



Vlaanderen
is wetenschap



14_082_3
WL rapporten

Agenda voor de Toekomst Golven in het estuarium

Analyse van golfmetingen bij de Notelaer (Rupelmonde)

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium

Analyse van golfmetingen bij de Notelaer (Rupelmonde)

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/2021/3241/013

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2021). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: Analyse van golfmetingen bij de Notelaer (Rupelmonde). Versie 5.0. WL Rapporten, 14_082_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2021R14_082_3
Keywords (3-5):	Golven, wind, schepen, intergetijdengebied		
Kennisdomeinen:	Hydrodynamica > Stroomsnelheden -en patronen> Getij > in-situ metingen Hydrodynamica > Golven > in-situ metingen		
Tekst (p.):	26	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 09:14:32 +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 11:59:52 +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 16:39:36 +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 bij de Notelaer, nabij Rupelmonde, in combinatie met de geregistreerde scheepsbewegingen over dezelfde periode.

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
3.3 Windmetingen	9
3.4 Golfmetingen.....	11
3.4.1 Methodologie voor data verwerking.....	11
3.4.2 Golfstatistieken.....	13
4 Scheepsdata (AIS)	15
4.1 Algemene informatie omtrent AIS gegevens	15
4.2 Algemene informatie omtrent ECMT-CEMT gegevens	15
4.3 AIS data analyse.....	16
5 Analyse van scheepsgolven	18
5.1 Scheepsgolfanalyse in functie van tijd en getijcyclus.....	18
5.2 Analyse van scheepsgolven in functie van scheepstype	22
6 Analyse van windgolven	24
7 Conclusies	25
8 Referenties	26

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Overzicht van de meetlocatie van de druksensoren en Aquadopps op hoog en laag slik.	3
Tabel 2 – Overzicht van tijdstippen waarop foto's beschikbaar zijn ter hoogte van de Notelaer.	4
Tabel 3 – Overzicht van de belangrijkste tijkarakteristieken gedurende de meetcampagne voor zowel Hemiksem als Temse	6
Tabel 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken (min., gem., max.) voor de dieptegemiddelde pieksnelheden bij vloed- en ebsnelheden op respectievelijk laag en hoog slik. De snelheden zijn uitgedrukt in m/s.....	6
Tabel 5 – Belangrijkste statistieken van de significante ($H_{1/3}$) en maximum (H_{\max}) golfhoogte gedurende de meetcampagne.....	13
Tabel 6 – Definities voor verschillende ECMT scheepsklassen	15

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Overzicht van de meetlocaties (gele bol) en positie van de dwarsdoorsnedes, die weergegeven zijn in Figuur 2.....	2
Figuur 2 – Overzicht van de dwarsdoorsnedes door de meetpunten, 50 m op- en afwaarts van de meetpunten.....	3
Figuur 3 – Foto van scheepspassage ter hoogte van de Notelaer	4
Figuur 4 – Overzicht van de getijgegevens te Temse gedurende de meetcampagne.	5
Figuur 5 – Verloop van de waterhoogte boven de sensor [m] (boven), de dieptegemiddelde snelheid [m/s] (midden) en richting [°] (onder) voor getijden met een groot getijverschil, zowel op laag slik (rood) als hoog slik (blauw).....	7
Figuur 6 – Verloop van de waterhoogte boven de sensor [m] (boven), de dieptegemiddelde snelheid [m/s] (midden) en richting [°] (onder) voor getijden met een klein getijverschil, zowel op laag slik (rood) als hoog slik (blauw).....	8
Figuur 7 – Relatie tussen getijverschil en pieksnelheden tijdens vloed op laag slik (links) en hoog slik (rechts)	8
Figuur 8 – Relatie tussen getijverschil en pieksnelheden tijdens eb op laag slik (links) en hoog slik (rechts)..	9
Figuur 9 – Verloop van de windsnelheid (gemiddelde per 2 uur) te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)	9
Figuur 10 – Verloop van de windrichting (2 uren gemiddelde) te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)	10
Figuur 11 – Verloop van de dagelijks windsnelheid te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017).....	10
Figuur 12 – Verloop van de dagelijks windrichting te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017).....	11
Figuur 13 – Verloop van de luchtdruk te Melsele gedurende de meetcampagne.....	12
Figuur 14 – Verloop van de waterhoogte (en fluctuaties) opgemeten met de hoogfrequente druksensoren voor één getijcyclus	12
Figuur 15 – 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	13
Figuur 16 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne op laag slik	14
Figuur 17 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne op hoog slik.....	14
Figuur 18 – Overzicht van de scheepspassages per ECMT klasse over de volledige meetperiode.....	16
Figuur 19 – Verdeling van de lengte en breedte van de schepen, per ECMT categorie. Voor enkele schepen is geen breedte en/of lengte beschikbaar in de database	16
Figuur 20 – Gemiddeld aantal scheepspassage per dag, in de (werk)week en in het weekend.....	17
Figuur 21 – Verdeling van de scheepspassages over een dag, op basis van alle meetdagen.....	17

Figuur 22 – Waterfluctuaties gedurende 1 getijde, samen met de scheepspassages waargenomen met AIS (rode bol)	18
Figuur 23 – Waterfluctuaties gedurende een getijde, samen met de scheepspassages waargenomen met AIS	19
Figuur 24 – Totaal aantal golven, gemeten over alle getijden gedurende de meetperiode, gegroepeerd per uur	20
Figuur 25 – Significante en maximale golfhoogte voor alle getijden, berekend per uur in de dag	20
Figuur 26 – Waterfluctuaties gedurende een getij (getijcyclus 24), met scheepspassages geregistreerd met AIS (rode bol) en waargenomen met de fotocamera (groene cirkels).....	21
Figuur 27 – Waterfluctuaties gedurende een getij (getijcyclus 10), met scheepspassages geregistreerd met AIS (rode bol) en waargenomen met de fotocamera (groene cirkels).....	21
Figuur 28 – Focus op 2 scheepspassages uit getij 16, weergegeven in Figuur 23.....	22
Figuur 29 – 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, op laag slik	23
Figuur 30 – 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, op hoog slik	23
Figuur 31 – Gemiddelde windsnelheid per getij vs. significante golfhoogte per getij.	24

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 intergetijdgebieden door golven te vergroten. In dit rapport, binnen het project 14_082: “Golven in het estuarium”, worden de metingen bij de Notelaer (omgeving Rupelmonde) 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 afwaartse deel van de Boven-Zeeschelde, ongeveer 95 km opwaarts van 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.

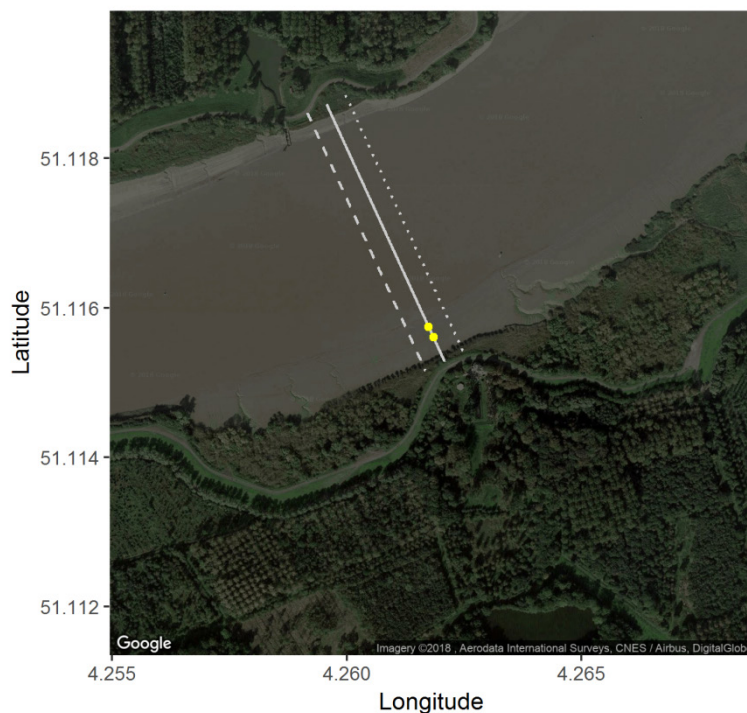
In hoofdstuk 2 wordt het studiegebied, de meetinstrumenten gebruikt tijdens de intensieve meetcampagne en de belangrijkste instellingen van deze metingen besproken. De gemeten golf en winddata die werden opgemeten, worden besproken in hoofdstuk 3. Hierbij wordt speciaal gefocust op de analyse van de 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

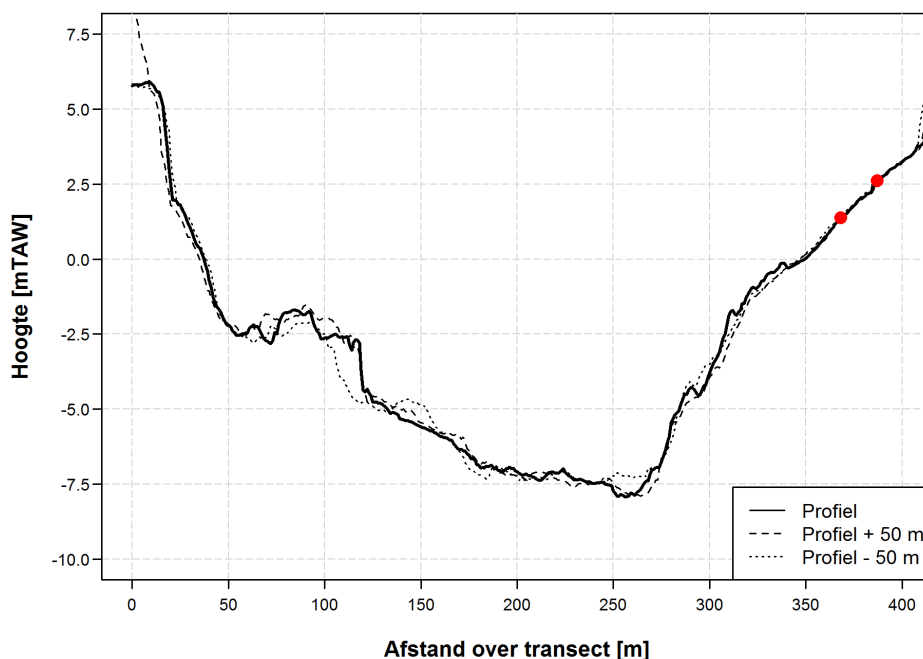
De metingen werden uitgevoerd op de Boven-Zeeschelde, ter hoogte van de intergetijdengebieden aan het jachtpaviljoen van de Notelaer op het grondgebied Bornem (rechteroever), nabij Rupelmonde (linkeroever). Deze locatie bevindt zich ongeveer 95 km opwaarts van Vlissingen. Een overzicht van de ligging van de meetlocatie is gegeven in Figuur 1. De meetlocaties zelf zijn aangeduid met een gele bol. De metingen zijn gesitueerd op de rechteroever van de rivier, met één meetpunt ter hoogte van de laagwaterlijn en één meetpunt hoger op het slik. Drie dwarstransecten zijn gedefinieerd, één door de metingen zelf en twee dwarstransecten 50 m op- en afwaarts van deze meetlocatie.

