



Vlaanderen
is wetenschap

Sensor1 QuayTK0215

Sensor2 Schependijk

Sensor3 Martens

18_081_1
WL rapporten

Zijkanaal A (Terneuzen)

Golfslagmetingen en relatie tot scheepvaart

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Zijkanaal A (Terneuzen)

Golfslagmetingen en relatie tot scheepvaart

Verwilligen, J.; Eloot, K.; 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 2019
D/2019/3241/045

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2019). Zijkanaal A (Terneuzen): Golfslagmetingen en relatie tot scheepvaart. Versie 3.0. WL Rapporten, 18_081_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	afdeling Maritieme Toegang, Kernteam NST	Ref.:	WL2019R18_081_1
Keywords (3-5):	Golfslag, Scheepvaart, AIS, druksensoren, Scheepsgolven, Terneuzen		
Tekst (p.):	45	Bijlagen (p.):	10
Vertrouwelijk	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2025
		Uitzondering:	☒ Vlaamse overheid

Auteur(s):	Jeroen Verwilligen
------------	--------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Katrien Eloot	Getekend door: Katrien Eloot (Signature) Getekend op: 2019-04-19 08:58:33 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Katrien Eloot</i>
Projectleider:	Jeroen Verwilligen	Getekend door: Jeroen Verwilligen (Signature) Getekend op: 2019-04-23 08:22:41 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Verwilligen</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-04-23 12:20:03 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	--



Abstract

Ter beoordeling van de scheepsgolven ter hoogte van de Beneluxweg te Terneuzen, werden in de periode 20/07/2018 tot 21/08/2018 op drie locaties waterstandsschommelingen opgemeten door middel van druksensoren ingesteld met meetfrequentie 10 Hz. Het betreft een nulmeting van de optredende waterstandsschommelingen voor de start van de werken (of aanpassingen aan de vaarwegcontour) uitgevoerd in het kader van project Nieuwe Sluis Terneuzen (NST) aan de Kanaalzijde van de sluizen.

Het voorliggende rapport bevat een beschrijving van de opgemeten waterstandsschommelingen waarbij de belangrijkste golven gerelateerd werden aan het scheepvaartverkeer (op basis van AIS) op verschillende vaarroutes. De resultaten bieden inzicht in de maatgevende scheepvaart voor belangrijke waterstandsschommelingen langs de Beneluxweg.

Kennisdomein: Golfopwekking door schepen > Invloed op oevers en bodem > Natuurmetingen

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Kaai TK0215	1
1.2 Impact project NST op kaaien langs Beneluxweg.....	3
1.3 Opdracht WL.....	4
2 Meetcampagne druksensoren.....	5
2.1 Meting druksensoren	5
2.2 Analyse druksensoren	6
2.2.1 Synchronisatie naar UTC.....	6
2.2.2 Aanpassingen drukmeting aan atmosferische druk	7
2.2.3 Berekening hydrostatische waterkolom boven de druksensoren.....	7
2.2.4 Bepaling diepte van de druksensoren ten opzichte van Kanaalpeil (KP)	7
2.2.5 Berekening van waterspiegelschommelingen.....	8
2.2.6 Resultaten waterstandsschommelingen	10
2.2.7 Frequentiefiltering.....	11
2.3 Resultaten waterstandsschommelingen	14
3 Analyse AIS-gegevens	15
3.1 AIS.....	15
3.2 Analyse AIS	15
3.2.1 Scheeps- en trajectinformatie	15
3.2.2 Filtering trajectinformatie	15
3.2.3 Genereren KMZ-bestanden	16
3.2.4 Berekenen van passagetijden.....	16
3.3 Resultaten AIS.....	18
3.3.1 Passages Voorhaven Westsluis.....	18
3.3.2 Passages S3 Martens	18
3.3.3 Passages Toegangskanaal Midden- en Oostsluis.....	18
3.3.4 Passages S2 Schependijk	19

4	Relatie waterstandsschommelingen en scheepvaartverkeer	21
4.1	Scheepsgolven	21
4.1.1	Primair golfsysteem	21
4.1.2	Secundaire golfsysteem.....	22
4.1.3	Scheepsgolven	23
4.1.4	Scheepsgolven aan oever	24
4.2	KMZ-bestanden van scheepvaart en golven	25
4.3	Onderzoek van belangrijkste waterstandsschommelingen	26
4.3.1	Selecteren belangrijke golftrein	26
4.3.2	Gedetailleerde KMZ per belangrijke golftrein	27
4.3.3	Selecteren van passages bij belangrijke golftrein	28
4.4	Relatie scheepvaart en golftrein.....	29
4.4.1	Sensor 3	30
4.4.2	Sensor 2	34
5	Samenvatting.....	42
6	Aanbevelingen	44
7	Referenties	45
Bijlage 1	KMZ-bestanden	A1
	KMZ-weergave waterstandsschommelingen en scheepvaartverkeer per 6h.....	A1
	Sensor 1	A1
	Sensor 2	A3
	Sensor 3	A5
	KMZ-weergave 20 minuten rond belangrijke golven	A7
	Sensor 2	A7
	Sensor 3	A8

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 1	6
Tabel 2 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 2	6
Tabel 3 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 3	6
Tabel 4 – Verticale positie druksensoren t.o.v. KP	8
Tabel 5 – Statistische parameters dynamische waterniveaus	10
Tabel 6 – Statistische parameters hoogfrequente waterstandschommelingen	14
Tabel 7 – Aantal geregistreerde passages per passagelijijn	17
Tabel 8 – Minimale waterstandsschommeling voor definitie van belangrijke golf	27
Tabel 9 – Passagelijnen waarvoor scheepspassages gezocht werden voor belangrijke golftreinen geïdentificeerd voor sensor 2	29
Tabel 10 – Passagelijnen waarvoor scheepspassages gezocht werden voor belangrijke golftreinen geïdentificeerd voor sensor 3	29
Tabel 11 – Aantal passages automatisch toegeschreven aan een belangrijke golftrein	29
Tabel 12 – Passages van zeeschepen naar Westsluis die de mogelijke oorzaak waren van een golfregistratie te sensor 3	34

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Locatie kaai TK0215 te Zijkanaal A	2
Figuur 2 – Dwarsdoorsnede kade TK0215 zijkanaal A.....	2
Figuur 3 – Foto's onderzijde dek kade TK0215.....	2
Figuur 4 – Projectgebied Terneuzen.....	4
Figuur 5 – Positie van de druk sensoren uitgezet in studiegebied	5
Figuur 6 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 1 en te Sluiskil (RWS)	8
Figuur 7 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 2 en te Sluiskil (RWS)	8
Figuur 8 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 3 en te Sluiskil (RWS)	8
Figuur 9 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 1	11
Figuur 10 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 2	11
Figuur 11 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 3	11
Figuur 12 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 1	12
Figuur 13 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 2	12
Figuur 14 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 3	12
Figuur 15 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 1	13
Figuur 16 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 2	13
Figuur 17 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 3	13
Figuur 18 – Weergave geografische filter voor AIS-gegevens inclusief KMZ-export voor 20/07/2018 0h00 tot 06h00 (UTC)	16
Figuur 19 – Passagelijnen gedefinieerd in projectgebied.....	17
Figuur 20 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijijn VoorhavenWestsluis	19
Figuur 21 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijijn S3_Martens	19
Figuur 22 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijijn ToegangskanaalMiddenEnOost.....	20
Figuur 23 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijijn S2_Schependijk	20
Figuur 24 – Primair (Bernouilli) golfpatroon rond varend lichaam [9]	21
Figuur 25 – Kelvin golfpatroon voor secundaire golven [9]	22
Figuur 26 – Golfpatroon opgewekt door een varend schip [9]	23
Figuur 27 – Subkritische scheepsgolven waargenomen langs een oever [10].....	24
Figuur 28 – Hoogfrequente waterstandsschommelingen (dynamisch en hydrostatische resultaten) voor passage binnenvaartschip	25

Figuur 29 – Voorbeeld van KMZ-weergave voor 20/07/2018 00h00 tot 06h00 met presentatie scheepvaart en tijdsindicator om 05h20	26
Figuur 30 – Gedetailleerde KMZ-weergave van de eerste belangrijke golftrein opgemeten aan S3	27
Figuur 31 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid sleepboot naar Westsluis	30
Figuur 32 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid van de passerende scheepvaart	32
Figuur 33 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan het Froudegetal in diep water van de passerende scheepvaart.....	33
Figuur 34 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan het Froudegetal in diep water van de passerende scheepvaart.....	33
Figuur 35 – Vaarsnelheden in zijkanaal A voor schip dat grootste golven genereerde aan sensor 2.....	35
Figuur 36 – Passage schip (blauw) bij snelheid 7.2 kn op 20/07 en waterstanden te sensor 2. Weergave positie om 14h21 en 14h22.....	36
Figuur 37 – Passage schip (blauw) bij snelheid 6.9 kn op 06/08 en waterstanden te sensor 2. Weergave positie om 11h18 en 11h19.....	36
Figuur 38 – Golf 13 te sensor 3 en golf 5 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te <i>VoorhavenWestsluis</i>	37
Figuur 39 – Golf 14 te sensor 3 en golf 7 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te <i>VoorhavenWestsluis</i>	38
Figuur 40 – Golf 91 te sensor 3 en golf 71 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te <i>VoorhavenWestsluis</i>	38
Figuur 41 – Maximale golfhoogte te sensor 2 gerelateerd aan vaarsnelheid van de scheepvaart van en naar de Midden- en Oostsluis.....	39
Figuur 42 – Impact van binnenschip op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 20) en sensor 3 (golf 29)	40
Figuur 43 – Impact van sleepboot op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 35) en sensor 3 (golf 41)	40
Figuur 44 – Impact van binnenschip op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 108) en sensor 3 (geen golf).....	41

1 Inleiding

Door het kernteam Nieuwe Sluis Terneuzen dient, naar aanleiding van ingediende zienswijzen door de havenbedrijven, onder meer onderzocht te worden op welke wijze de golfslag in het Zijkanaal A te Terneuzen beïnvloed zal worden door de aanpassingen aan de kanaalzijde van het project NST.

In dit verband legde afdeling Maritieme Toegang (aMT) bij het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) de opdracht neer om een nulmeting uit te voeren van de huidige golfslag ter hoogte van de meest kwetsbare kaaimuren langsheen de Beneluxweg. Bijkomend dient de golfslag gerelateerd te worden aan de passerende vaart in het zijkanaal, van en naar de Oostsluis, van en naar de Middensluis en van en naar de Westsluis. Op deze manier kan de maatgevende scheepvaart geïdentificeerd worden voor de golfslag in het Zijkanaal A te Terneuzen.

Rekening houdend met de planning van het project NST, was het aangewezen om de metingen uit te voeren in de periode juli – augustus 2018.

1.1 Kaai TK0215

De meest kritische kaai aan de Beneluxweg betreft kaai TK0215 (zie Figuur 1). Deze kade dateert uit 1924 en heeft een beperkte hoogte (NAP +3.38 m) ten opzichte van het kanaalpeil (NAP +2.13 m). De kade bestaat uit een betonnen dek deels op betonnen palen (zie Figuren 2 en 3). Gezien de lage ligging van de kade bestaat het gevaar dat water afkomstig van golfslag over de kade slaat of dat het kadedek wordt belast door golfslag waardoor het dek loskomt van de palen. Daarnaast wordt door North Sea Port (NSP) aangegeven dat bij hoge waterstanden het dek door de opwaartse kracht van het water omhoog geduwd kan worden. Dit kan scheurvorming in de palen bij de aanhechting van het dek veroorzaken.

1.2 Impact project NST op kaaïen langs Beneluxweg

Het studiegebied wordt weergegeven in Figuur 4. De afgebeelde situatie komt grotendeels overeen met de situatie in juli 2018. Door de bouw van de NST zal de Landtong weergegeven in Figuur 4 volledig verdwijnen. Ook de Schependijk zal (weliswaar over beperkte afstand) ingekort worden.

Bij de start van de opdracht (juni 2018) werd onderstaande planning verondersteld voor de fasering van de werken:

1. Augustus 2018: in gebruik name van tijdelijk doorvaartkanaal Middensluis. Deze aanpassing zal mogelijks een impact hebben op de vaarsnelheden in het projectgebied.
2. September 2018: afgraven Schependijk

Om voor de aanpassingen aan Schependijk en Landtong en de bijhorende wijziging in scheepstrajecten, de impact op de golfslag te TK0215 te beoordelen dient een nulmeting uitgevoerd te worden van de huidige golfslag in relatie tot de huidige trafiek. Bovendien dient de golfslag gerelateerd te worden aan de passerende vaart opdat de maatgevende schepen en scheepstrajecten voor de belasting van kaai TK0215 geïdentificeerd kunnen worden. Na realisatie van het project NST zal de kaai TK0215 nog steeds beschut liggen achter de Schependijk. Meer opwaartse kaaimuren langsheen de Beneluxweg liggen op heden beschut achter de Landtong en zullen na realisatie van NST niet langer beschut zijn. Voor deze kades (weliswaar in betere staat) is de impact van NST op golfslag vermoedelijk belangrijker dan voor TK0215. Bijgevolg zal ook daar een meting van de golfslag voorzien worden.

