



Vlaanderen
is wetenschap

14_082_4
WL rapporten

Agenda voor de Toekomst Golven in het estuarium

Analyse van golfmetingen bij de Hooge Platen

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium

Analyse van golfmetingen bij de Hooge Platen

Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F.

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 2021
D/2021/3241/014

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2021). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: Deelrapport 4 – Analyse van golfmetingen ter hoogte van de Hooge Platen. Versie 3.0. WL Rapporten, 14_082_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2021R14_082_4
Keywords (3-5):	Golven, schepen, wind, intergetijdengebied		
Kennisdomeinen:	Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen> Getij > in-situ metingen Hydrodynamica > Golven > in-situ metingen		
Tekst (p.):	38	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

Auteur(s)	Meire, D.
-----------	-----------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door:Yves Plancke (Signature) Getekend op:2021-02-02 09:18:13 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i>
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door:Dieter Meire (Signature) Getekend op:2021-02-03 12:01:11 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door:Frank Mostaert (Signature) Getekend op:2021-02-01 09:27:29 +01:0 Reden:Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Eén van de vragen binnen het onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” is het belang van golven in het estuarium. Golven kunnen belangrijk zijn wegens hun effect op de hydrodynamische belasting van oevers (en dijken). Deze belasting kan ook morfologische effecten hebben, in de vorm van erosie, op intergetijdegebieden en bijgevolg een invloed hebben op de ecologische rol die deze intergetijdegebieden (zowel platen als schorren) kunnen spelen. Om een inschatting te kunnen maken van deze belasting, zijn veldmetingen noodzakelijk. Binnen het project 14_082: “Golven in het estuarium”, zijn verschillende meetcampagnes voorzien, zowel in de Westerschelde (bij Saeftinghe en bij de Hooge Platen) als in de Zeeschelde (te Appels en bij de Notelaer). Dit rapport beschrijft de metingen uitgevoerd op de Hooge Platen, aan de monding van de Schelde nabij Vlissingen-Breskens.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Introductie	1
2 Studiegebied en meetopstelling.....	2
2.1 Studiegebied	2
2.2 Meetinstellingen.....	3
3 Meetresultaten.....	5
3.1 Getijmetingen.....	5
3.2 Snelheidsmetingen	6
3.2.1 Dieptegemiddelde snelheden	6
3.2.2 Hoogfrequente vs. laagfrequente metingen	8
3.3 Windmetingen	10
3.4 Golfmetingen.....	11
3.4.1 Golfmetingen op zee	11
3.4.2 Golfmetingen op de Hooge Platen	13
4 Scheepsdata (AIS)	18
4.1 Algemene informatie omtrent AIS gegevens	18
4.2 AIS data analyse: algemene beschrijving.....	18
4.3 AIS data analyse.....	20
5 Analyse van scheepsgolven	24
5.1 Inleiding	24
5.2 Analyse van scheepsgolven in functie van scheepstype	26
5.2.1 Secundaire scheepsgolven	26
5.2.2 Primaire scheepsgolven.....	29
6 Analyse van windgolven	32
6.1 Detectie van windevents	32
6.2 Resultaten van de analyse.....	34
7 Conclusie en aanbevelingen	36
8 Referenties	38

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de meetlocatie van de Aquadopp instrumenten bij de Hooge Platen west, in het kader van monitoring voor Flexibel Storten.....	3
Tabel 2 – Overzicht van de meetlocatie van de druksensoren en Aquadopp®.....	4
Tabel 3 – Overzicht van de belangrijkste getijkarakteristieken gedurende de meetcampagne voor zowel Vlissingen als Breskens	6
Tabel 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken van het golfklimaat in het mondingsgebied van het Schelde estuarium gedurende de meetperiode.....	12
Tabel 5 – Belangrijkste statistieken van de significante ($H_{1/3}$) en maximum (H_{\max}) golfhoogte gedurende de meetcampagne.....	15

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht van geulen en platen in macrocel 1, waar de Hooge Platen gelegen zijn.....	2
Figuur 2 – Aanduiding van de drie meetpunten nabij de Hooge Platen	3
Figuur 3 – Overzicht van de meetlocaties ter hoogte van de Hooge Platen.....	4
Figuur 4 – Overzicht van de getijgegevens te Vlissingen gedurende de meetcampagne.....	5
Figuur 5 – Evolutie van de waterdiepte boven de sensor (boven), de diepte-gemiddelde watersnelheid (m/s) en de diepte-gemiddelde snelheidsrichting (°) voor een getij met een groter getijverschil.	7
Figuur 6 – Relatie tussen het opgemeten getijverschil te Vlissingen en de maximale vloed snelheden (links) en maximale ebsnelheden (rechts), voor meetlocatie HPW (rij 1), HPN (rij2) en HSP (rij 3).....	8
Figuur 7 – Overzicht van de waterdiepte (boven) boven de naar boven gerichte (zwart) en naar beneden gerichte (blauw) sensor en de (diepte) gemiddelde snelheden (m/s).....	9
Figuur 8 – Verloop van de snelheden op verschillende hoogtes boven de bodem, gemeten met de downlooking ADCP voor 1 getij. De verticale lijn is het moment van hoogwater te Vlissingen.	9
Figuur 9 – Verloop van de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte gedurende de meetcampagne bij de Wielingen en Zeebrugge.....	10
Figuur 10 – Verloop van de gemiddelde windrichting op 10 m hoogte gedurende de meetcampagne bij de Wielingen en Zeebrugge.....	10
Figuur 11 – Overzicht van de locatie van de beschouwde golfmetingen buiten het Schelde estuarium	11
Figuur 12 – Verloop van de significante golfhoogte gedurende de meetperiode, voor de meetlocaties Scheur Wielingen en Thorntonbank Zuid.....	12
Figuur 13 – Verloop van de significante golfhoogte gedurende de meetperiode voor de meetlocaties Vlake van de Raan en Wielingen Noord (data van RWS)	13
Figuur 14 – Verloop van de luchtdruk te Boekhoute gedurende de meetcampagne.....	14
Figuur 15 – Verloop van de waterhoogte (en fluctuaties) opgemeten met de hoogfrequente druksensoren voor één getijcyclus.....	14
Figuur 16 – Verloop van de waterfluctuaties voor één getijcyclus, na correctie voor de drukattenuatie met de diepte en het verwijderen van het getijsignaal m.b.v. een low-pass filter	15
Figuur 17 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Platen West.....	16
Figuur 18 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Platen Noord.....	16
Figuur 19 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Springer.....	17
Figuur 20 – Verloop van de getijgemiddelde significante golfhoogte van de zee (Vlake van de Raan) richting Hooge Platen (HP)	17
Figuur 21 – Overzicht van de scheepspassages op 20/11/2017 door de entry line aan de Hooge Springer..	19
Figuur 22 – Overzicht van de scheepspassages op 20/11/2017 door de entry line aan de meetpunt 2.....	19
Figuur 23 – Overzicht van het type schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).....	20

Figuur 24 – Overzicht van de lengte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).	20
Figuur 25 – Overzicht van de breedte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).	21
Figuur 26 – Overzicht van het diepgang van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).....	21
Figuur 27 – Overzicht van het type schepen passerend door de entryline bij meetpunt 2, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).....	22
Figuur 28 – Overzicht van de lengte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).	22
Figuur 29 – Overzicht van de breedte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).	23
Figuur 30 – Overzicht van het diepgang van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).....	23
Figuur 31 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Platen West	24
Figuur 32 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Platen Noord	25
Figuur 33 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Springer	25
Figuur 34 – Overzicht van de geselecteerde single ship events voor een getij ter hoogte van de Hooge Springer.	26
Figuur 35 – Typisch secundair golfsignaal, voorbeeld 1.....	27
Figuur 36 – Typisch secundair golfsignaal, voorbeeld 2.....	27
Figuur 37 – Relatie tussen maximale secundaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Platen Noord	28
Figuur 38 – Relatie tussen maximale secundaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Springer	28
Figuur 39 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 1.....	29
Figuur 40 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 2.....	30
Figuur 41 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 3.....	30
Figuur 42 – Relatie tussen maximale primaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Springer	31
Figuur 43 – Windevent voor een event met een hogere maximale golfhoogte, voor (links) en na filtering (rechts).....	33
Figuur 44 – Windevent voor een event met lage maximale golfhoogte, voor (links) en na filtering (rechts)	33
Figuur 45 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte HPW, berekend op basis van windevents	34
Figuur 46 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte HPN, berekend op basis van windevents	35
Figuur 47 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte van HSP, berekend op basis van windevents	35

1 Introductie

In de periode 2014-2017 is het 4 jaar lopende onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” in uitvoering, gefocust op het Schelde estuarium. De Vlaamse-Nederlandse Schelde Commissie (VNSC) keurde de agenda van dit onderzoeksprogramma goed in 2013. Hierop volgend werd een actieplan opgesteld (Beirinckx et al., 2014), die als leidraad werd gebruikt voor het onderzoeksprogramma van 2014 tot 2017. Het huidige rapport is onderdeel van dit onderzoeksprogramma, met als doel om de kennis rond de belasting van intergetijdengebieden door golven te vergroten. In dit rapport, binnen het project 14_082: “Golven in het estuarium”, worden de metingen bij de Hooge Platen in het westelijke deel van de Westerschelde besproken.

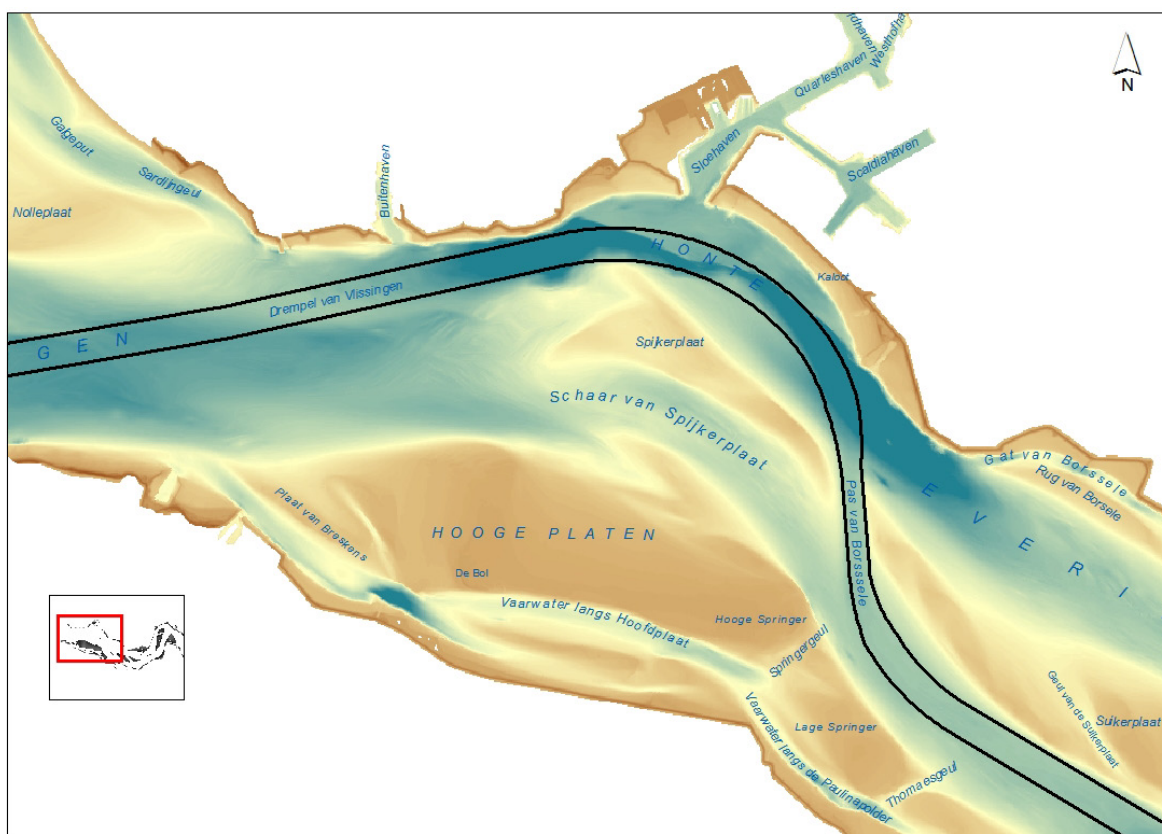
Golven kunnen veroorzaakt worden door meteorologische condities (windgolven) en door schepen (scheepsgolven). In dit rapport wordt het relatieve belang van wind en scheepsgolven onderzocht, in het meest afwaartse deel van de Westerschelde, nabij Vlissingen. De relatie tussen windrichting en snelheid enerzijds en golfhoogtes anderzijds werd onderzocht. Ook werd de relatie tussen scheepskarakteristieken (lengte en breedte van het schip, snelheid van het schip en afstand tot de meetpositie) en de golfkarakteristieken nagegaan.

In hoofdstuk 2 wordt het studiegebied, de meetinstrumenten gebruikt tijdens de intensieve meetcampagne en de belangrijkste instellingen van deze metingen besproken. De gemeten golf en winddata die werden opgemeten, worden besproken in hoofdstuk 3. Hierbij wordt speciaal gefocust op de analyse van de golfdata, gemeten met hoogfrequente druksensoren. In hoofdstuk 4 wordt de informatie m.b.t. de scheepspassages gedurende de meetperiode, geanalyseerd. De informatie wordt uit de AIS (“Automatic Identification System”) database gehaald, en bestaat uit statische informatie van de schepen (type, lengte, breedte, etc.) en dynamische informatie (snelheid, richting, diepgang, etc.) ter hoogte van de meetposities. In hoofdstuk 5 wordt de koppeling van de golfmetingen en de scheepspassages besproken, in hoofdstuk 6 wordt een gelijkaardige koppeling tussen winddata en golfdata weergegeven. Tot slot wordt in hoofdstuk 7 de belangrijkste conclusies van de analyse van de meetcampagne aangeduid.

2 Studiegebied en meetopstelling

2.1 Studiegebied

De Hooge Platen is het meest afwaarts gelegen plaatcomplex van de Westerschelde, gelegen in Macrocel 1. Deze macrocel wordt gekenmerkt door 2 grote geulen en 2 platencomplexen (Figuur 1, uit Plancke et al., 2017). De Hooge Platen, een plaatcomplex opgebouwd uit de Plaat van Breskens, de Hooge Platen, de Hooge en de Lage Springer. De laatste zijn gescheiden door de Springergeul. De Lage Springer is ook doorsneden door de Thomaesgeul. Het Vaarwater langs de Paulinapolder is door deze twee geulen verbonden met het hoofdvaarwater Pas van Terneuzen. Aan de zuidwestzijde op de Hooge Platen bevindt zich de Bol. Dit gebied staat enkel bij springvloed onder water en is een broedgebied van dwergsterns, visdiefjes en grote sterns. Daarnaast worden de Hooge Platen gebruikt als foerageergebied, de kokkel en het wadslakje zijn veel voorkomende soorten (Plancke et al., 2017).



Figuur 1 – Overzicht van geulen en platen in macrocel 1, waar de Hooge Platen gelegen zijn (uit Plancke et al., 2017).

Drie meetlocaties werden gedefinieerd (zie Figuur 2), met name bij de Hooge Platen West, waar de plaat het meest blootgesteld staat aan golven uit de Noordzee, de Hooge Platen Noord, gelegen achter de rug op de plaat en daarmee afgeschermd van golven uit de Noordzee en de Hooge Springer, het meest oostelijke meetpunt en dicht bij de plaats waar de vaargeul zich verlegt van rechteroever naar de linkeroever, via de Pas van Borssele (zie Figuur 1). De meetpunten zullen hierna worden afgekort als HPW (Hooge Platen west), HPN (Hooge Platen noord) en HSP (Hooge Springer). De metingen bij de Hooge Platen West en Noord vallen samen met de meettraaien van Rijkswaterstaat binnen het monitoringswerk van Flexibel

Storten. Sinds 2009 worden er door Rijkswaterstaat systematisch (minstens 1 keer per jaar) stroommetingen uitgevoerd met behulp van Acoustic Doppler Profiler toestellen (Nortek AquaDopp en RDI Workhorse). Deze metingen focussen op het in beeld brengen van de wijzigingen in stroomsnelheid nabij de plaatranden (Plancke et al., 2017).



Figuur 2 – Aanduiding van de drie meetpunten nabij de Hooge Platen

2.2 Meetinstellingen

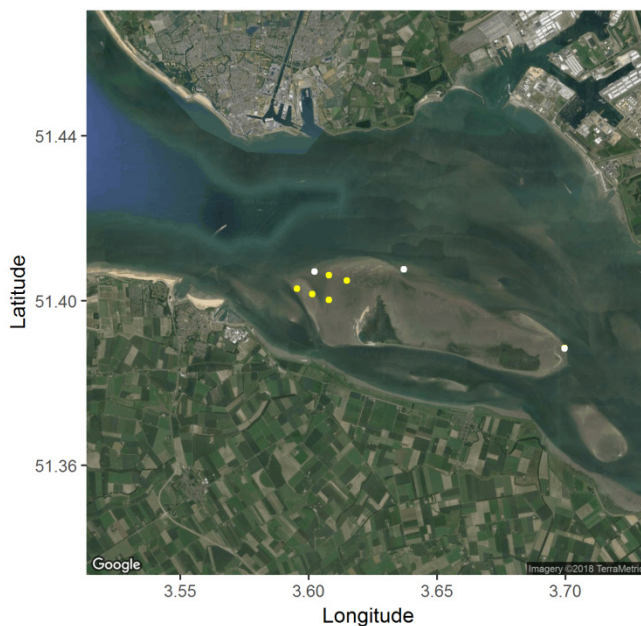
Zowel hoogfrequente druksensoren als Aquadopp[®] instrumenten werden gebruikt gedurende de meetcampagne, die plaatsvond van 25/10/2017 tot 28/11/2017. In het kader van het monitoringsprogramma van Flexibel Storten werden door Rijkswaterstaat 7 Aquadopp[®] instrumenten uitgezet bij de Hooge Platen West. Een overzicht van de positie van deze meetinstrumenten is weergegeven in Tabel 1. De positie van de meetinstrumenten is ingemeten met een RTK gps. Een overzicht van de meetlocaties waar druksensoren geplaatst zijn, is weergegeven in Tabel 2. Een overzicht van alle meetlocaties is weergegeven in Figuur 3.

Tabel 1 – Overzicht van de meetlocatie van de Aquadopp instrumenten bij de Hooge Platen west, in het kader van monitoring voor Flexibel Storten. De geografische ligging is aangeduid in WGS84 UTM 31N.

Instrument	Long (E)	Lat (N)	Verticale positie [m TAW]
HPW_MP0102	541415.8	5694801	2.14
HPW_MP0103	541840.1	5694661	3.60
HPW_MP0104	542283.7	5694499	2.61
HPW_MP0206	541894.4	5695264	0.99
HPW_MP0207	542286.2	5695172	1.98
HPW_MP0208	542774.1	5695024	3.32

Tabel 2 – Overzicht van de meetlocatie van de druksensoren en Aquadopp®.
De geografische ligging is aangeduid in WGS84 UTM 31N.

