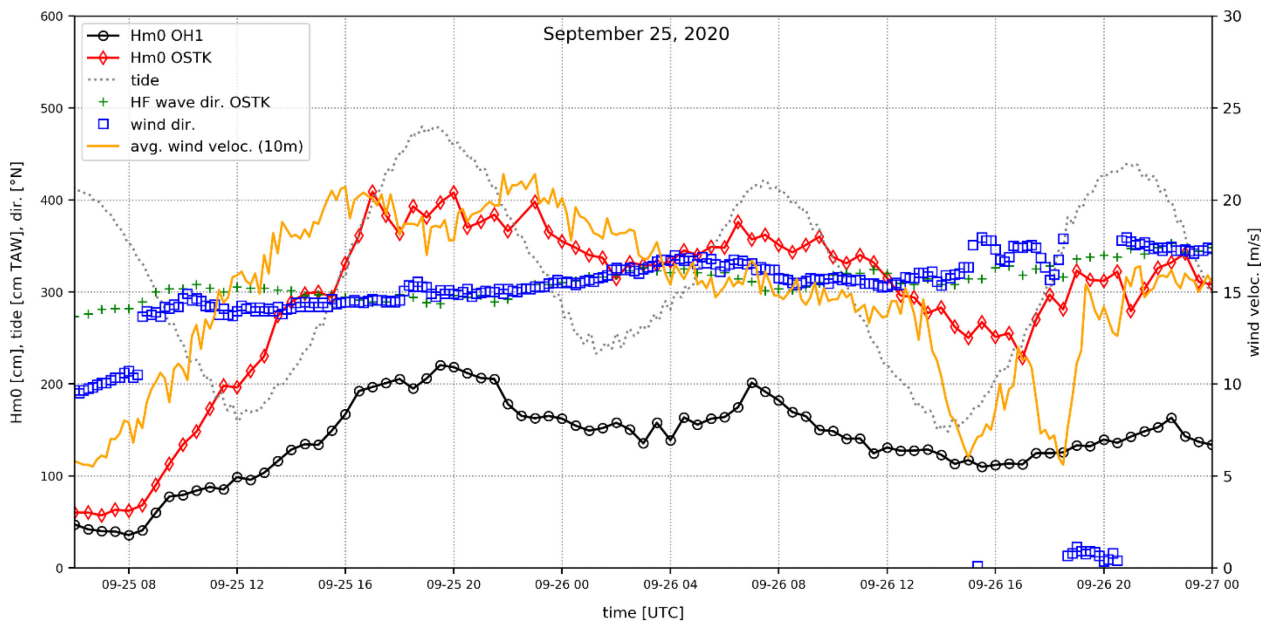
##### Fase ontwikkelde golven

WNW->NNW 20-> 15 m/s

H\_OSTK en H\_OH1: afname golfhoogte met windsnelheid op LW 26/9 01:00, terug toename met opkomend getij.

$KD_{HW} = 2.09/3.88 = 0.54$  (25/9 18:00-20:00) (wind 302 °N)

$KD_{LW} = 1.49/3.30 = 0.45$  (26/9 01:00-03:00) (wind 320 °N)



3.2.2 30.11.2020

**Fase golfgroei**

ZW->N; 5->15 m/s

Groei H\_ OSTK en H\_ OH1 stagneert op LW 30/11 19u (+0.5 m TAW)

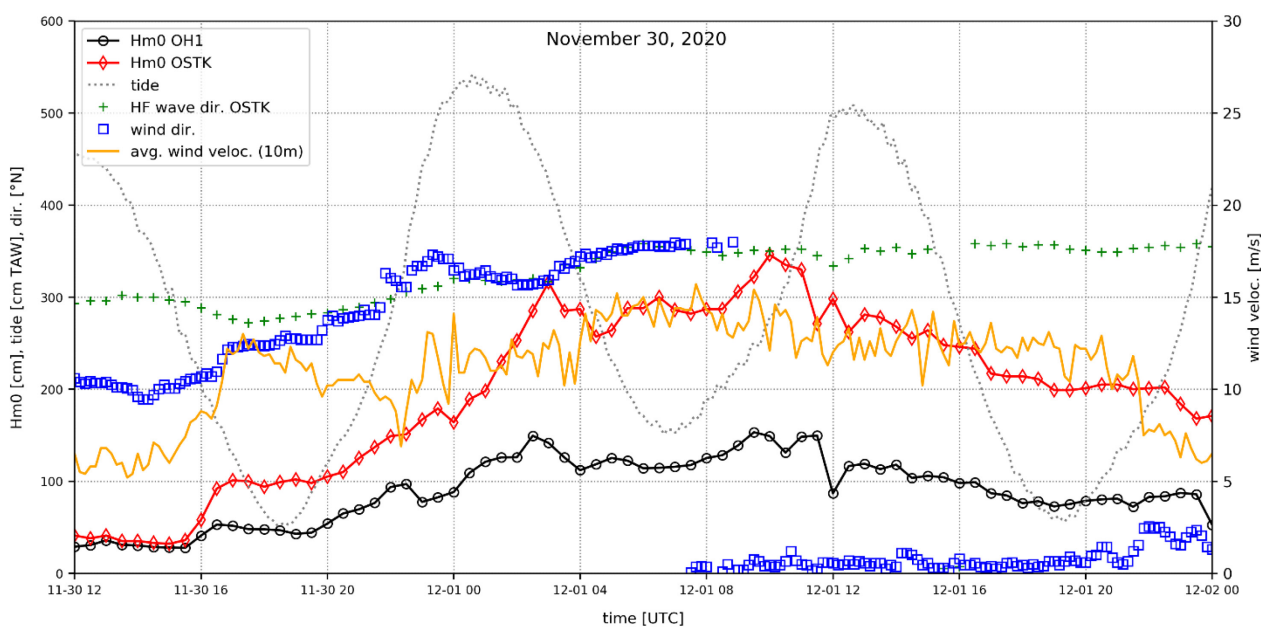
**Fase ontwikkelde golven**

N 15->12 m/s

Geen invloed laagtij op H\_ OSTK en H\_ OH1 (+1.5 m op 1/12 7u).

$KD_{LW} = 1.1/2.9 = 0.38$  (1/12 7u)

$KD_{HW} = 1.15/2.8 = 0.41$  (1/12 13u)



3.2.3 05.04.2021

**Fase golfgroei**

W->NNW; 9->14 m/s

H\_OSTK : geen afremming golfgroei tijdens laagtij (LW 5/4 13u +2 m TAW)

H\_OH1 blijft heel gelijkmatig (voor deze richting afgeschermd door oostelijke havendam).