Figuur 1 – Overzicht van de meetlocaties (gele bol) en positie van de dwarsdoorsnedes, die weergegeven zijn in Figuur 2



In Figuur 2 is de dwarsdoorsnede weergegeven door de meetpunten en de secties 50 m op- en afwaarts hiervan. De locaties van de metingen zijn aangeduid met een rode bol. Het slik aan rechteroever wordt gekenmerkt door een relatief geleidelijke helling, van ongeveer 0,07 m/m (tussen 0 m TAW en de knik rond 2,7 m TAW aan de schorrand). Aan de linkeroever is de helling op intergetijdengebied veel steiler, op ca. 2 m TAW kan een kleine knik worden waargenomen. Tussen 0 m TAW en die knik is de helling 0,12 m/m, wanneer men dezelfde hoogte neemt als op rechteroever (2,7 m TAW) is de helling 0,15 m/m. Op subtidaal niveau, meer bepaald rond -2.5 m TAW, is een plaat aanwezig. Dit is een uitloper van de plaat van Ballooi, die verder doorloopt richting stroomopwaarts. De maximale diepte in de beschouwde dwarsdoorsnede is -7.5 m TAW. De beschouwde dwarsdoorsnedes op- en afwaarts zijn sterk gelijkwaardig.

Figuur 2 – Overzicht van de dwarsdoorsnedes door de meetpunten, 50 m op- en afwaarts van de meetpunten. De meetpunten zelf zijn aangeduid met een rode bol.



2.2 Meetinstellingen

Zowel hoogfrequente druksensoren als Aquadopp[®] instrumenten werden gebruikt gedurende de meetcampagne, die plaatsvond van 30/08/2017 tot 5/10/2017. De verticale positie van de meetinstrumenten is bepaald met een RTK gps. Een overzicht van de exacte meetlocaties is weergegeven in Tabel 1. De druksensoren op laag en hoog slik meten met een frequentie van 20 Hz. De Aquadopp[®] instrumenten meten een verticaal snelheidsprofiel met een frequentie van 5 minuten. De verticale resolutie van deze metingen is 10 cm.

Tabel 1 – Overzicht van de meetlocatie van de druksensoren en Aquadopps op hoog en laag slik. De geografische ligging is aangeduid in WGS84 UTM 31N

	Instrument	Long (E)	Lat (N)	Verticale positie [m TAW]
Laag	Druksensor	588313.2	5663452	1.20
	Aquadopp [®]	588314.2	5663453	1.24
Hoog	Druksensor	588321.3	5663437	2.44
	Aquadopp [®]	588321.9	5663438	2.50

Scheepspassages worden geregistreerd met behulp van het AIS (“Automatic Identification System”), zoals uitvoeriger beschreven in hoofdstuk 4. Aangezien niet alle (type) schepen worden geregistreerd in deze database, werden eveneens foto’s getrokken (zie Figuur 3), vanop het jachtpaviljoen de Notelaer, met de Reconyx Hyperfire PC800. Foto’s werden getrokken met een frequentie van 5 s, voor een aantal periodes zoals weergegeven in Tabel 2. Continue metingen voor de volledige periode waren niet mogelijk vanwege de beperkingen met zowel de batterijen van het toestel als de opslagcapaciteit.

Figuur 3 – Foto van scheepspassage ter hoogte van de Notelaer



Tabel 2 – Overzicht van tijdstippen waarop foto’s beschikbaar zijn ter hoogte van de Notelaer.

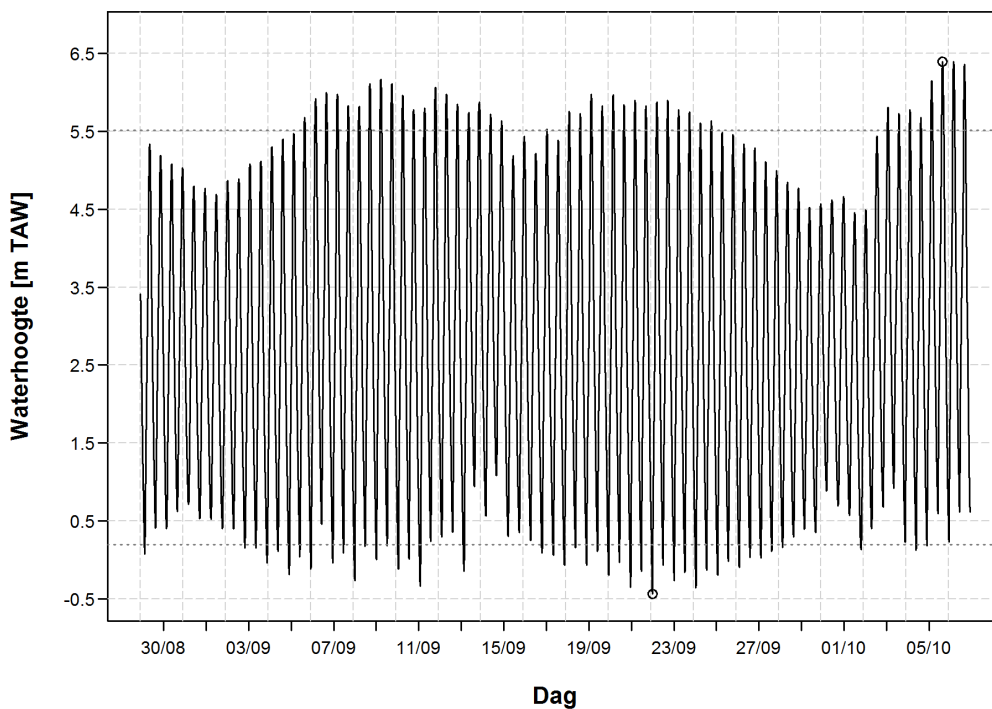
Dag	Uren
30/08/2017	15:10 – 19:00
31/08/2017	10:00 – 11:00 & 14:00 – 19:00
01-05/09/2017	10:00 – 11:00 & 14:00 – 19:00
06/09/2017	10:00 – 10:15
21/09/2017	16:43 – 19:00
22-27/09/2017	10:00 – 11:00 & 14:00 – 19:00
28/09/2017	10:00 – 11:00 & 14:00 – 17:30

3 Meetresultaten

3.1 Getijmetingen

De meetlocatie aan de Notelaer is gelegen tussen de tijposten van Temse (opwaarts van de meting) en de tijpost van Hemiksem (afwaarts van de meting). Een overzicht van het verloop van de hoog- en laagwaters voor Temse 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 Temse is 5,33 m, en varieert tussen 3,74 en 6,32 m. Het maximale hoogwater is 6,40 m TAW, het laagste laagwater - 0,44 m TAW.

Figuur 4 – Overzicht van de getijgegevens te Temse 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 tijkarakteristieken gedurende de meetcampagne voor zowel Hemiksem als Temse

		Hemiksem			Temse		
		[m TAW]	[UTC]	10- jarig overzicht	[m TAW]	[UTC]	10- jarig overzicht
HW	Max	6,28	5/10/2017 15:50		6,40	5/10/2017 16:10	
	Gem.	5,38	-	5,43	5,51	-	5,55
	Min.	4,37	01/10/2017 12:40		4,46	01/10/2017 13:00	
LW	Max	1,09	14/09/2017 16:20		1,08	14/09/2017 16:40	
	Gem.	0,12	-	0,06	0,19	-	0,13
	Min.	-0,58	22/09/2017 00:20		-0,44	22/09/2017 00:50	
GTV	Max	6,31	-		6,32	-	
	Gem.	5,26	-	5,37	5,33	-	5,42
	Min.	3,64	-		3,74	-	

3.2 Snelheidsmetingen

Zoals aangegeven in sectie 2.2 werden snelheidsmetingen uitgevoerd met behulp van een Aquadopp®. Deze meetinstrumenten worden geplaatst op het laag en middelhoog slik. 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. De verticale resolutie van de metingen is 10 cm, hier wordt echter enkel de diepte-gemiddelde snelheid berekend en weergegeven.

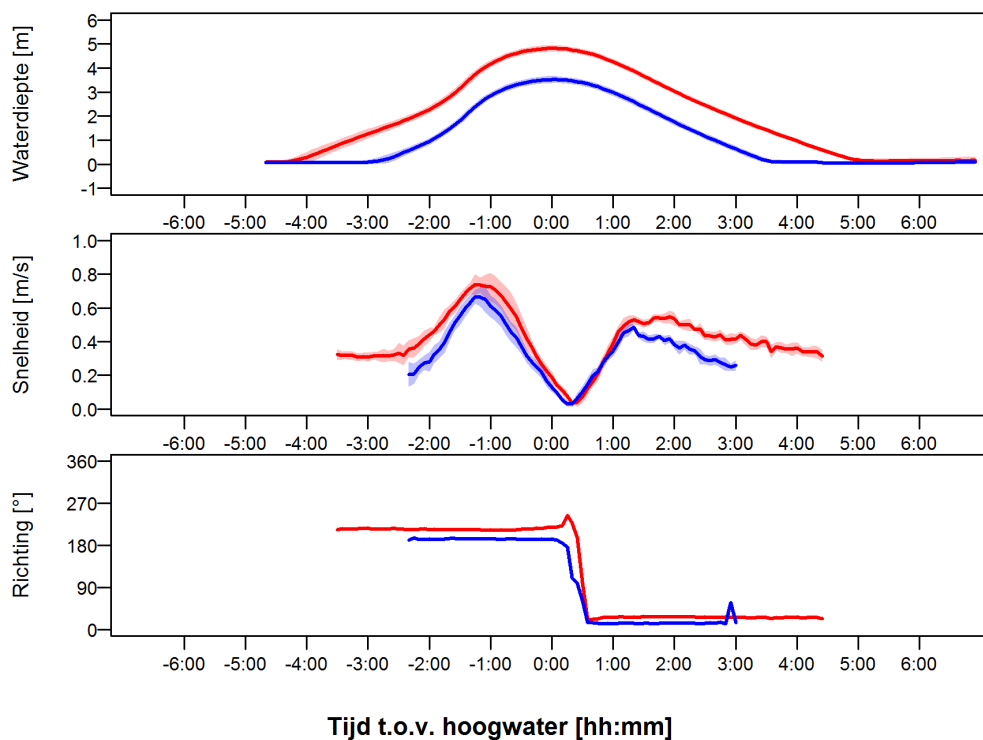
In Tabel 4 zijn de belangrijkste karakteristieken van de maximale, dieptegemiddelde vloed en ebsnelheden weergegeven. De variatie in de vloedsnelheden is duidelijk groter dan voor de ebsnelheden. Ondanks een duidelijk verschil in de hoogteligging tussen de twee meetlocaties (ca. 1,25 m), zijn de opgemeten snelheden tussen beide locaties niet zo verschillend. De minimale pieksnelheden bij eb zijn iets hoger dan de minimale pieksnelheden bij vloed. Voor de maximale pieksnelheden zijn de vloedsnelheden duidelijk groter.

Tabel 4 – Overzicht van de belangrijkste karakteristieken (min., gem., max.) voor de dieptegemiddelde pieksnelheden bij vloed- en ebsnelheden op respectievelijk laag en hoog slik. De snelheden zijn uitgedrukt in m/s.