	Instrument	Long (E)	Lat (N)	Verticale positie [m TAW]
HPW	Druksensor	541894.5	5695263	0.934
	Aquadopp®	542283.6	5694499	0.990
HPN	Druksensor	544316.9	5695344	1.269
	Aquadopp®	544315.9	5695343	1.302
HSP	Druksensor	548686.2	5693255	1.197
	Aquadopp® (up)	548685.5	5693257	1.221
	Aquadopp® (down)	548683.6	5693255	1.63



Figuur 3 – Overzicht van de meetlocaties ter hoogte van de Hooge Platen.
De metingen waarbij enkel snelheden werden gemeten (door RWS ihkv monitoring Flexibel Storten) zijn aangeduid in het geel, meetpunten waar ook drukmetingen werden geregistreerd in het wit.

De druksensoren meten met een frequentie van 20 Hz.

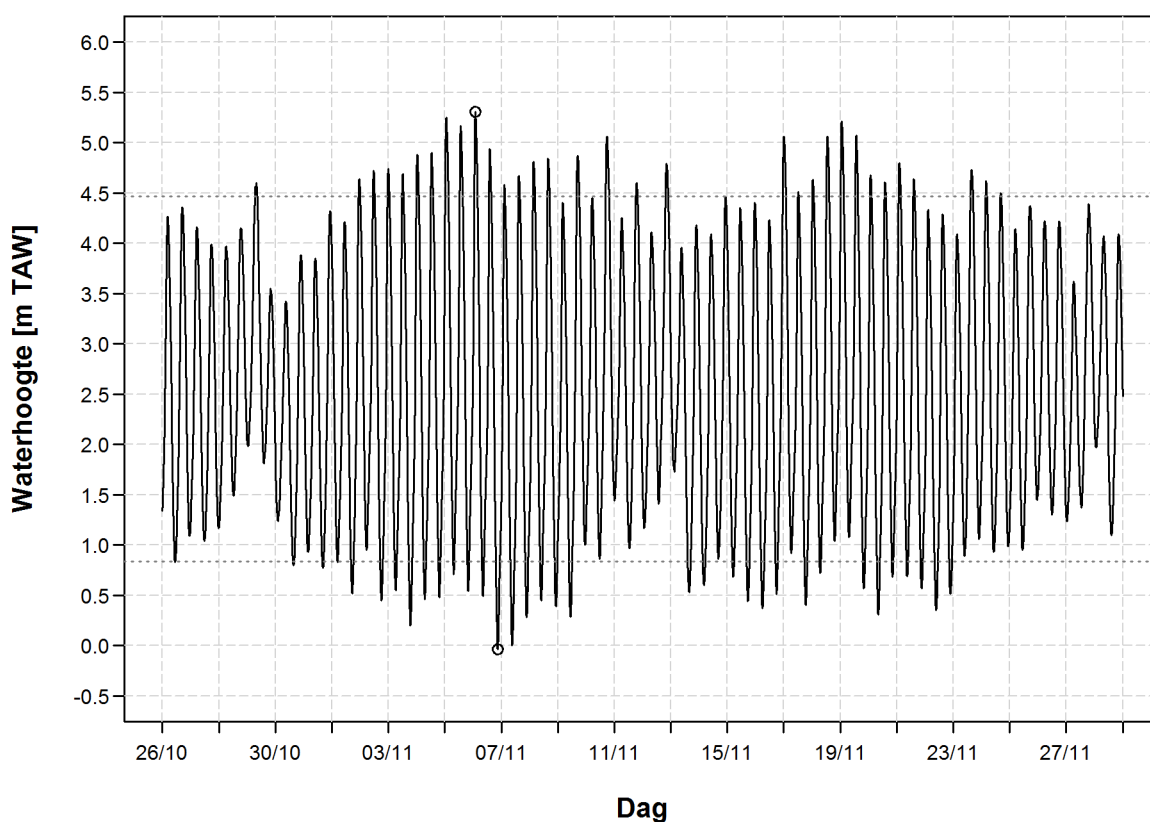
De Aquadopp® instrumenten werden ingezet door Rijkswaterstaat en het Waterbouwkundig Laboratorium. De instellingen van deze instrumenten zijn nagenoeg gelijk, waarbij de verticale resolutie van deze metingen 10 cm is. De meetfrequentie bedraagt 10 minuten voor de metingen van Rijkswaterstaat en 5 minuten voor de metingen door het WL.

Eveneens werd één neerwaarts gericht Aquadopp geplaatst ter hoogte van het meetpunt bij de Hooge Springer. De meetfrequentie van dit toestel was 4Hz, en de hoogte van 1 cel 5 cm. Het toestel bevond zich ongeveer 0,60 m boven de bodem, waardoor de eerste 45 cm van het snelheidsprofiel gemeten konden worden.

3 Meetresultaten

3.1 Getijmetingen

De meetlocaties op de Hooge Platen zijn gelegen tussen de tijposten van Vlissingen en Breskens. Het verloop van de hoog- en laagwaters gedurende de meetcampagne, voor Vlissingen is weergegeven in Figuur 4. De belangrijkste karakteristieken van de hoog- en laagwaters op deze tijposten gedurende de meetcampagne is gegeven in Tabel 3. Het gemiddelde getijverschil te Vlissingen tijdens de meetcampagne is 3,64 m, en varieert tussen 2,17 en 4,98 m. Het gemiddeld getijverschil te Vlissingen berekend in het 10-jarig overzicht is 3,79 m, dus iets hoger dan tijdens de meetcampagne. Het maximale hoogwater is 5,31 m TAW, het laagste laagwater -0,04 m TAW.



Figuur 4 – Overzicht van de getijgegevens te Vlissingen gedurende de meetcampagne.
 Het maximale hoogwater en minimale laagwater is aangegeven met een cirkel.
 Het gemiddelde hoog- en laagwater is aangegeven met een horizontale stippellijn.

Tabel 3 – Overzicht van de belangrijkste getijkarakteristieken gedurende de meetcampagne voor zowel Vlissingen als Breskens

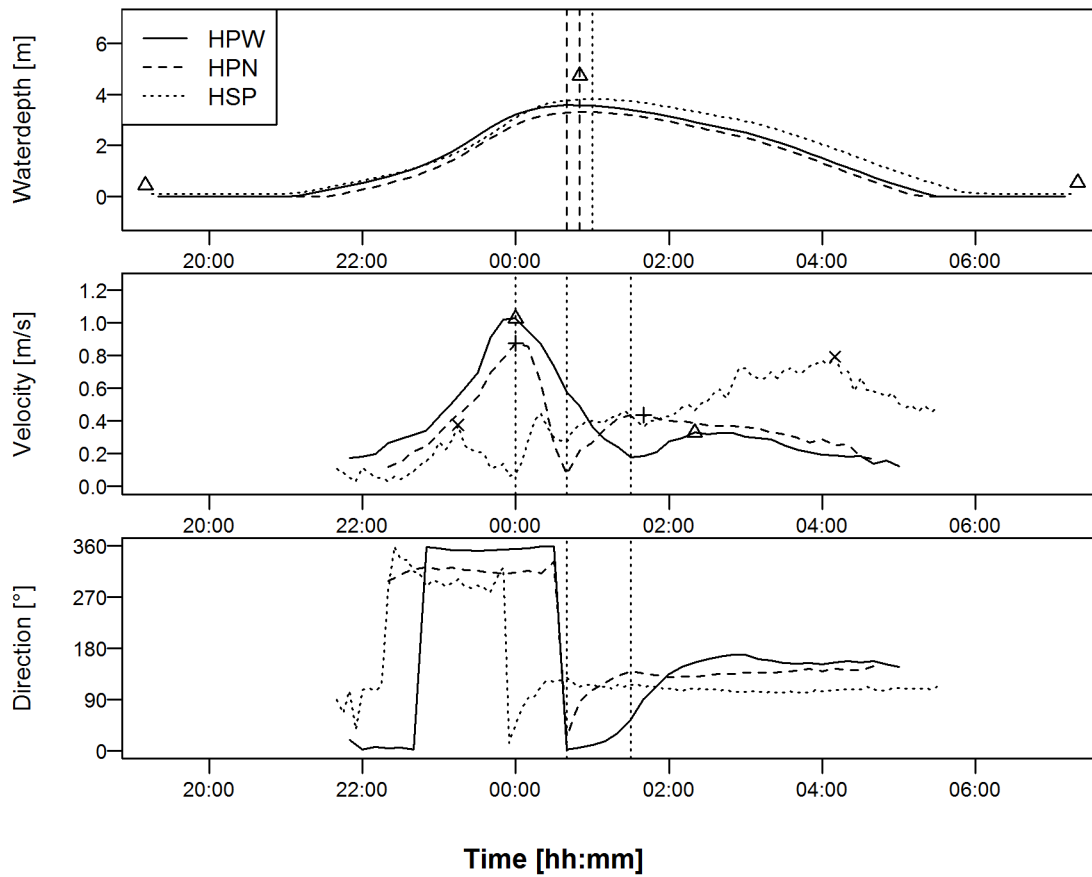
		Vlissingen			Breskens	
		[m TAW]	[UTC]	10- jarig overzicht	[m TAW]	[UTC]
HW	Max	5.31	6/11/2017 03:00	6.02	5.48	6/11/2017 03:10
	Gem.	4.47	/	4.40	4.53	/
	Min.	3.42	30/10/2017 10:00	2.82	3.39	27/11/2017 07:10
LW	Max	1.98	29/10/2017 1:50	3.24	1.96	29/10/2017 01:50
	Gem.	0.83	/	0.60	0.69	/
	Min.	-0.04	6/11/2017 21:50	-0.63	-0.14	6/11/2017 21:50
GTV	Max	4.98	/	/	5.24	/
	Gem.	3.64	/	3.79	3.86	/
	Min.	2.17	/	/	1.83	/

3.2 Snelheidsmetingen

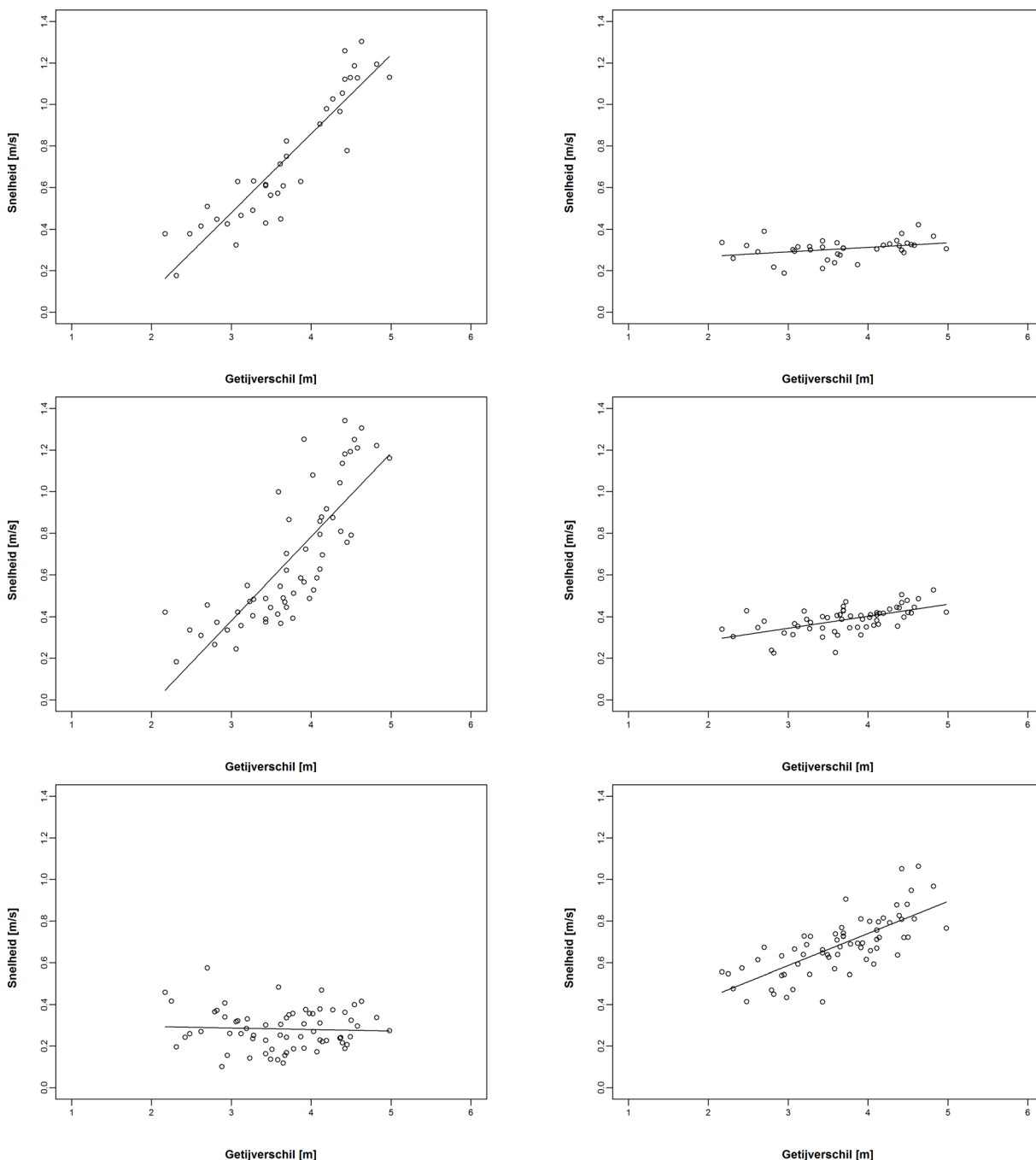
3.2.1 Dieptegemiddelde snelheden

Zoals aangegeven in sectie 2.2 werden snelheidsmetingen uitgevoerd met behulp van een Aquadopp®. De toestellen zijn naar boven gericht, en de kop van het toestel steekt ca. 20 cm uit boven de bodem. Een meting wordt uitgevoerd elke 5 minuten (WL) of 10 minuten (RWS). De verticale resolutie van de metingen is 10 cm, hier wordt echter enkel de diepte-gemiddelde snelheid berekend en weergegeven.

In Figuur 6 is de relatie tussen het opgemeten getijverschil te Vlissingen en de maximale vloed- en ebsnelheden weergegeven voor de drie meetlocaties. Het is duidelijk dat voor Hooge Platen West en Noord de vloedsnelheid duidelijk afhankelijk is van het getijverschil. Maximale snelheden van ca. 1.2 m/s werden waargenomen. Bij de Hooge Springer kan een dergelijke relatie niet worden waargenomen, en blijven de vloedsnelheden beperkt rond 0,2 tot 0,4 m/s. In tegenstelling tot de andere locaties wordt hier een sterkere relatie gevonden met de ebsnelheden, met maximale waarden rond 1 m/s. Bij meetpunten 1 en 2 zijn de ebsnelheden duidelijk lager dan de vloedsnelheden, met maximale waarden rond 0,4 en 0,5 m/s.



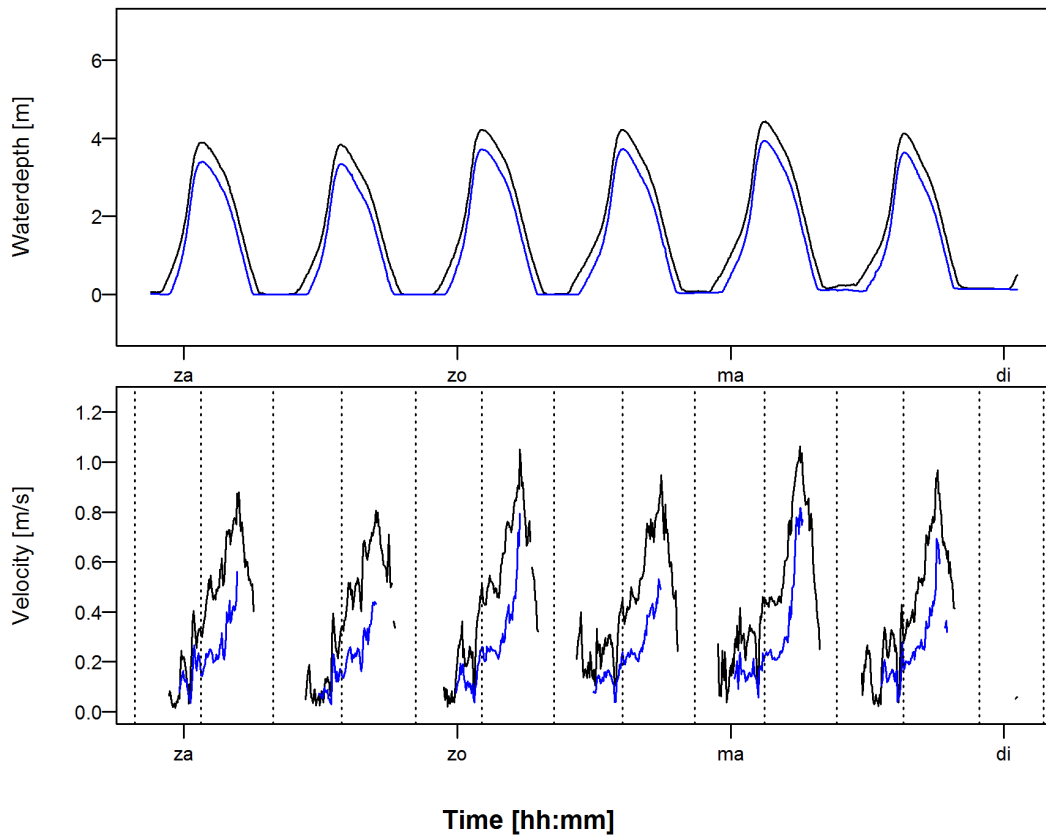
Figuur 5 – Evolutie van de waterdiepte boven de sensor (boven), de diepte-gemiddelde watersnelheid (m/s) en de diepte-gemiddelde snelheidsrichting (°) voor een getij met een groter getijverschil.