**Fase ontwikkelde golven**

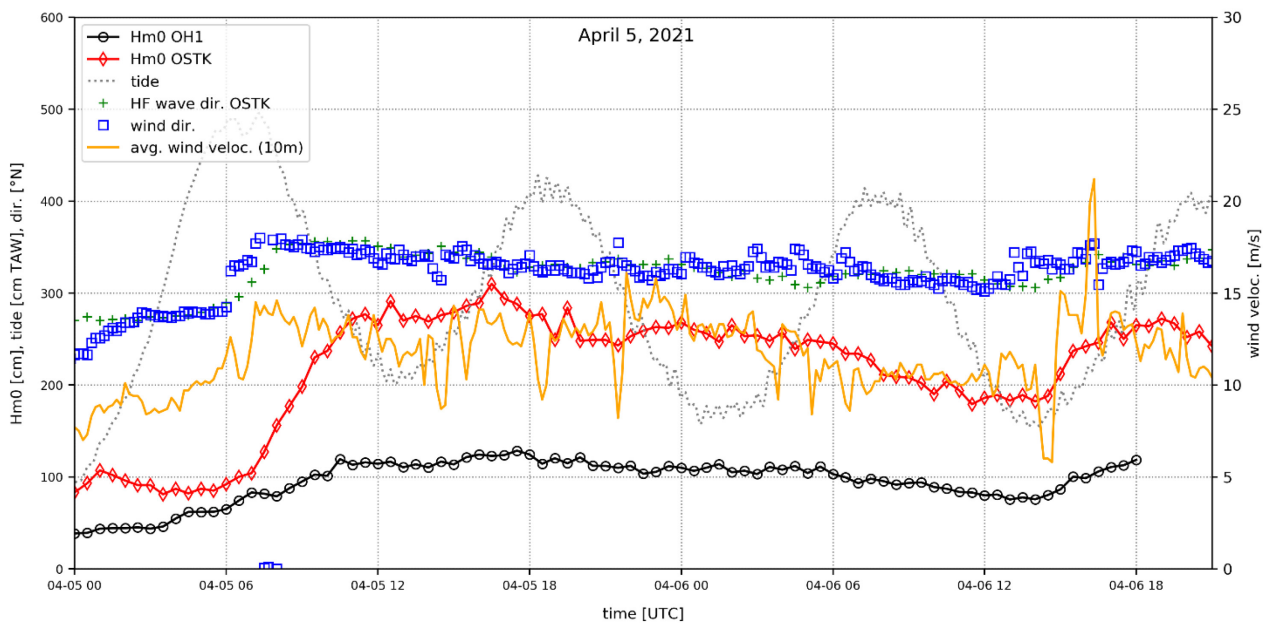
NNW 15->12 m/s

H\_OSTK : lichte afname met wind, geen invloed waterstand (LW 6/4 1u +1.75 m TAW)

H\_OH1 : lichte afname met wind, geen invloed waterstand

KD\_LW =  $1.05/2.65 = 0.4$  (6/4 1u)

KD\_HW =  $1.1/2.8 = 0.4$  (5/4 19u)



3.2.4 28.09.2021

**Fase golfgroei**

Z->WNW; 5-> 13 m/s

Toename H\_ OSTK en H\_ OH na winddraaiing van Z(W) naar WNW tijdens afgaand tij.

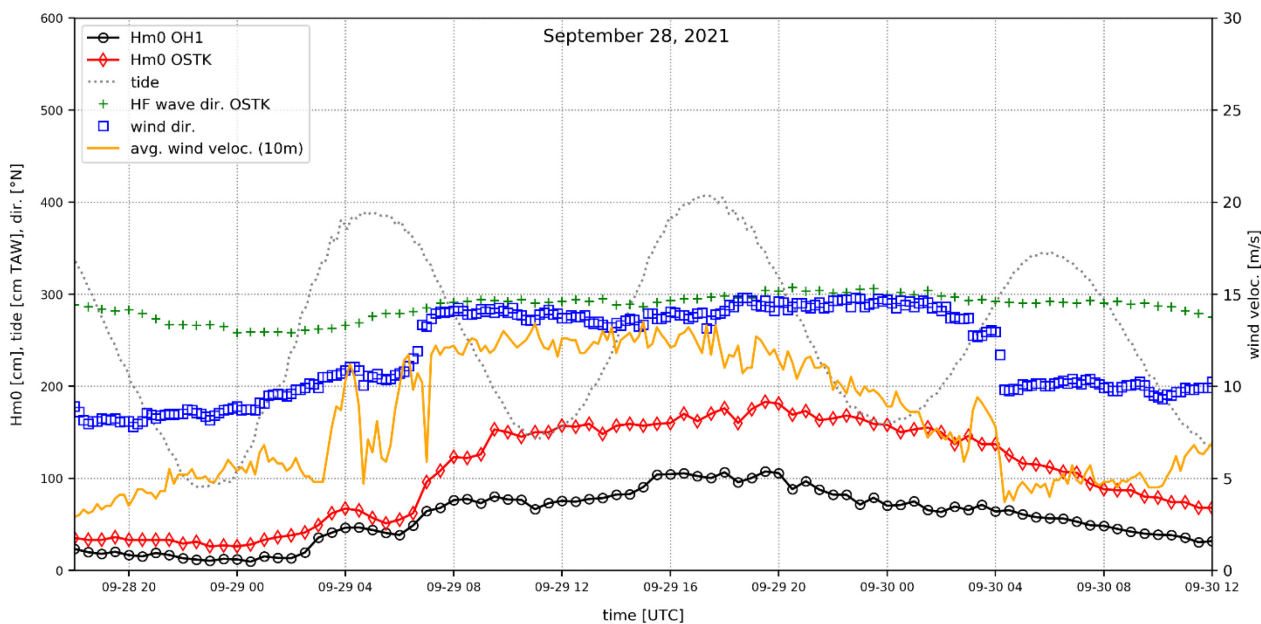
**Fase ontwikkelde golven**

W-WNW ca 13 m/s

Laagtij 29/9 11u : geen invloed laagtij op H\_ OSTK en H\_ OH1.

$KD_{LW} = 0.74/1.50 = 0.49$  (29/9 10:00-12:00)

$KD_{HW} = 1.03/1.69 = 0.61$  (29/9 17:00-18:00)



### 3.3 Windsector N-O

#### 3.3.1 03.05.2019

##### Fase golfgroei

N-NNE 7->13 m/s

Groei H\_OSTK en H\_OH1 lijkt afgeremd door laag springtij (ca. +0.5 m TAW 04/05 06:00).

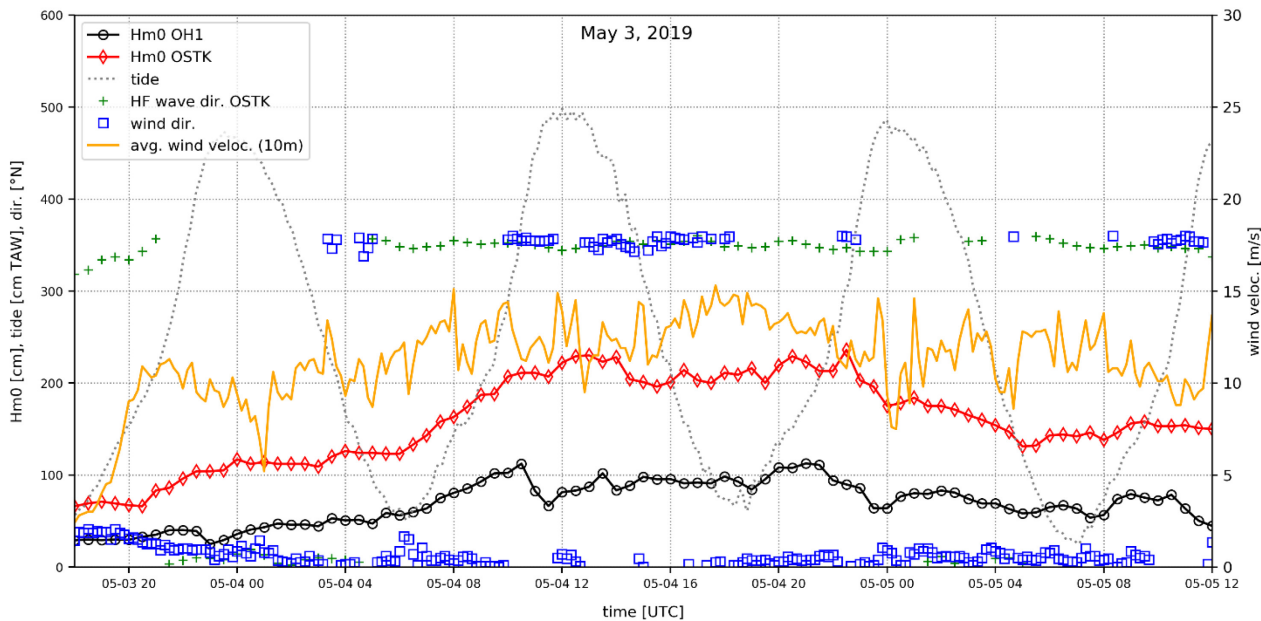
##### Fase ontwikkelde golven

N 10-15 m/s

Geen invloed LW op H\_OSTK en H\_OH1 (+0.75 m TAW 4/5 18:00)