1.3 Opdracht WL

De opdracht aan WL betrof de uitvoering van een nulmeting van golfslag te kaai TK0215 en een analyse van de relatie van waterstandsvariaties met passerende scheepvaart. Hiertoe dienden de waterstandsmetingen vergeleken te worden met AIS-registraties welke door de Schelde Radar Keten beschikbaar gesteld werden.

Er werd een meetperiode van één maand vooropgesteld (juli-augustus 2018) waarbij op twee locaties ter hoogte van de kaai TK0215 en één locatie meer opwaarts langs de Beneluxweg gemeten zou worden. Belangrijk aandachtspunt betreft de interactie tussen de meetinstrumenten en de afgemeerde binnenvaart langsheen de kade. Een minimale kaaiafstand van 5 m dient vrijgehouden te worden ten opzichte van de meetsensor. Dit impliceert een afmeerverbod over een lengte van 10 m ter hoogte van elk meetlocatie.

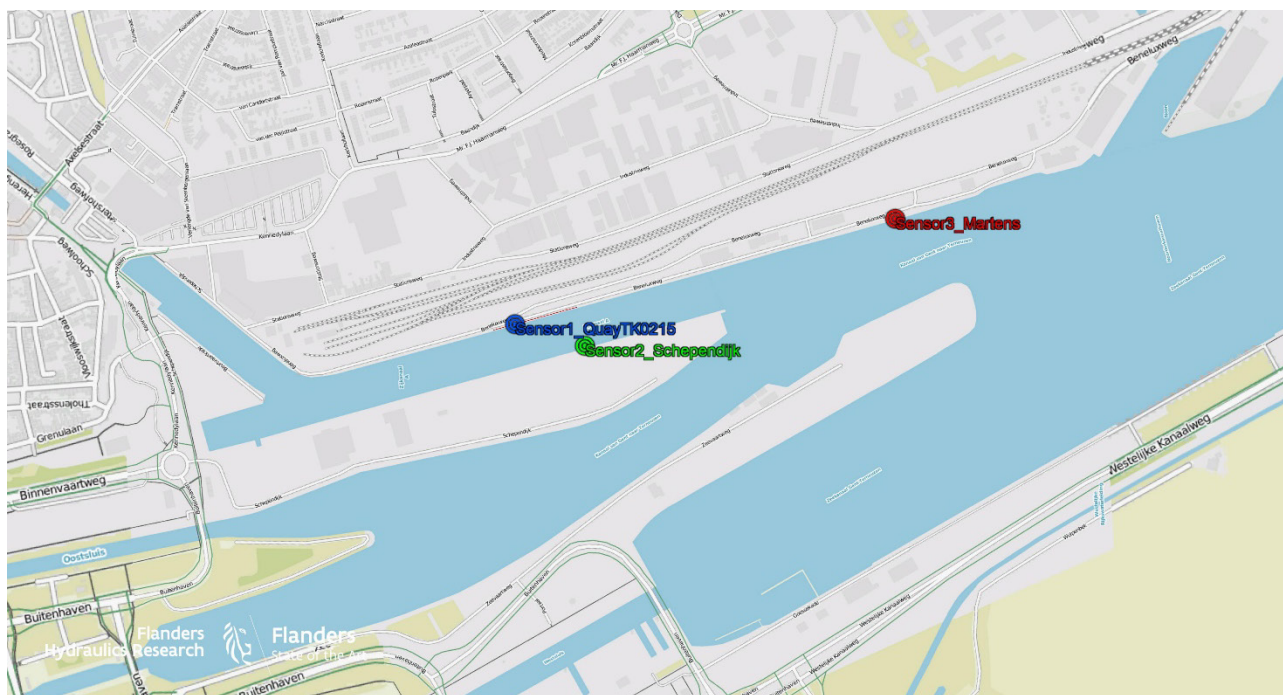
Figuur 4 – Projectgebied Terneuzen.



2 Meetcampagne druksensoren

In het kader van voorliggende opdracht werden door WL drie druksensoren geïnstalleerd in het studiegebied. De positie van de sensoren wordt weergegeven in Figuur 5. De sensoren werden geïnstalleerd op 19/07/2018 en terug gedemobiliseerd op 21/08/2018.

Figuur 5 – Positie van de druk sensoren uitgezet in studiegebied



2.1 Meting druksensoren

De druksensoren werden op voldoende diepte geïnstalleerd opdat deze zich steeds onder het wateroppervlak bevonden. De druksensoren meten de waterdruk met een frequentie van 10 Hz. Door de gepaste dataverwerking kunnen deze drukken gerelateerd worden aan de waterhoogte boven de sensor.

De meetresultaten werden dagelijks in de toestellen opgeslaan. Hierdoor is er dagelijks omstreeks middernacht een onderbreking in de meting gedurende 50 seconden.

De druksensoren worden bij kalibratie gesynchroniseerd met de tijdszone MET (UTC+1) overeenkomstig winteruur. Bij het uitlezen van de data wordt de tijd in de druksensoren opnieuw vergeleken met de werkelijke MET-tijd en wordt de afwijking bijgehouden. Door een lineaire drift op het toestel te veronderstellen, kunnen de tijdsregistraties van de metingen gecorrigeerd worden naar de drift opgemeten tijdens het uitlezen van het toestel. In Tabellen 1 tot 3 worden de tijdsregistraties voor de drie sensoren weergegeven in zowel MET als UTC. Deze laatste is de tijdsreferentie toegepast in dit rapport.

Tabel 1 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 1

Time [MET]	Time [UTC]	Logtijd [~MET]
10/07/2018 9:29:01	10/07/2018 8:29:01	10/07/2018 9:29:01
21/08/2018 12:52:12	21/08/2018 11:52:12	21/08/2018 12:54:00

Tabel 2 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 2

Time [MET]	Time [UTC]	Logtijd [~MET]
10/07/2018 10:11:58	10/07/2018 9:11:58	10/07/2018 10:11:58
21/08/2018 12:49:46	21/08/2018 11:49:46	21/08/2018 12:49:00

Tabel 3 – Relatie tussen logtijd en UTC-tijd voor sensor 3

Time [MET]	Time [UTC]	Logtijd [~MET]
10/07/2018 10:02:54	10/07/2018 9:02:54	10/07/2018 10:02:54
21/08/2018 12:43:26	21/08/2018 11:43:26	21/08/2018 12:43:00

2.2 Analyse druksensoren

Onderstaande verwerking werd uitgevoerd op de ruwe data bekomen uit de druksensoren. De verwerking werd uitgevoerd door middel van Matlab-routines.

1. Synchronisatie van tijdsinformatie naar UTC
2. Aanpassingen drukmeting aan atmosferische druk
3. Berekening waterkolom boven de druksensoren
4. Bepaling diepte van de druksensoren ten opzichte van Kanaalpeil (KP)
5. Compensatie van ruwe data voor diepteafhankelijke druk vermindering
6. Export van data in grafieken voor weergave met AIS-gegevens

De gegevens werden verwerkt voor de periode 20/07/2018 00h00 (UTC) tot 20/08/2018 22h00 (UTC).

2.2.1 Synchronisatie naar UTC

Bij synchronisatie naar UTC wordt de tijdsregistratie in de druksensoren gecorrigeerd voor de tijdsdrift in de sensor die lineair verondersteld wordt tussen het tijdstip van kalibratie en het tijdstip van uitlezen van de data (zie §2.1).

De metingen worden per dag bijgehouden in een outputfile. Het begintijdstip van de metingen wordt opgenomen in het exportbestand. Het tijdstip van de individuele metingen werd gerelateerd aan het aantal meetpunten in de file en de toegepaste inwinfrequentie (10 Hz). Deze tijdstippen werden geconverteerd naar UTC.

2.2.2 Aanpassingen drukmeting aan atmosferische druk

Aanpassing van de drukmeting aan de atmosferische druk werd uitgevoerd op basis van luchtdrukmetingen te Boeckhoute zoals bekomen van www.waterinfo.be.

2.2.3 Berekening hydrostatische waterkolom boven de druksensoren

De berekening van de waterspiegelschommelingen uit drukmetingen werd gebaseerd op de methodes toegepast in [1] en worden in dit rapport samengevat.

Met behulp van de hoogfrequente druksondes wordt de druk gemeten op een bepaalde diepte onder het wateroppervlak. Bij aanwezigheid van golven bestaat de op deze diepte gemeten druk, volgens de lineaire golftheorie, uit een hydrostatisch gedeelte ($-\rho \cdot g \cdot z$) en een hydrodynamisch gedeelte [2]:

$$p = -\rho \cdot g \cdot z + \eta \cdot \rho \cdot g \cdot K_z \quad (1)$$

Met:

-	p	Druk	[Pa]
-	ρ	Dichtheid water ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$)	[kg/m ³]
-	g	Valversnelling	[m/s ²]
-	z	Hoogte van de druksonde ten opzichte van het stil wateroppervlak (z is positief vanaf het wateroppervlak naar boven)	[m]
-	η	Waterspiegelschommelingen	[m]
-	K_z	Drukresponsfactor	[-]

In eerste instantie werden de dynamische golven verwaarloosd en werd de waterhoogte boven de druksensor berekend uitgaande van de hydrostatische relatie en een waterdensiteit gelijk aan 1000 kg/m^3 :

$$z = -\frac{p}{\rho \cdot g} \quad (2)$$

2.2.4 Bepaling diepte van de druksensoren ten opzichte van Kanaalpeil (KP)

Het resultaat van §2.2.3 betreft de hydrostatische hoogte van het wateroppervlak ten opzichte van de aardvaste positie van de druksensor. Door deze meting te vergelijken met een externe meting van het kanaalpeil (KP) kon de diepte van sensoren ten opzichte van KP bepaald worden als het gemiddelde verschil tussen beide metingen.

De waterstanden werden bekomen uit metingen beschikbaar voor het meetpunt 'Sluiskil Brug' uitgegeven door Rijkswaterstaat. Meetgegevens voor de waterstand ontbraken in de periode 01/08/2018 – 06/08/2018.

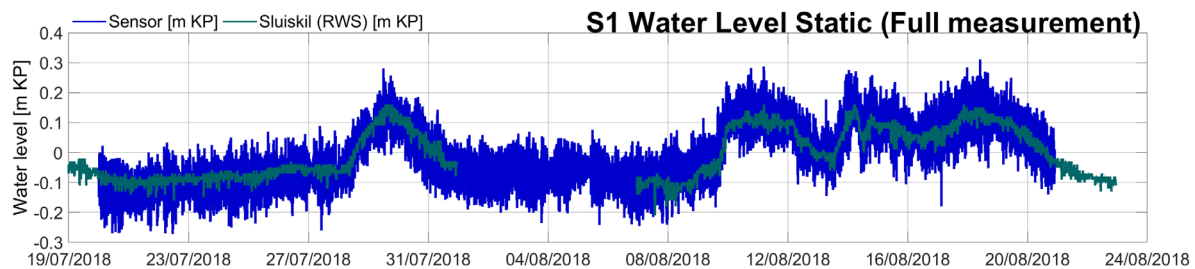
De dieptes van de druksensoren zoals bekomen door middel van bovenstaande methode worden weergegeven in Tabel 4 en laten toe om de hoogfrequente waterstandsmetingen te refereren naar KP.

In Figuren 6 tot 8 worden de resultaten van de waterstanden zoals opgemeten met de druksensoren (zie §2.2.3) weergegeven ten opzichte van de waterstandsmetingen te Sluiskil. Beide onafhankelijke waterstandsmetingen vertonen een gelijkaardig verloop over de tijd. De laagfrequente waterstandsschommelingen (variaties in kanaalpeil) zijn beperkt tot ca. 0.4 m.