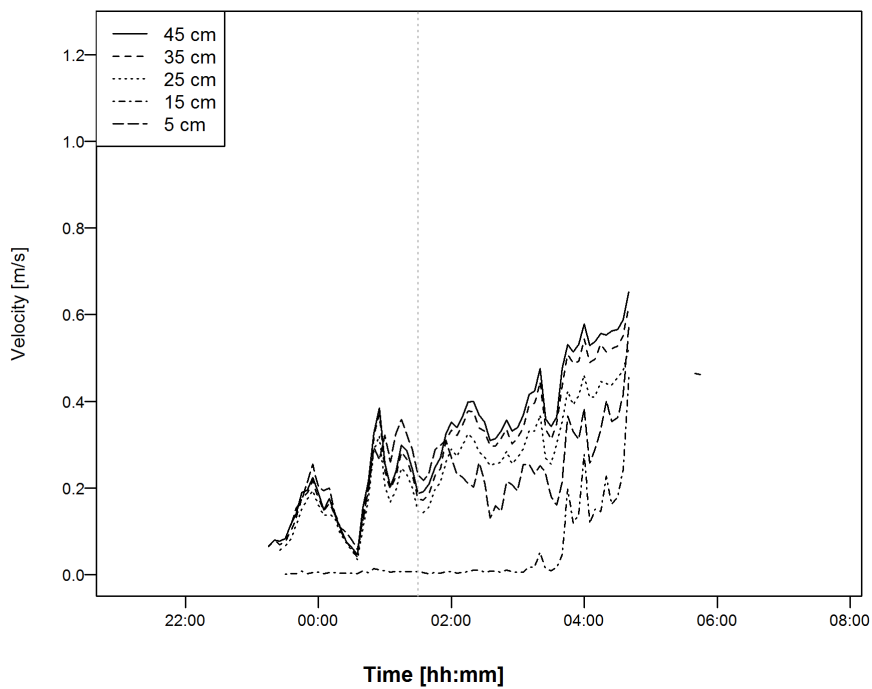
Figuur 6 – Relatie tussen het opgemeten getijverschil te Vlissingen en de maximale vloednelheden (links) en maximale ebsnelheden (rechts), voor meetlocatie HPW (rij 1), HPN (rij2) en HSP (rij 3)

3.2.2 Hoogfrequente vs. laagfrequente metingen

In Figuur 7 is het verloop van de diepte-gemiddelde snelheden weergegeven voor zowel de naar boven gerichte en naar beneden gerichte Aquadopp® bij de Hooge Springer. Voor deze laatste zijn de gemiddelde snelheden een gemiddelde van de onderste 45 cm van de waterkolom, voor de opwaartse gerichte een diepte-gemiddelde over de volledige waterkolom. Het is duidelijk en logisch dat de snelheden nabij de bodem lager zijn dan de dieptegemiddelde snelheden. Tijdens de vloedfase zijn beide snelheden zeer laag, met maximale snelheden < 0.4 m/s. Tijdens de eb fase pieken de snelheden duidelijk.



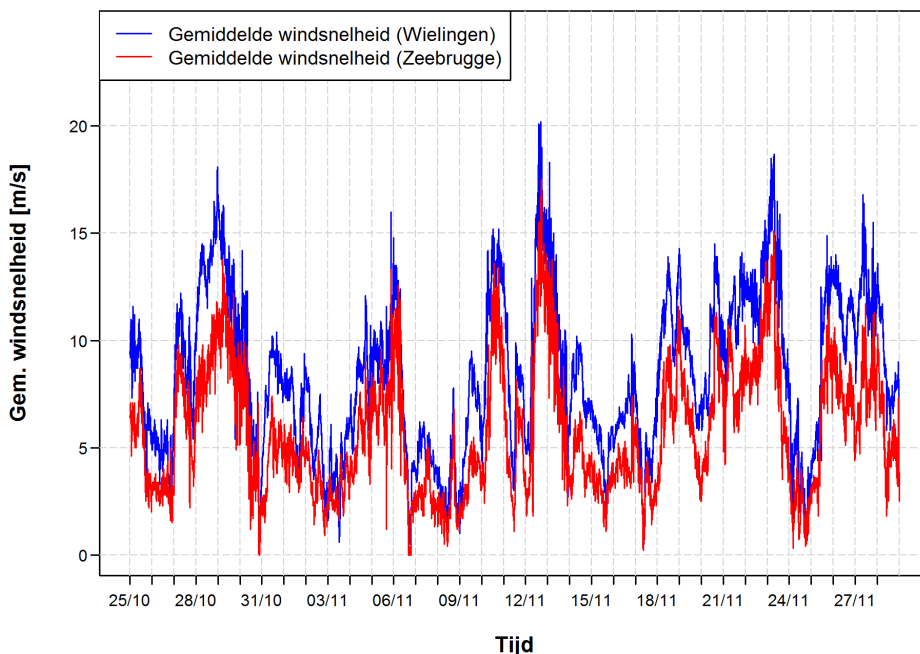
Figuur 7 – Overzicht van de waterdiepte (boven) boven de naar boven gerichte (zwart) en naar beneden gerichte (blauw) sensor en de (diepte) gemiddelde snelheden (m/s).



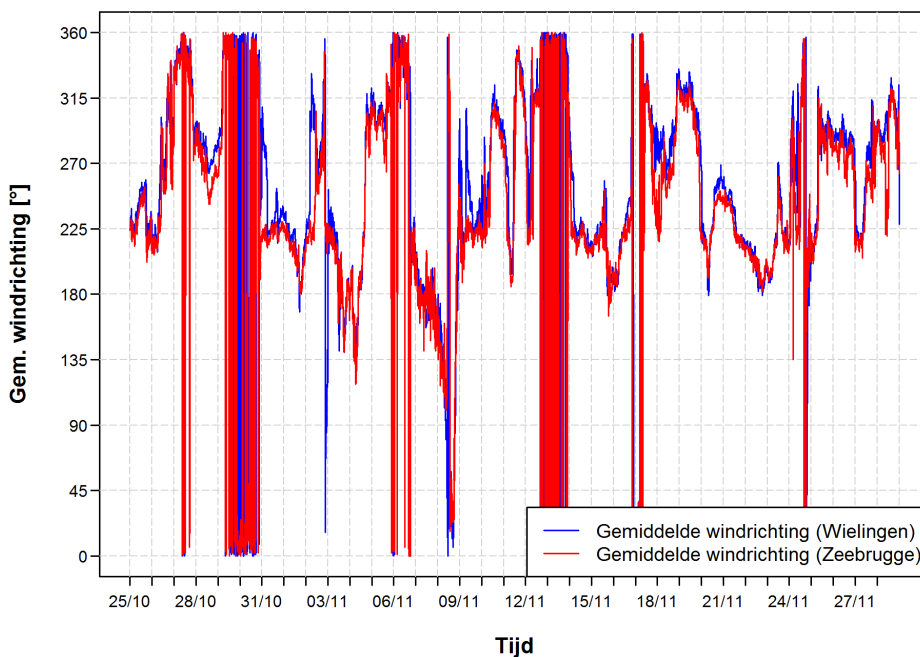
Figuur 8 – Verloop van de snelheden op verschillende hoogtes boven de bodem, gemeten met de downlooking ADCP voor 1 getij. De verticale lijn is het moment van hoogwater te Vlissingen.

3.3 Windmetingen

In Figuur 9 is het verloop van de gemiddelde windsnelheid gedurende de meetcampagne weergegeven. Een maximale windsnelheid van ca. 20 m/s werd gemeten op 13/11/2017. In Figuur 10 is het verloop weergegeven van de windrichting in dezelfde meetstations, voor de periode van de meetcampagne. Deze is voornamelijk afkomstig van het zuidwesten tot noordwesten.



Figuur 9 – Verloop van de gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte gedurende de meetcampagne bij de Wielingen en Zeebrugge

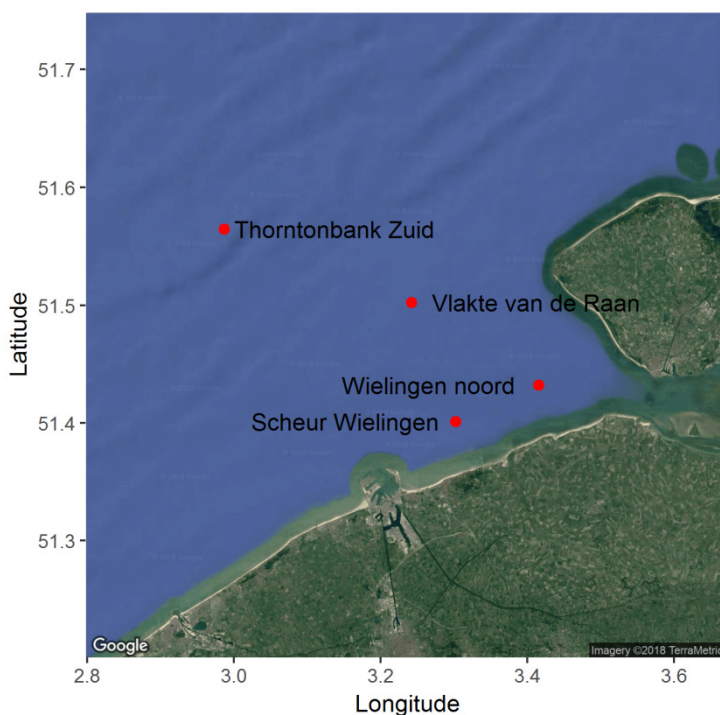


Figuur 10 – Verloop van de gemiddelde windrichting op 10 m hoogte gedurende de meetcampagne bij de Wielingen en Zeebrugge

3.4 Golfmetingen

3.4.1 Golfmetingen op zee

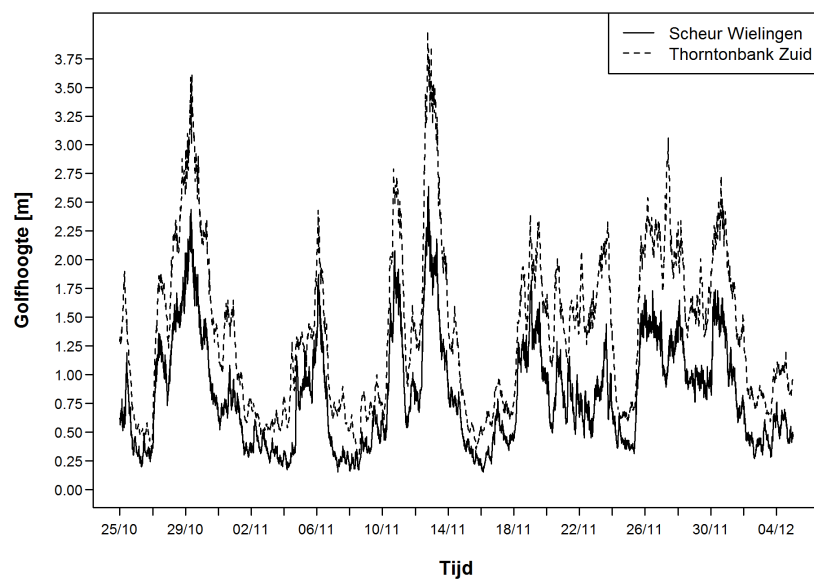
Voordat de metingen op intergetijdgebieden worden weergegeven, wordt eerst een overzicht gegeven van het golfklimaat buiten het estuarium, voor de periode van de metingen. Hiervoor worden de meetposities van de Thorntonbank Zuid en de Scheur Wielingen gebruikt (metingen bekomen via www.meetnetvlaamsebanken.be). Eveneens worden de data getoond bekomen via Rijkswaterstaat, ter hoogte van Wielingen Noord en de Vlake van de Raan. De positie van de beschouwde meetlocaties is gevisualiseerd in Figuur 11. De significante golfhoogte wordt berekend voor elke 30 minuut. Voor de meetdata aangeleverd door Rijkswaterstaat ontbreken de data voor de maand december, met name van 1/12 t.e.m. 5/12. Een overzicht van de data is weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13, de belangrijkste karakteristieken zijn opgelijst in Tabel 4. De maximale golfhoogtes worden bereikt op 12/11/2017 in de avond, met uitzondering van het station Wielingen Noord, waar maximale waarden worden geobserveerd op 29/10. Over het algemeen kan gesteld worden dat het verloop van de golfhoogtes op de verschillende meetlocaties sterk gelijkaardig is.



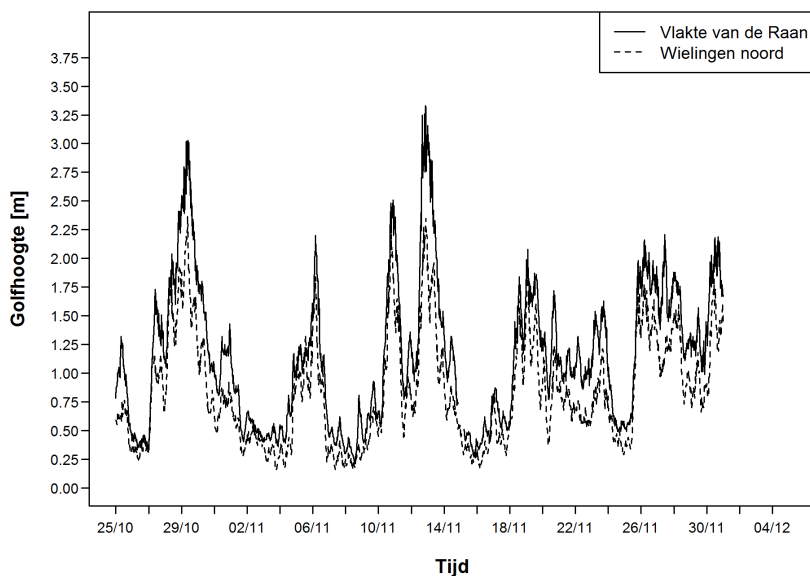
Figuur 11 – Overzicht van de locatie van de beschouwde golfmetingen buiten het Schelde estuarium

Tabel 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken van het golfklimaat in het mondingsgebied van het Schelde estuarium gedurende de meetperiode.

	Min	Gem	Max
Thorntonbank Zuid	0.29 m (8/11/2017 13:00)	1.38 m	3.99 m (12/11/2017 18:00)
Scheur Wielingen	0.15 m (7/11/2017 06:45; 16/11/2017 3:15)	0.83 m	2.64m (12/11/2017 19:15)
Wielingen Noord	0.15 m (3/11/2017 18:00)	0.84 m	2.37 m (29/10/2017 09:00)
Vlakte van de Raan	0.23 m (8/11/2017 13:00)	1.15 m	3.33 m (12/11/2017 20:30)



Figuur 12 – Verloop van de significante golfhoogte gedurende de meetperiode, voor de meetlocaties Scheur Wielingen en Thorntonbank Zuid (data via meetnetvlaamsebanken.be)



Figuur 13 – Verloop van de significante golfhoogte gedurende de meetperiode voor de meetlocaties Vlakte van de Raan en Wielingen Noord (data van RWS)

3.4.2 Golfmetingen op de Hooge Platen

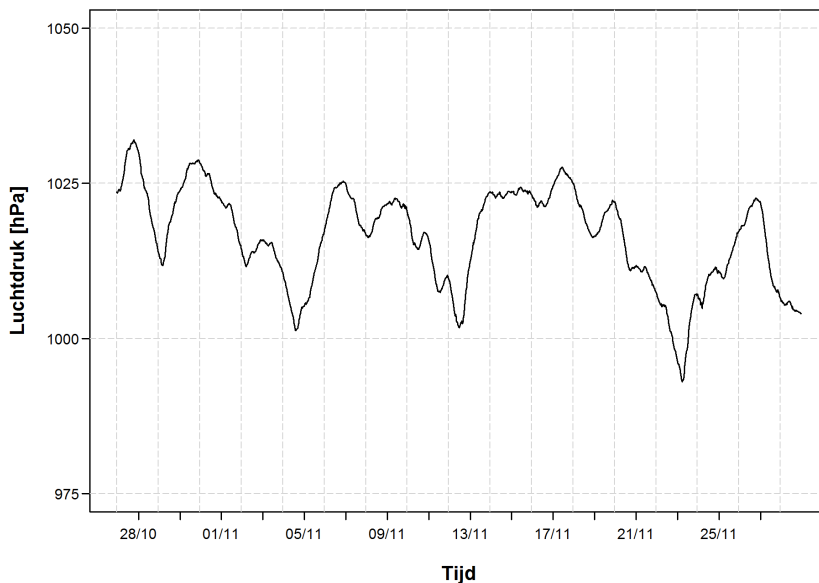
Zoals vermeld in sectie 2.1 werden op drie verschillende plaatsen met behulp van hoog frequente drukmetingen, golven opgemeten op de Hooge Platen. De hoogte van de instrumenten is gesitueerd rond ca. 1 mTAW voor alle instrumenten. Er zijn dus enkel metingen beschikbaar zijn wanneer de waterhoogte hoger is.

Methodologie voor data verwerking

De ruwe drukmetingen, die verzameld worden m.b.v. een druksensor, worden omgezet naar golfdata met behulp van een serie van scripts, geschreven in MATLAB (versie 2016). Deze scripts werden ontwikkeld binnen een ander project, waarin eveneens de analyse van wind en scheepsgolven beschouwd werden (beschreven in Kolokythas et al., 2016). Een overzicht van de gevolgde procedure houdt volgende stappen in:

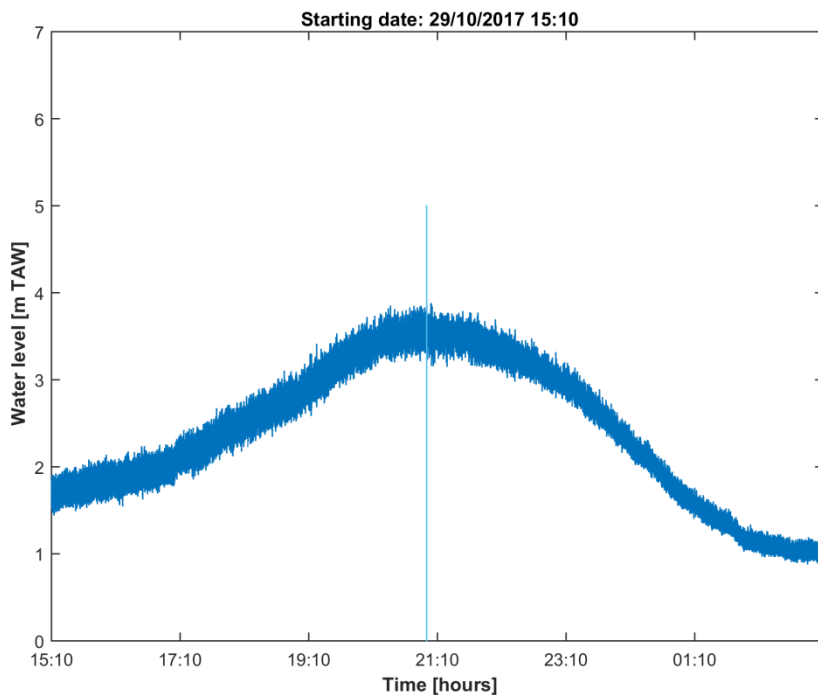
1. Compensatie van ruwe data m.b.v. atmosferische druk en omzetting tot waterhoogtes, met TAW als referentieniveau
2. Verdeling van de tijdserie per getijcyclus
3. Correctie van de resulterende tijdserie van waterhoogtes voor de drukattenuatie met de diepte
4. Toepassen van low-pass filter op de data voor de opsplitsing van het getijsignaal en de waterfluctuaties (golven)
5. Berekening van individuele golfkarakteristieken per getijcyclus op basis van de tijdserie van de waterfluctuaties

De druksensoren, gebruikt in de meetcampagne, werden gekalibreerd om een nulmeting te geven bij een standaard luchtdruk van 1,01325 bar. Een compensatie wordt bekomen door de variaties op deze standaard luchtdruk af te trekken van de ruwe drukdata: $P_{comp} = P_{ruw} - (P_{atm} - 1,01325)$. Voor de compensatie met behulp van atmosferische druk, werden meetwaarden gebruikt van de VMM te Boekhoute (Figuur 14), gelegen op ca. 18 km in vogelvlucht van de meetlocaties. Na deze compensatie wordt een conversie gemaakt van de drukwaarden naar een waterhoogte in m TAW, door te vermenigvuldigen met de factor 10,1972 (de omzettingsfactor van bar naar m water) en de verticale positie van het meetinstrument (zie Tabel 2).