$KD_{HW} = 0.85/2.25 = 0.38$  (HW 4/5 12u)

$KD_{LW} = 0.95/2.1 = 0.45$  (LW 4/5 19u)





3.3.2 28.03.2020

**Fase golfgroei**

NO -> NNO 10->17 m/s

H\_OSTK en H\_OH1 : drempel golfgroei tijdens laagtij (+0.25 m TAW 28/3 09:00)

**Fase ontwikkelde golven**

NNO-NO 15-20 m/s

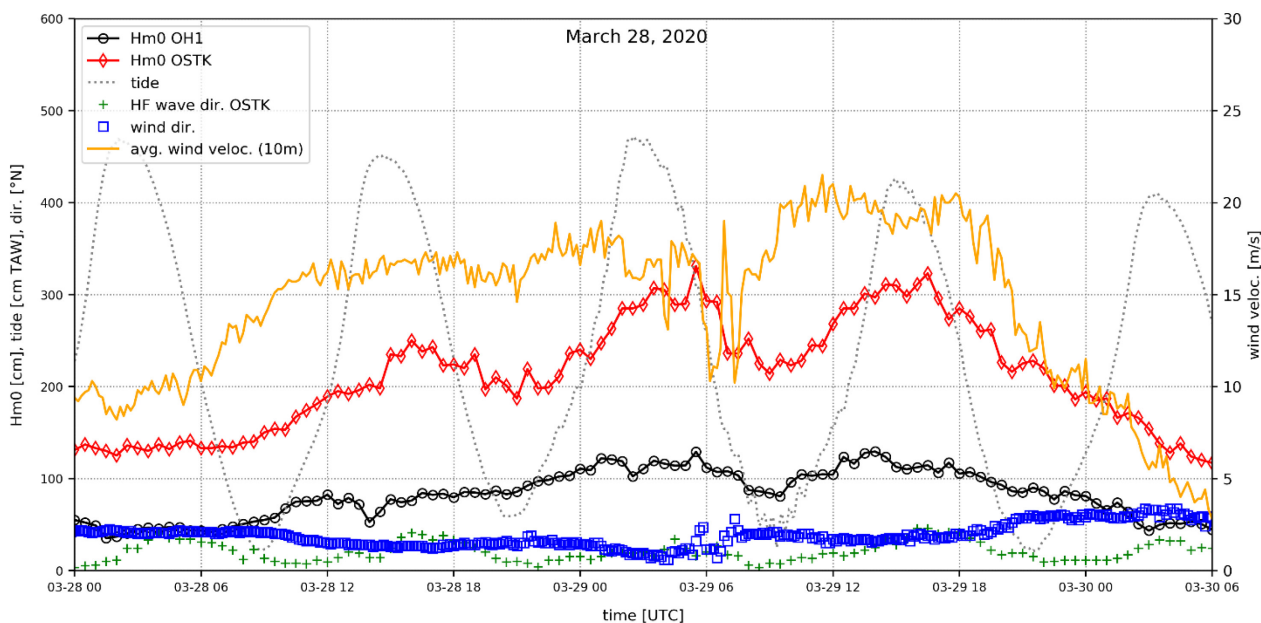
H\_OSTK : afname golfhoogte (2.5->2m) tijdens laagwater 28/3 21u. Deze kan ook gelinkt zijn aan een afname in windsterkte (hoewel deze op de meetlocatie Zeebrugge althans beperkt lijkt).

H\_OH1 : geen invloed getij (veel lagere Kd voor deze richting).

$KD_{LW} = 0.85/2.05 = 0.41$  (28/3 21:00)

$KD_{LW} = 0.85/2.1 = 0.4$  (29/3 09:00)

$KD_{HW} = 1.15/3 = 0.38$  (29/3 03:00)



3.3.3 10.05.2020

**Fase golfgroei**

N-NO, 0->20 m/s

H\_OSTK en H\_OH1 nemen toe met windsnelheid tijdens opkomend tij.

**Fase ontwikkelde golven**

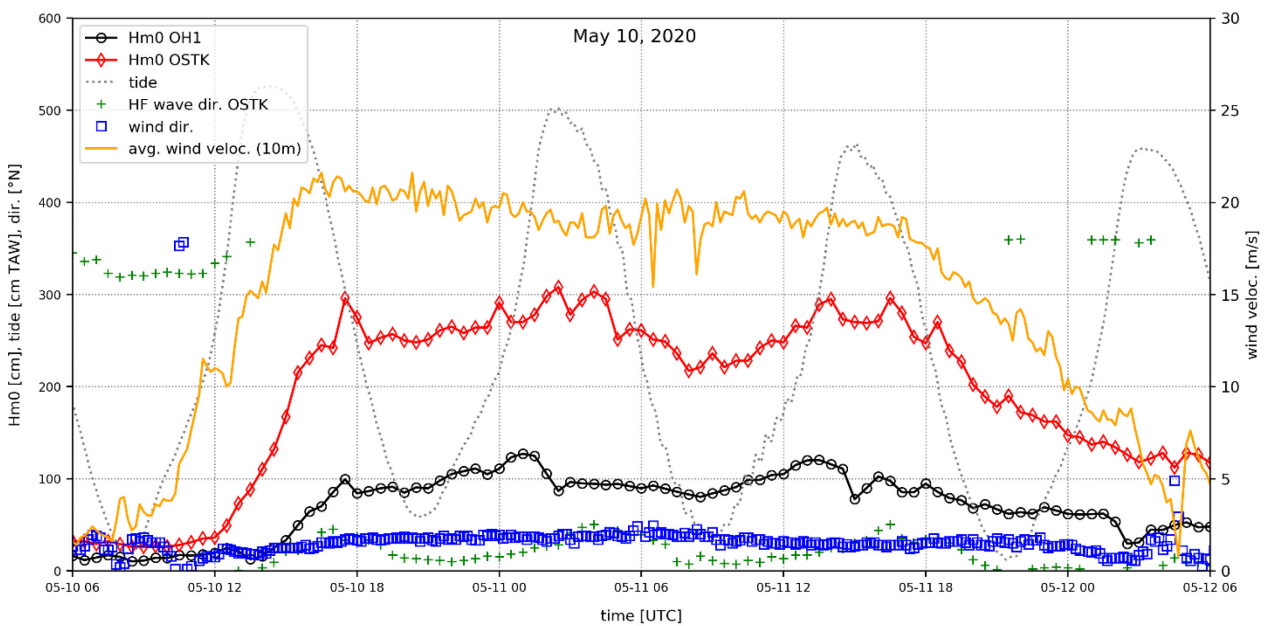
NO 20->18 m/s

H\_OSTK : na HW 11/5 2u30 afname Hm0 bij afnemend getij, gevolgd door kleine toename bij hoogwater (ondanks licht afnemende wind) en afname bij laagwater.