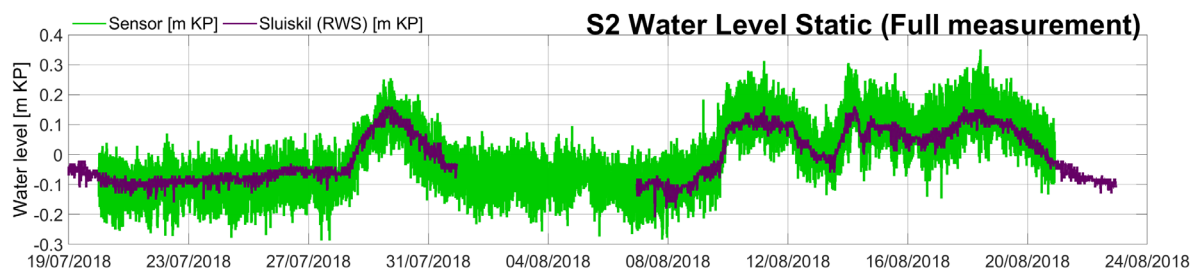
Tabel 4 – Verticale positie druksensoren t.o.v. KP

		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
Verticale positie	[m KP]	-3.01	-2.71	-2.60

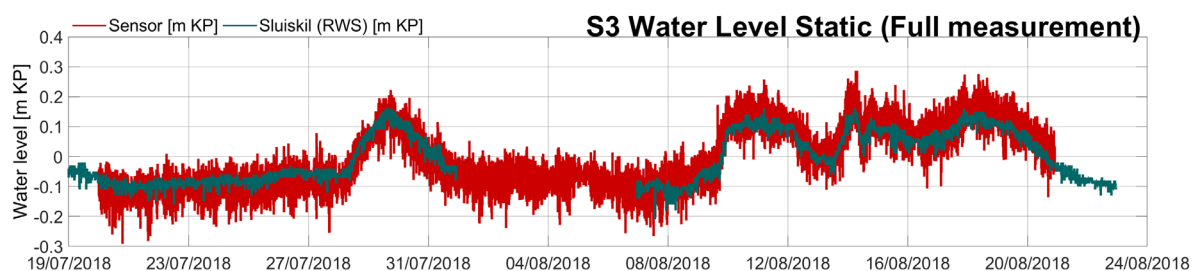
Figuur 6 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 1 en te Sluiskil (RWS)



Figuur 7 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 2 en te Sluiskil (RWS)



Figuur 8 – Waterstand zoals opgemeten door Sensor 3 en te Sluiskil (RWS)



2.2.5 Berekening van waterspiegelschommelingen

Om de drukvariaties op een bepaalde diepte om te rekenen naar waterspiegelschommelingen is het gebruikelijk om (1) te formuleren als ([2], [3], [4] en [5]):

$$\eta = \frac{N(p + \rho \cdot g \cdot z)}{\rho \cdot g \cdot K_z} \quad (3)$$

Met:

- N Correctiefactor (gelijk aan 1 als de lineaire golftheorie geldig is) [-]

De drukresponsfactor K_z wordt hierbij gedefinieerd als:

$$K_z = \frac{\cosh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)}{\cosh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \quad (4)$$

Met:

-	K_z	Drukresponsfactor	[-]
-	L	Golflengte	[m]
-	d	Afstand van de druksonde tot de bodem	[m]
-	h	Totale waterdiepte	[m]

De berekening van waterstandsschommelingen werd uitgevoerd op basis van Matlab-functies ontwikkeld in het kader van [1] en toegepast in studies [6], [7], en [8].

Aannames onderzoek

Met het oog op de praktische toepassing van de omrekening van de gemeten drukschommelingen op een bepaalde diepte naar waterspiegelschommelingen wordt het volgende opgemerkt:

- In de literatuur worden ook hogere orde formuleringen teruggevonden voor de correctiefactor N . In deze studie zal echter (zoals gebruikelijk is) enkel de lineaire golftheorie toegepast worden ($N=1$).
- Bij drukmetingen wordt door de druksonde zelf, de analoog naar digitaal-conversie en de stroming rond de druksonde ook hoogfrequente ruis geïnduceerd. Om te vermijden dat deze hoogfrequente ruis getransformeerd wordt bij toepassen van de drukresponsfactor, wordt een cut-off frequentie ingevoerd. Enkel op het gedeelte van het frequentiespectrum met frequenties lager dan deze cut-off frequentie wordt de drukresponsfactor toegepast.
- In praktijk wordt de drukresponsfactor begrensd tot een maximale waarde.

Om de drukmetingen met de hoogfrequente druksondes om te rekenen naar waterspiegelschommelingen met behulp van de lineaire golftheorie moet, zoals vermeld in vorige paragraaf, een cut-off frequentie en een maximale waarde voor de drukresponsefactor gekozen worden.

Maximale drukresponsie

Met betrekking tot de maximale waarde van de drukresponsfactor wordt in [5] een maximale waarde voor de drukresponsfactor gelijk aan $1/6.7 (=0.1493)$ voorgesteld, wat betekent dat de drukvariaties gemeten door de druksonde maximaal 15 % zijn van de drukvariaties aan de oppervlakte. In deze studie wordt dan ook de maximale waarde van 0.1493 voor de drukresponsfactor weerhouden.

Cut-off frequentie

In [1] werd een vergelijkend onderzoek uitgevoerd tussen hoogfrequente waterstandsmetingen op basis van druksensoren enerzijds en ultrasone waterstandsdetectie anderzijds. Uit dit onderzoek bleek een cut-off frequentie van 0.45 Hz, de beste overeenstemming te bieden met de ultrasone metingen. Deze frequentie wordt ook in voorliggend onderzoek toegepast.

Bodemdiepte

De drie sensoren bevinden zich ter hoogte van kaaimuren voor kleine binnenvaart. Er wordt op deze locaties een bodemdiepte gelijk aan -4 m KP verondersteld.

2.2.6 Resultaten waterstandsschommelingen

Afhankelijk van de frequentie en golflengte van de waargenomen golven, kan de correctie voor waterdiepteschommelingen aanleiding geven tot een belangrijke toename van de waterstand ten opzichte van de zuiver hydrostatische berekening. In Figuren 9 tot 11 worden de verschillen tussen de hydrostatische (§2.2.3) en dynamische waterstand (§2.2.5) grafisch weergegeven voor de drie sensoren. Uit deze grafieken blijkt dat met name voor de sensoren 2 en 3 de dynamische berekening aanleiding geeft tot belangrijkere waterstandsschommelingen dan de hydrostatische berekening, terwijl voor sensor 1 dit veel minder het geval is. Er werd een sensitiviteitsonderzoek uitgevoerd waarbij de impact van mogelijke fouten in de diepte van de sensor of de bodemdiepte onderzocht werden. Voor geen van de sensoren echter werden er noemenswaardige verschillen vastgesteld, waardoor geconcludeerd wordt dat de beperktere waterstandsschommelingen opgemeten op sensor 1, het resultaat zijn van de opgemeten drukverschillen. Door de kleine afstand tussen de sensoren 1 en 2 (aan de tegenovergestelde oever in Zijkanaal A), wordt er verwacht dat op deze locaties gelijkaardige golven zouden optreden. De analyse van waterstandsschommelingen resulteert echter in grotere golven voor sensor 2 dan 1. Mogelijke oorzaken hiervoor betreffen de afscherming van sensor 1 voor (voornamelijk langs-) golven in het Zijkanaal A of een afwijkende meting voor sensor 1. Doordat sensor 1 zich op korte afstand noordelijk van de bunkerschepen van het bedrijf De Lege bevond is een mogelijke afscherming van rechtstreekse golven hier inderdaad niet uitgesloten.

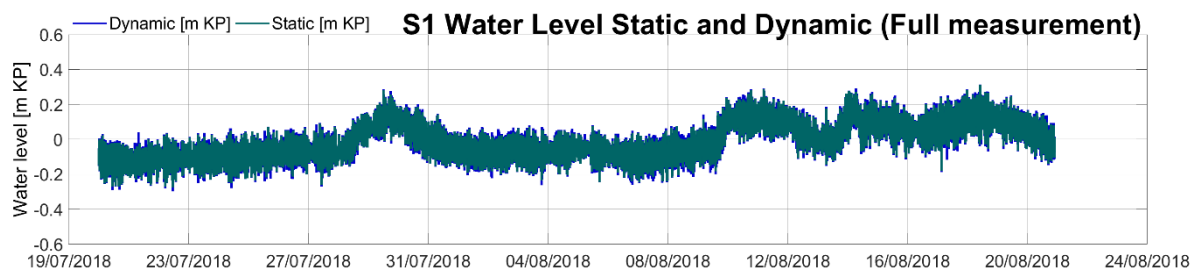
Doordat de resultaten van sensor 2 goed overeenstemmen met deze van sensor 3, worden de resultaten van sensor 2 niet in vraag gesteld.

De verdere analyse wordt uitgevoerd op de dynamische waterspiegelschommelingen. Enkele statistische resultaten van de dynamische waterstand ten opzichte van KP worden weergegeven in Tabel 5. Hieruit blijkt dat de gemiddelde waterhoogte gedurende de meetcampagne goed overeenkomt met het Kanaalpeil (KP). Bovendien blijken op basis van de minima, maxima en percentielwaarden, de belangrijkste waterstandsvariaties op te treden te sensor 2. Het verschil tussen de hoogste en de laagste (ogenblikkelijke) waterstand opgemeten op de drie meetpunten betreft respectievelijk 0.61 m, 1.13 m en 1.05 m.

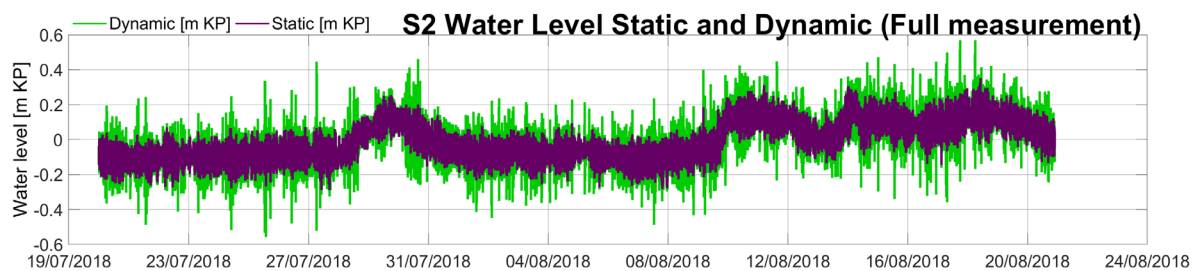
Tabel 5 – Statistische parameters dynamische waterniveaus

		Dynamic Water Level [m KP]		
Sensor Id		1	2	3
Maximum		0.31	0.57	0.50
Minimum		-0.30	-0.56	-0.55
Mean		-0.01	-0.01	-0.01
Percentile	99	0.19	0.21	0.19
	95	0.15	0.16	0.15
	90	0.12	0.14	0.13
	75	0.07	0.08	0.08
	50	-0.03	-0.04	-0.05
	25	-0.09	-0.09	-0.09
	10	-0.12	-0.13	-0.12
	5	-0.14	-0.15	-0.13
	1	-0.18	-0.19	-0.16

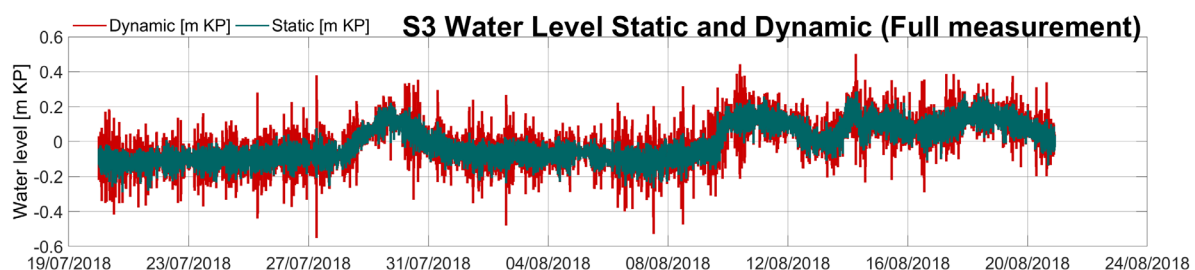
Figuur 9 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 1



Figuur 10 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 2



Figuur 11 – Hydrostatische en dynamische waterhoogte voor sensor 3



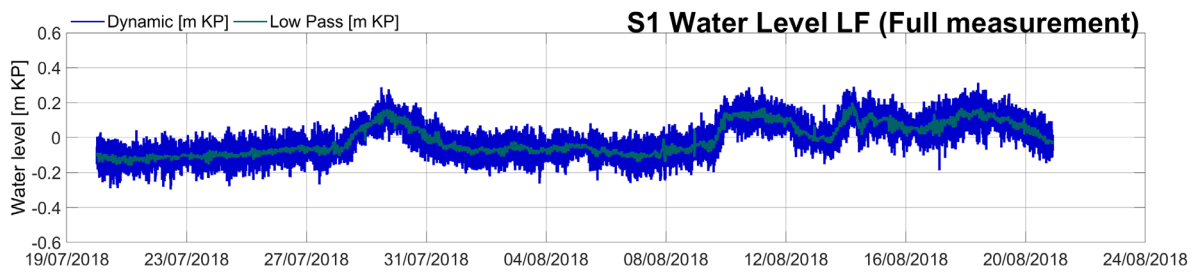
2.2.7 Frequentiefiltering

In voorliggend onderzoek dient de invloed van scheepvaart op waterstandsschommelingen onderzocht te worden. Hiertoe wordt op de waterstanden een low pass filter met frequentie 0.001 Hz toegepast. Door de resulterende laag frequente waterstandsvariatie af te trekken van het oorspronkelijke signaal worden de (relatief) hoog frequente waterstandsschommelingen overgehouden waaronder de te verwachten scheepsgolven in het studiegebied.