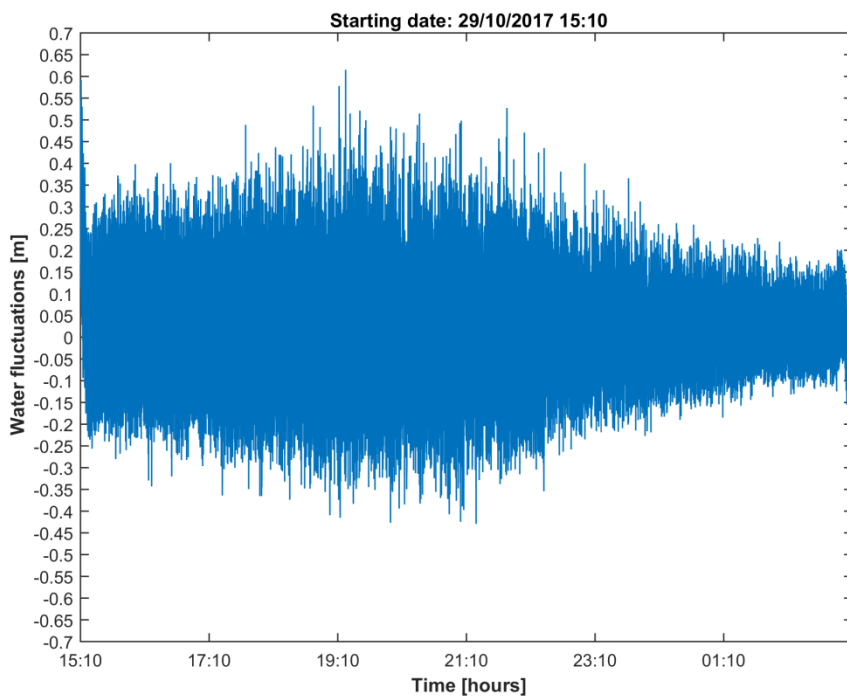


Figuur 14 – Verloop van de luchtdruk te Boekhoute gedurende de meetcampagne (data VMM)

Een typische tijdserie van het waterniveau voor één getijcyclus, relatief t.o.v. het TAW referentieniveau, is weergegeven in Figuur 15. De resulterende reeks waterfluctuaties, zoals weergegeven in Figuur 16 wordt hieruit afgeleid door rekening te houden met de drukattenuatie met de diepte en het verwijderen van het getijsignaal m.b.v. een low-pass filter. Het is duidelijk dat de getijvariatie goed wordt opgemeten, soms wordt echter rond het moment van droogval van de sensor verkeerde resultaten geproduceerd worden. In dergelijk geval worden de periodes met goede metingen visueel gedetecteerd en met zorg geselecteerd of fouten verwijderd.



Figuur 15 – Verloop van de waterhoogte (en fluctuaties) opgemeten met de hoogfrequente druksensoren voor één getijcyclus



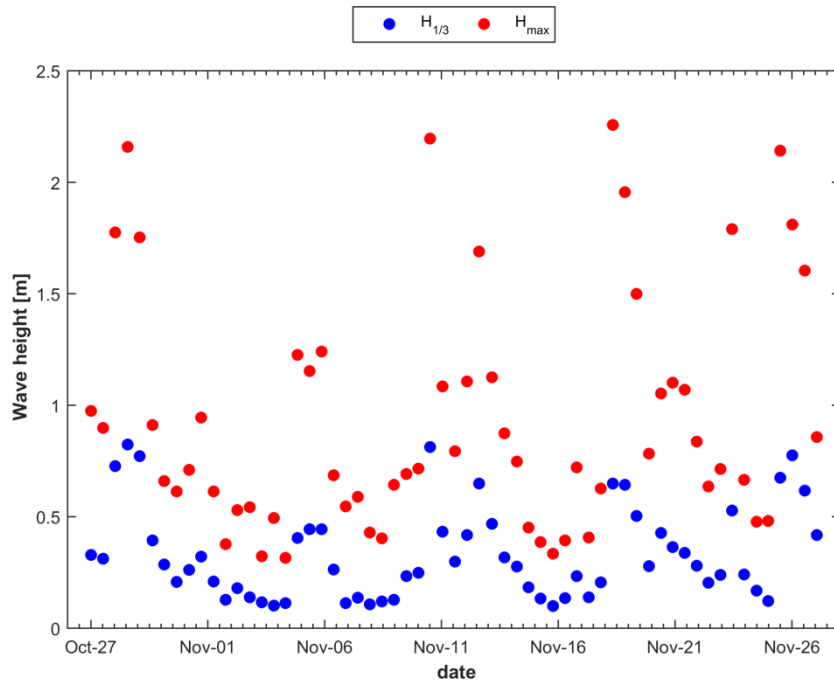
Figuur 16 – Verloop van de waterfluctuaties voor één getijcyclus, na correctie voor de drukattenuatie met de diepte en het verwijderen van het getijsignaal m.b.v. een low-pass filter

Golfkarakterisatie

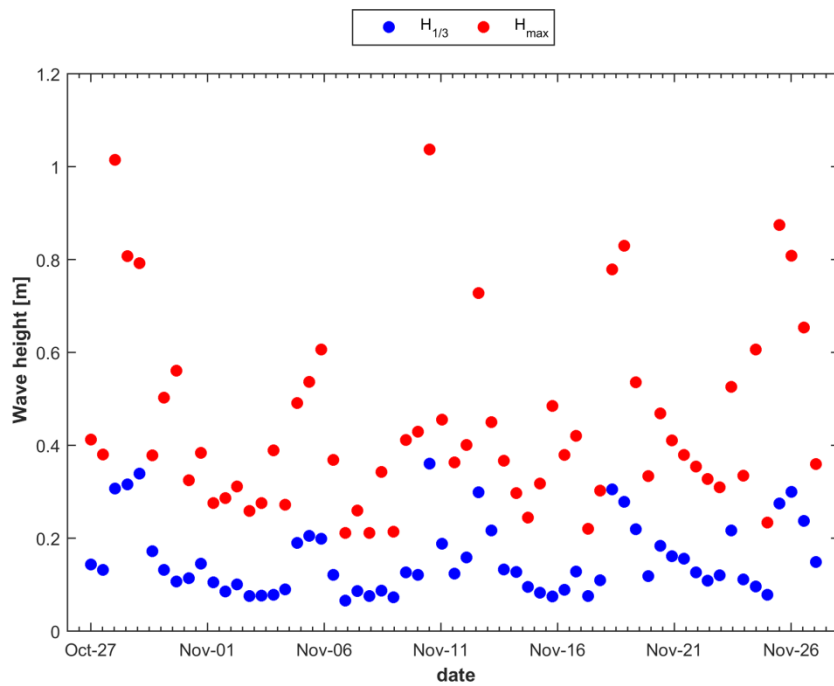
Over elk getij is een significante ($H_{1/3}$) en maximale golfhoogte (H_{max}) berekend voor de periode dat de sensoren onder water staan. Deze methodiek verschilt van de methodiek die gebruikt wordt voor de continue metingen, waar de parameters per 30 minuten bepaald worden. In Figuur 17, Figuur 18, Figuur 19 is het verloop van deze golfhoogtes weergegeven voor respectievelijk de metingen op Hooge Platen West, Hooge Platen Noord en Hooge Springer. Voor de significante golfhoogte kan een gelijkaardig patroon worden geobserveerd voor de verschillende meetlocaties. Voor de maximale golfhoogte lijken bij HPW en HPN maximale waarden te worden waargenomen, wanneer ook de significante golfhoogte groter is. Voor HSP kan er geen echt patroon worden geobserveerd voor de maximale golfhoogte. Het is duidelijk uit Tabel 5 en de figuren dat de golfhoogtes ter hoogte van HPW het grootst zijn, wat niet hoeft te verbazen, vanwege de blootgestelde ligging richting mondingsgebied en Noordzee. De gemiddelde en maximale significante golfhoogte gedurende de metingen (respectievelijk 0,33 m en 0,82m) zijn duidelijk groter dan de significante golfhoogtes te HPN en HSP. Tussen deze laatste kan geen verschil worden geobserveerd in de gemiddelde significante golfhoogtes (0,15 m vs. 0,14 m), de maximale significante golfhoogtes zijn iets hoger bij Hooge Platen Noord. De gemiddelde maximale golfhoogte daarentegen is groter bij Hooge Springer vergeleken met Hooge Platen Noord (0,68 m vs. 0,44 m).

Tabel 5 – Belangrijkste statistieken van de significante ($H_{1/3}$) en maximum (H_{max}) golfhoogte gedurende de meetcampagne.

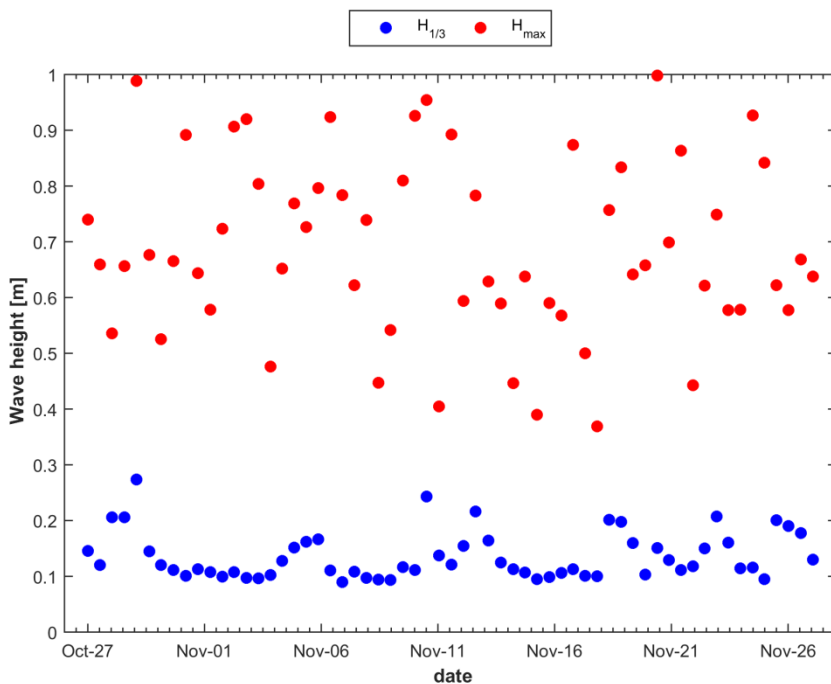
	HPW		HPN		HSP	
	$H_{1/3}$ [m]	H_{max} [m]	$H_{1/3}$ [m]	H_{max} [m]	$H_{1/3}$ [m]	H_{max} [m]
Minimum	0,10	0,31	0,07	0,21	0,10	0,37
Gemiddelde	0,33 ± 0,21	0,94 ± 0,54	0,15 ± 0,07	0,44 ± 0,20	0,14 ± 0,04	0,68 ± 0,15
Maximum	0,82	2,26	0,36	1,04	0,27	1,00



Figuur 17 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Platen West

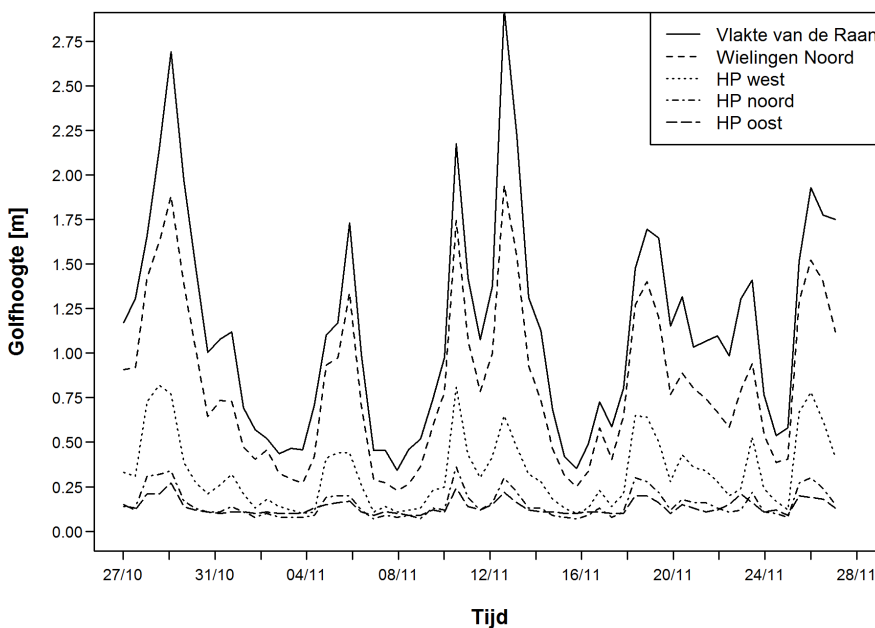


Figuur 18 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Platen Noord



Figuur 19 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne te Hooge Springer

In Figuur 20 is het verloop gegeven van de getijgemiddelde (gemiddelde van alle beschikbare waarden tussen 2 laagwaters) significante golfhoogte $H_{1/3}$ van op zee (Vlakte van de Raan) tot de Hooge Platen. Er is een duidelijk afname te bemerken van de golfhoogte naarmate men het estuarium nadert. Het tijdsverloop tussen de verschillende curves komt goed overeen. Maximale golfhoogtes van ca. 2.75 m bij de Vlakte van de Raan worden vertaald naar golfhoogtes van ca. 0.75 m bij de Hooge Platen West. Aan de oostzijde komt dit overeen met een significante golfhoogte (over een getijperiode) van ca. 25 cm.



Figuur 20 – Verloop van de getijgemiddelde significante golfhoogte van de zee (Vlakte van de Raan) richting Hooge Platen (HP)

4 Scheepsdata (AIS)

4.1 Algemene informatie omtrent AIS gegevens

Het “Automatic Identification System (AIS)” is een “tracking” systeem, gebruikt door VTS, “Vessel Traffic Services”, voor de lokalisatie en identificatie van schepen. Schepen wisselen data uit met andere schepen of grondstations. Deze data omvat informatie omtrent de positie, richting en vaarsnelheid van het schip. Op de Westerschelde en de Noordzee worden de AIS data ontvangen door meer dan 10 grondstations. Deze data wordt opgeslagen in een centrale server, uitgebaat door de Schelde Radar Keten. Voor meer informatie wordt verwezen naar Kolokythas et al, 2017.

Voor de verwerking van deze AIS data, werd in deze studie gebruik gemaakt van een tool, ontwikkeld door Flanders Hydraulics (Kolokythas et al, 2017). Er wordt een dwarssectie aangeduid, “entry line” genaamd, gelegen in het verlengde van de meetposities. Deze dwarssectie, volledige doorgetrokken tussen linker- en rechteroever is een lijn waarop de volledige AIS database gefilterd wordt. Voor elke entry line wordt een data file gegenereerd, waarin zowel statische als dynamische informatie van de passerende schepen wordt opgeslaan: (a) tijd van passage, (b) mmsi (“Maritime Mobile Service Identity”) nummer, (c) naam van het schip, (d) scheepstype, (e) lengte, (f) breedte, (g) diepgang, (h) snelheid (over grond) en (i) richting. De afstand tot de meettoestellen is toegevoegd aan de AIS informatie als een extra parameter.

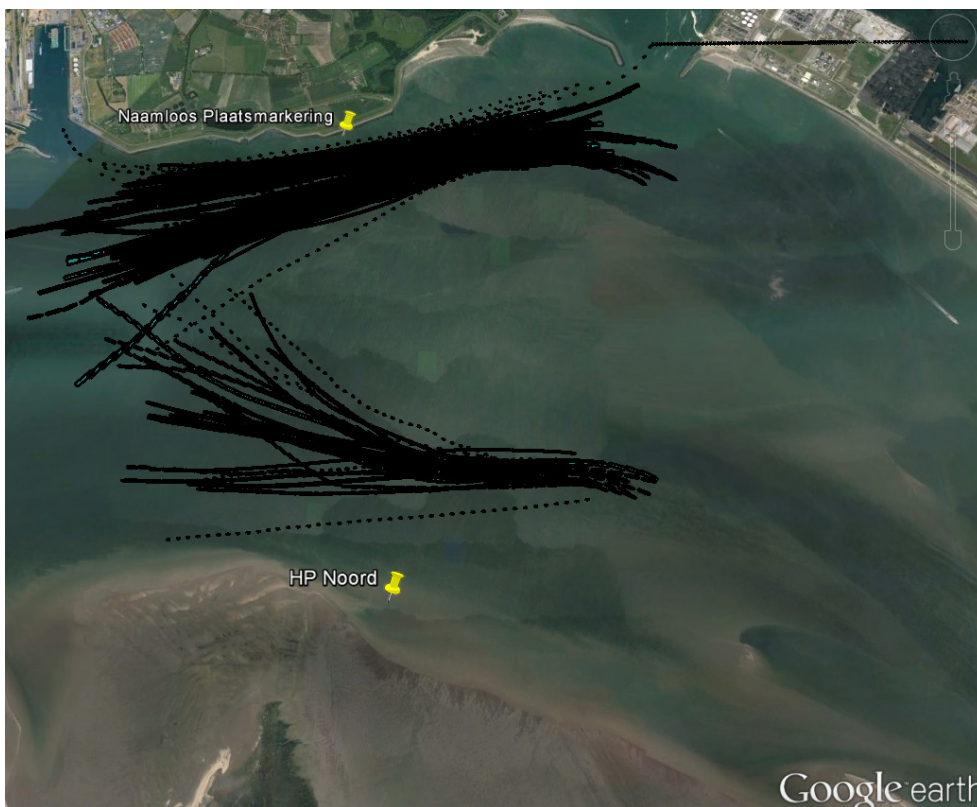
4.2 AIS data analyse: algemene beschrijving

In Figuur 21 is een overzicht weergegeven van de scheepspassages ter hoogte van de Hooge Springer. De entryline, d.i. de lijn waarop de scheepskarakteristieken bepaald worden, is hier gedefinieerd als de lijn tussen de twee gele punten weergegeven in Figuur 22, waarvan het zuidelijke punt het meetpunt bij de HSP is. Het is duidelijk dat er ter hoogte van dit meetpunt 3 verschillende scheepsbewegingen zijn. Zo zijn er twee bewegingen waarbij de schepen parallel varen met de oevers (met name van de Honte naar de Everingen en van de Schaar van de Spijkerplaat naar de Pas van Terneuzen), en één beweging waarbij de hoofdvaargeul wordt gevolgd van de Honte naar de Pas van Terneuzen. Voor de analyse van de scheepsgolven wordt geen rekening gehouden met de schepen die varen in het meest noordelijk vaardeel, aangezien deze te ver van het meetpunt gelegen zijn om een duidelijk causaal verband te vinden met de gemeten golven. Hiervoor wordt een limiet van 2000 m gehanteerd, er wordt dus enkel rekening gehouden met scheepspassages op minder dan 2000 m van het meetpunt. Dit komt overeen met de scheepspassages in de hoofdvaargeul en langsheen de Hoofdplaat. Op deze manier wordt geen rekening gehouden met 2913 scheepspassages op een totaal van 7844 passages.