H\_OH1 : geen duidelijke invloed LW (10/5 21u) op golfhoogte voor deze richting.

$KD_{LW} = 0.95/2.5 = 0.38$  (10/5 21u)

$KD_{HW} = 1/ 2.95 = 0.34$  (11/5 2u)



3.3.4 24.12.2020 (storm Bella)

**Fase golfgroei**

ZW->N 5-> 13 m/s

24/12 4 u: zeer snelle windshift ZW->N en toename uw van 5 tot 13 m/s samenvallend met opkomend tij. Dit resulteert in een snelle toename H\_OSTK van 0.6 tot 2.7 m ondanks relatief beperkte windsnelheid. H\_OH1 neemt trager toe van 0.5 tot 1.25 m.

**Fase ontwikkelde golven**

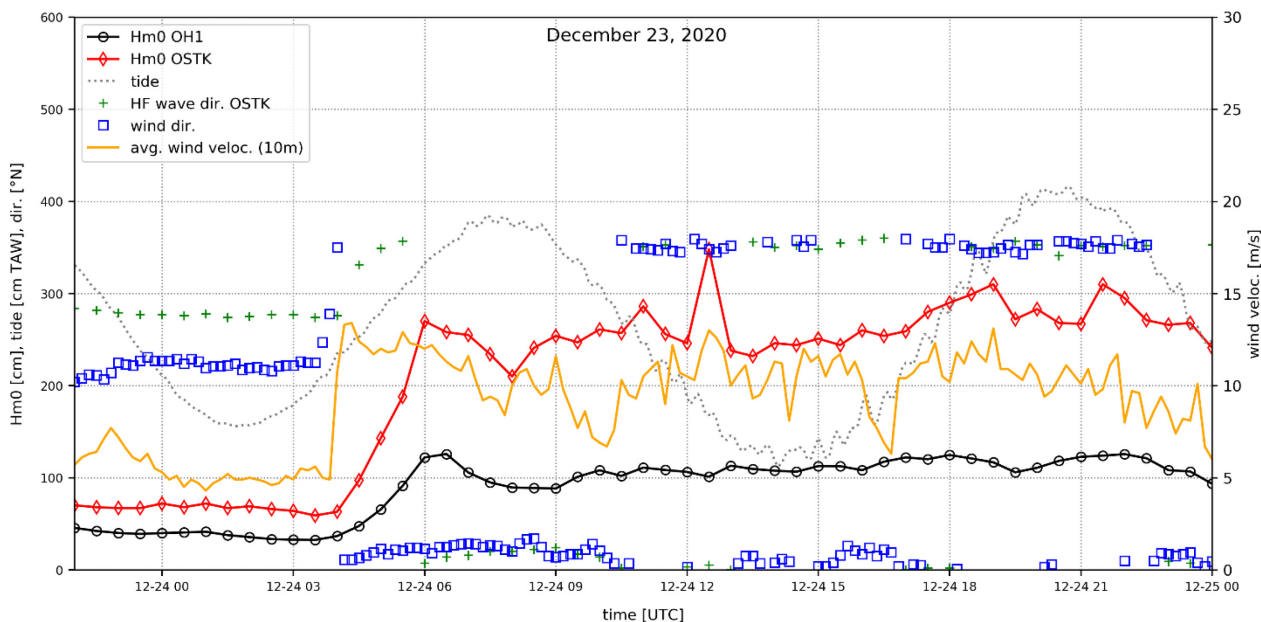
N 8-13 m/s

H\_OSTK : afname van ca 3 m tot 2.4 m op LW 24/12 14u (+1 m TAW). Tijdens het daaropvolgend hoogtij neemt H\_OSTK weer toe van 2.5 tot 3 m (ondanks gelijkblijvende tot afnemende windsnelheid).

H\_OH1 : geen invloed laagtij

$KD_{LW} = 1.05/2.5 = 0.42$

$KD_{HW} = 1.15/2.7 = 0.43$



3.3.5 06.02.2021 (storm Darcy)

Fase golfgroei

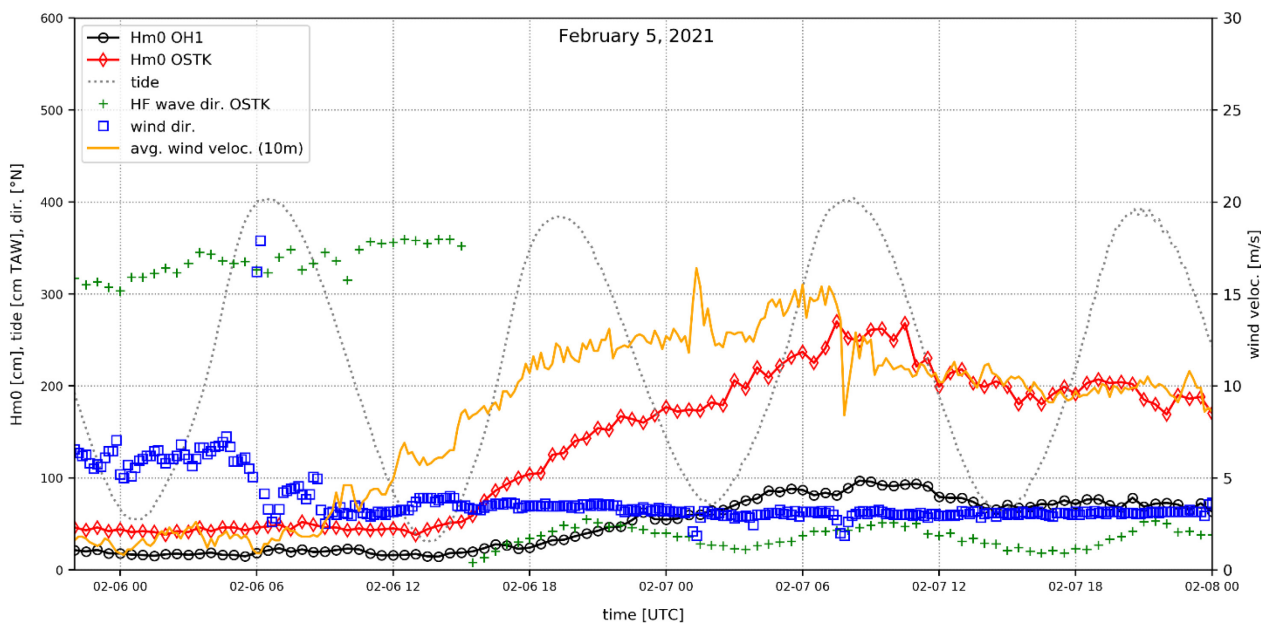
OZO->ONO ; 2->15 m/s

H\_OSTK : drempel golfgroei op LW 07.02 2u (+0.7 m TAW).