	Laag slik		Hoog slik	
	Vloed	Eb	Vloed	Eb
Minimum	0,34	0,44	0,27	0,33
Gemiddelde	0,59	0,54	0,55	0,46
Maximum	0,82	0,69	0,73	0,53

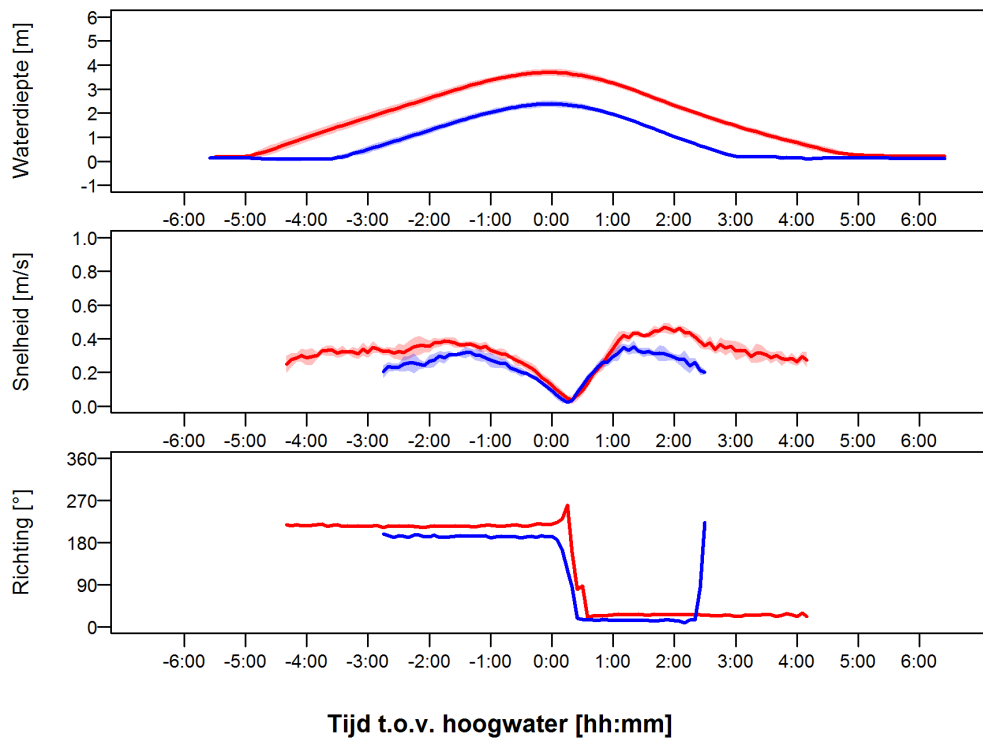
In Figuur 5 en Figuur 6 is het verloop weergegeven van de waterhoogte boven de Aquadopp® sensor, de dieptegemiddelde snelheid en richting, op hoog en laag slik. In Figuur 5 wordt gefocust op getijden met een groot getijverschil, hier gedefinieerd als de 5 getijden gedurende de meetcampagne met het grootste getijverschil. In Figuur 6 wordt gefocust op getijden met een klein getijverschil. Dit is een benadering voor springtij en doottij situaties. Het is duidelijk dat voor deze laatste situatie de vloedsnelheden lager blijven dan de ebsnelheden. Voor getijden met een groot getijverschil zijn de vloedsnelheden duidelijk groter dan de maximale ebsnelheden. In het algemeen zijn de snelheden op hoog slik niet veel lager dan deze op laag slik, wel valt de snelheid hier sneller terug naar lagere waarden, met name in de ebfase.

Figuur 5 – Verloop van de waterhoogte boven de sensor [m] (boven), de dieptegemiddelde snelheid [m/s] (midden) en richting [°] (onder) voor getijden met een groot getijverschil, zowel op laag slik (rood) als hoog slik (blauw)

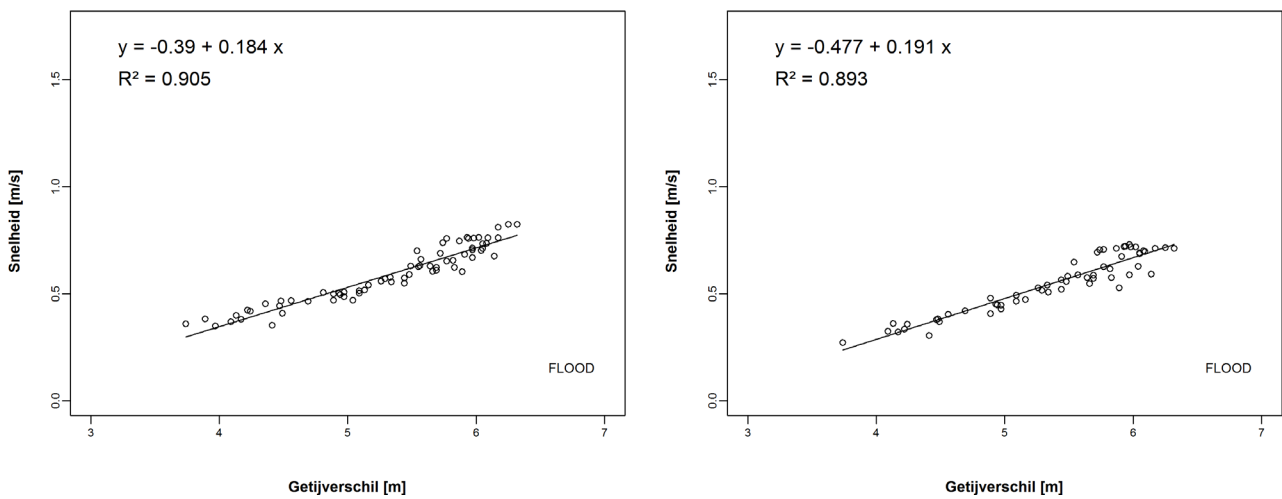


In Figuur 7 en Figuur 8 is de relatie weergegeven tussen het getijverschil en de pieksnelheden tijdens vloed en eb respectievelijk. Hieruit is eveneens duidelijk dat de vloedsnelheden veel meer afhankelijk zijn van het getijverschil dan de ebsnelheden. De relatie is bijna identiek voor hoog slik versus laag slik (met een respectievelijke richtingscoëfficiënt van 0,191 en 0,184). Voor beide posities werd een goede relatie gevonden ($R^2 = 0,89$ en $0,90$). Voor de ebsnelheden zijn beide hellingen kleiner dan $0,05$ m/s/m.

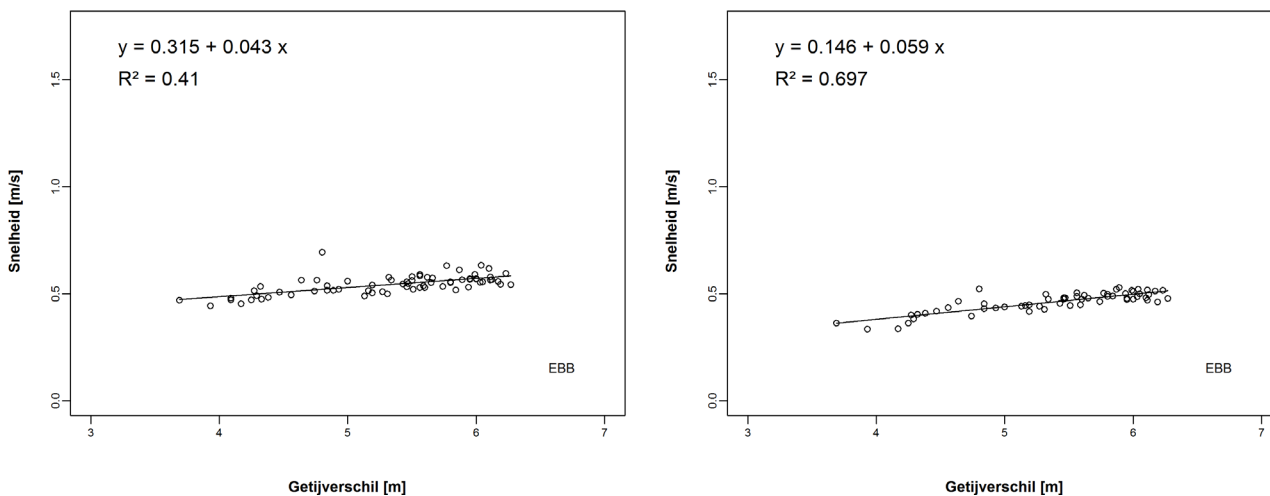
Figuur 6 – Verloop van de waterhoogte boven de sensor [m] (boven), de dieptegemiddelde snelheid [m/s] (midden) en richting [°] (onder) voor getijden met een klein getijverschil, zowel op laag slik (rood) als hoog slik (blauw)



Figuur 7 – Relatie tussen getijverschil en peeksnelheden tijdens vloed op laag slik (links) en hoog slik (rechts)



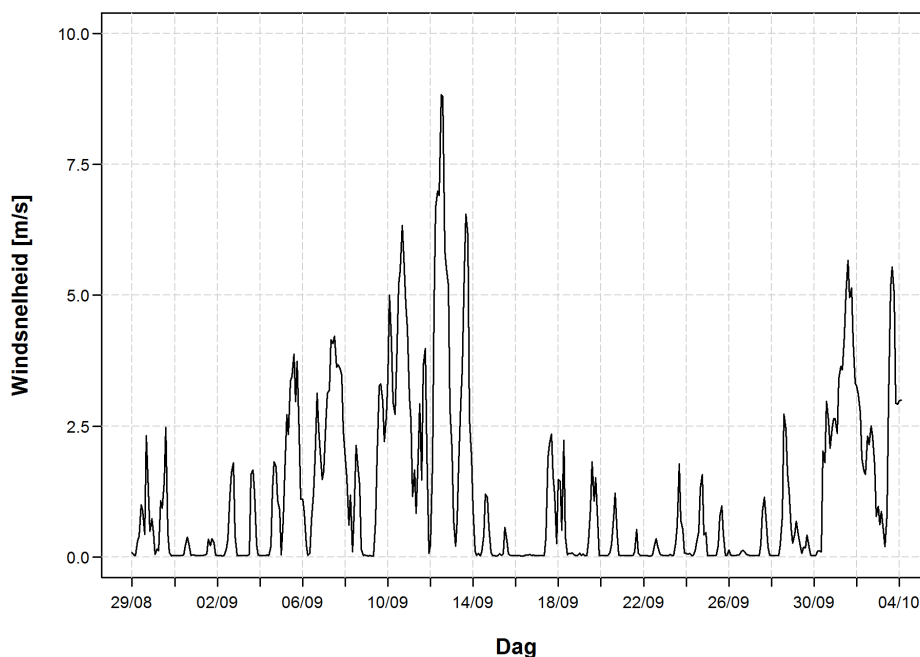
Figuur 8 – Relatie tussen getijverschil en pieksnelheden tijdens eb op laag slik (links) en hoog slik (rechts)