In Figuur 22 zijn de scheepspassages ter hoogte van het tweede meetpunt, bij de Bol op de Hooge Platen weergegeven. De entryline hier is gedefinieerd als de lijn tussen de twee gele punten weergegeven in Figuur 22, waarvan het zuidelijke punt het meetpunt bij de HPN is. Hier kunnen twee types passages worden herkend, één langs de hoofdvaargeul bij Vlissingen en één door de Schaar van de Spijkerplaat, dicht bij de metingen. Ook hier wordt in de analyse geen rekening gehouden met de schepen die aan de andere oever varen en wordt een limiet van 2500 m gehanteerd. Van een totaal van 6421 scheepspassages door de entryline ter hoogte van het tweede meetpunt worden op deze manier 4487 passages niet in rekening gebracht.



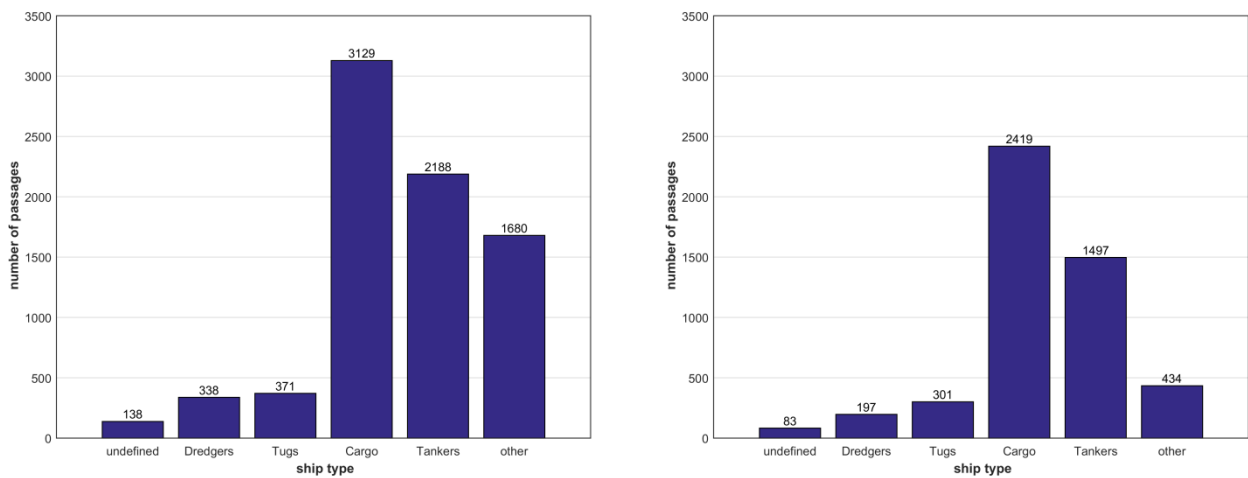
Figuur 21 – Overzicht van de scheepspassages op 20/11/2017 door de entry line aan de Hooge Springer



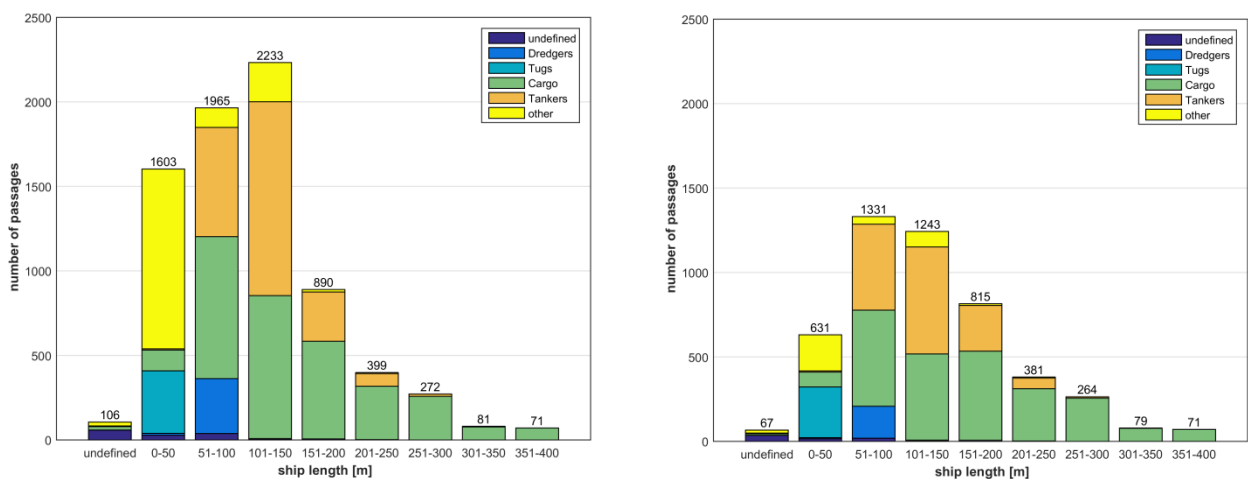
Figuur 22 – Overzicht van de scheepspassages op 20/11/2017 door de entry line aan de meetpunt 2

4.3 AIS data analyse

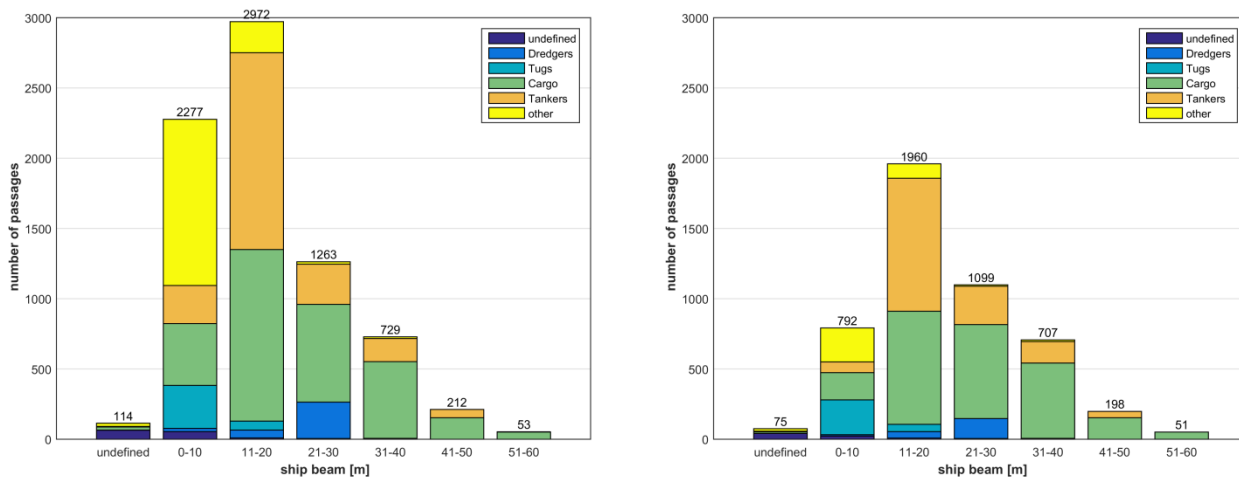
In totaal werden met behulp van het AIS systeem 7844 scheepspassages geregistreerd over de volledige meetperiode, tussen 25/10/2017 en 5/12/2017 voor de entryline ter hoogte van de Hooge Springer, waarvan dus 4931 passages in rekening worden gebracht in de analyse. In Figuur 23 t.e.m. Figuur 26 worden de karakteristieken van de passerende schepen weergegeven, links telkens van alle schepen, rechts van de selectie die in rekening wordt gebracht in de analyse. Het is duidelijk dat door de uitgevoerde selectie de grootste schepen in de analyse opgenomen blijven, dit is ook logisch aangezien de hoofdvaargeul binnen de geselecteerde afstandslimiet van het meetpunt ligt. Het zijn vooral schepen kleiner dan 150 m (Figuur 23), met een breedte kleiner dan 20 m en met beperkte diepgang (< 3 m) die door de selectie worden geëlimineerd. Zij maken gebruik van de nevengeulen.



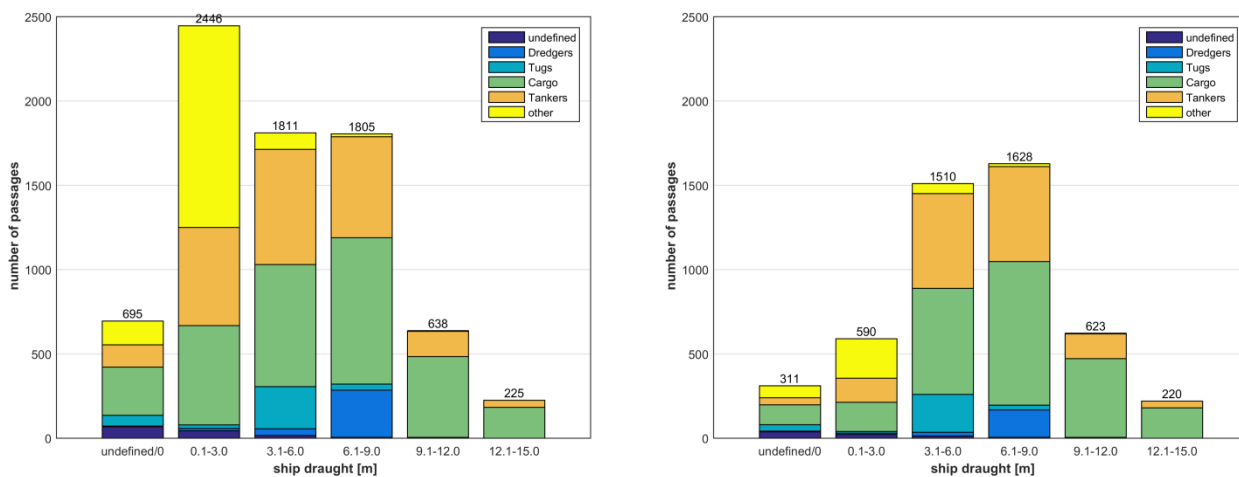
Figuur 23 – Overzicht van het type schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).



Figuur 24 – Overzicht van de lengte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).

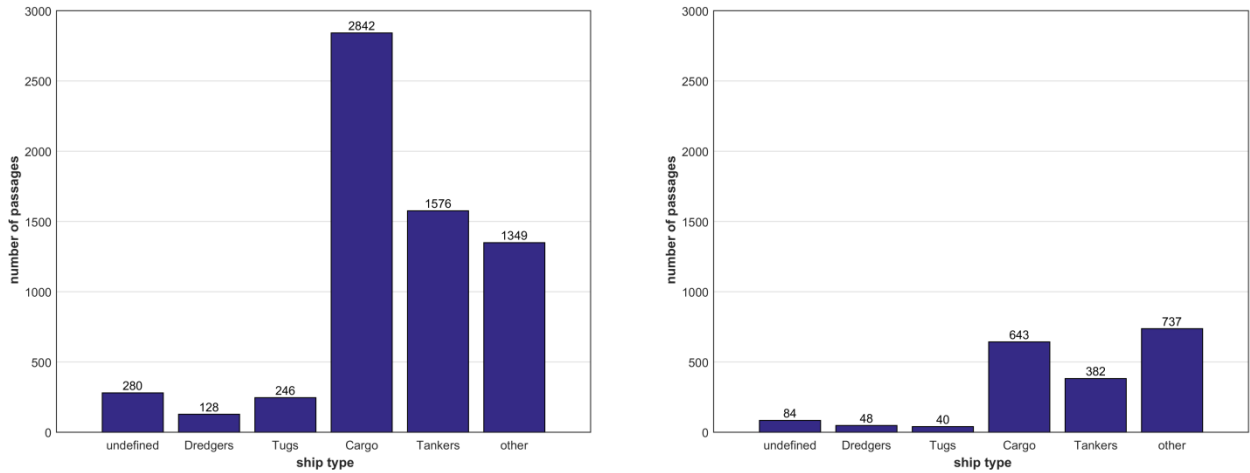


Figuur 25 – Overzicht van de breedte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).

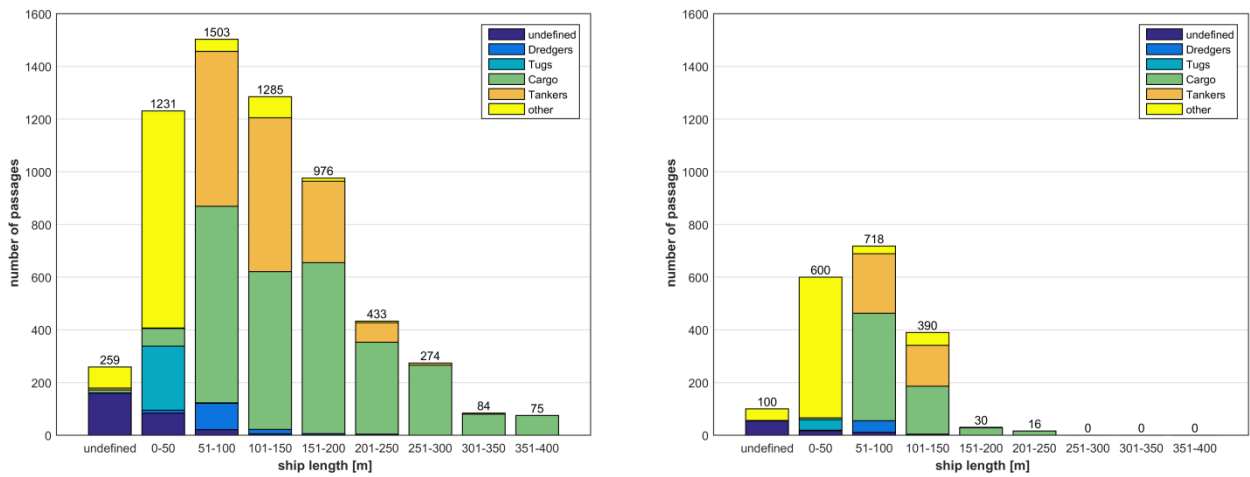


Figuur 26 – Overzicht van het diepgang van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2000 m van het meetpunt (rechts).

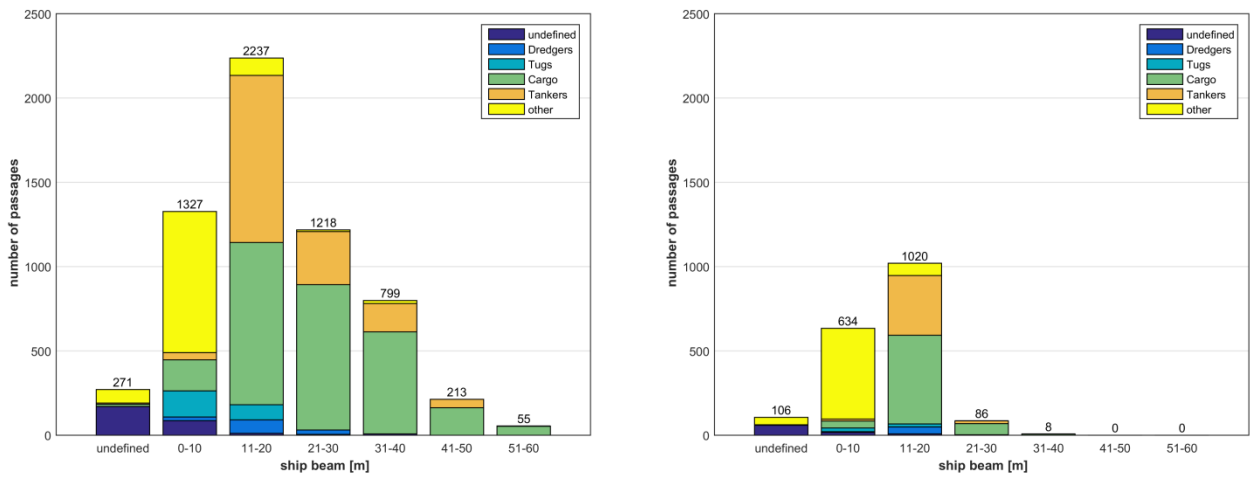
In Figuur 27 t.e.m. Figuur 30 zijn respectievelijk het type schip, de scheeps lengte, breedte en diepgang weergegeven voor de passages langsheen de entryline van het tweede meetpunt. Op basis van de geselecteerde afstandslimiet worden nog 1934 schepen geselecteerd in de analyse. In tegenstelling tot het meetpunt aan de Hooge Springer zijn het hier voornamelijk de grotere schepen die uit de analyse worden geselecteerd, wat niet hoeft te verbazen aangezien de hoofdvaargeul in de Honte tegen de Scheldeoever bij Vlissingen gelegen is.



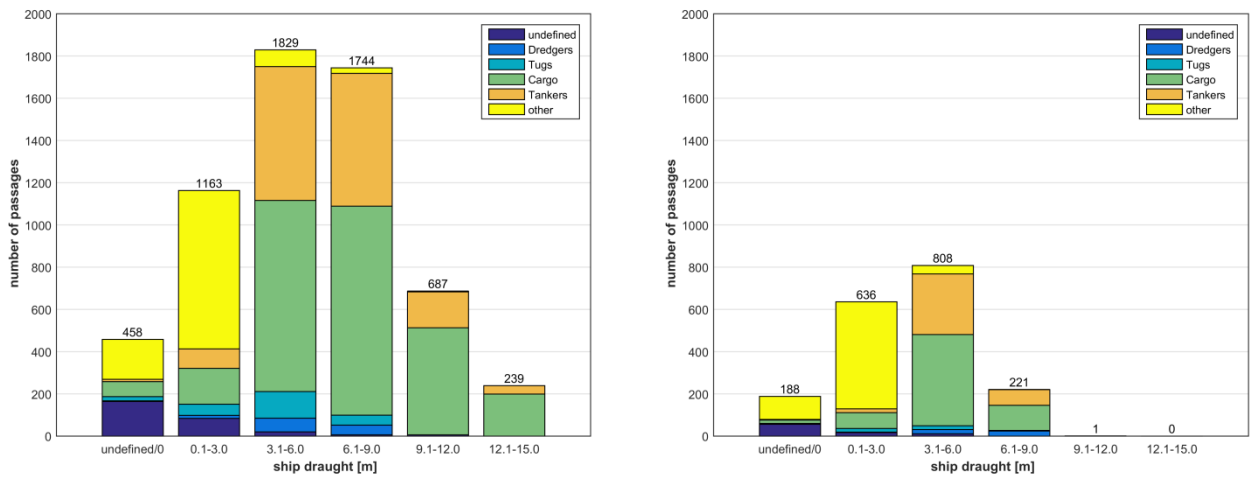
Figuur 27 – Overzicht van het type schepen passerend door de entryline bij meetpunt 2, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).



Figuur 28 – Overzicht van de lengte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).



Figuur 29 – Overzicht van de breedte van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).