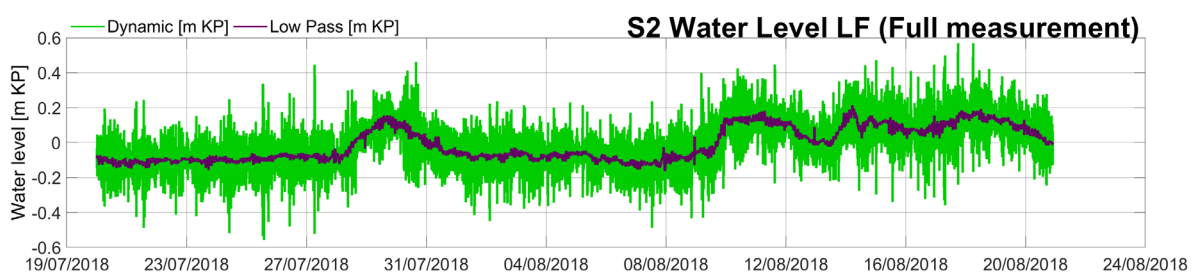
In Figuren 12 tot 14 worden de laag frequente waterstandsschommelingen zoals bekomen met de low-pass filter weergegeven ten opzichte van het totale signaal. Beide waterstandsrepresentaties zijn gerefereerd ten opzichte van KP.

In Figuren 15 tot 17 worden de hoog frequente waterstandsschommelingen weergegeven. Deze zijn gerefereerd ten opzichte van de laag-frequente waterstandsschommelingen en niet langer ten opzichte van KP. De hoog frequente waterstandsschommelingen bevatten de scheepsgolven en zullen verder geanalyseerd worden.

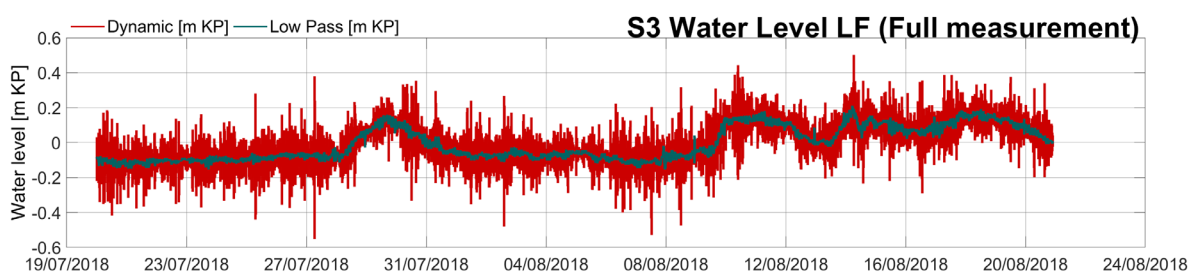
Figuur 12 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 1



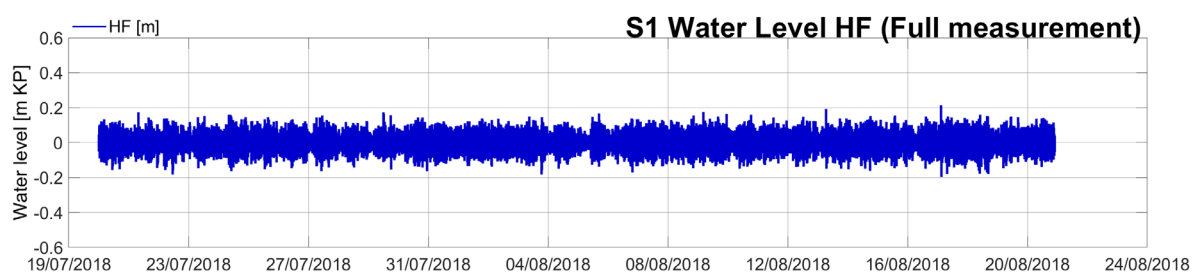
Figuur 13 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 2



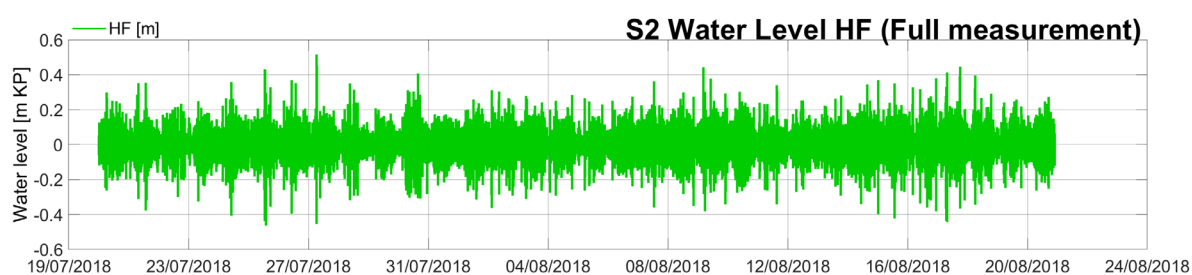
Figuur 14 – Laagfrequente waterstandsschommeling ten opzichte van de totale waterstandsschommelingen voor sensor 3



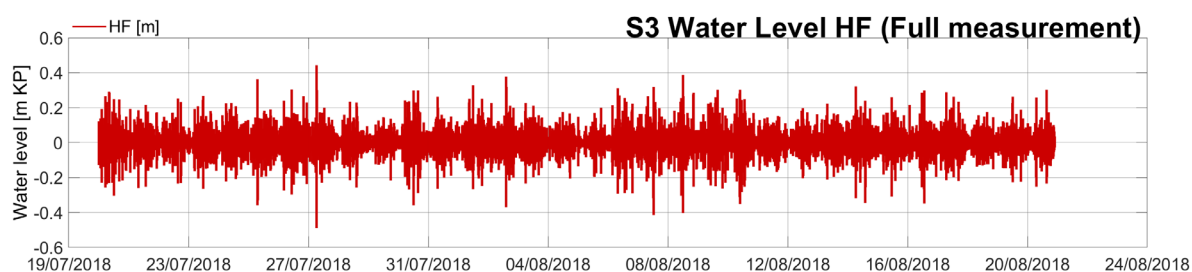
Figuur 15 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 1



Figuur 16 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 2



Figuur 17 – Hoogfrequente waterstandsschommeling voor sensor 3



2.3 Resultaten waterstandsschommelingen

De waterstandsschommelingen relevant voor het onderzoek naar scheepsgolven, betreffen de hoogfrequente waterstandsschommelingen waarvoor de verwerkingsmethode gepresenteerd werd in §2.2. Het tijdsverloop van de hoogfrequente waterstandsschommelingen wordt weergegeven in Figuren 15 tot 17. In Tabel 5 worden er enkele statistische parameters weergegeven voor de (hoogfrequente) waterstandsschommelingen. Tabel 5 toont aan dat de waterstandsschommelingen het grootste waren ter hoogte van sensor 2 en sensor 3. Voor beide sensoren geldt dat de maximale afwijking van de laagfrequente waterstand ca 0.5 m betreft (respectievelijk 0.51 m en 0.49 m). Voor sensor 1 is de afwijking beperkt tot 0.21 m.

In voorliggende studie dienen de belangrijkste waterstandsschommelingen gerelateerd te worden aan het scheepvaartverkeer. Door de afwijkende resultaten voor sensor 1 en de gelijkaardige positie van sensoren 1 en 2 wordt deze verwerking enkel uitgevoerd voor de sensoren 2 en 3 (zie Figuur 5). De belangrijkste waterstandsschommelingen worden voor sensoren 2 en 3 gedefinieerd als die golven waarvoor de waterstand respectievelijk meer dan 0.25 m en 0.20 m afwijkt van de laag frequente waterstand.

Tabel 6 – Statistische parameters hoogfrequente waterstandsschommelingen

		HF Water Level [m]		
Sensor Id		1	2	3
Depth sensor [m KP]		-3.01	-2.71	-2.6
Bottom Depth [m KP]		-4	-4	-4
Maximum		0.21	0.51	0.44
Minimum		-0.20	-0.47	-0.49
Mean		0.00	0.00	0.00
Percentile	99	0.08	0.10	0.06
	95	0.06	0.06	0.04
	90	0.04	0.05	0.03
	75	0.02	0.02	0.01
	50	0.00	0.00	0.00
	25	-0.02	-0.02	-0.01
	10	-0.04	-0.05	-0.03
	5	-0.06	-0.06	-0.04
	1	-0.08	-0.10	-0.06

3 Analyse AIS-gegevens

3.1 AIS

Sinds 2003 dient alle zeevaart periodiek informatie uit te sturen via een VHF signaal, ook voor de binnenvaart geldt in de kanaalzone van het Kanaal Gent-Terneuzen een AIS-verplichting. De informatie welke uitgestuurd wordt, bevat scheepsinformatie, posities en reisinformatie en wordt gecodeerd in een NMEA-string (ITU-R M.1371-1, 2001). Voor schepen met de vaarstatus 'onderweg' bedraagt de zendperiode van de scheepspositie zes seconden, waarbij de nauwkeurigheid van de scheepspositie ca. 3 m bedraagt (voor zeevaart). De analyse van AIS-gegevens laat toe om een kwalitatief oordeel te vormen over de vaartrajecten gerealiseerd in het interessegebied.

De AIS-gegevens werden bekomen uit de Schelde Radar Keten (SRK) voor de periode 17/07/2018 tot en met 21/08/2018. In overeenstemming met de geldende privacy-richtlijnen worden de AIS-gegevens enkel anoniem gerapporteerd.

AIS-gegevens bevatten tijd en positiegegevens voor alle maritieme vaart, voor het grote merendeel van de binnenvaart en voor een beperkt aandeel van de pleziervaart. De omvangrijke data (de AIS-bestanden van SRK bedragen ca. 700 MB per dag) vereisen een gepaste dataverwerking.

3.2 Analyse AIS

De verwerking van 24.3 GByte aan AIS-gegevens omvatte:

- verwerking van de AIS-gegevens tot scheepsinformatie en trajectinformatie;
- filteren van trajectinformatie op basis van posities binnen het projectgebied;
- genereren van KMZ-bestanden per 6h voor visualisatie van de vaartrajecten;
- berekenen van passagetijden van schepen over voorgedefinieerde passagelijnen;
- relateren van scheepspassages aan golfmetingen.

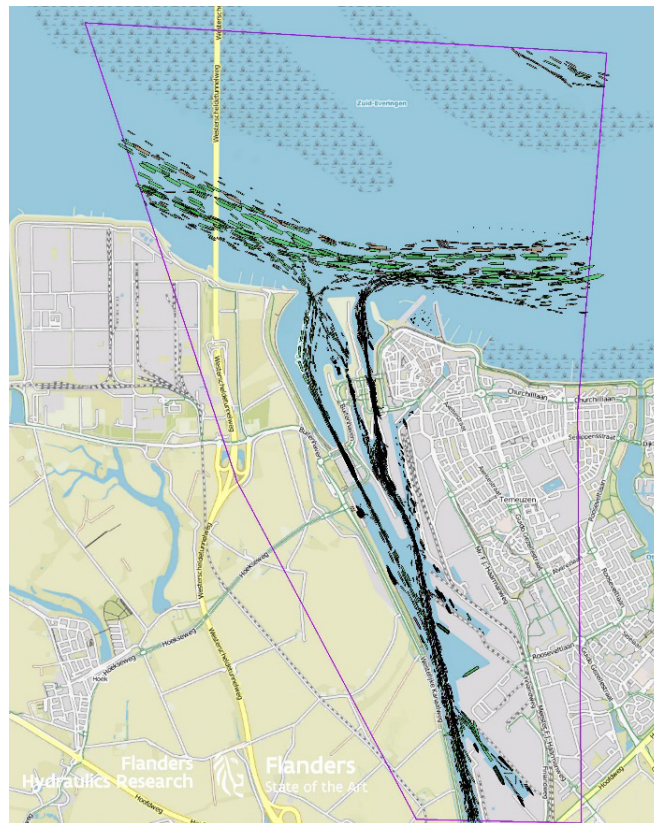
3.2.1 Scheeps- en trajectinformatie

De scheepsinformatie vervat in de AIS-boodschappen bevat enerzijds statische scheepsgegevens (scheepsnaam, hoofdafmetingen,...) en anderzijds dynamische reisgegevens (positie, bestemming, diepgang,...). De statische en dynamische gegevens werden in een aparte bestandsstructuur opgeslaan waarbij de schepen geïdentificeerd worden op basis van hun unieke mmsi-nr.

3.2.2 Filtering trajectinformatie

Om de hoeveelheid aan data te beperken werd de trajectinformatie gefilterd tot de ruime omgeving rond het projectgebied. In Figuur 18 wordt een voorbeeld gegeven van de geografische filter en de bijhorende scheepsbewegingen in een periode van 6h. Merk op dat ook de scheepvaart op de Schelde deel uitmaakt van de gefilterde dataset. Het aantal schepen welke deel uitmaakt van de gefilterde dataset betreft: 10985.