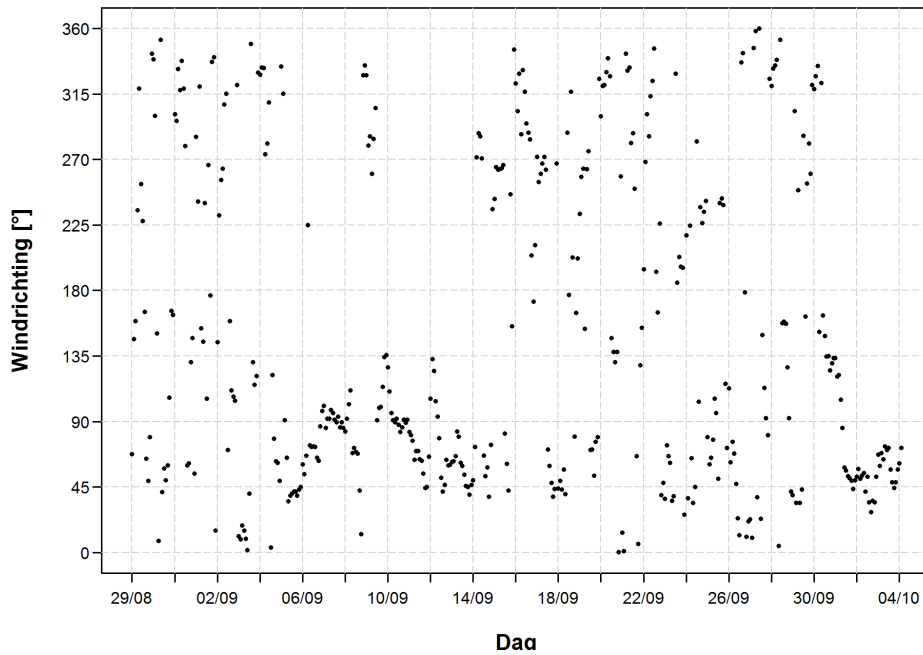
3.3 Windmetingen

De VMM (Vlaamse Milieu Maatschappij) meet de windsnelheid en –richting te Melsele, op een hoogte van 10 m boven de grond. De meetperiode reikt van 30/08/2017 tot 05/10/2017. De variatie van de instantane windsnelheid en richting gedurende de meetperiode is getoond in Figuur 9 en Figuur 10.

Figuur 9 – Verloop van de windsnelheid (gemiddelde per 2 uur) te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)

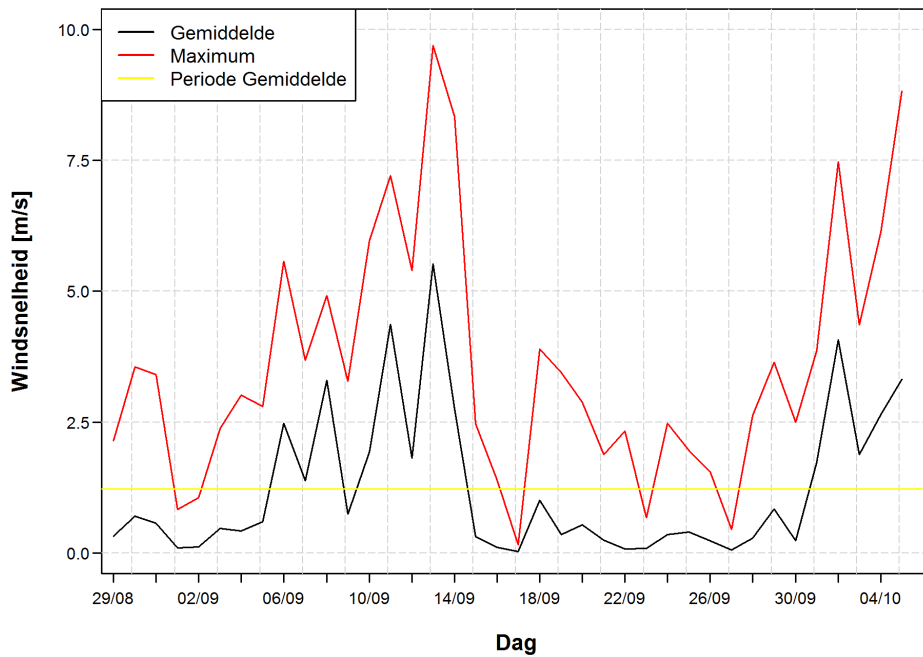


Figuur 10 – Verloop van de windrichting (2 uren gemiddelde) te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)

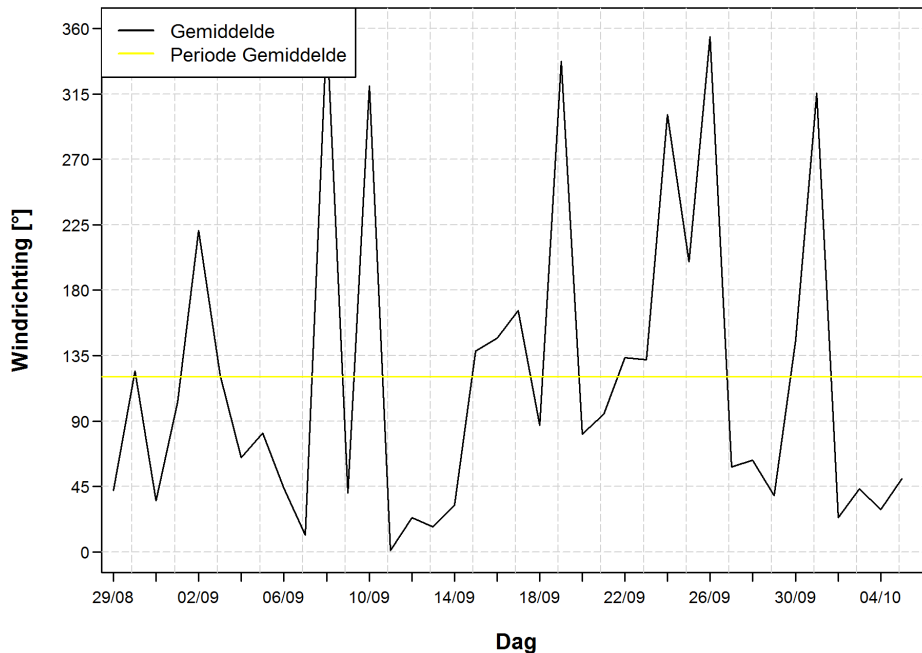


De maximale dagelijkse windsnelheid van 9,7 m/s werd waargenomen op 13/09/2017. De wind kwam toen uit een noord-noordoostelijke richting (~20°). De minimale dagelijkse windsnelheid van 0,03 m/s werd waargenomen op 17/09/2017 (Figuur 11).

Figuur 11 – Verloop van de dagelijks windsnelheid te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)



Figuur 12 – Verloop van de dagelijks windrichting te Melsele, gedurende de meetcampagne (30/08/2017 – 05/10/2017)



3.4 Golfmetingen

De golfdata zijn gebaseerd op hoogfrequente drukmetingen gedurende de meetcampagne. De positie en hoogte van de druksensoren werden opgemeten met een RTK gps, zoals vermeld in sectie 2.2 en weergegeven in Tabel 1. De meetfrequentie is 20 Hz voor beide sensoren.

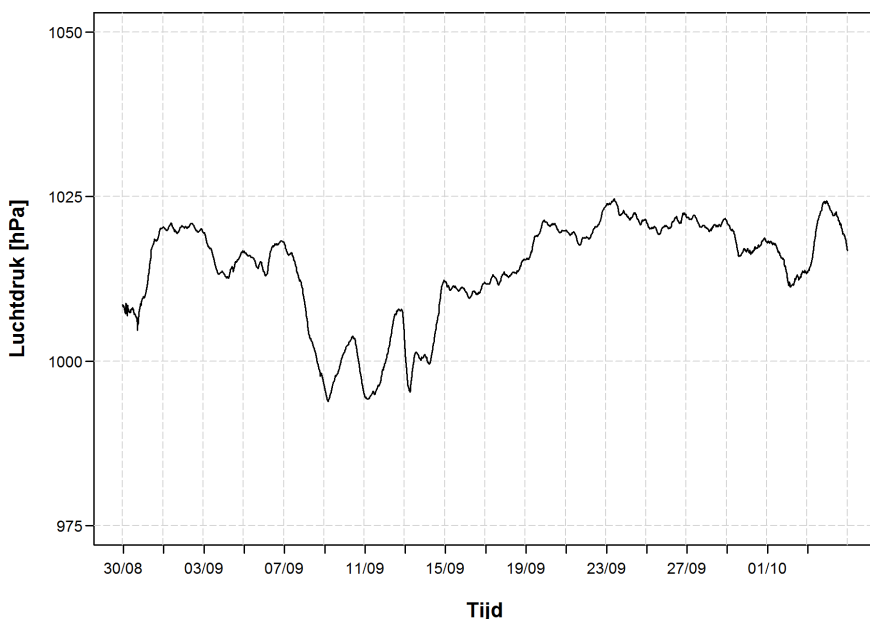
3.4.1 Methodologie voor data verwerking

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, 15_054, 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

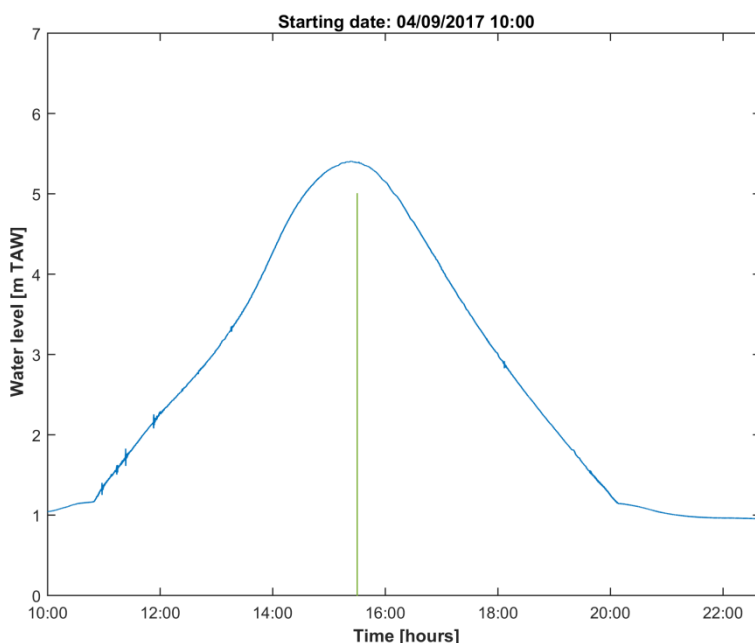
De druksensoren, gebruikt in de meetcampagne, werden gekalibreerd om een nulmeting te geven bij een standaard luchtdruk van 1,01325 bar. Een compensatie wordt bekomen door de variaties op deze standaard luchtdruk af te trekken van de ruwe drukdata: $P_{comp} = P_{ruw} - (P_{atm} - 1,01325)$. Voor de compensatie met behulp van atmosferische druk, werden meetwaarden gebruikt van de VMM te Melsele (Figuur 13). 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 omzettingfactor van bar naar m water) en de verticale positie van het meetinstrument (zie Tabel 1).