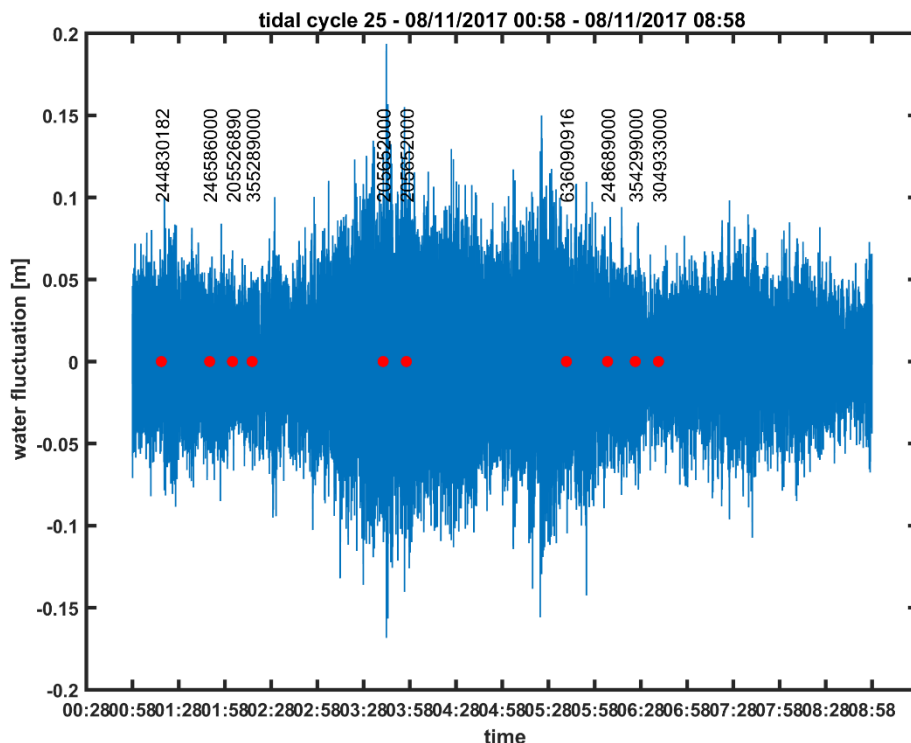
Figuur 30 – Overzicht van het diepgang van de schepen passerend door de entryline bij meetpunt 3, voor alle schepen (links) en de selectie op een afstand kleiner dan 2500 m van het meetpunt (rechts).

5 Analyse van scheepsgolven

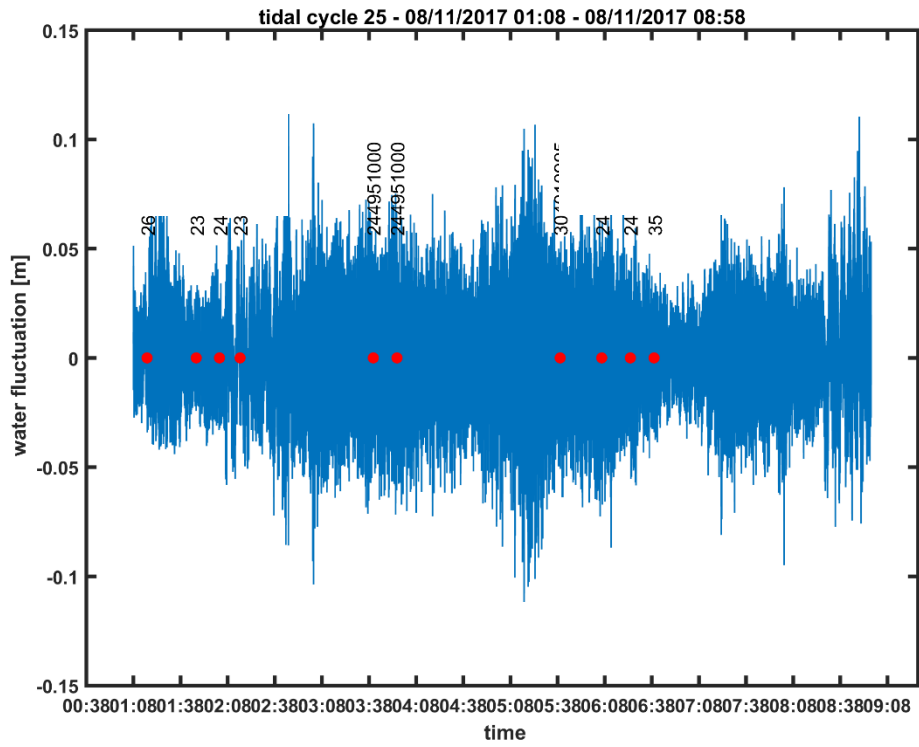
In dit hoofdstuk, wordt de koppeling besproken tussen de golfmetingen (getoond in sectie 3.4.2) met de passage van de schepen over de beschouwde entry line (hoofdstuk 4). De verdeling van de golfstatistieken (H_{max}) in relatie met de dynamische en statische informatie van de schepen (die gehaald wordt uit de AIS database) wordt hier visueel weergegeven. Op deze manier kan meer inzicht worden verworven in de golven geïnduceerd door schepen op de Schelde, ter hoogte van de Hooge Platen. De methodologie die gebruikt wordt voor de koppeling van de verschillende databronnen is gelijkaardig aan deze gebruikt in Kolokythas et al. (2017). De kleine veranderingen ten opzichte van deze methodologie zullen hier duidelijk worden aangeduid.

5.1 Inleiding

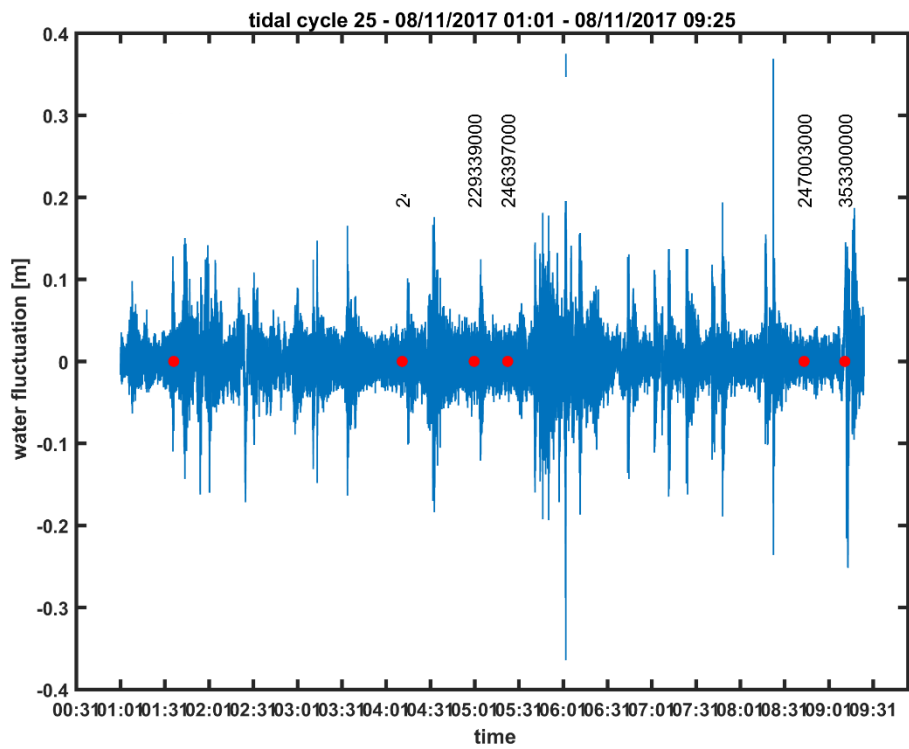
In Figuur 31 t. e.m. Figuur 33 is het verloop van de waterfluctuaties weergegeven op de drie meetposities voor een getij met een lage significante golfhoogte (dus minder invloed van windgolven), samen met de passage van schepen die voldoen aan het ‘single ship event’ criterium (zie sectie 5.2). In Figuur 31, voor het westelijke meetpunt op de Hooge Platen, kan geen duidelijke aanwezigheid van scheepsgolven worden opgemerkt in de fluctuaties. Voor de andere meetpunten, weergegeven in Figuur 32 en Figuur 33 voor respectievelijk de Hooge Platen Noord en Hooge Springer, zijn de golven gegeneerd door scheepsbewegingen veel duidelijker zichtbaar in het patroon van de fluctuaties. In dit rapport zal dan ook in de eerste plaats gefocust worden op de analyse van scheepsgolven op deze meetlocaties.



Figuur 31 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Platen West



Figuur 32 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Platen Noord



Figuur 33 – Verloop van de waterfluctuaties over een getij (nr.25) met een kleinere significante golfhoogte, bij Hooge Springer

5.2 Analyse van scheepsgolven in functie van scheepstype

5.2.1 Secundaire scheepsgolven

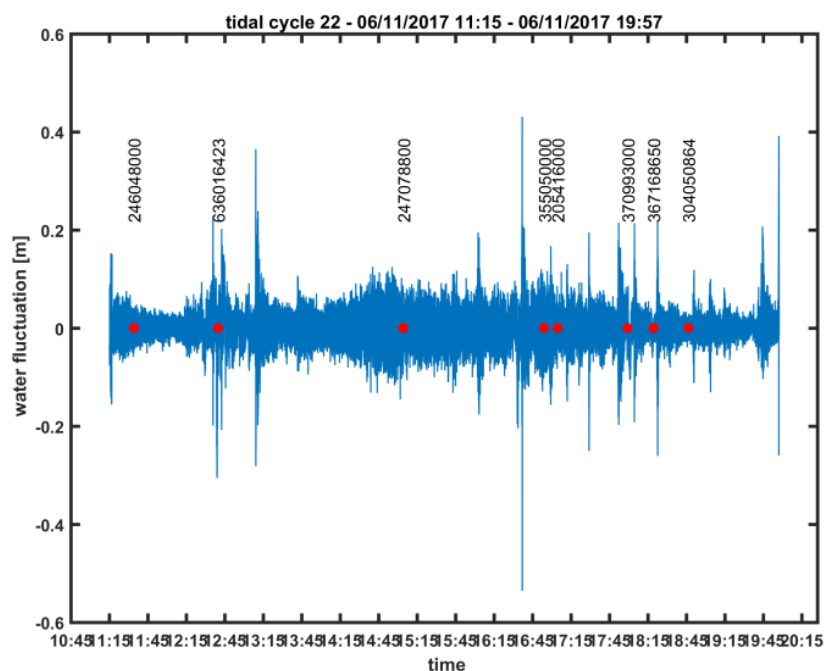
Detectie van secundaire scheepsgolven

Door de drukke scheepvaart op de Westerschelde, bestaan veel van de opgemeten golfsignalen uit verschillende patronen, veroorzaakt door individuele scheepspassages, maar ook kruisende schepen of schepen achter elkaar. Om een duidelijke link te leggen tussen de opgemeten scheepsgolven en de scheepskarakteristieken, wordt een zogenaamd ‘single ship’ event geïdentificeerd.

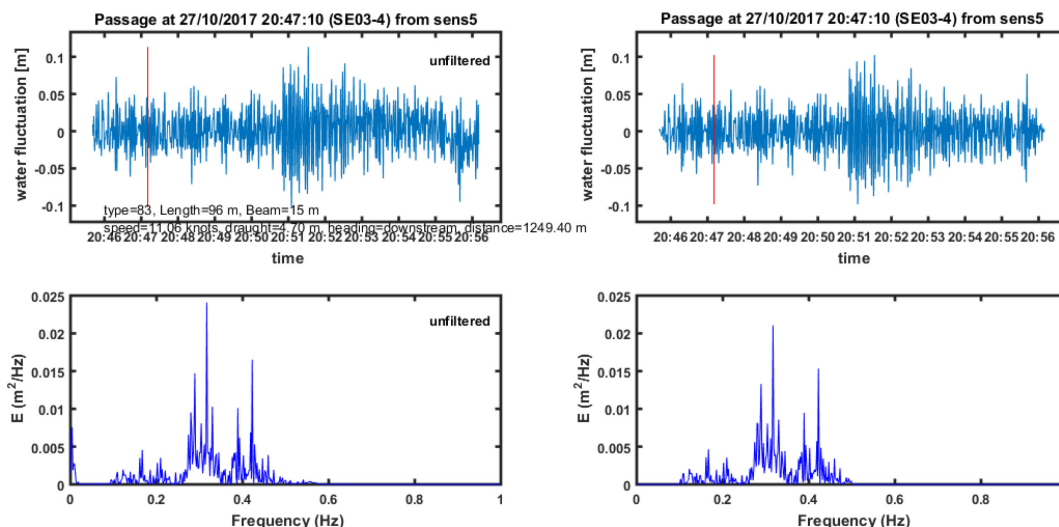
Zo’n event wordt als volgt gedefinieerd: de minimale lengte van het tijdsframe waarin geen andere schepen passeren, is vastgelegd op 9 minuten. Dit wil zeggen: $t_i - t_{i-1} > 9$ min en $t_i - t_{i+1} > 9$ min, waarbij t_i de tijd is van scheepspassage i , $i+1$ en $i-1$ respectievelijk het voorgaande en volgende schip. Naast dit criterium is ook vastgelegd dat de waterhoogte boven de druksensor minimaal 20 cm moet zijn, voordat een ‘single ship’ event ook wordt geanalyseerd.

Voor de metingen nabij Saeftinghe (Kolokythas et al., 2018) werd de tijdspassage van het schip gelijkgesteld aan de tijd wanneer het schip de entryline passeert. Door de scheepsbewegingen ter hoogte van de metingen aan de Hooge Springer, zoals te zien in Figuur 21 kan het zijn dat dit tijdstip niet overeenkomt met het tijdstip wanneer het schip zich het dichtst bij de meetlocatie bevindt. Voor de meetlocatie aan de Hooge Platen Noord werden op deze manier 470 schepen geanalyseerd, voor de meetlocatie bij de Hooge Springer in totaal 486. In Figuur 34 is een voorbeeld gegeven van zo’n event die geselecteerd werd door het algoritme voor een bepaald getij.

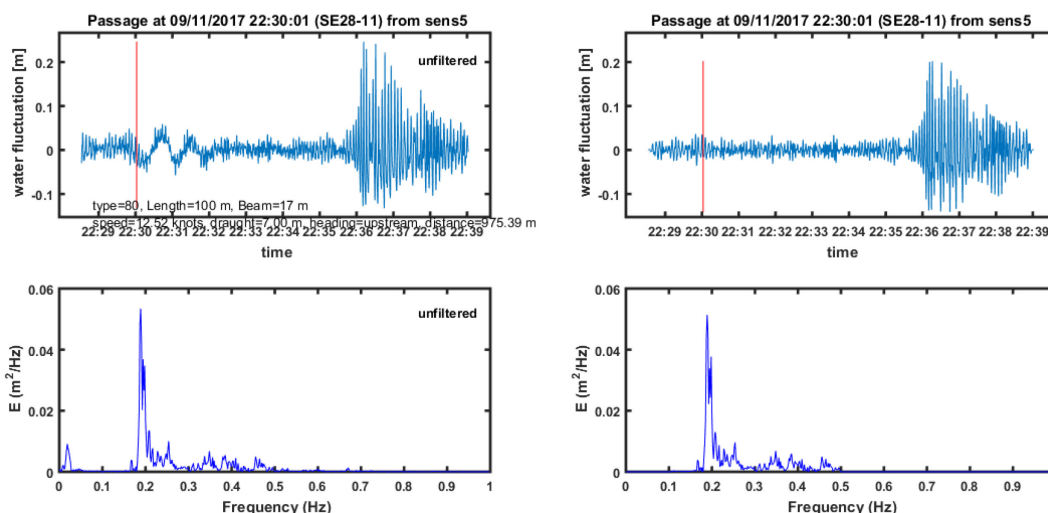
In sommige studies (bv. Baur, 2008; De Roo, 2013) wordt een kritische waarde van 2 seconden ($f_{cr} = 0.5$) beschouwd als een limiet tussen scheepsgolven en windgolven. Golven met een periode van 2 seconde of kleiner worden beschouwd als windgolven. Het gefilterde signaal, waarop de golfkarakteristieken van de secundaire golf worden berekend, wordt gecreëerd met een bandpass filter tussen $2s < T < 10s$.



Figuur 34 – Overzicht van de geselecteerde single ship events voor een getij ter hoogte van de Hooge Springer.



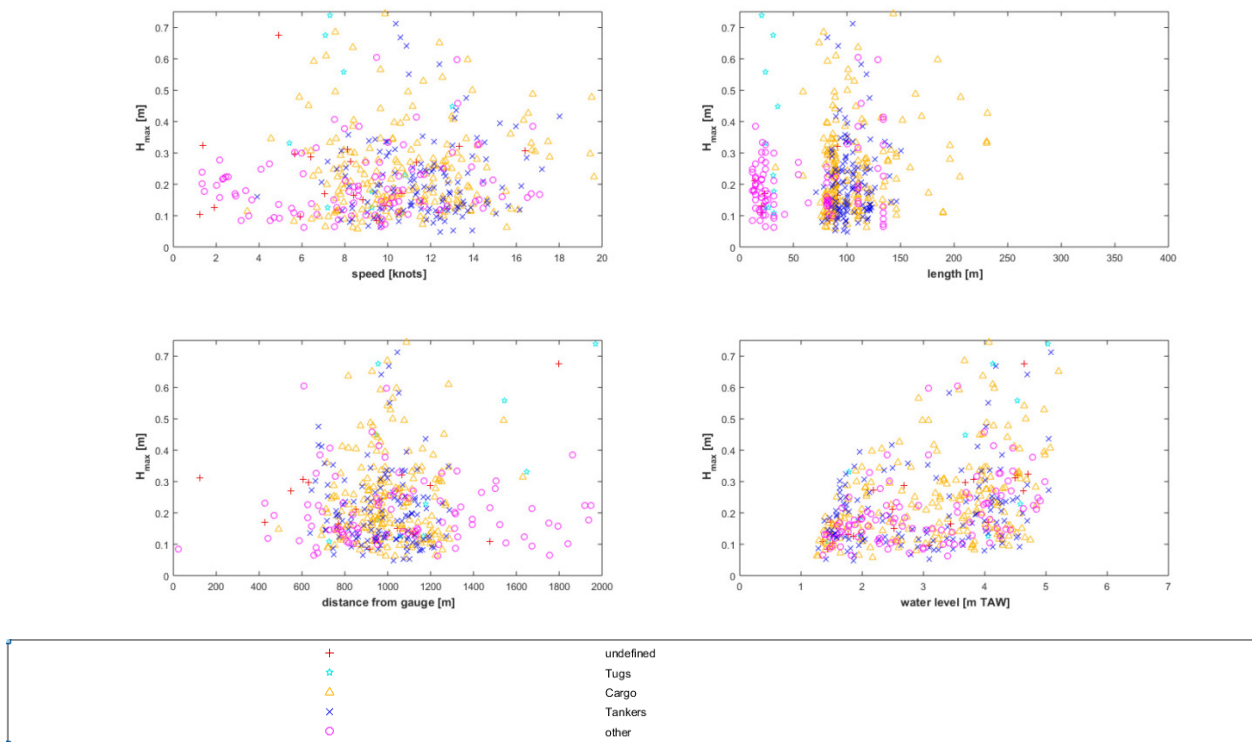
Figuur 35 – Typisch secundair golfsignaal, voorbeeld 1. Links zijn de resultaten weergegeven zonder filter, rechts zijn de resultaten weergegeven na toepassen van een band-pass filter. De verticale rode lijn geeft de tijd van passage weer van het schip, op basis van de entryline.