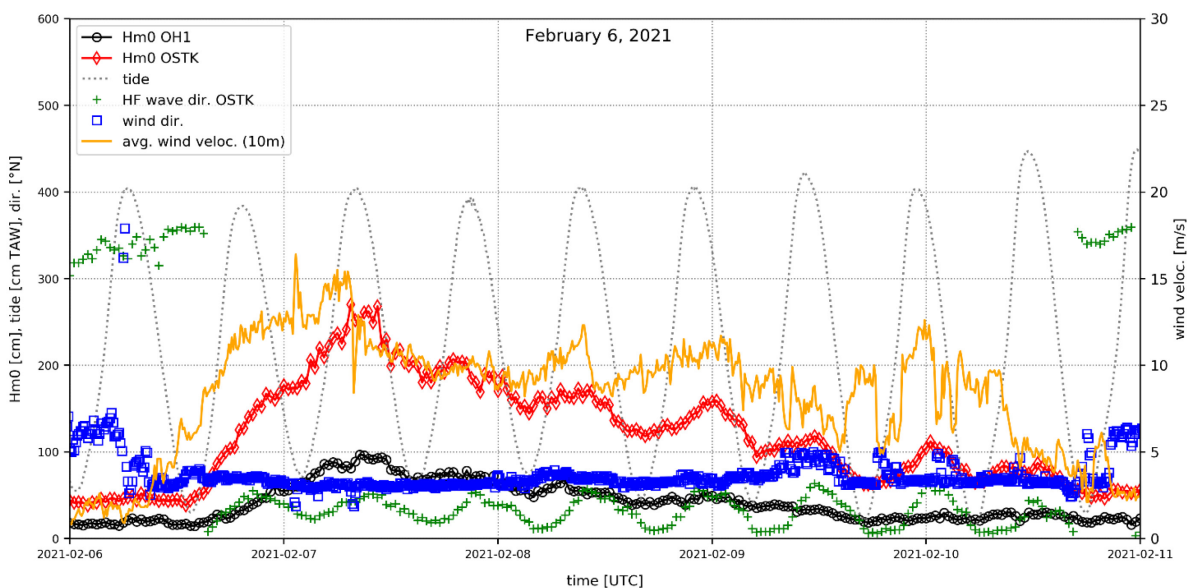
H\_OH1 : drempel golfgroei op LW 07.02 2u (+0.7 m TAW). H beperkt door afscherming oostelijke havendam.

KD\_HW = 1/ 2.6 = 0.38 (HW 07.02 8u)

KD\_LW = 0.6/1.8 = 0.33 (LW 07.02 2u)



Opmerking : de draaiing in golfrichting OSTK tussen NNO (bij laagtij) en NO (bij hoogtij) wijst op de invloed van refractie voor deze richting.



### 3.4 Correlatie tussen golven en waterstand

Uit de analyse van de geselecteerde stormen (Tabel 2) kan geconcludeerd worden dat er een drempel optreedt in de fase van golfgroei (of zelfs een afname van golfhoogte) tijdens laagwater springtij (waterstand lager dan +1 m TAW), en dit op de beide geanalyseerde meetlocaties. De windrichting speelt hier geen rol in.

Tabel 2 : Overzicht invloed laagtij op golfgroei

storm	wind	LW [m TAW]	H_OSTK	H_OH1
20.09.2018	ZZW->W 15->20 m/s	+1.1	~wind, geen invloed waterstand	~wind geen invloed waterstand
10.03.2019	O->ZW 5->25 m/s	+0.6	Drempel golfgroei	Drempel golfgroei
08.06.2019	ZZW->ZW 10->20 m/s	+0.6	1.5->1.25 m	0.7->0.5 m
09.02.2020	ZZW->ZW 15->25 m/s	+0.5	~wind geen invloed waterstand	~wind 0.9->0.5 m bij afgaand tij
16.02.2020	ZZW->WZW 10->20 m/s	+1.3	~wind, geen invloed waterstand	geen toename met wind door afscherming
25.08.2020	ZW 10-> 25 m/s	+0.5	Drempel golfgroei	1->0.75 m
20.05.2021	ZW 10->24 m/s	+1.25	~wind geen invloed waterstand	0.9->0.7 m
25.09.2020	W->WNW 5->20 m/s	+1.75	~wind geen invloed waterstand	~wind, tragere toename
30.11.2020	ZW->N 5->15 m/s	+0.5	Drempel golfgroei	Drempel golfgroei
05.04.2021	W->NNW 9->14 m/s	+2.0	~wind	~wind
03.05.2019	N-NNE 7->13 m/s	+0.5	Drempel golfgroei	Drempel golfgroei
28.03.2020	NO -> NNO 10->17 m/s	+0.25	Drempel golfgroei	Drempel golfgroei
06.02.2021	OZO-NO 2->15 m/s	+0.7	Drempel golfgroei	Drempel golfgroei

Tabel 3 bevat de observaties van de ontwikkelde golven tijdens de geselecteerde stormen. In 7 op 10 gevallen wordt de golfhoogte op beide meetlocaties niet beïnvloed door de waterstandsval tijdens laagtij. In een aantal gevallen treedt een reductie op van de golfhoogte. Voor beide meetlocaties treedt dit op zowel voor een hoge (>+2 m TAW) als lage (<+1 m TAW) laagwaterstand.

Tabel 3 : Overzicht invloed laagtij op ontwikkelde golven

storm	wind	LW [m TAW]	H_OSTK	H_OH1
10.03.2019	W 14-18 m/s	+0.9	Geen invloed laagtij	1.4->0.9 m
09.02.2020	W 22->18 m/s	+0.6	Geen invloed laagtij	1.6->0.9->1.5 m
25.09.2020	WNW->NNW 20-> 15 m/s	+2.3	4->3.1->3.8 m	1.8->1.3->2 m
30.11.2020	N 15-> 12 m/s	+1.5	Geen invloed laagtij	Geen invloed laagtij
05.04.2021	NNW 15->12 m/s	+1.75	Geen invloed laagtij	Geen invloed laagtij
28.09.2021	W-WNW 13 m/s	+1.5	Geen invloed laagtij	Geen invloed laagtij
03.05.2019	N 10-15 m/s	+0.75	Geen invloed laagtij	Geen invloed laagtij
28.03.2020	NNO-NO 15-20 m/s	+0.6	2.5->2-> 3 m	Geen invloed laagtij
10.05.2020	NO 20->18 m/s	+0.6	3->2.5->3 m	Geen invloed laagtij
24.12.2020	N 8-13 m/s	+1.0	Geen invloed laagtij	Geen invloed laagtij

### 3.5 KD factor meetlocatie OH1

De diffractiecoëfficiënt  $KD$  (E: disturbance factor) op de meetlocatie OH1 wordt gedefinieerd als de verhouding van de significante golfhoogte ter hoogte van de golfmeetboei OH1 t.o.v. de significante golfhoogte buitengaats op de locatie Oostende Oosterstaketsel (zie Figuur 1).

Tabel 4 bevat de geobserveerde  $KD$  factoren op het ogenblik van hoog- of laagwater tijdens de geselecteerde stormen. De observaties worden geclusterd in een sector van  $45^\circ$  rond de vermelde windrichtingen.

De diffractiecoëfficiënt is afhankelijk van de waterstand voor de windsectoren ZW en W. Indien verondersteld wordt dat  $H_{OSTK}$  niet verandert tijdens een getijcyclus betekent dit dat voor deze windrichtingen op locatie OH1 ofwel shoaling op hoogwater optreedt, ofwel golfbreking op laagwater. Ook een gewijzigd diffractieproces doorheen de havenmond bij laagtij (met meer golfoploop/golfbreking op de koppen van de havenmond) kan een rol spelen.

Voor de sectoren N-NO is de invloed van de waterstand op de  $KD$  factor beduidend kleiner. De sector NW toont nog wel enige reductie van de  $KD$ -factor op laagwater, maar minder sterk dan bij sectoren ZW en W.

Tabel 4 :  $KD$  factoren op meetlocatie OH1 op hoog- en laagwater tijdens de geselecteerde stormen (getallen in volgorde gerangschikt op resp. hoog-en laagwater vormen datakoppels uit eenzelfde stormgebeurtenis).