Figuur 13 – Verloop van de luchtdruk te Melsele gedurende de meetcampagne

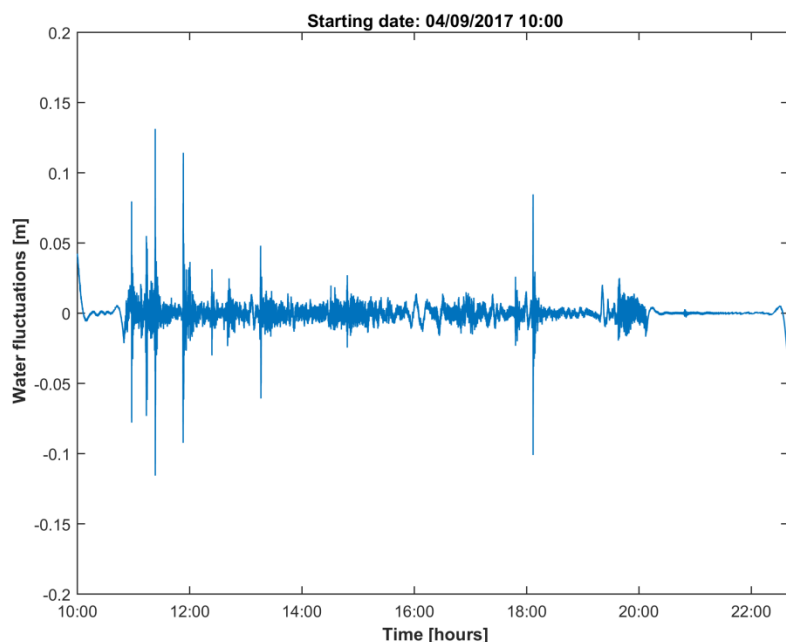


Een typische tijdserie van het waterniveau voor één getijcyclus, relatief t.o.v. het TAW referentieniveau, is weergegeven in Figuur 14. De resulterende reeks waterfluctuaties, zoals weergegeven in Figuur 15, wordt hieruit afgeleid door rekening te houden met de drukattenuatie met de diepte en verwijderen 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 14 – Verloop van de waterhoogte (en fluctuaties) opgemeten met de hoogfrequente druksensoren voor één getijcyclus



Figuur 15 – 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



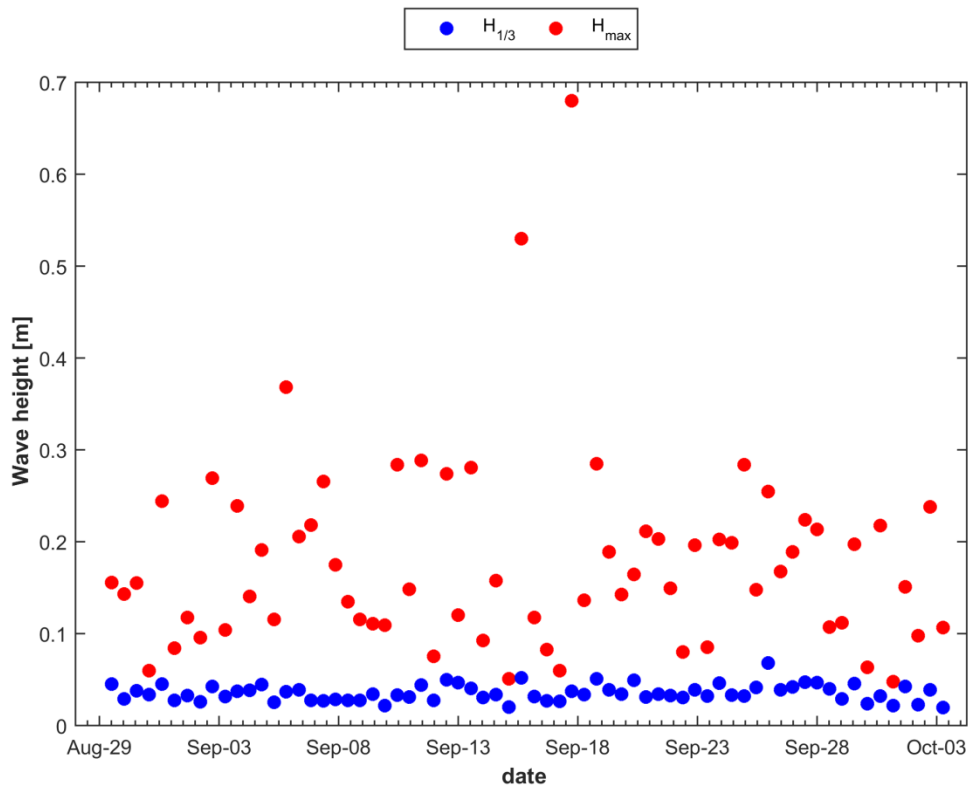
3.4.2 Golfstatistieken

In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de belangrijkste golfkarakteristieken opgemeten gedurende de volledige meetcampagne. Over elk getij, is een een significante en maximale golfhoogte berekend voor de periode dat de sensoren onder water staan. De gemiddelde significante golfhoogte op zowel laag en hoog slik is ca. 0,03 – 0,04 m en vertoont een kleine range gedurende de meetcampagne. Er werden maximale golfhoogtes van respectievelijk 0,68 m en 0,53 op laag en hoog slik opgemeten. De gemiddelde maximale golfhoogte op laag slik is hoger dan deze op hoog slik (0,18 m vs. 0,13m). In Figuur 16 en Figuur 17 is eveneens het verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) weergegeven gedurende de meetcampagne voor respectievelijk laag en hoog slik. Het is duidelijk hier dat de maximale golfhoogte op laag en hoog slik in hetzelfde getij werd opgemeten (op 17 september).

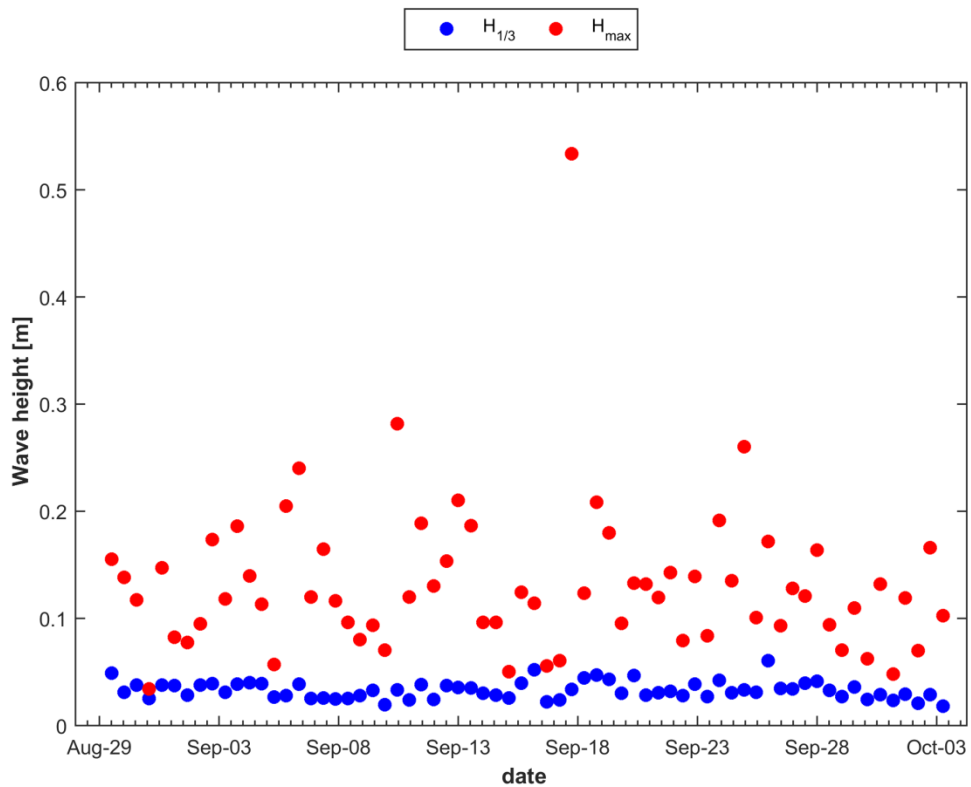
Tabel 5 – Belangrijkste statistieken van de significante ($H_{1/3}$) en maximum (H_{max}) golfhoogte gedurende de meetcampagne.

	Laag slik		Hoog slik	
	$H_{1/3}$ [m]	H_{max} [m]	$H_{1/3}$ [m]	H_{max} [m]
Minimum	0,02	0,05	0,02	0,03
Gemiddelde	0,035 ± 0,009	0,18 ± 0,10	0,033 ± 0,008	0,13 ± 0,07
Maximum	0,07	0,68	0,06	0,53

Figuur 16 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne op laag slik



Figuur 17 – Verloop van de maximale (H_{max}) en significante ($H_{1/3}$) golfhoogte gedurende de meetcampagne op hoog slik



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. 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. 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 Algemene informatie omtrent ECMT-CEMT gegevens

In West Europa is de binnenvaart opgedeeld volgens de CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports) classificatie, een classificatie ingesteld in 1992, om de dimensies van kanalen en rivieren te harmoniseren (ECMT-CEMT, 1992). De originele classificatie werd gebruikt als referentie in dit project. De gebruikte waarden voor de classificatie van de schepen in ECMT klassen zijn weergegeven in Tabel 6.

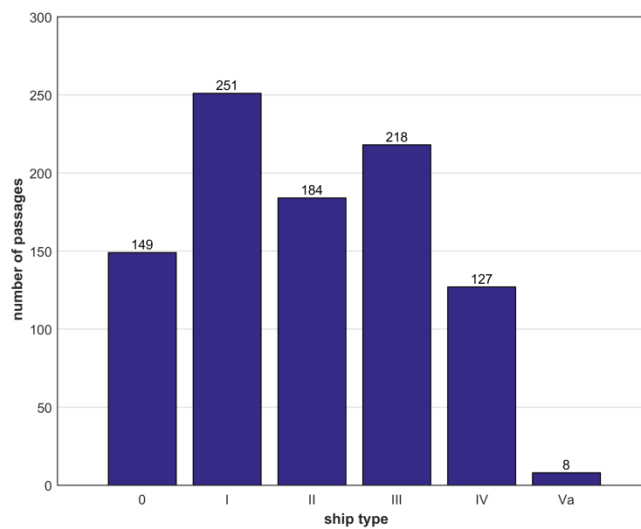
Tabel 6 – Definities voor verschillende ECMT scheepsklassen

Klasse	Lengte
ECMT 0	≤ 35 m
ECMT I	$35 \text{ m} < L \leq 48$ m
ECMT II	$48 \text{ m} < L \leq 60$ m
ECMT III	$60 \text{ m} < L \leq 80$ m
ECMT IV	$80 \text{ m} < L \leq 90$ m
ECMT Va	$90 \text{ m} < L \leq 105$ m