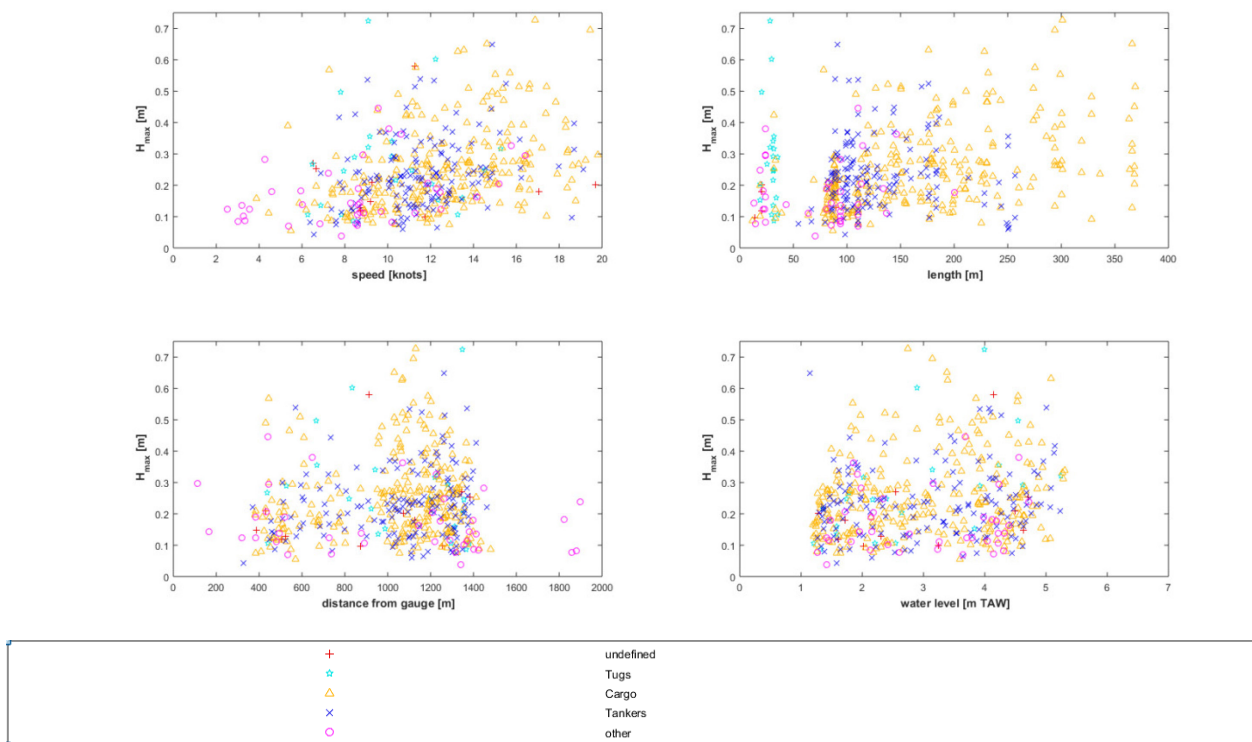
Figuur 36 – Typisch secundair golfsignaal, voorbeeld 2. Links zijn de resultaten weergegeven zonder filter, rechts zijn de resultaten weergegeven na toepassen van een band-pass filter. De verticale rode lijn geeft de tijd van passage weer van het schip, op basis van de entryline

Resultaten

In Figuur 37 en Figuur 38 zijn de relaties tussen de secundaire scheepsgolven en de snelheid van het voorbijvarende schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau weergegeven voor respectievelijk de meting bij de Hooge Platen Noord en de Hooge Springer. Duidelijke relaties tussen scheepskarakteristieken en golfhoogte kunnen niet worden geobserveerd. Tussen de golfhoogte en snelheid van het schip lijkt (visueel) een licht positieve correlatie waargenomen, voor de metingen bij de Hooge Springer (Figuur 38). Voor de Hooge Platen Noord lijkt er een positief verband tussen de waterhoogte en maximale golfhoogte. Maximale secundaire maximale golfhoogtes van ca. 0,75 m werden opgemeten op beide locaties.



Figuur 37 – Relatie tussen maximale secundaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Platen Noord



Figuur 38 – Relatie tussen maximale secundaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Springer

5.2.2 Primaire scheepsgolven

Detectie van primaire scheepsgolven

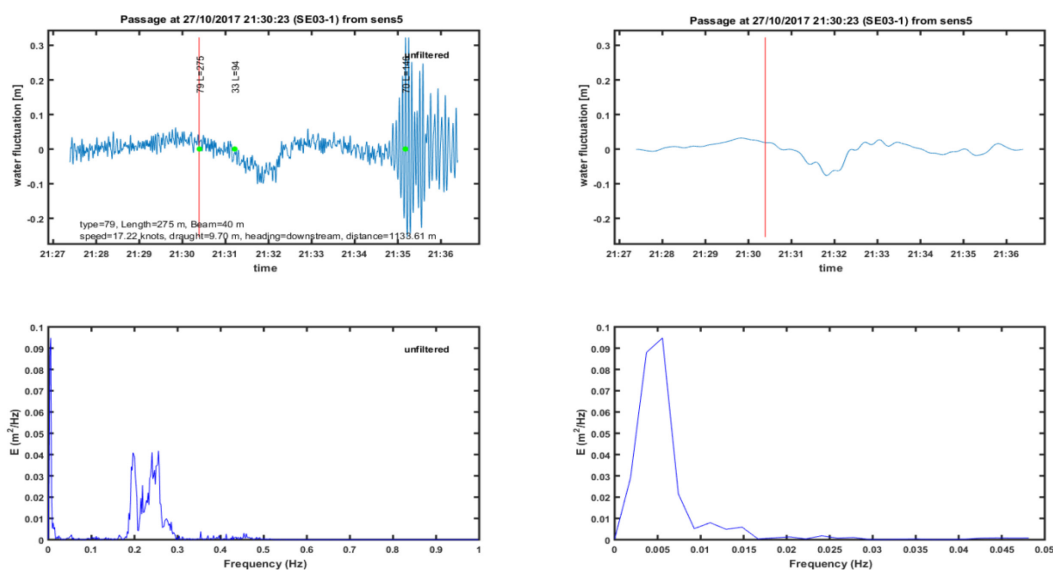
Primaire scheepsgolven worden bepaald door een selectie van grotere schepen uit te voeren, aangezien deze primaire golven kunnen genereren. Deze selectie, uitgevoerd op elke getijcyclus, bevat de volgende criteria:

- Minimale scheeps lengte is gelijk : 200 m
- Minimale snelheid van het schip : 2.5 knots

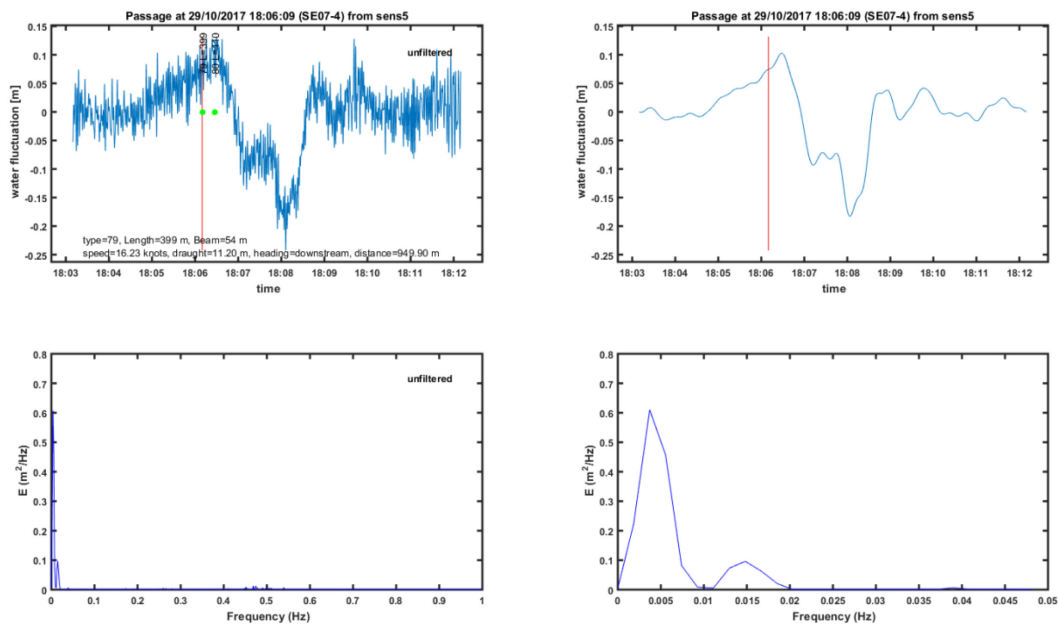
Schepen, uit de AIS database, kleiner of trager dan deze criteria worden niet beschouwd. Vervolgens wordt hetzelfde criterium gehanteerd als voor de detectie van secundaire scheepsgolven (een minimale waterdiepte van 20 cm boven de sensor en 9 minuten venster waarin geen andere schepen worden gedetecteerd).

In de analyse werden de scheepsevents met een primaire scheepsgolf die kleiner is dan 4 cm uit de analyse geëlimineerd, aangezien waarden kleiner dan dit niet van ruis kunnen worden onderscheiden. De amplitude van de primaire scheepsgolf is bepaald, na het toepassen van een low-pass filter, met een cutoff frequentie $f_{cut} = 0.05$ ($T_{cut} = 20$ sec) op het signaal. In totaal werden voor de Hooge Springer 163 scheepsevents geselecteerd. Op de andere meetlocaties konden geen primaire golven worden onderscheiden.

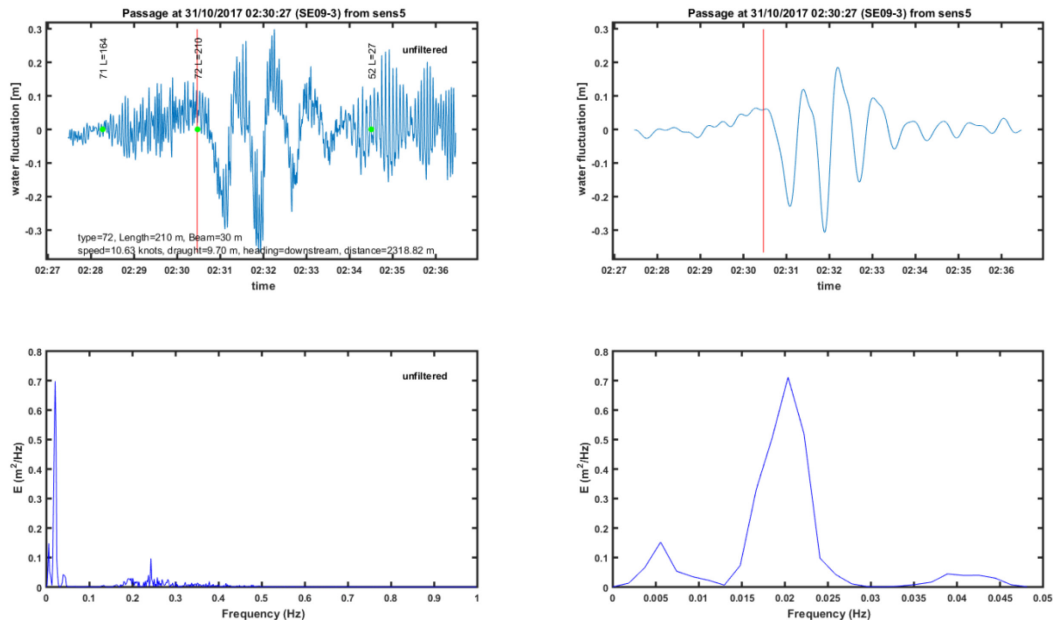
In Figuur 39 is een golfsignaal voor een groot schip weergegeven ($L = 275$ m). Er is een duidelijk primair en secundair golfpatroon aanwezig. De grootte van het primair golfpatroon is beperkt, en wordt berekend na toepassen van de low-pass filter. De resulterende fluctuaties van deze filter zijn weergegeven in Figuur 39, rechtsboven. Voor dit schip zijn de secundaire golven duidelijk meer uitgesproken dan de primaire golf. Voor het tweede voorbeeld (Figuur 40) is de primaire golf veel duidelijker uitgesproken, met een golfhoogte van ca. 0,3 m. Een secundaire golfpatroon is hier niet te onderscheiden. Voor verschillende scheepspassages werden verschillende golfpatronen zichtbaar, zoals te zien in Figuur 41. Voor dergelijke patronen lijkt de berekening met enkel een maximale golfhoogte, voor de karakterisatie van de primaire golfhoogte, niet optimaal.



Figuur 39 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 1. Links zijn de resultaten weergegeven zonder filter, rechts zijn de resultaten weergegeven na toepassen van een low-pass filter. De verticale rode lijn geeft de tijd van passage weer van het schip, de groene bollen geven de passages van andere (kleinere) schepen weer.



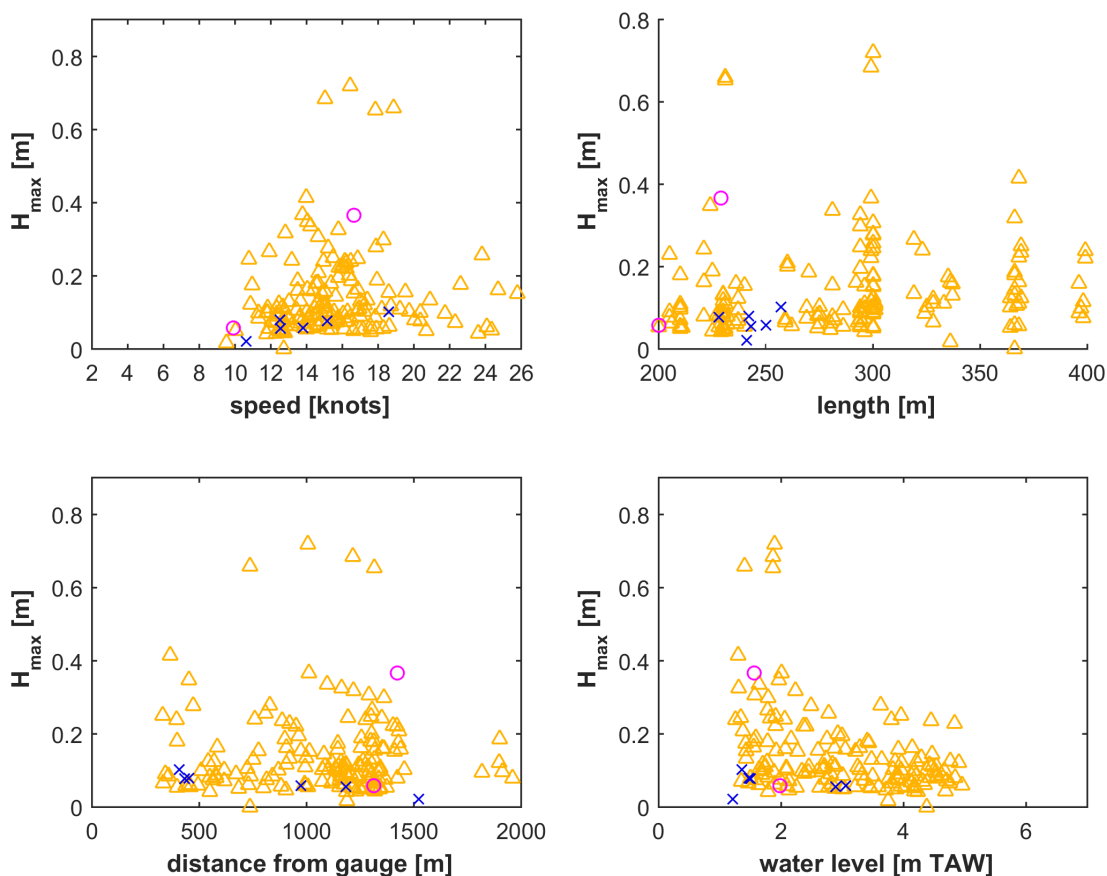
Figuur 40 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 2. Links zijn de resultaten weergegeven zonder filter, rechts zijn de resultaten weergegeven na toepassen van een low-pass filter. De verticale rode lijn geeft de tijd van passage weer van het schip, de groene bollen geven de passages van andere (kleinere) schepen weer.



Figuur 41 – Typisch golfsignaal voor groter schepen, voorbeeld 3. Links zijn de resultaten weergegeven zonder filter, rechts zijn de resultaten weergegeven na toepassen van een low-pass filter. De verticale rode lijn geeft de tijd van passage weer van het schip, de groene bollen geven de passages van andere (kleinere) schepen weer.

Resultaten

In Figuur 42 is de relatie weergegeven tussen de hoogte van de primaire golf en de karakteristieken van het schip (lengte, snelheid en afstand tot de meetpositie), alsook de fase van het getij (waterhoogte). Een maximale primaire maximale golfhoogte van ca. 0,70 m werd geregistreerd voor enkele schepen, maar de meeste schepen vertoonden een golfhoogte kleiner dan 0,4 m. Er kan geen duidelijke relatie worden onderscheiden tussen de scheepskarakteristieken en de hoogte van de primaire golf. Wel is het duidelijk dat de meest prominente golven optreden bij lagere waterstanden.



Figuur 42 – Relatie tussen maximale primaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, bij de Hooge Springer

6 Analyse van windgolven

In dit hoofdstuk wordt de koppeling van de gemeten winddata (gepresenteerd in sectie 3.3) met de golfmetingen (gepresenteerd in sectie 3.4), besproken.

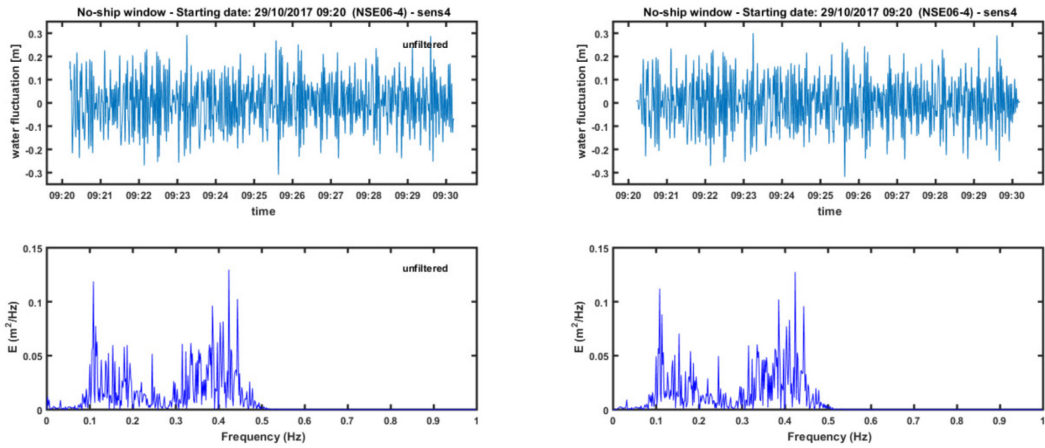
6.1 Detectie van windevents

Voor het selecteren van windevents worden periodes afgebakend waar de wind als enige forcing voor de opgemeten golven kan worden aangeduid, m.a.w. periodes waar scheepsbewegingen het meetsignaal niet beïnvloeden.