Windsector	$KD$ hoogwater [-]	$KD$ laagwater [-]
ZW	-/0.71/0.67/0.7/0.70	0.43/0.33/0.5/0.45/0.53
W	0.57/0.65/0.71/0.61	0.47/0.41/0.44/0.49
NW	0.54/0.4/0.57	0.45/0.4/0.4
N	0.41/0.45/0.43	0.38/0.38/0.42
NO	0.38/0.34/0.38	0.4/0.38/0.33

## 4 Drukmetingen nabij ingang Visserijsluis

### 4.1 Analyserapport IMDC

In het analyserapport (IMDC, 2015a) worden 4 stormgebeurtenissen vermeld dewelke plaatsvonden tijdens de meetcampagne 2012-2015. Deze 4 stormen worden opnieuw geanalyseerd op basis van de beschikbare meetreeksen van significante golfhoogte (energie van de korte golven<sup>3</sup>) en de hydrometeodata uit het Meetnet Vlaamse Banken (getij, golfhoogte buitengaats (t.p.v. Oostende Oosterstaketsel), windsnelheid- en windrichting op basis van meetstation 'OS7' te Oostende<sup>4</sup>).

Figuren 4-7 tonen het beeld van de 4 geselecteerde stormen. Tabel 5 toont de meetwaarden van waterstand, golfhoogte buitengaats en op meetlocatie OST-B, de KD-factor (betrokken op totale golfhoogte) en de windrichting. Deze waarden betreffen gemiddelde waarden in het vermelde tijdvenster rond hoog- en laagwater. Er wordt opgemerkt dat de golfmetingen op locatie OST-B dateren van voor de verbreding van de havengeul ter hoogte van de Halve Maan. Te verwachten valt dat de KD-factor op deze locatie significant toeneemt na de verbreding.

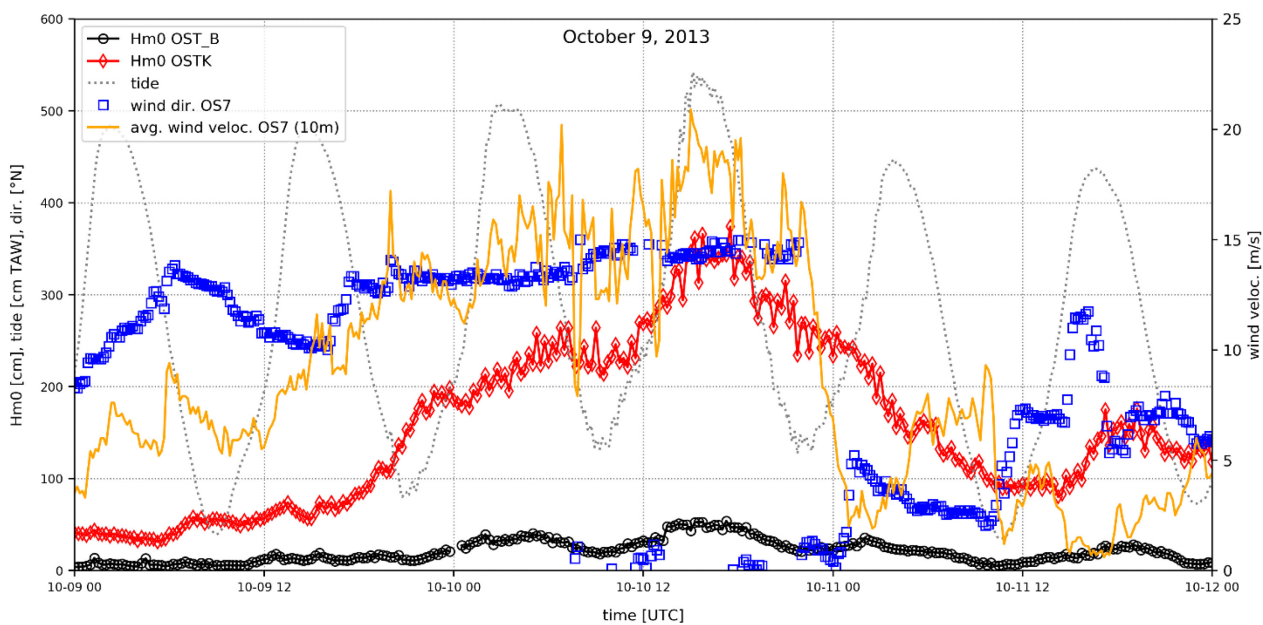
Tabel 5 : Overzicht 4 geselecteerde stormen uit het analyserapport IMDC.

Periode	Waterstand [m TAW]	Hm0 OST_B [m]	Hm0 OSTK [m]	KD OST_B [-]	Windrichting [°N]
10-10-2013 08:00-11:00	+1.60	0.22	2.30	0.09	327 (NW)
10-10-2013 15:00-17:00	+5.25	0.49	3.43	0.14	347 (NNW)
29-11-2013 20:30-22:30	+4.82	0.44	2.15	0.20	320 (NW)
30-11-2013 02:30-04:30	+2.07	0.32	2.52	0.13	325 (NW)
06-12-2013 01:00-03:00	+6.00	0.36	2.42	0.15	300 (WNW)
06-12-2013 07:00-10:00	+1.78	0.29	2.65	0.11	315 (NW)
21/22-10-2014 22:00-01:00	+5.36	0.54	3.10	0.17	311 (NW)
22-10-2014 04:00-08:00	+2.40	0.40	2.73	0.15	318 (NW)

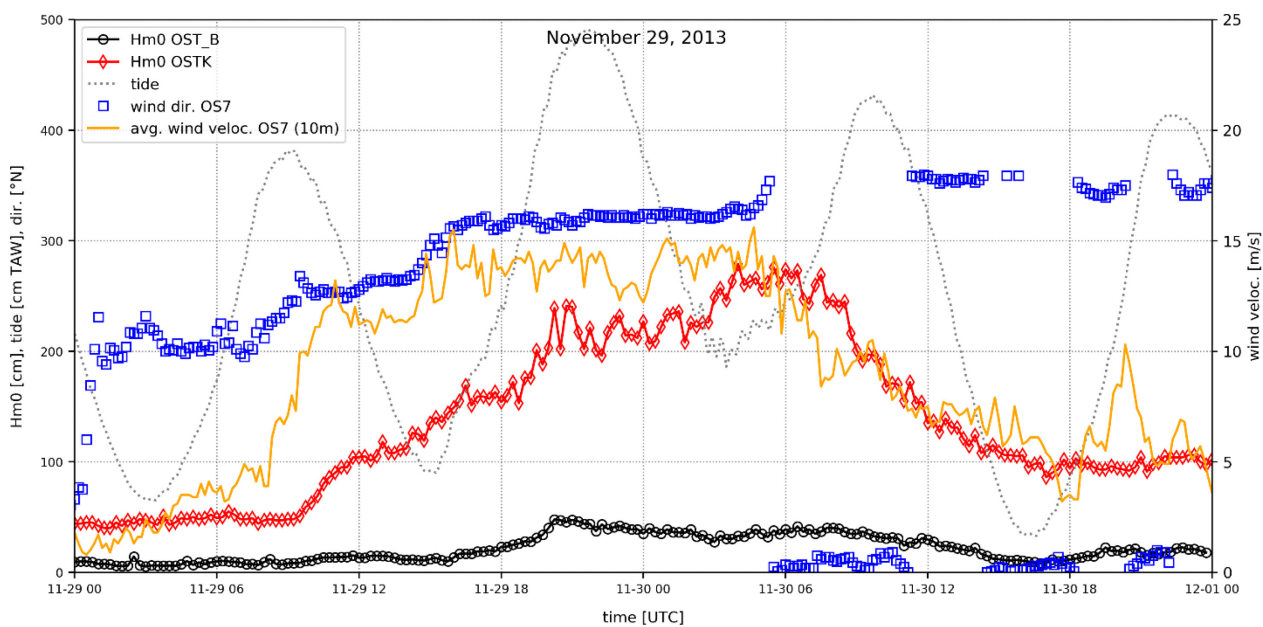
<sup>3</sup> De analyse van het gemeten golfspectrum (15-min waarden) werd door IMDC in 2 delen opgesplitst: een hoogfrequent deel (0.05-0.43 Hz) en een laagfrequent deel (0.00833 – 0.03 Hz). In deze nota wordt enkel het hoogfrequent deel beschouwd. De energie van het laagfrequente deel is op de locatie Visserijsluis beduidend lager dan het hoogfrequente deel, met een Hm0 tot ca. 0.1 m (zie IMDC, 2015a). De lange golven worden niet gemoduleerd door het getij.