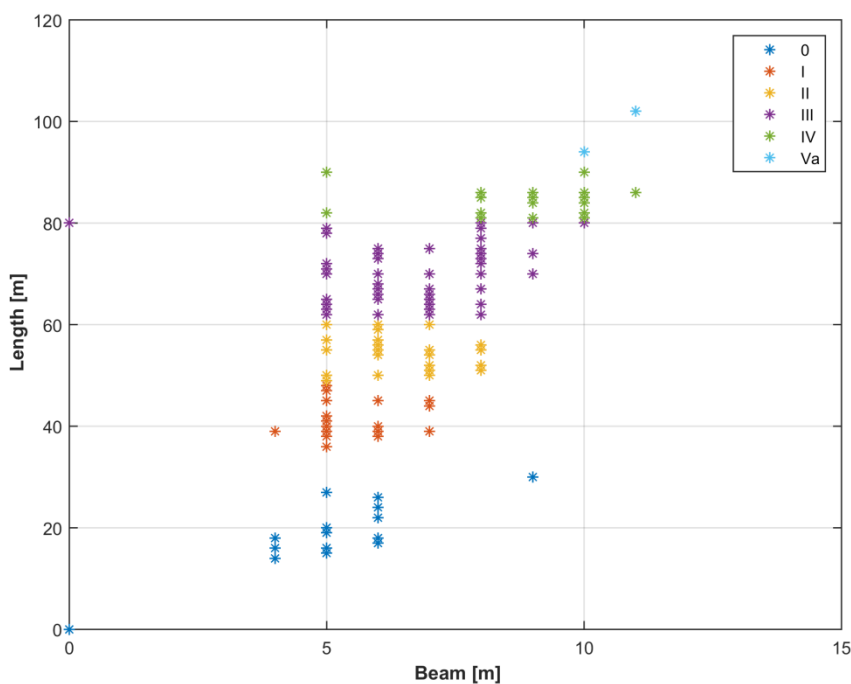
4.3 AIS data analyse

In Figuur 18 is een overzicht weergegeven van de scheepspassages, opgedeeld in de verschillende ECMT klassen, zoals weergegeven in sectie 4.2. In totaal werden met behulp van het AIS systeem 937 scheepspassages geregistreerd over de volledige meetperiode, tussen 30/08/2017 en 5/10/2017. De grootste groep schepen zijn klasse I schepen (ongeveer 25%). Een overzicht van de verdeling van de lengte en breedte van de schepen die passeren aan de Notelaer, en hun respectievelijke indeling in ECMT klasse bepaald volgens Tabel 6 (zie sectie 4.2), is weergegeven in Figuur 19.

Figuur 18 – Overzicht van de scheepspassages per ECMT klasse over de volledige meetperiode

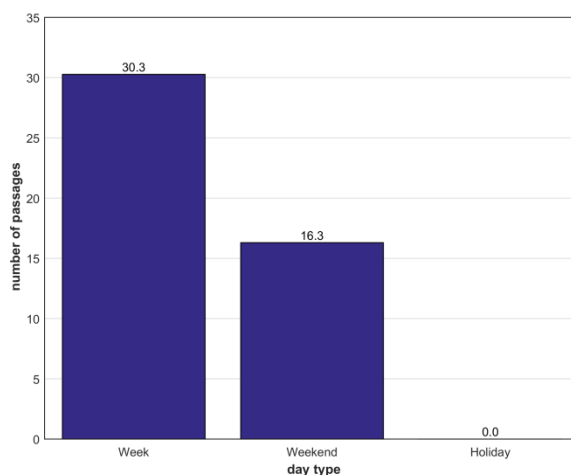


Figuur 19 – Verdeling van de lengte en breedte van de schepen, per ECMT categorie. Voor enkele schepen is geen breedte en/of lengte beschikbaar in de database

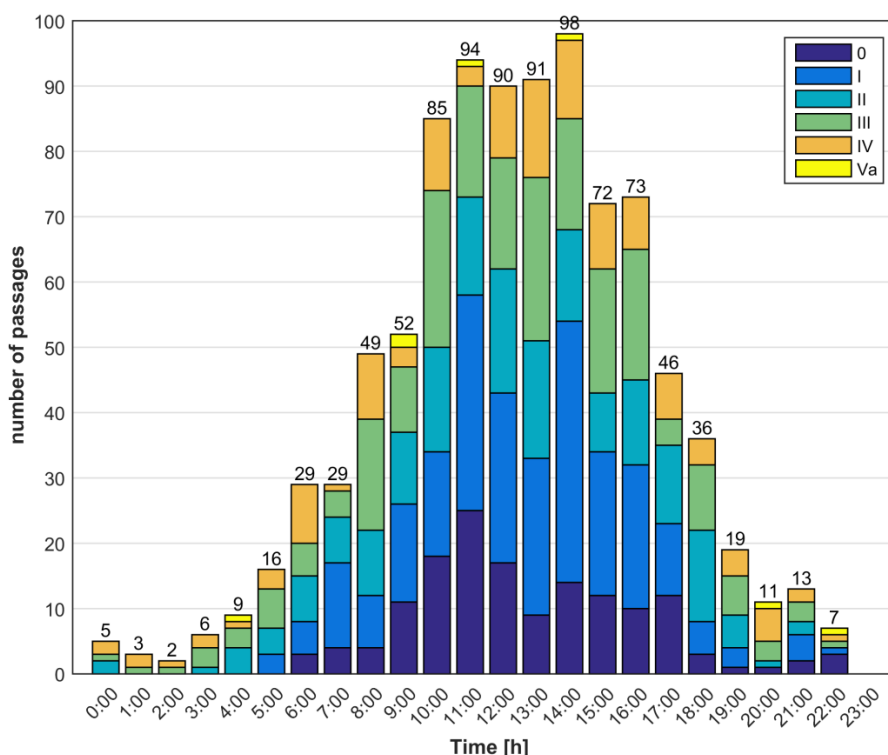


Indien we kijken naar het type dag waarop schepen passeren, kan uit Figuur 20 afgeleid worden dat het aantal schepen dat passeert op een gewone weekdag (gemiddeld 30,3 schepen/dag) duidelijk groter is dan het aantal schepen passerende op een dag in het weekend (gemiddeld 16,3 schepen/dag). Gedurende de meetperiode vielen geen officiële feestdagen. Wanneer men kijkt naar het moment van passage in de dag (Figuur 21), is het duidelijk dat het grootste gedeelte van de scheepsbewegingen overdag plaatsvinden. 85% van de scheeps passages vinden plaats tussen 8 u en 20 u, met een maximum tussen 11 u en 15u.

Figuur 20 – Gemiddeld aantal scheeps passage per dag, in de (werk)week en in het weekend.



Figuur 21 – Verdeling van de scheeps passages over een dag, op basis van alle meetdagen.



Aangezien de AIS geen volledig beeld geeft van de scheeps passages in de beschouwde regio, werden voor bepaalde periodes ook foto's genomen, om een vollediger beeld te verkrijgen van passages. De beschouwde periodes zijn weergegeven in Tabel 2.

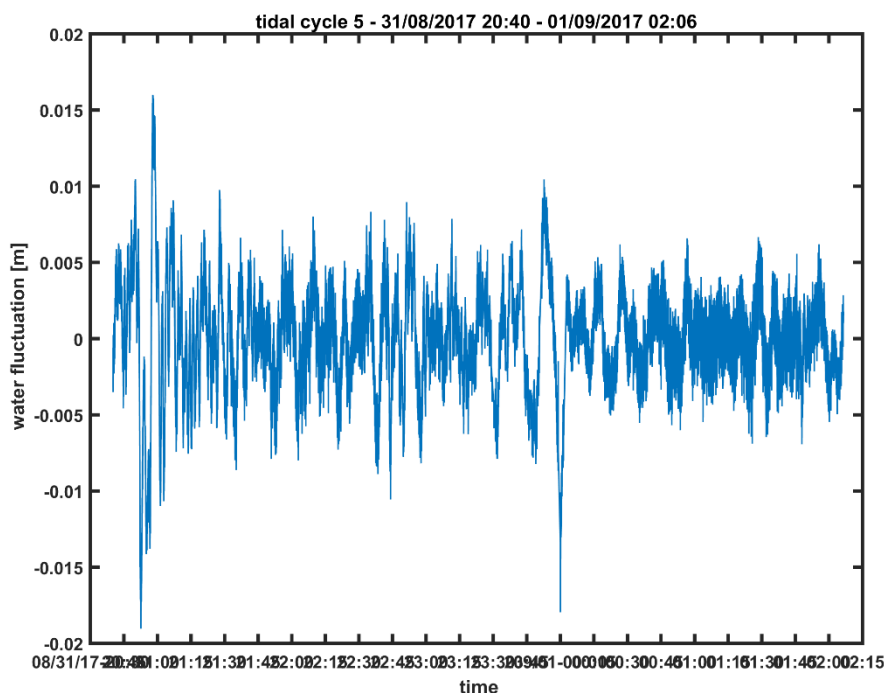
5 Analyse van scheepsgolven

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 slikken en schorren aan de Notelaer. 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.

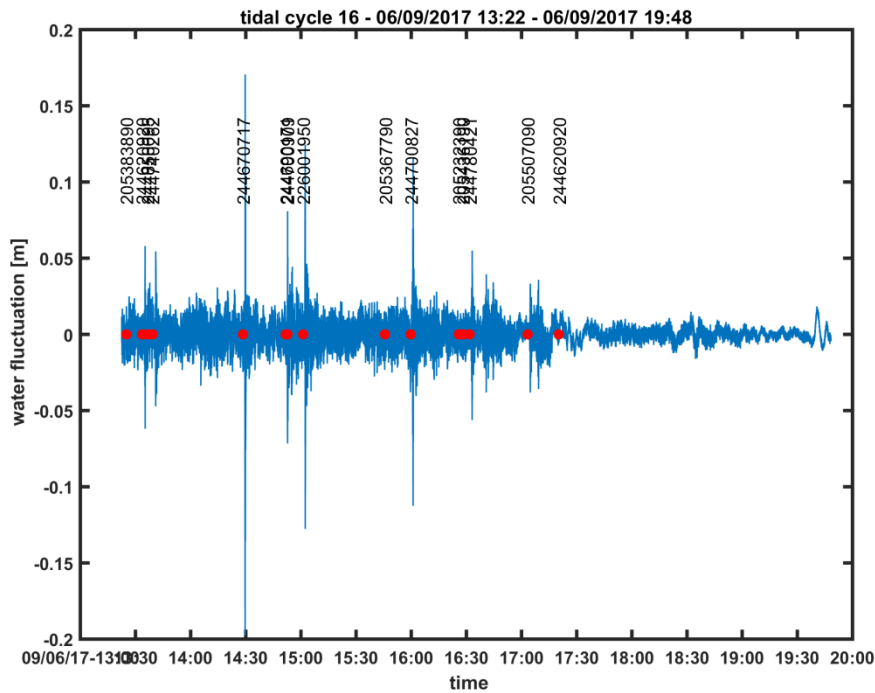
5.1 Scheepsgolfanalyse in functie van tijd en getijcyclus

In Figuur 22 worden de waterfluctuaties voorgesteld voor een bepaald getij (tij 5). Op deze grafiek kunnen geen rode bollen worden waargenomen, wat erop duidt dat geen scheepspassages werden waargenomen (met AIS) gedurende de periode. Het getij loopt hier van het laagwater om 20u40 (31/08) tot 02u06 (1/09) en bevindt zich dus gedurende de nachtelijke uren, een tijdstip waarop minder scheepvaart wordt verwacht (zie Figuur 21). Ook de waargenomen variatie in de waterfluctuaties is heel beperkt gedurende dit getij, met maximale golfhoogtes van ca. 0,02 – 0.03 m. In Figuur 23 is een gelijkaardige figuur weergegeven, maar nu voor een getij dat gelegen is binnen de daguren (6/09 tussen 13u20 en 19u50). Het is duidelijk dat hier wel een aantal scheepspassages worden geregistreerd, en ook de geassocieerde golven zijn duidelijk te zien op de figuur. De maximale golfhoogtes hier zijn ca. 0,35 m.