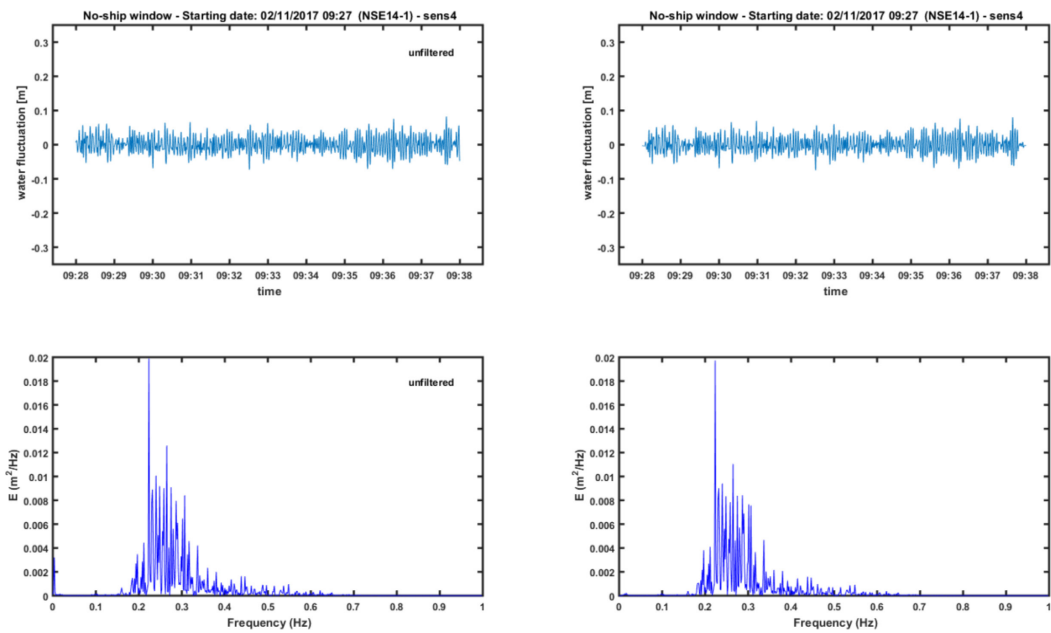
Voor deze methode wordt een minimaal tijdsvenster tussen twee scheepspassages beschouwd van 30 minuten. Binnen deze periode, waarin dus geen scheepspassages zijn geregistreerd, wordt een windevent geselecteerd met een lengte van 10 minuten en een start 13 minuten na de passage van het laatste schip, zodat de opgemeten waterfluctuaties in dit moment zeker niet verstoord worden door scheepspassages. Er wordt dus een zekere reservee gehanteerd (3 min) vooraf en 7 nadien, zodat mogelijke invloed van scheepsgolven zoveel mogelijk worden gemedend in deze wind events. Een tijdsduur van 10 minuten voor een windevent werd geselecteerd om een voldoende aantal golven (>100) te hebben gedurende een dergelijk event, voor een accurate schatting van de golfkarakteristieken. Deze periode van 10 minuten voor een windevent is vast genomen voor consistentie, ook al zou de volledige periode zonder scheepspassage groter zijn dan 30 minuten, zodat de karakteristieken van elk wind event ($H_{1/3}$) gebaseerd is op eenzelfde periode. Net zoals voor scheepsevents werd een minimale waterniveau van 20 cm boven de sensor geselecteerd als minimum.

Om mogelijke interferenties met laag frequente golfpatronen te verwijderen, werd een high pass filter met een cutoff frequentie $f_{cut} = 0.1$ ($T_{cut} = 10$ sec) toegepast op de golfsignalen van de geselecteerde windevents.

In Figuur 43 en Figuur 44 zijn respectievelijk een voorbeeld gegeven van een windevent met grotere en kleinere golven. Voor het geval met grotere golf, kan een piek in het energiespectrum worden opgemerkt rond 0.1 Hz en 0.4 – 0.45 Hz. Voor het event met kleine golfwerking ligt de piek in het energiespectrum uiteraard veel lager, en tussen 0.1 en 0.2 Hz. Te Saefthinghe (Kolokythas et al.) werden maxima gevonden rond 0.4 Hz.



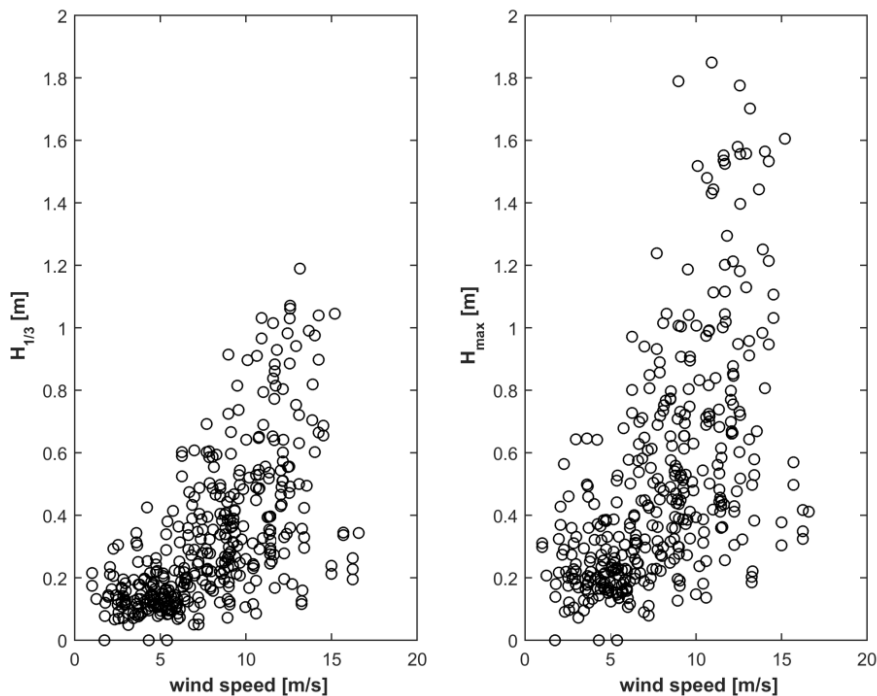
Figuur 43 – Windevent voor een event met een hogere maximale golfhoogte, voor (links) en na filtering (rechts)
De onderste figuren illustreren de overeenkomende spectrale dichtheidsverdelingen.



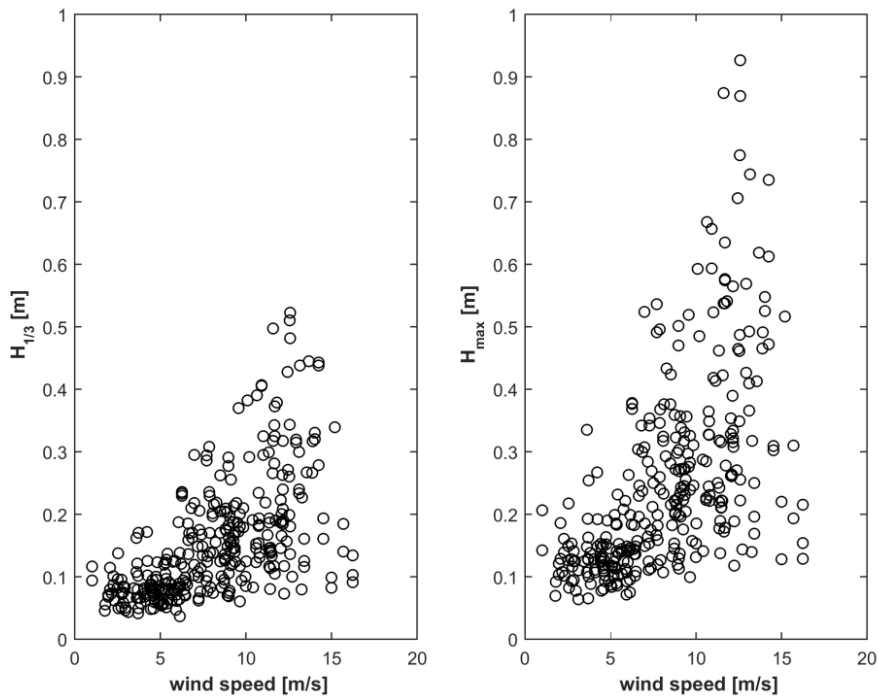
Figuur 44 – Windevent voor een event met lage maximale golfhoogte, voor (links) en na filtering (rechts)
De onderste figuren illustreren de overeenkomende spectrale dichtheidsverdelingen.

6.2 Resultaten van de analyse

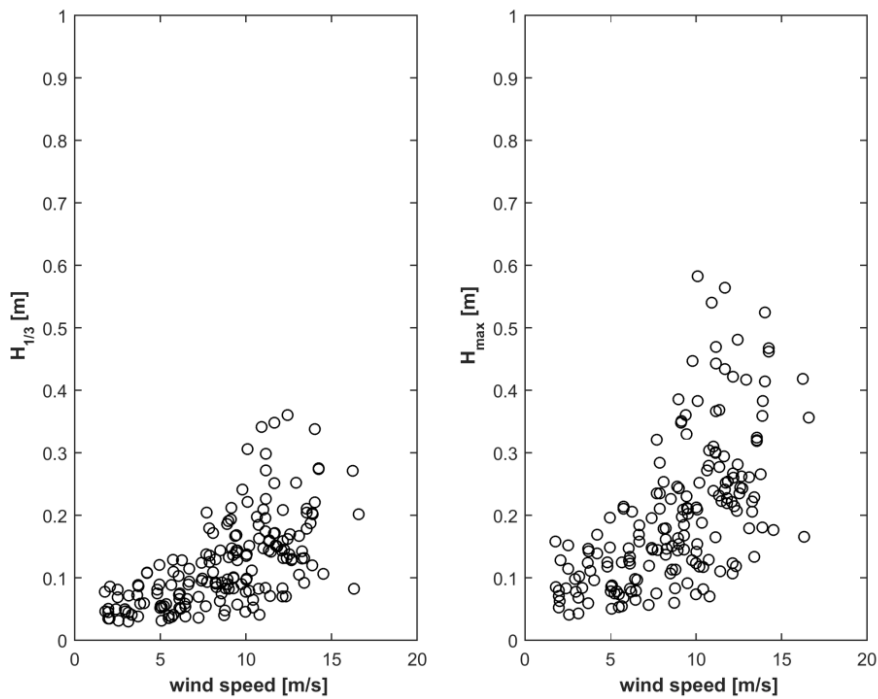
Aangezien de AIS data niet gefilterd zijn op een entryline voor meetpunt 1 bij de Hooge Platen West, werd deze analyse uitgevoerd voor HPW op basis van de filtering voor HPN. Hierbij zijn dus dezelfde tijdvensters beschouwd voor HPN en HPW. Er werden respectievelijk 323 en 180 events geselecteerd in de analyse. In Figuur 45 zijn de resultaten getoond voor HPW. Maximale significante golfhoogtes van ca. 1,2 m en maximale H_{max} van 1,8 m werden opgemeten. In Figuur 46 zijn de resultaten weergegeven voor Hooge Platen Noord. Maximale significante golfhoogtes van ca. 0,52 m en maximale H_{max} van 0,92 m werden opgemeten. Er is een duidelijke positieve correlatie tussen de windsnelheid en de golfhoogte, al is de spreiding groot. In Figuur 47 zijn de resultaten weergegeven voor de Hooge Springer. Maximale significante golfhoogtes van ca. 0,36 m en maximale H_{max} van 0,58 m werden opgemeten, waarden die duidelijk lager zijn ter hoogte van de Hooge Platen Noord, zoals ook al aangegeven in sectie 3.4. Er is eveneens een duidelijke positieve correlatie tussen de windsnelheid en de golfhoogte.



Figuur 45 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte HPW, berekend op basis van windevents



Figuur 46 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte HPN, berekend op basis van windevents



Figuur 47 – Relatie tussen de windsnelheid en de golfkarakteristieken ($H_{1/3}$ en H_{max}) ter hoogte van HSP, berekend op basis van windevents

7 Conclusie en aanbevelingen

In onderliggend rapport zijn de metingen van een intensieve meetcampagne geanalyseerd en gerapporteerd. De metingen werden uitgevoerd voor een periode van circa 4 weken, op het platencomplex van de Hooge Platen. Op drie verschillende plaatsen, aan de westelijke (HPW) en noordelijke Hooge Platen (HPN) en oostelijk, bij de Hooge Springer (HSP), werden snelheids- en drukmetingen uitgevoerd nabij de laagwaterlijn. De snelheidsmetingen werden gerelateerd met getijparameters, de drukmetingen met windmetingen maar eveneens met aanwezige scheepvaart.

Tijdens de meetcampagne werd een gemiddeld getijverschil van 3,64 m opgemeten te Vlissingen, met een maximum van bijna 5 m. Maximale gemiddelde windsnelheden bij de Wielingen van bijna 20 m/s werden opgemeten voor enkele meetdagen. De golfdata voor verschillende meetstations bij de monding of op de Noordzee (Wielingen, Vlake van de Raan, Thorntonbank) werden vergeleken met de golfdata opgemeten bij de Hooge Platen. Een duidelijke correlatie tussen de metingen kon worden opgemerkt, met zoals te verwachten, een duidelijke afname van de golfhoogtes naarmate men het Schelde estuarium nadert.

Voor de meetpunten HPW en HPN zijn de vloodsnelheden groter dan de ebsnelheden. Maximale piek vloodsnelheden van respectievelijk 1,2 m/s werden opgemeten. Voor meetpunt 3, bij de Hooge Springer, zijn de vloodsnelheden duidelijk veel lager dan de ebsnelheden. Maximale pieksnelheden bij eb van ca. 1 m/s worden opgemeten.

De drukdata werd gekoppeld aan scheepsinformatie, afkomstig van de AIS database. De scheepspassages werden enkel geanalyseerd voor meetpunten HPN en HSP, waar schepen dichtbij passeerden en signalen van scheepsgolven in de data te herkennen waren. Er werd enkel rekening gehouden met scheepspassages op een respectievelijke afstand tot 2500 en 2000 m. Door het grote aantal schepen werd een methodiek ontwikkeld om een duidelijke link te leggen tussen scheepsgolven en bepaalde scheepskarakteristieken. Hiervoor werden 'single ship' events geselecteerd, periodes met een lengte van 9 minuten waarbij slechts 1 schip door een bepaalde "entryline" passeert. Golven binnen deze periode kunnen toegewezen worden aan de passage van het schip. Voor de meetlocatie HPN werden op deze manier 470 schepen geanalyseerd, voor de meetlocatie bij de Hooge Springer in totaal 486. De scheepskarakteristieken: lengte, snelheid en afstand tot het meetpunt, evenals de waterhoogte werden zo gerelateerd aan de maximale secundaire scheepsgolf. Geen duidelijke relaties konden worden gevisualiseerd, tenzij een licht positieve relatie tussen golfhoogte en snelheid van het schip. Maximale secundaire golven van ca. 0,7 m werden geobserveerd voor beide locaties.

Voor de analyse van primaire golfhoogtes werd een gelijkaardige analyse uitgevoerd. Hierbij worden enkel de metingen bij de Hooge Springer, aangezien op de andere locaties geen primaire golfpatronen konden worden geobserveerd. Maximale primaire golfhoogtes van ca. 0,7 m werden geregistreerd, alhoewel de meeste lager zijn dan 0,4m. De hoogste primaire golven worden waargenomen bij lagere waterstanden.

Voor de detectie van windgolven werd gebruik gemaakt van periodes waarin geen scheepspassages werden geregistreerd. Voor alle locaties, en zowel voor $H_{1/3}$ als H_{max} kan een duidelijke relatie met de windsnelheid worden waargenomen. De golfhoogte neemt duidelijk af van HPW naar HPN en HSP. Maximale significante golfhoogtes daalden respectievelijk van ca. 1.2 m, over 0.6 m naar ca. 0.4 m. Voor de maximale H_{max} is er een daling van ca. 1.8 m, over 0.9 m naar 0.6 m (steeds respectievelijk van HPW, HPN en HSP); In het energiespectrum kon geen duidelijk onderscheid worden waargenomen tussen wind- en secundaire scheepsgolven.

Er werd gekozen voor een analyse die gelijkaardig was met de analyse in voorgaande studies, nabij Saeftinghe, Rupelmonde en Dendermonde meer stroomopwaarts in het estuarium. Door de specifieke golfkarakteristieken is het in toekomstige analyses misschien nuttig om voor primaire golven, naast de maximale golfhoogte, ook de golfenergie te karakteriseren, aangezien soms meerdere pieken te observeren zijn. Doordat de scheepspassages niet parallel met de oever verliepen, is de afstand (en

snellheid) ter hoogte van de entryline niet helemaal representatief voor de beschouwde scheepspassage. Het zou nuttig kunnen zijn om de positie (en geassocieerde tijdstip en snellheid) van het schip te bepalen op het punt dichtst bij het meetpunt, welke verschillend zal zijn voor elk schip door de bocht in de vaargeul. Aanvullend op de huidige analyse kan ook de link tussen de golfkarakteristiek en de beschouwde scheepsbeweging worden nagegaan. Hierbij zou men omgekeerd te werk gaan: bepaalde golfpatronen worden geselecteerd en er wordt nagegaan met welke scheepsbewegingen deze kunnen worden gerelateerd. In toekomstige analyses zou dit verder kunnen uitgewerkt worden.

8 Referenties

Baur, T., Peters, K., Teschke, U. (2008). Practical analysis methodology for ship-induced waves in estuaries. ICCE '08, pp. 748-760.

Beirinckx, K.; Taal, M.; Plancke, Y.; Van den Bergh, E. (2014). Plan van Aanpak Onderzoek Agenda voor de Toekomst.

De Roo, S. (2013). Experimental Study of the Hydrodynamic Performance of a Nature-Friendly Bank Protection Subject to Ship Waves in a Confined, Non-Tidal Waterway. PhD Thesis, University of Ghent, Belgium.

Kolokythas, G.; Smolders, S.; Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F. (xxx). Agenda voor de Toekomst – Waves in the estuary: Analysis of wave measurements at Saefthinghe. Version 4.0. FHR Reports, 14_082_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F. (2017). Overleg Flexibel Storten: Deelrapport 20 – Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooge Platen. Versie 1.0. WL Rapporten, 00_031_20. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen & Rijkswaterstaat Zee & Delta: Middelburg.

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

www.waterbouwkundiglaboratorium.be