<sup>4</sup> De exacte locatie van het meetstation 'OS7' in het havengebied Oostende tijdens de periode 2013-2014 kon niet meteen achterhaald worden. Een vergelijking tussen de metingen van Zeebrugge daminstrumentatie en deze locatie toont echter beperkte verschillen aan tussen beide.

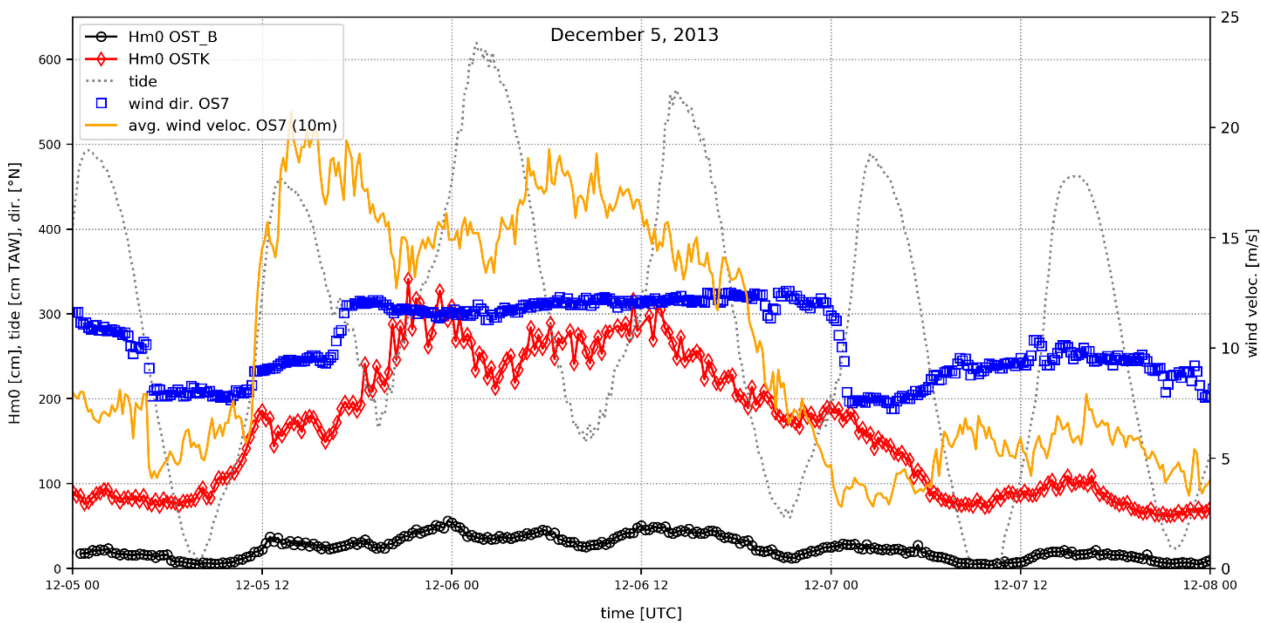




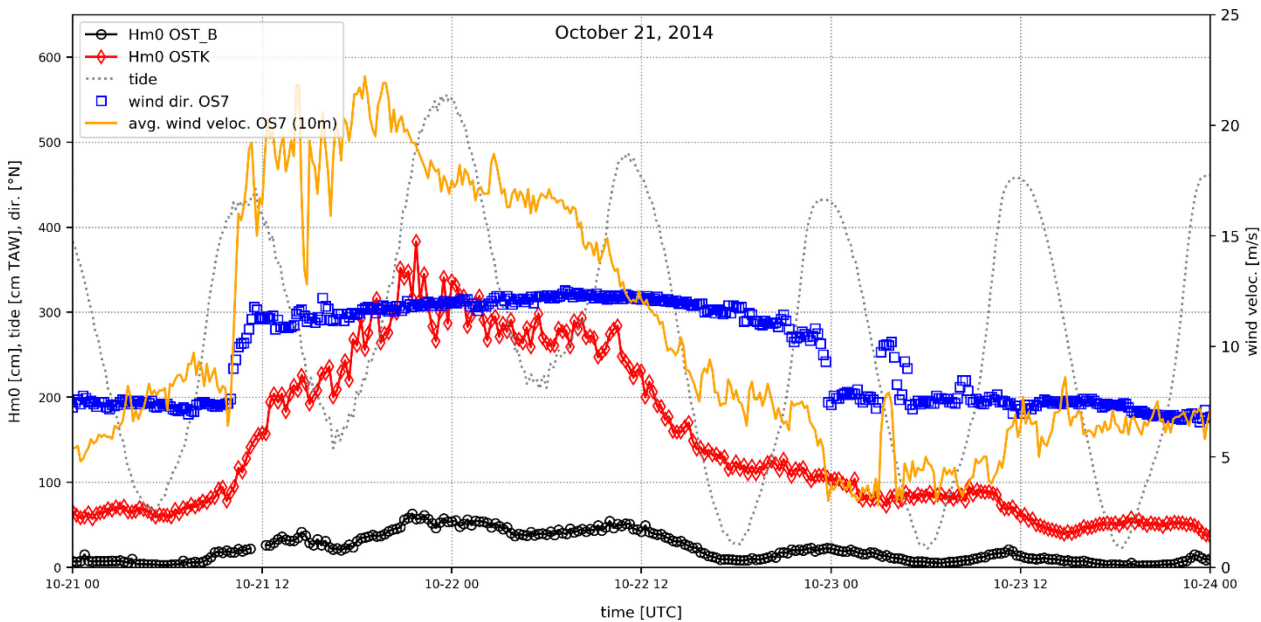
Figuur 4 : Synoptisch beeld van de storm 10-10-2013 (data: Meetnet Vlaamse Banken, IMDC)



Figuur 5 : Synoptisch beeld van de storm 29-11-2013 (data: Meetnet Vlaamse Banken, IMDC)



Figuur 6 : Synoptisch beeld van de storm 06-12-2013 (data: Meetnet Vlaamse Banken, IMDC)



Figuur 7 : Synoptisch beeld van de storm 21-10-2014 (data: Meetnet Vlaamse Banken, IMDC)

In de IMDC stormrapporten (IMDC, 2014a; b, 2015b) wordt vermeld dat de golfhoogte van de korte golven gemoduleerd wordt door het getij. Dit is inderdaad zichtbaar in de geselecteerde stormgebeurtenissen. Als voorbeeld wordt de storm van 10-10-2013 aangehaald (Figuur 4). De golfhoogte op locatie OST-B varieert van ca. 0.2 m bij laagtij (10-10-2013 10:00) tot ca. 0.5m bij hoogtij (10-10-2013 16:00); dit effect lijkt ook versterkt te worden door de variatie van de golfhoogte buitengaats. De stormen 6-12-2013 en 21-10-2014 tonen dezelfde modulatie, zij het iets minder uitgesproken.