Figuur 18 – Weergave geografische filter voor AIS-gegevens inclusief KMZ-export voor 20/07/2018 0h00 tot 06h00 (UTC)



3.2.3 Genereren KMZ-bestanden

Om de scheepsbewegingen inzichtelijk te maken werden de AIS-gegevens geconverteerd naar een KMZ-formaat dat gevisualiseerd kan worden in Google Earth™ of een andere GIS-viewer. De bestanden werden gegenereerd voor de periode 20/07/2018 0h00 tot 21/08/2018 00h00 in afzonderlijke bestanden per zes uur. De scheepsposities worden weergegeven per 60 seconden. Om de bestandsgrootte van de KMZ-bestanden te beperken worden enkel de scheepsbewegingen opwaarts de sluizen (dus aan kanaalzijde) weergegeven.

De KMZ-bestanden laten een geanimeerde weergave van de scheepsbewegingen toe. Echter doordat binnenvaartschepen geen koers-informatie doorsturen, wordt voor deze schepen de snelheidsvector als koers verondersteld. Voor schepen die stilliggen of aan lage snelheid varen geeft dit aanleiding tot een afwijkende weergave van de voorligging van het binnenschip.

Door de grote bestandsgrootte worden de KMZ-bestanden zoals hier beschreven niet toegevoegd aan het rapport. De bestanden zijn echter op aanvraag aan te leveren. Zie ook §4.2 en §4.3.2 voor ander KMZ-visualisaties die wel deel uitmaken van de rapportering.

3.2.4 Berekenen van passagetijden

Om de relatie tussen golfmetingen en passerende scheepvaart te onderzoeken werden de AIS-gegevens verwerkt tot passagetijden over een aantal relevante passagelijnen in het projectgebied. De passagelijnen die aldus onderzocht werden, worden weergegeven in Figuur 19.

Voor elke passage werd bijgehouden:

1. het tijdstip waarop de passagelijijn overschreden werd;
2. het mmsi-nummer van het schip dat de passagelijijn overschreed;

3. de diepgang van het schip dat de passagelijns overschreed, bekomen als de laatste ontvangen diepgangswijziging voorafgaand aan de passage;
4. de aardvaste vaarsnelheid waarmee de passagelijns overschreden werd;
5. de relatieve vaarrichting ten opzichte van de oriëntatie van de passagelijns die aangeeft of het een opvarend of afvarend schip betrof.

Het aldus geregistreerde aantal passages voor de verschillende passagelijnsen wordt weergegeven in Tabel 7.

Figuur 19 – Passagelijnsen gedefinieerd in projectgebied



Tabel 7 – Aantal geregistreerde passages per passagelijns (vetgedrukte passagelijnsen worden verder geanalyseerd)

Passage line	# Passages
Massagoedhaven	8446
VoorhavenWestsluis	2350
BovenhoofdWestsluis	2187
S3_Martens	4595
S2_Schependijk	660
S1_TK0215	637
BovenhoofdMiddensluis	963
BovenhoofdOostsluis	2763
ToegangskanaalMiddenEnOost	5151
ToegangZijkanaalA	1774

3.3 Resultaten AIS

Om een overzicht te bekomen over de schepen en vaarsnelheden welke in het studiegebied gehanteerd worden, wordt er voor vier passagelijnen een meer gedetailleerd overzicht uitgewerkt. De passagelijnen betreffen:

1. VoorhavenWestsluis: Passage van alle schepen door de Westsluis
2. S3_Martens: Passage van alle schepen die langs sensor 3 varen en aldus een traject via Oostsluis, Middensluis of Zijkanaal A hanteren
3. ToegangskanaalMiddenEnOost: Passage van alle schepen door de Midden- en Oostsluis
4. S2_Schependijk: Passage van alle schepen langs sensor 2 in Zijkanaal A

Voor deze passagelijnen wordt een grafiek weergegeven van de geregistreeerde scheeps lengte en de gehanteerde vaarsnelheid. De scheepvaart werd hierbij onderverdeeld in zeevaart en binnenvaart. Het onderscheid tussen beide werd zuiver gebaseerd op de diepgang van het schip. Schepen met diepgang groter dan 5 m werden hierbij als zeevaart verondersteld. Hierbij dient opgemerkt dat de diepgangsinformatie in AIS niet altijd betrouwbaar is. Met name voor binnenvaart wordt deze niet consequent aangepast. Veelal geeft dit aanleiding tot erg kleine diepgangen gedefinieerd voor binnenvaart. Toch kon vastgesteld worden dat op basis van het diepgangscriterium sommige binnenschepen in onderstaande grafieken toch weergegeven worden als zeevaart. Bovendien kunnen gebeurlijke uitval van AIS aanleiding geven tot onrealistische snelheidswaarden.

3.3.1 Passages Voorhaven Westsluis

In Figuur 20 worden de scheepspassages weergegeven voor de passage lijn voorhaven Westsluis. Hieruit blijkt dat zowel zeevaart als overige vaart gebruik maakt van de Westsluis. Voor de grotere zeevaart (LOA>150 m) is de vaarsnelheid beperkt tot 8 kn. Het grootste schip dat de Westsluis tijdens de meetcampagne passeerde, combineerde afmetingen 229 m x 36 m x 12.4 m met een vaarsnelheid van 4.1 kn (opvaart).

Enkele opmerkelijke uitschieters in de vaarsnelheid in Figuur 20 zijn te wijten aan onnauwkeurigheden in de AIS-posities.

3.3.2 Passages S3 Martens

De passages ter hoogte van sensor 3 betreffen voor het merendeel andere scheepvaart dan zeevaart. Bovendien werd opgemerkt dat het merendeel van de schepen die hier geïdentificeerd werd als zeevaart, eerder binnenvaartschepen met foutief gedefinieerde diepgang of sleepboten betroffen. Het aantal zeevarende schepen dat passeert langs sensor 3 is bijgevolg erg beperkt.

Het overgrote deel van de passages werd uitgevoerd aan een vaarsnelheid kleiner dan 10 kn (zie Figuur 21).

3.3.3 Passages Toegangskanaal Midden- en Oostsluis

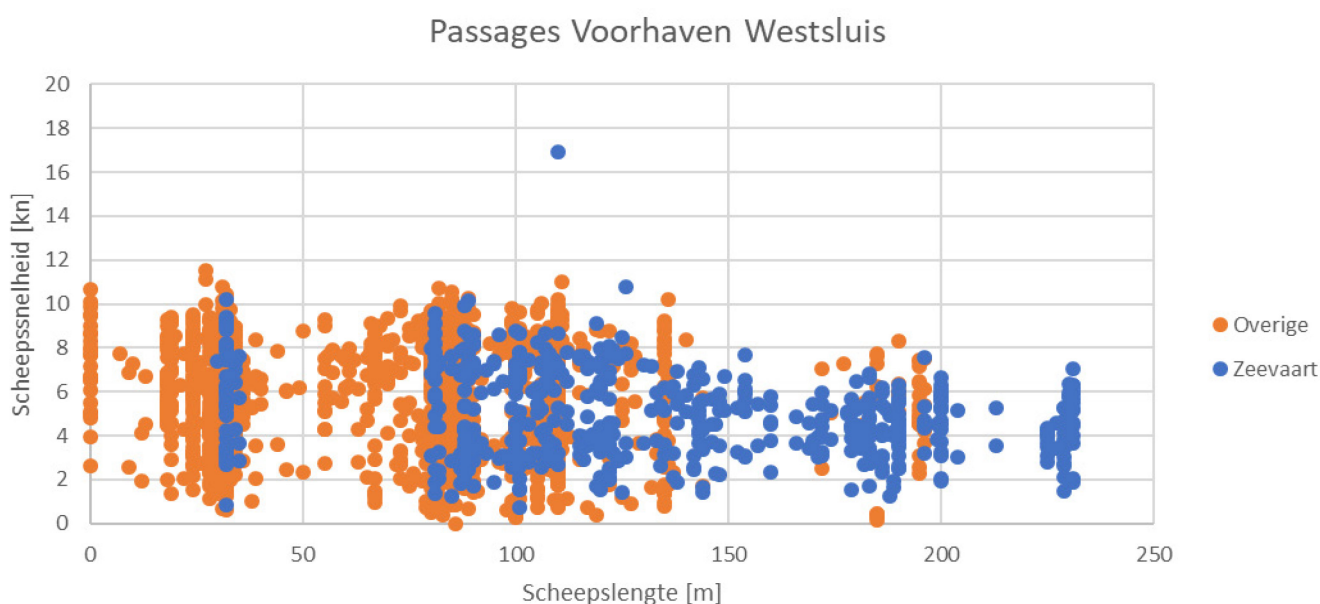
Het merendeel van de scheepvaart via de passagelijnen S3 Martens passeert via de Middensluis en Oostsluis. Het is dan ook niet verwonderlijk dat het scheepsaanbod op de passagelijnen naar het toegangskanaal voor Midden- en Oostsluis (zie Figuur 22) sterk gelijkend is aan dat ter hoogte van sensor 3. Ook de gehanteerde snelheden zijn erg gelijkaardig. De eenmalige hoge snelheid (14 kn) bleek te wijten aan foutieve positie informatie uitgestuurd door een sleepboot en is bijgevolg niet relevant.

3.3.4 Passages S2 Schependijk

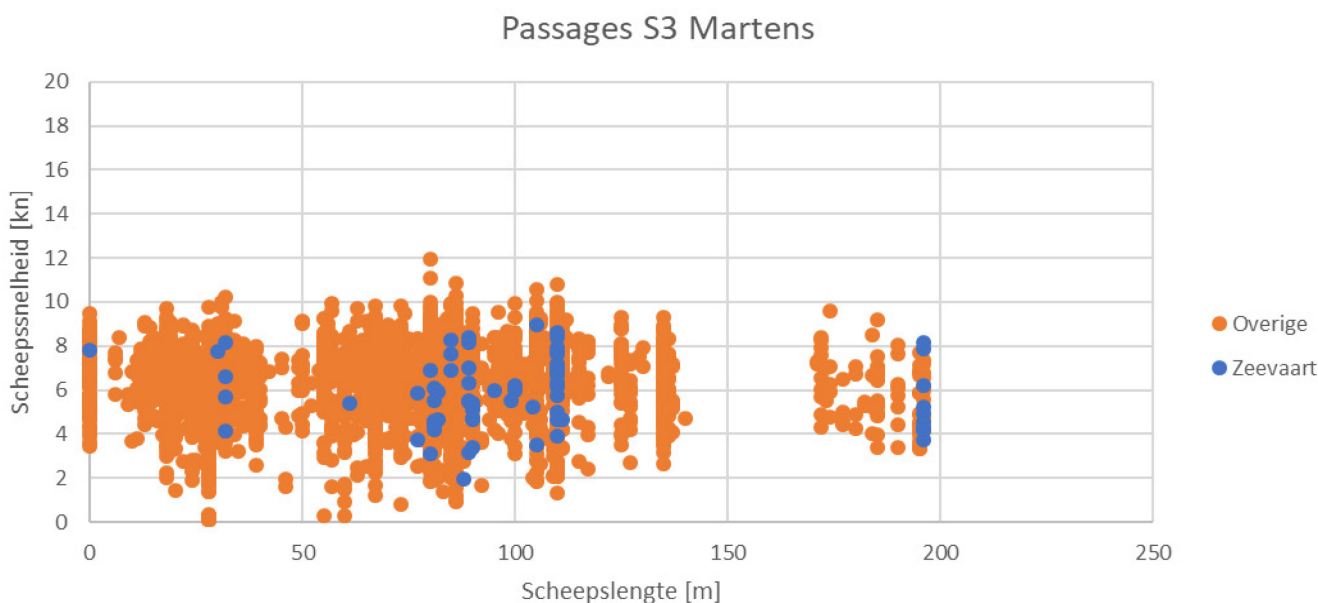
De passagelijns S2 Schependijk bevindt zich ter hoogte van de sensoren 1 en 2 in het Zijkanaal A. Het scheepvaartverkeer is op deze locatie minder uitgebreid (zie Tabel 7). Bovendien passeren er op deze locatie geen zeevarende schepen en de schepen die passeren hanteren een lage vaarsnelheid zoals blijkt uit Figuur 23. Er werden geen vaarsnelheden gedetecteerd groter dan 5 kn.

Figuur 23 presenteert eveneens de passage van twee schepen met lengte groter dan 180 m. Het betreffen duwbotten waarvan de maximale afmetingen van het konvooi inderdaad deze lengte kunnen hebben, maar waarvan tijdens de vaart in Zijkanaal A er vermoedelijk geen (of eventueel slechts één) bak geduwd werd. De ogenblikkelijke afmetingen van duwkonvooien en koppelverbanden kan niet afgeleid worden uit de AIS-gegevens.