Figuur 22 – Waterfluctuaties gedurende 1 getijde, samen met de scheepspassages waargenomen met AIS (rode bol)

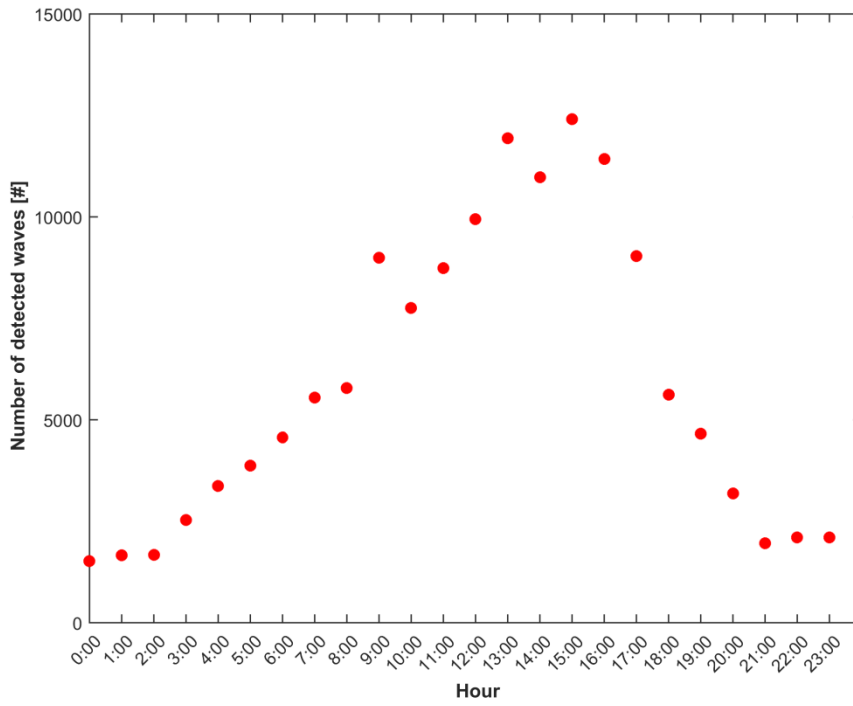


Figuur 23 – Waterfluctuaties gedurende een getijde, samen met de scheeps passages waargenomen met AIS (rode bol)

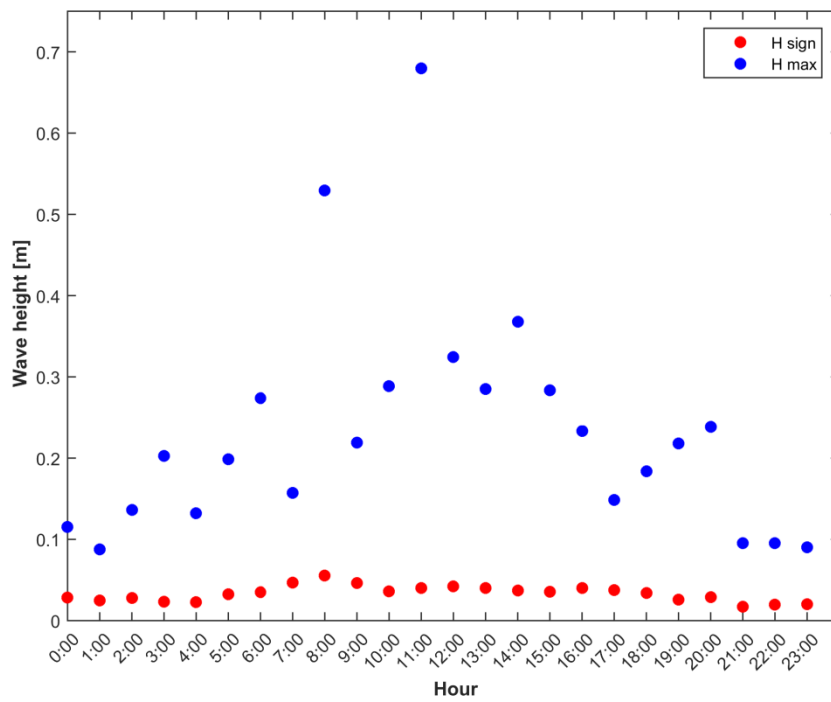


In Figuur 24 en Figuur 25 zijn de resultaten weergegeven van een analyse waar niet gefocust wordt op één tij. In Figuur 24 is het totale aantal opgemeten golven weergegeven over alle getijden, gegroepeerd per uur in de dag. Een waterfluctuatie wordt als golf geregistreerd wanneer een hoogte van > 0,01 m geregistreerd wordt. Het is duidelijk in Figuur 24 dat het grootste aantal geregistreerde golven gedurende de dag wordt waargenomen, met een piek tussen 13u en 16u. Het verloop van de curve is zeer gelijkaardig aan het voorkomen van de schepen, zoals opgemeten met AIS (zie Figuur 21). In Figuur 25 is de significante en maximale golfhoogte berekend, op basis van alle data, gegroepeerd per uur. Voor de significante golfhoogte kan geen duidelijk patroon worden onderscheiden. Ook voor de maximale golfhoogte kan geen duidelijk patroon worden onderscheiden, maar de grootste golven lijken wel overdag te worden waargenomen.

Figuur 24 – Totaal aantal golven, gemeten over alle getijden gedurende de meetperiode, gegroepeerd per uur

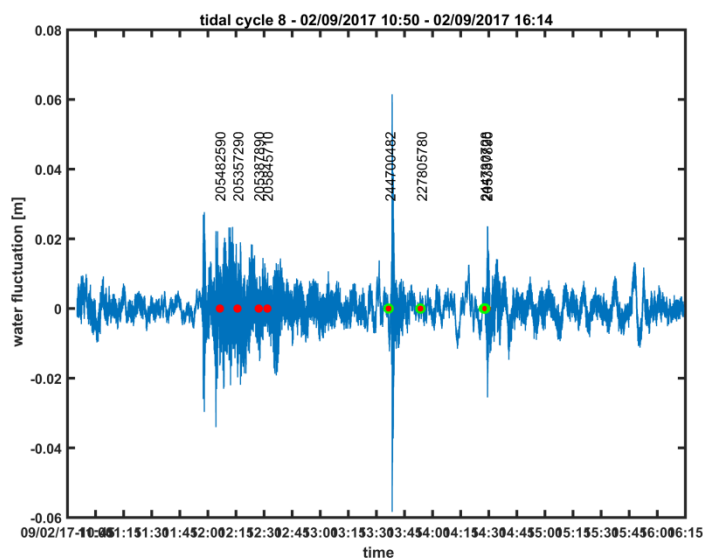


Figuur 25 – Significante en maximale golfhoogte voor alle getijden, berekend per uur in de dag

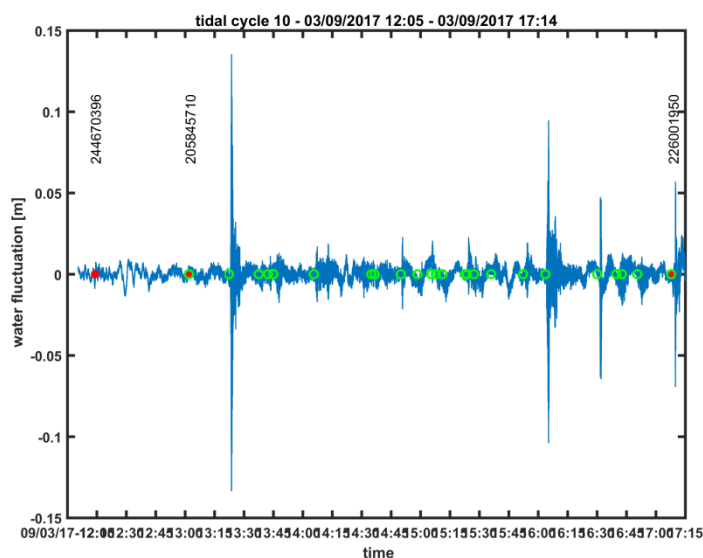


Wanneer we ook de informatie van de scheepsbewegingen genomen met de camera bekijken, kan extra informatie verkregen worden. In Figuur 26 duiden de rode bollen de passages aan van schepen die geregistreerd werden door de AIS database. De groene cirkels duiden de scheeps passages aan, die werden geregistreerd met de foto's. De eerste AIS passages werden niet geregistreerd door de foto's, aangezien deze slechts vanaf 14 u genomen werden, maar alle andere AIS registraties werden bevestigd.

Figuur 26 – Waterfluctuaties gedurende een getij (getijcyclus 24), met scheeps passages geregistreerd met AIS (rode bol) en waargenomen met de fotocamera (groene cirkels).



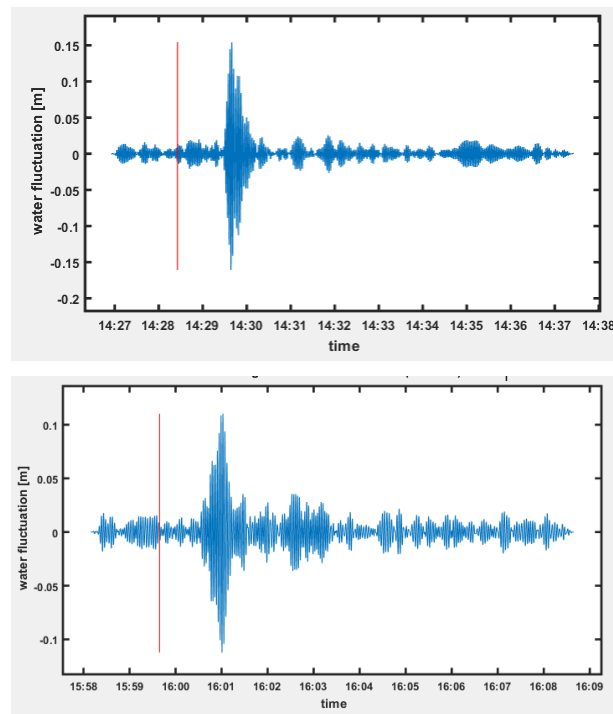
Figuur 27 – Waterfluctuaties gedurende een getij (getijcyclus 10), met scheeps passages geregistreerd met AIS (rode bol) en waargenomen met de fotocamera (groene cirkels).



Wanneer we echter een andere getijcyclus bekijken, zoals in Figuur 27, zijn slechts 3 AIS passges geobserveerd. Met de camera werden 22 passages geobserveerd, waarvan een aantal met een duidelijke geassocieerde golfpatroon. De beschouwde dag in Figuur 27 is 3 september, een zondag. De passages die niet door AIS werden geregistreerd zijn voornamelijk kleine motorboten.

In Figuur 28 is gefocust op 2 scheepspassages die te zien zijn in Figuur 23 voor getij 16, meer bepaald de passage rond 14:30 en 16:00. Hier zijn de resultaten weergegeven van een band pass filter (frequenties tussen 0,1 en 0,05 Hz zijn weerhouden) weergegeven, aangezien geen duidelijke signalen van een primaire scheepsgolf te zien zijn in het volledige signaal.