Een opvallend gegeven is dat in alle waargenomen stormgebeurtenissen de golfhoogte t.p.v. meetlocatie OST-B de trend van golfgroei buitengaats niet volgt tijdens het laagtij (i.e. een stagnering of zelfs afname van de golfgroei).

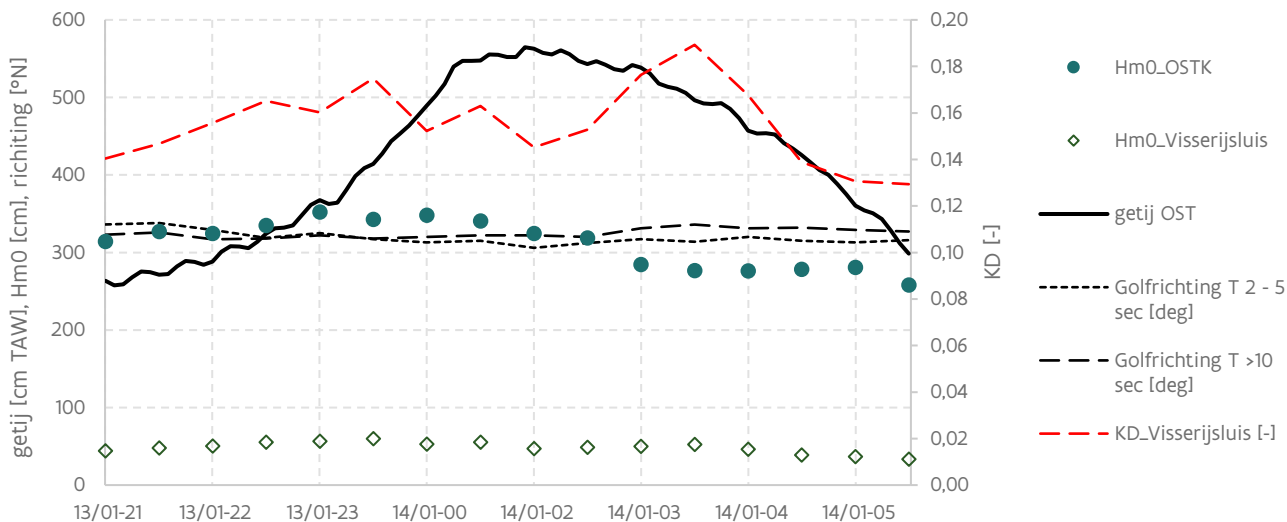
Het modulerend effect tijdens laagtij kan echter ook teniet gedaan worden door een toenemende golfhoogte buitengaats, zoals waargenomen tijdens het laagtij op 30-11-2013 omstreeks 4u (Figuur 5).

**Conclusie:** de waarnemingen tonen aan dat bij gelijkblijvende golfhoogte buitengaats de energie van de korte golven afneemt tijdens het laagtij. Dit effect lijkt versterkt te worden tijdens springtij (laagwater < +2 m TAW). Er dient wel genuanceerd te worden dat de evolutie van de golfhoogte buitengaats en de synchronisatie van het stormopzet t.o.v. het astronomisch getij (bepalend voor de laagwaterstand tijdens de stormpiek) dit proces sterk kan beïnvloeden.

## 4.2 Storm Dieter (januari 2017)

Figuur 4 toont de evolutie van het getij en de golven op de meetlocatie Visserijsluis en buitengaats (golfmeetboei Oostende Oosterstaketsel). De KD factor fluctueert tussen 0.1 en 0.2 voor deze golfrichting (NW).

Er kan geen duidelijke correlatie tussen de waterstand en de golfhoogte nabij de ingang Visserijsluis vastgesteld worden, al dient wel opgemerkt te worden dat de meting afgebroken werd op ca +3 m TAW (omwille van de positie van de druksensor).



Figuur 8 : Evolutie getij en golven op locatie Visserijsluis en Oosterstaketsel tijdens storm Dieter (2<sup>de</sup> hoogwater omstreeks 14/01/2017 02:00 [UTC+1])

## 5 Conclusie

Voor bepaalde controles op constructief falen vereist de probabilistische toets van de Visserijsluis de kennis van de golfbelasting op laagwater. Aan de hand van een analyse van meetgegevens is een poging ondernomen een beeld te vormen van de evolutie van de golfhoogte in de haven Oostende tijdens een periode van stormopzet.

Wat betreft de invloed van het getij op de golfhoogte op meetlocaties Oosterstaketsel en OH1 (binnen de havendammen, oostelijk van de havengeul) worden volgende observaties gemaakt:

- o een drempel in de fase van golfgroei (of zelfs een afname van golfhoogte) tijdens laagwater springtij (waterstand lager dan +1 m TAW), en dit op de beide geanalyseerde meetlocaties (Tabel 2). De windrichting speelt hier geen rol in;
- o tijdens de fase van ontwikkelde golven neemt de KD-factor op de meetlocatie OH1 af bij laagtij, dit geldt in het bijzonder voor richtingen ZW en W, voor richtingen NW,N en NO is deze afname beperkt of afwezig (Tabel 4).

Zoals aangegeven in IMDC (2015a) tonen de waarnemingen op de meetlocatie ter hoogte van de ingang Visserijsluis aan dat bij gelijkblijvende golfhoogte buitengaats de energie van de korte golven afneemt tijdens het laagtij. Dit effect lijkt versterkt te worden tijdens springtij (laagwater < +2 m TAW).

Er dient wel genuanceerd te worden dat de evolutie van de golfhoogte buitengaats en de synchronisatie van het stormopzet t.o.v. het astronomisch getij (bepalend voor de laagwaterstand tijdens de stormpiek) de modulatie van de lokale golfhoogte sterk kan beïnvloeden. Bovendien is het aantal beschikbare metingen ter plaatse van de Visserijsluis bij (NW) storm beperkt en verschaffen deze waarnemingen geen inzicht in een eventuele reductie (of de afwezigheid ervan) van de golfhoogte bij het laagwater onder een extremer stormopzet (tussen ca.+2 en +4 m TAW).

## Referenties

- De Roo, S.; Vanneste, D.; Suzuki, T.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Hydraulische randvoorwaarden ter hoogte van de haveningang (haven Oostende): normaal golfklimaat (T = 1 en 10 jaar) en extremer golfklimaat bij laagwater (T = 100 jaar). Versie 4.0. *WL Rapporten, 17\_009\_1*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=285923>
- IMDC.** (2014a). Golfmetingen in de kusthavens. Stormrapport 1 : 10 oktober 2013, I/RA/11410/14.007/SDO
- IMDC.** (2014b). Golfmetingen in de kusthavens. Stormrapport 2 : 6 december 2013, I/RA/11410/14.042/SDO
- IMDC.** (2015a). Golfmetingen in de kusthavens. Analyserapport, I/RA/11410/15.039/SDO
- IMDC.** (2015b). Golfmetingen in de kusthavens. Stormrapport 3 : 22 oktober 2014, I/RA/11410/15.010/SDO
- Vanneste, D.; Willems, M.; Peeters, P.; Mostaert, F.** (2017). Golfmetingen haven Oostende tijdens storm 'Dieter'. versie 3.0. *WL Rapporten, 17\_008\_1*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=285858>

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)