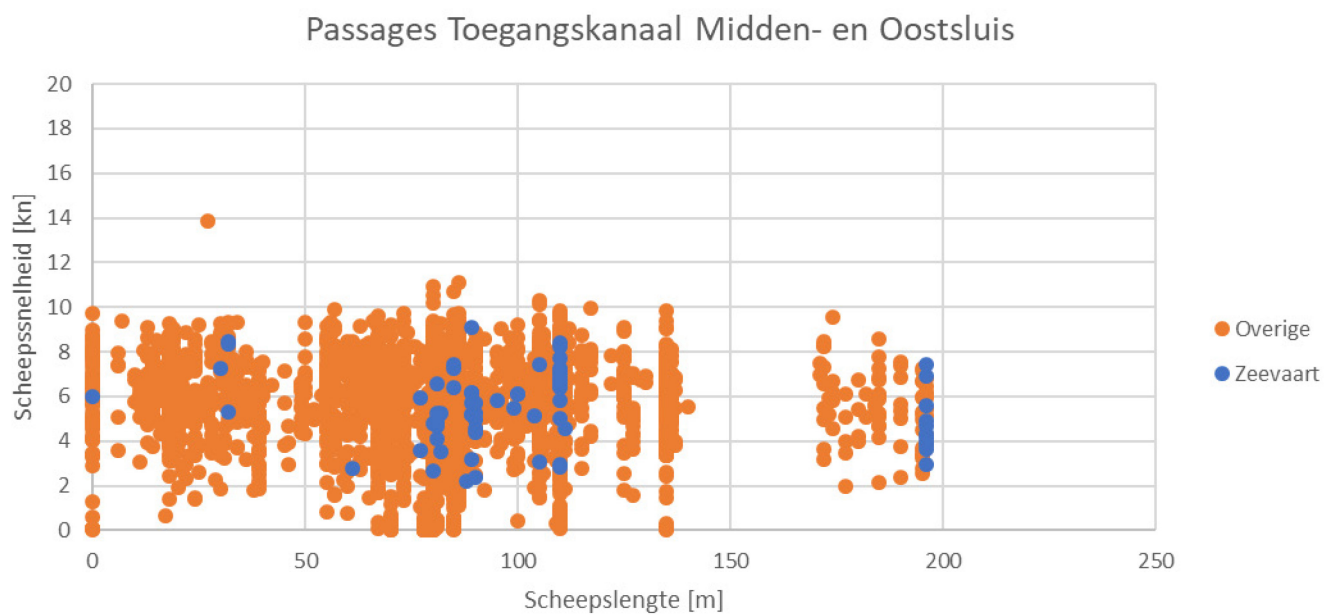
Figuur 20 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijns VoorhavenWestsluis



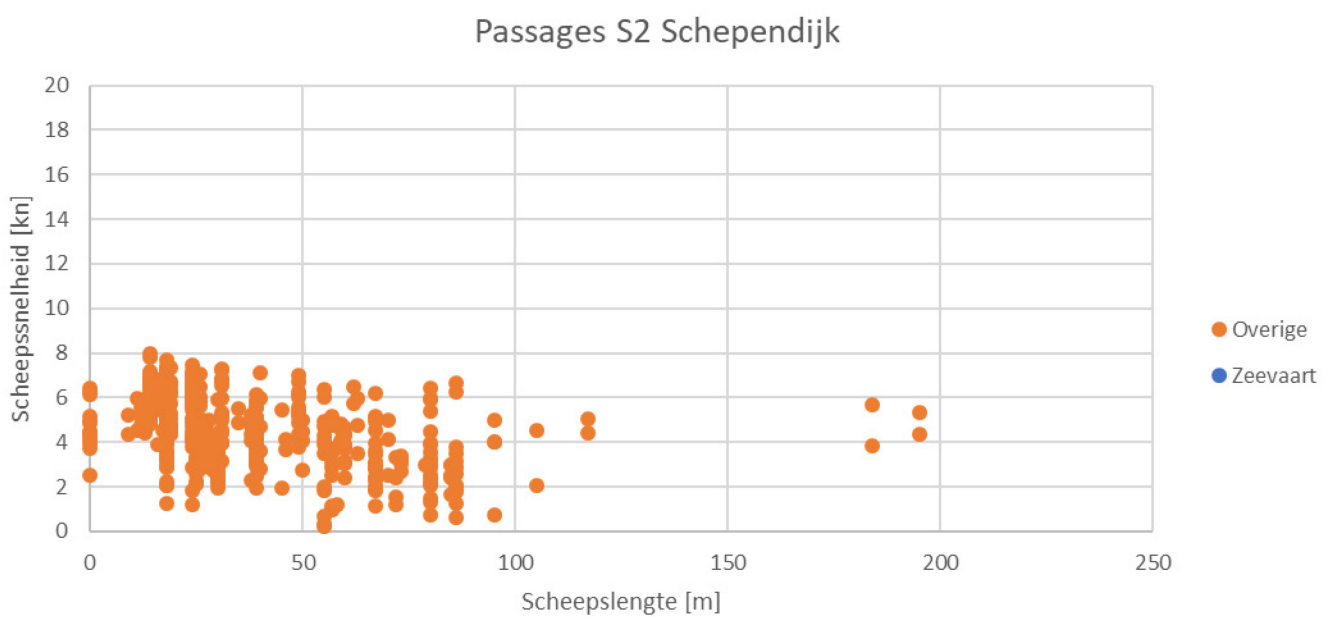
Figuur 21 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijns S3_Martens



Figuur 22 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijns ToegangskanaalMiddenEnOost



Figuur 23 – Passages Zeevaart en overige vaart over passagelijns S2_Schependijk



4 Relatie waterstandsschommelingen en scheepvaartverkeer

In de hoofdstukken 2 en 3 werden respectievelijk de resultaten van de druksensormetingen en de AIS-gegevens gepresenteerd. In dit hoofdstuk worden beide databronnen met elkaar gecombineerd om de impact van de passerende scheepvaart op de golven aan de oever te analyseren.

Doordat sensor 3 zich op korte afstand van een vaargeul met een belangrijk aantal scheepspassages bevindt (zie Tabel 7), zal de methode in eerste instantie toegepast worden op deze sensor.

4.1 Scheepsgolven

Schepen genereren een specifiek golfpatroon bestaande uit een primair en secundair golfsysteem.

4.1.1 Primair golfsysteem

Het primaire golfsysteem (ook Bernoulli golfsysteem) ontstaat wanneer een lichaam door een ideale vloeistof beweegt [9]. De snelheid van het omringende water geeft aanleiding tot drukverschillen rond het lichaam en niveauverschillen in het vrije vloeistofoppervlak (primaire scheepsgolven).

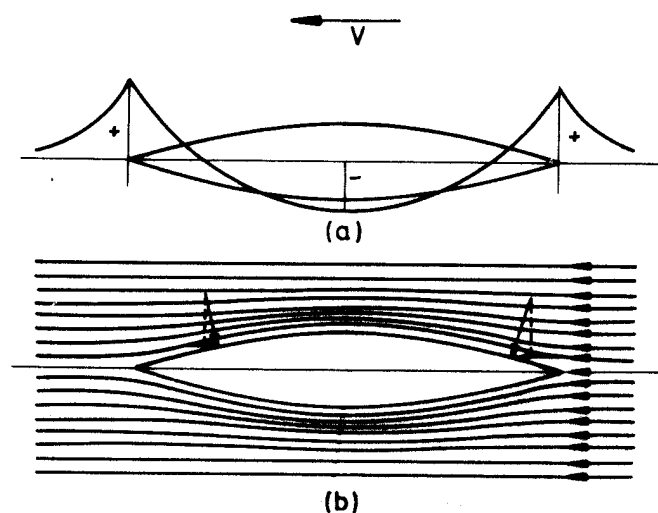
Voor scheepsvormen worden de niveauverschillen gekenmerkt door:

- Een korte golftop aan de voorsteven (boeggolf)
- Een uitgestrekt golfdal langs het middenschip
- Een korte golftop aan de achtersteven (de haalgolf)

Het primaire golfsysteem verplaatst zich met het schip aan dezelfde snelheid (bij constante vaarsnelheid).

Het primaire golfsysteem is sterk afhankelijk van de retourstroom van het water langs het schip. In beperkt water wordt deze retourstroom versterkt door de beperkte ruimte tussen schip en kanaalsectie.

Figuur 24 – Primair (Bernoulli) golfpatroon rond varend lichaam [9]



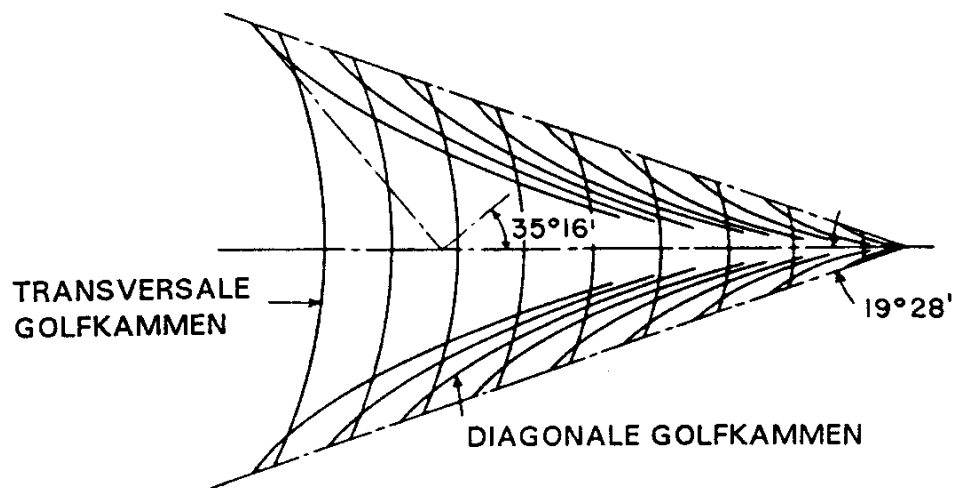
4.1.2 Secundaire golfsysteem

Het secundair golfsysteem ontstaat wanneer een drukpunt met voldoende snelheid in het vrije wateroppervlak beweegt [9] en vormt een zogenaamd golfpatroon van Kelvin (zie Figuur 25) bestaande uit:

- Transversale golven: licht gekromde golven dwars op het schip die in hoogte verminderen met toenemende afstand tot het drukpunt
- Diagonale (divergente golven): licht gekromde golven onder een hoek van $19^{\circ}28'$ (in diep water) ten opzichte van de koers van het schip. Deze golven nemen minder snel af in hoogte dan de transversale golven.

De secundaire scheepsgolven zijn vrije zwaartekrachtgolven die zich binnen een wigvormig gebied voortplanten met verschillende snelheid en richting.

Figuur 25 – Kelvin golfpatroon voor secundaire golven [9]



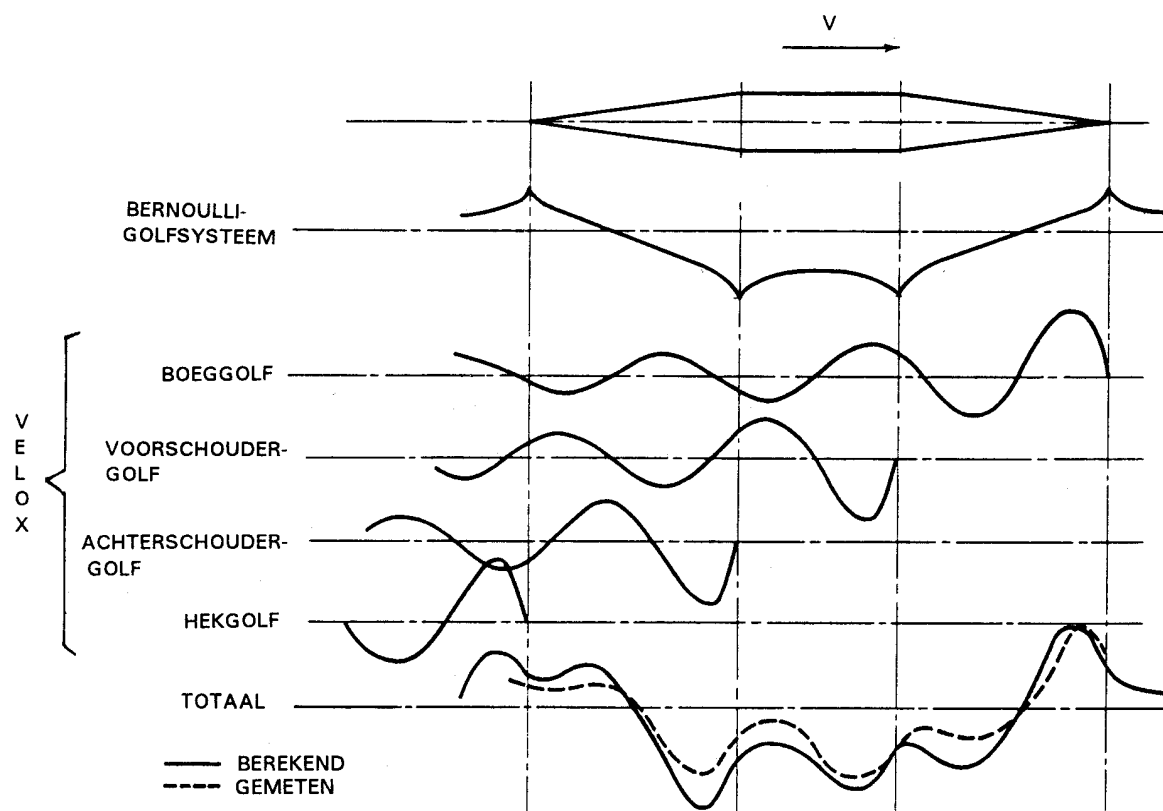
4.1.3 Scheepsgolven

Scheepsgolven zijn samengesteld uit een combinatie van het primaire golfsysteem verbonden aan het schip en het secundaire golfpatroon gegenereerd door drukpunten op de scheepsromp/waterlijn. Voor traditionele schepen gelden er vier dergelijke drukpunten die elk een Kelvin-golfpatroon ontwikkelen:

1. De voorsteven (overdruk)
2. De voorschouder (onderdruk)
3. De achterschouder (onderdruk)
4. Het hek (overdruk)

Scheepsgolven als combinatie van het primaire golfsysteem in combinatie met secundaire golven onder invloed van vier drukpunten worden grafisch weergegeven in Figuur 26.