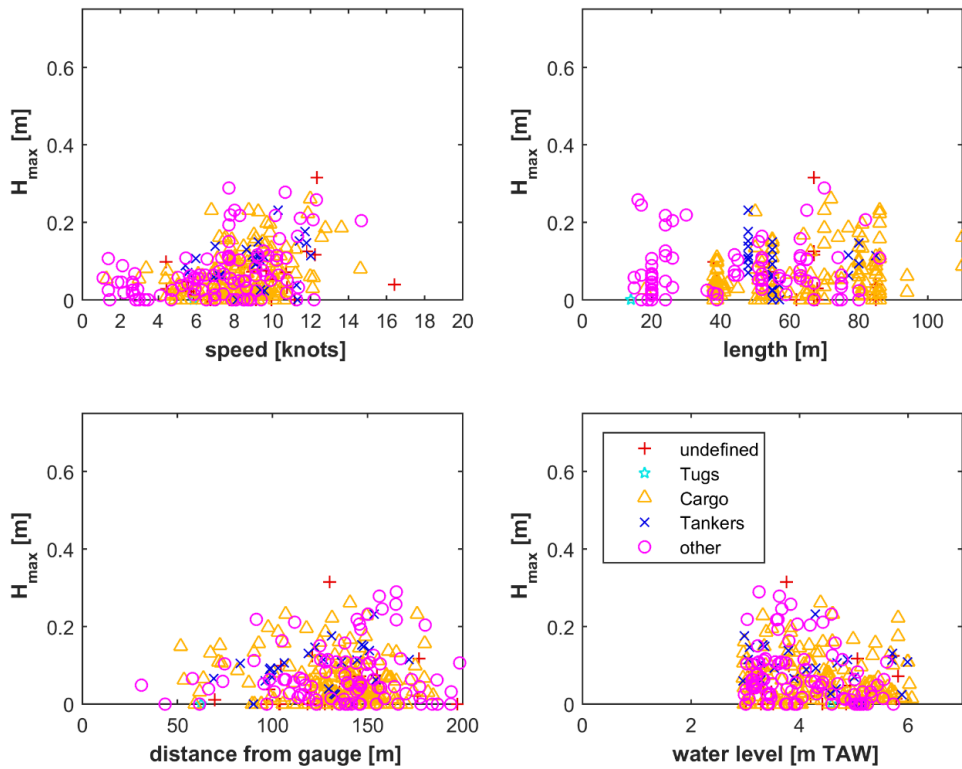
Figuur 28 – Focus op 2 scheepspassages uit getij 16, weergegeven in Figuur 23



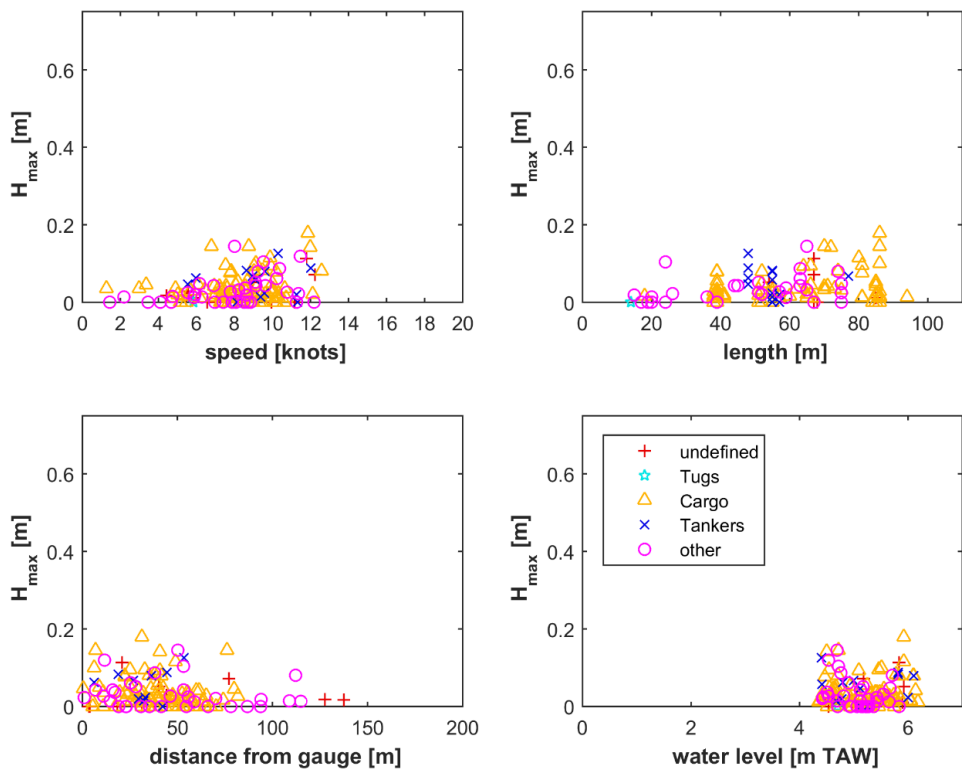
5.2 Analyse van scheepsgolven in functie van scheepstype

In Figuur 29 en Figuur 30 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, voor respectievelijk laag en hoog slik. Wanneer schepen passeren binnen 10 minuten van elkaar, worden de scheepsgolven niet weerhouden in Figuur 29 en Figuur 30, aangezien het onduidelijk is aan welk schip de geregistreerde golf moet gerelateerd worden. De maximale golfhoogte in Figuur 29 is ca. 0,3 m (op laag slik) en ca. 0,2 m (op hoog slik). 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. Er werden visueel geen primaire golfpatronen herkend in de data en bijgevolg geen analyse gedaan op deze parameter.

Figuur 29 – 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, op laag slik



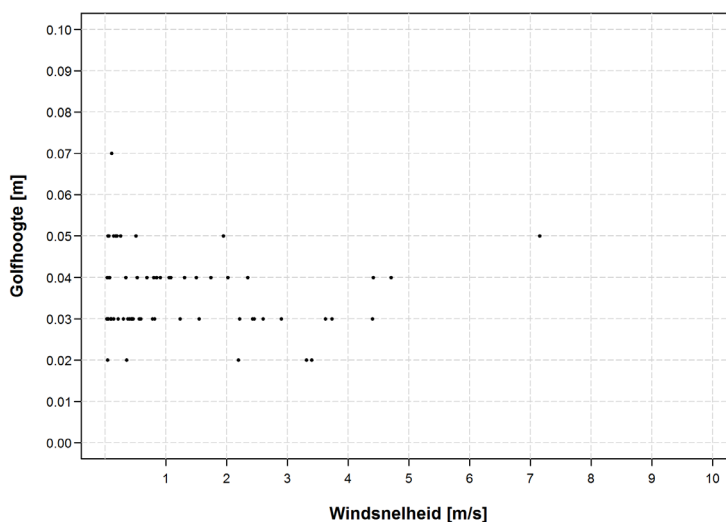
Figuur 30 – Relatie tussen maximale secundaire scheepsgolven en de snelheid van het schip, de lengte van het schip, de afstand van het schip tot de meetpositie en het waterniveau, op hoog slik



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. Aangezien, zoals aangetoond in sectie 5.1, niet alle scheepspassages worden geregistreerd met het AIS systeem, wordt ervoor geopteerd om de significante golfhoogte berekend over een volledig getij te koppelen met de gemiddelde windsnelheid gedurende dat getij. Er worden dus geen individuele windevents, periodes zonder scheepspassages, geanalyseerd. De relatie is weergegeven in Figuur 31, waaruit duidelijk blijkt dat geen duidelijk verband kan worden opgemeten. Het is duidelijk uit de figuur dat de golfhoogtes afgerond zijn op centimeter nauwkeurigheid. Het dient ook vermeld dat de variatie in significante golfhoogte zowieso heel beperkt is.

Figuur 31 – Gemiddelde windsnelheid per getij vs. significante golfhoogte per getij.



7 Conclusies

In dit rapport worden de golfmetingen nabij Rupelmonde geanalyseerd. De metingen zijn uitgevoerd bij de Notelaer, een jachtpaviljoen gelegen aan de rechteroever van de Schelde, tussen Rupelmonde en Temse. De meetcampagne duurde bijna 6 weken, van 30/08/2017 tot 5/10/2017.

Een significante golfhoogte van gemiddeld 3 à 4 cm werd geregistreerd, zowel op hoog als laag slik, met een zeer kleine range, tussen 2 tot 6 cm. De maximale golfhoogtes zijn gemiddeld iets hoger op laag slik vergeleken met het hoger slik. Maximale waarden van ca. 65 cm en 55 cm werden opgemeten, respectievelijk op laag en hoog slik. Dit is duidelijk hoger dan de waarden opgemeten te Dendermonde (ca. 45 cm), maar ook merkkelijk kleiner dan de waarden geregistreerd nabij Saefthinghe, met golfhoogtes > 1 m.

Op basis van de scheepspassages bepaald op basis van de AIS database, worden ongeveer 30 scheepspassages geregistreerd op een gewone weekdag en ca. 16 op een dag in de weekend. Eveneens is het duidelijk dat de meeste scheepspassages worden geregistreerd gedurende de (werk)dag, met 85% van de passages tussen 8 en 20u. Een gelijkaardige bevinding werd waargenomen te Appels (Dendermonde). Wanneer we de AIS database vergelijken met de foto's, is het duidelijk dat in de eerste voornamelijk pleziervaart onderschat wordt. Schepen die niet geregistreerd worden met de AIS data, kunnen wel aanleiding geven tot duidelijke scheepsgeïnduceerde golven.

Er kan geen duidelijk relatie worden gevonden tussen de significante golfhoogte per getij en de gemeten windsnelheid. Gedurende de beschouwde periode was de maximale dagelijkse windsnelheid ca. 5 m/s. In het algemeen werd zowieso weinig variatie onderscheiden in de significante golfhoogte over de meetperiode. Het is duidelijk dat de scheepspassages de golfbelasting op intergetijdegebied beïnvloeden. Desondanks kan er geen duidelijk verband waargenomen tussen de scheepskarakteristieken en de geïnduceerde golven, voor geïsoleerde scheepsevents.

8 Referenties

ECMT-CEMT. (1992). RESOLUTION No. 92/2 ON NEW CLASSIFICATION OF INLAND WATERWAYS [CEMT/CM(92)6/FINAL]. ISBN 9282106748. pp.5. Available at: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/wat19922e.pdf>

Kolokythas, G.; Meire, D.; De Roo, S.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017a). Wave measurements at Galgeschoor Sub report 1 – Analysis of velocities and waves during an intensive measuring campaign: Antwerp, Belgium

Meire, D.; Kolokythas, G.; Smolders, S.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017b) Agenda voor de Toekomst – Waves in the estuary: Analysis of wave measurements at Saeftinghe. Version 4.0. FHR report, 14_082_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Meire, D.; Levy, Y.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2017) Agenda voor de Toekomst – Waves in the estuary: Analysis of wave measurements at Dendermonde. Version 4.0. FHR report, 14_082_2. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.

Vanlierde, E.; Michielsen, S.; Vereycken, K.; Hertoghs, R.; Meire, D.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Tienjarig overzicht van de tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken: Decennium 2001-2010. Versie 5.0.WL Rapporten, 12_071. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

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