Figuur 26 – Golfpatroon opgewekt door een varend schip [9]



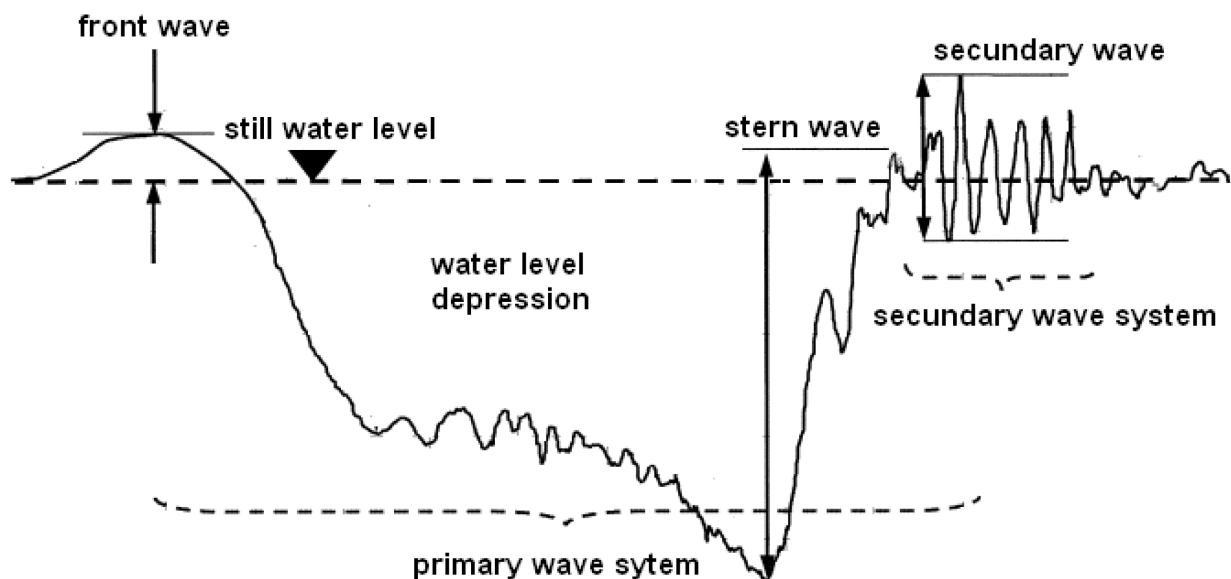
4.1.4 Scheepsgolven aan oever

Een typisch patroon van scheepsgolven waargenomen aan een oever, wordt weergegeven in Figuur 27. Vergelijkbare golfpatronen worden waargenomen tijdens de meetcampagne gepresenteerd in voorliggend rapport.

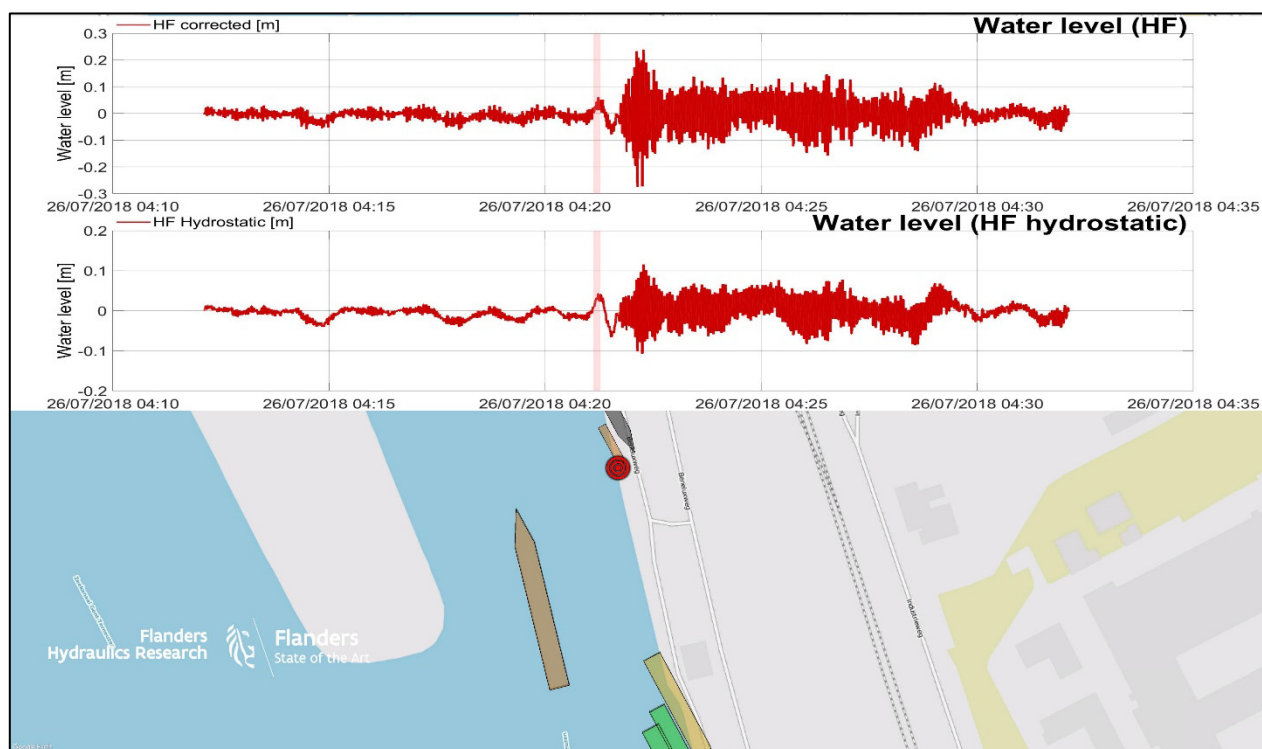
In Figuur 28 wordt een typisch voorbeeld weergegeven voor de waterstandsschommelingen opgemeten voor de passage van een binnenschip langs sensor 3. Figuur 28 toont de locatie van de sensor door middel van drie rode concentrische cirkels. Twee tijdsgrafieken vertonen de waterstanden welke voor deze sensor bekomen werden met enerzijds de hydrostatische en anderzijds de dynamische methode. De presentatietijd wordt (per 10 s) weergegeven door middel van een verticale lijn in de tijdsgrafieken. In de achtergrond wordt de scheepvaart (op basis van AIS) op korte afstand van de sensor weergegeven voor hetzelfde tijdstip.

In deze registraties blijken steeds de grootste schommelingen op te treden ter hoogte van het hek door combinatie van de haalgolf en het secundaire golfsysteem. Bovendien blijkt dat met name de hoogfrequente secundaire golven in belangrijke mate versterkt worden door de correctie voor dynamische waterspiegelschommelingen zoals beschreven in §2.2.5. Desalniettemin blijkt ook de hydrostatische bepaling van waterstanden uit drukmetingen volgens de methode beschreven in §2.2.3 (tweede grafiek in Figuur 28) aanleiding te geven tot de belangrijkste waterstandsschommelingen in het secundaire golfsysteem.

Figuur 27 – Subkritische scheepsgolven waargenomen langs een oever [10]



Figuur 28 – Hoogfrequente waterstandsschommelingen (dynamisch en hydrostatische resultaten) voor passage binnenvaartschip



4.2 KMZ-bestanden van scheepvaart en golven

Om zowel de scheepsbewegingen in het studiegebied als de waterstandsschommelingen inzichtelijk te maken, werd er per 6h en per sensor een KMZ-bestand aangemaakt waarop onderstaande informatie weergegeven wordt:

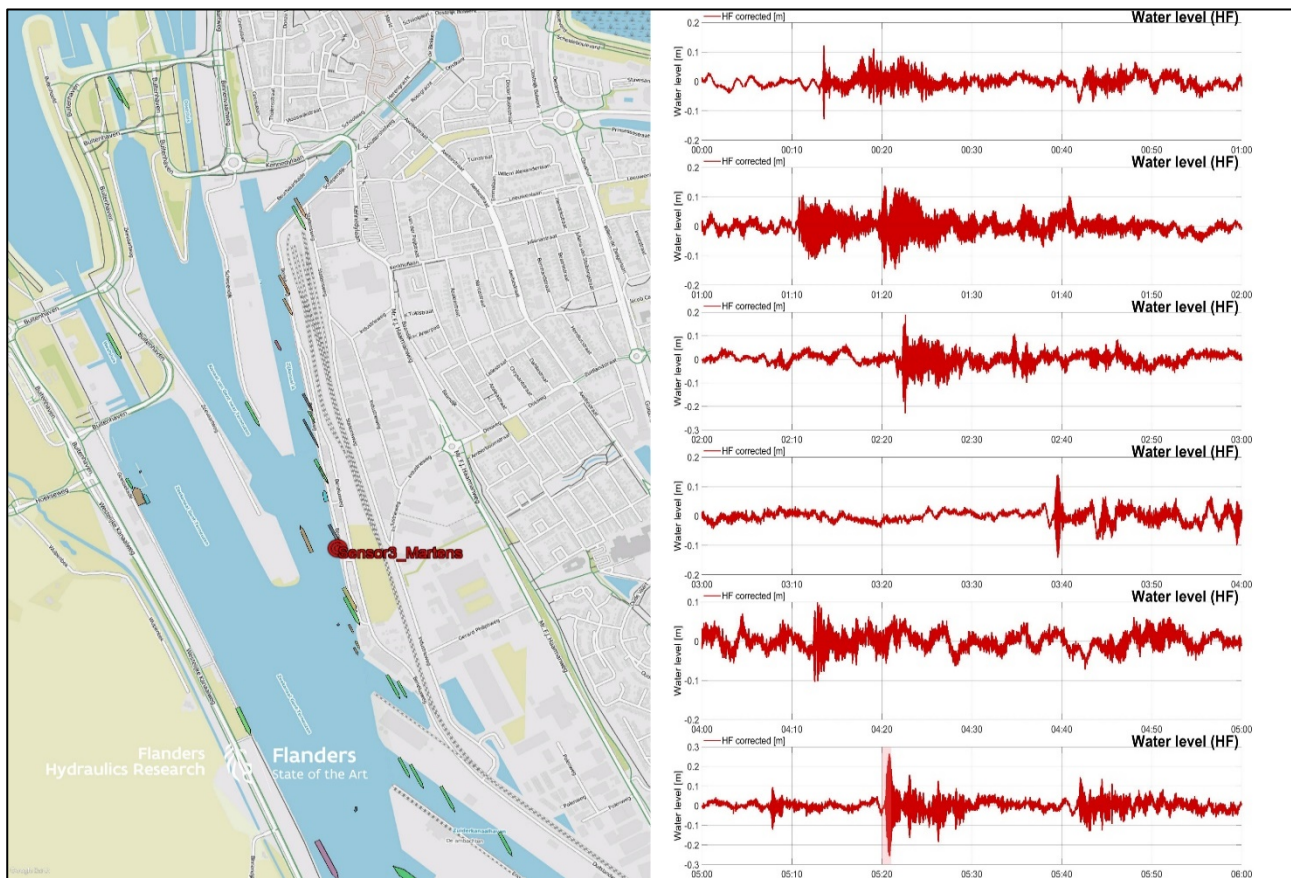
- periodieke posities (elke 60 s) van het scheepvaartverkeer op basis van AIS-gegevens. Om de bestandsgrootte te beperken wordt enkel scheepvaart opwaarts de sluisen weergegeven;
- zes tijdsgrafieken welke per uur de hoogfrequente waterstandsschommelingen ter hoogte van de sensor weergegeven;
- Een tijdsindicator die de presentatietijd weergeeft in de waterstandsgrafieken
- de positie van de sensor waarvoor de waterstanden gepresenteerd worden.

Een voorbeeld van een dergelijke presentatie wordt weergegeven in Figuur 29. In deze figuur wordt de KMZ gegenereerd voor sensor 3 voor 20/07/2018 van 00h00 tot 06h00 toegepast om de scheepsgolven inzichtelijk te maken welke waargenomen werden omstreeks 05h20 en welke gerelateerd konden worden aan de passage van een binnenvaartschip (86 m x 10 m, weergegeven in oranje in Figuur 29). Op basis van de passage-gegevens te passagelijijn S3_Martens kon achterhaald worden dat het schip aan 5.85 kn voer.

De KMZ-bestanden met golfregistraties per 6h worden digitaal toegevoegd aan het rapport.

De KMZ-bestanden in Google Earth™ bieden een erg geschikte methode voor een visuele inspectie van de waterstandsschommelingen en de bijhorende scheepvaart en laten toe om een kwalitatieve analyse uit te voeren. Anderzijds is in deze studie een kwantitatieve analyse gewenst waarbij de optredende waterstandsschommelingen gerelateerd worden aan scheepspassage, scheepsafmetingen en vaarsnelheden. Hiervoor is een meer diepgaande analyse nodige naar de combinatie van golfmetingen en scheepvaartverkeer.

Figuur 29 – Voorbeeld van KMZ-weergave voor 20/07/2018 00h00 tot 06h00 met presentatie scheepvaart en tijdsindicator om 05h20



4.3 Onderzoek van belangrijkste waterstandsschommelingen

Om de impact van scheepvaartverkeer op waterstandsschommelingen te beoordelen, werd onderstaande methodologie toegepast:

1. Selecteren van belangrijkste golven die toegeschreven kunnen worden aan een scheepspassage
2. Zoeken van scheepspassages op passagelijnen relevant voor de golven aan de sensor
3. Onderzoek van de relatie tussen golf en scheepvaartverkeer

4.3.1 Selecteren belangrijke golftrein

Voor de twee sensoren werden de belangrijke golftreinen bepaald als de waterstandsschommeling die minimaal een vooraf gedefinieerde waarde afwijken van de laag frequente waterstand. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 8.

De waterstandsmetingen worden gecombineerd tot een belangrijke golftrein op basis van onderstaande criteria:

1. Minimaal éénmaal in de golftrein wordt de referentiewaarde (zie Tabel 8) overschreden
2. Overschrijdingen van de referentiewaarde die binnen twee minuten optreden, worden toegekend aan dezelfde golftrein.

Voor elke belangrijke golftrein worden onderstaande parameters bijgehouden:

1. start tijdstip van eerste overschrijding;
2. eind tijdstip van laatste overschrijding;
3. maximale afwijking van de laag frequente waterstand (positief of negatief).

In Tabel 8 worden eveneens het aantal belangrijke golftreinen weergegeven dat geïdentificeerd werd op bovenstaande methode.

Tabel 8 – Minimale waterstandsschommeling voor definitie van belangrijke golf

		Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
Minimale waterstandsschommeling voor belangrijke golf	[m]	-	0.25	0.20
Aantal belangrijke golftreinen	[-]	-	117	116

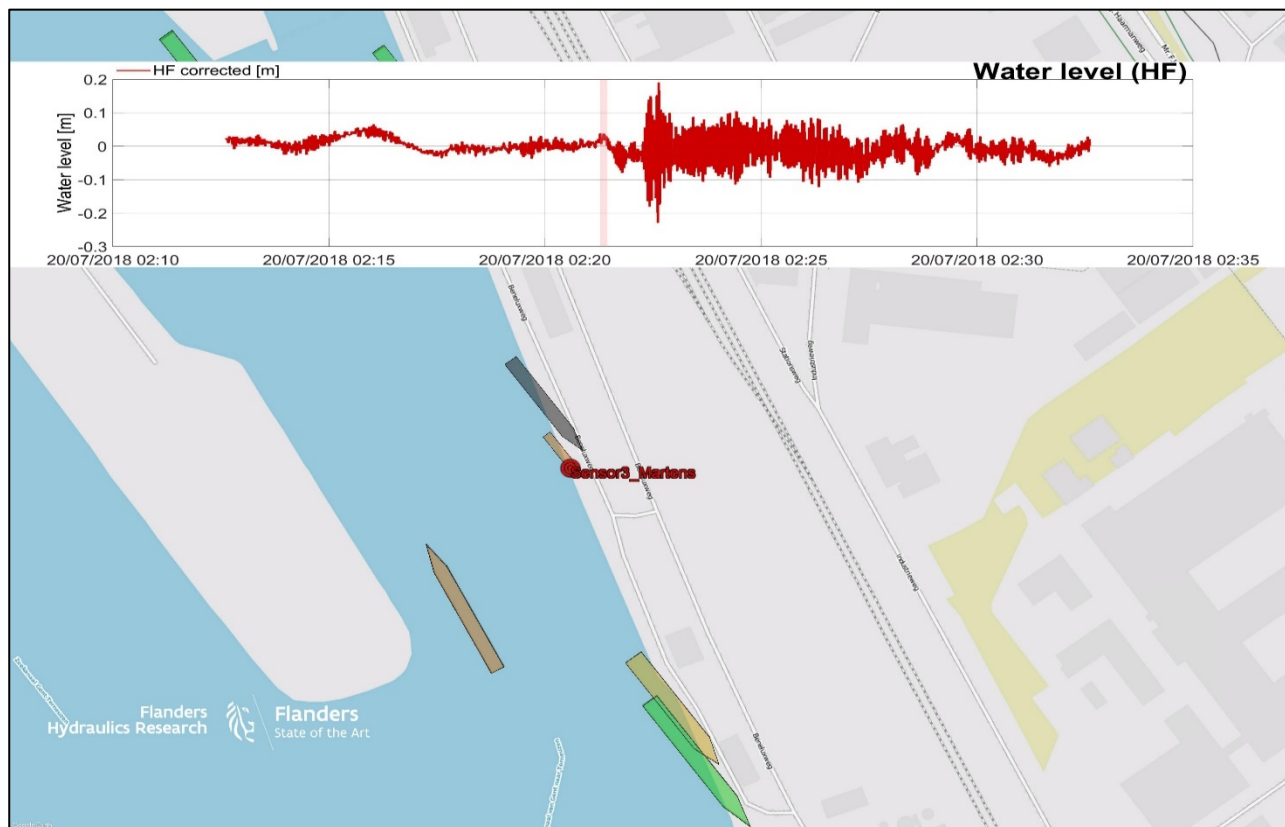
4.3.2 Gedetailleerde KMZ per belangrijke golftrein

Er werd voor de belangrijke golftreinen een meer gedetailleerde KMZ-presentatie gegeneerd van het scheepvaartverkeer en de waterstandsschommelingen. Deze presentatie wordt aangeboden met een tijdstap van tien seconden en biedt een geanimeerde weergave van het scheepvaartverkeer en de waterstandsschommelingen voor een periode van 10 minuten voor tot 10 minuten na het start tijdstip van de eerste overschrijding van de golftrein. Deze gedetailleerde KMZ-presentatie laat toe om in detail het scheepvaartverkeer gerelateerd aan een belangrijke waterstandsschommeling te onderzoeken.

Figuur 30 biedt een screenshot van een gedetailleerde KMZ voor de eerste belangrijke golf opgemeten op sensor 3 waarop de bijhorende passage van een binnenschip weergegeven wordt.

De KMZ-bestanden met een gedetailleerd scheepvaartoverzicht voor de belangrijke golven te sensor 2 en 3, worden digitaal toegevoegd aan dit rapport.

Figuur 30 – Gedetailleerde KMZ-weergave van de eerste belangrijke golftrein opgemeten aan S3



4.3.3 Selecteren van passages bij belangrijke golftrein

De belangrijke golftreinen bekomen in §4.3.1 werden gerelateerd aan passages op passagelijnen die relevant zijn voor de sensor. De passagelijnen, welke onderzocht worden voor sensor 2 en sensor 3, worden respectievelijk weergegeven in Tabellen 9 en 10. In deze tabellen wordt eveneens vermeld in welk tijdsslot ten opzichte van de start van de golftrein er passages opgezocht werden. Ook werden er enkel passages weerhouden indien de scheepssnelheid groter was dan 0.5 m/s (d.i. 1.0 kn), dit om te vermijden dat afgemeerde schepen op een passage lijn in rekening gebracht zouden worden.

Aldus werden er per belangrijke golftrein een aantal passages bekomen die mogelijks de oorzaak waren van de opgetreden waterstandsschommelingen.

In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van het aantal scheepspassages dat door bovenstaande methode toegewezen werd aan de verschillende golven. Doordat sensor 3 zich op kortere afstand van de belangrijke vaarroutes bevindt en slechts beïnvloed wordt door scheepvaart langs twee passagelijnen is het aantal scheepspassages dat aan de golven op deze sensor toegeschreven wordt over het algemeen kleiner dan voor sensor 2.

Het relatief hoog aantal mogelijke bronnen van scheepsgolven (zie Tabel 11) geeft aan dat het niet altijd mogelijk is om een geregistreeerde waterstandsschommeling eenduidig toe te schrijven aan één scheepsgolf. Interactie tussen de golfpatronen opgewekt door verschillende schepen geeft soms aanleiding tot een veel complexer golfbeeld, dan wanneer slechts één schip aanwezig is. Doordat de scheepsbewegingen in het studiegebied in belangrijke mate bepaald worden door de schuttingen in de sluizen, treedt er regelmatig een verkeersbeeld op waarbij meerder schepen het studiegebied doorkruisen.

Bovendien bleek uit een aantal afwijkende resultaten dat het werkelijke scheepvaartverkeer soms complexer is dan wat geboden wordt door een vereenvoudigde representatie op basis van passagelijnen. Zo bleek bovenstaande methode geen enkele scheepspassage te detecteren voor 22 golven geregistreerd aan sensor 2 en voor 15 golven geregistreerd aan sensor 3. Op basis van een aantal steekproeven op deze data, bleek dat de toegepaste methode gepaard gaat met onderstaande beperkingen:

- Schepen vertragen de snelheid (soms drastisch) waarbij de passagelijnen niet overschreden werd (of pas veel later) maar er toch een belangrijke golf ontstond op het ogenblik dat het schip wel nog een hoge snelheid had of door deceleratie van het schip. Het tijdstip van de passage wordt in dat geval niet gerelateerd aan de golf.
- De scheepssnelheid ter hoogte van de passagelijnen is niet noodzakelijk de snelheid waarmee de belangrijke golf gegenereerd werd. Vaak zijn de belangrijke golven een gevolg van hogere snelheden die op grotere afstanden van de passagelijnen toegepast werden.

Om ook rekening te houden met bovenstaande elementen, zou uitgegaan moeten worden van de AIS-trajecten en zou het primaire en secundaire golfpatroon per schip (incl. voortplantingspatroon en voortplantingssnelheid) gesimuleerd moeten worden om de gemeten waterstandsschommelingen te relateren aan een schip. Deze analyse valt buiten de scope van deze opdracht.

Ook het foutief bepalen van een golftrein toegewezen aan één verstoring (zie §4.3.1) kan aan de basis liggen van een golf waaraan geen scheepspassage gerelateerd kan worden. Sommige waterstandsschommelingen die aanzien werden als een nieuwe golftrein, bleken bij nader inzien mogelijks een uitloper van een eerder opgewekte golf (in beperkte mate versterkt door een bijkomende verstoring).

Bovendien is bekend dat de AIS-gegevens niet alle scheepvaartbewegingen dekken. Een vergelijking van de sluispassages op basis van AIS met beschikbare gegevens geregistreerd op de sluizen zou hierover meer duidelijkheid kunnen scheppen.

Tabel 9 – Passagelijnen waarvoor scheepspassages gezocht werden voor belangrijke golftreinen geïdentificeerd voor sensor 2

Passagelijijn	Tijdstip voor starttijdstip golftrein	Tijdstip na starttijdstip golftrein
[-]	[s]	[s]
S2_Schependijk	-90	10
ToegangskanaalMiddenEnOost	-300	0
VoorhavenWestsluis	-600	0

Tabel 10 – Passagelijnen waarvoor scheepspassages gezocht werden voor belangrijke golftreinen geïdentificeerd voor sensor 3

Passagelijijn	Tijdstip voor starttijdstip golftrein	Tijdstip na starttijdstip golftrein
[-]	[s]	[s]
S3_Martens	-90	10
VoorhavenWestsluis	-300	0

Tabel 11 – Aantal passages automatisch toegeschreven aan een belangrijke golftrein

# passages per wave	Sens2	Sens3
0	22	15
1	38	70
2	34	18
3	10	9
4	8	4
5	4	0
6	1	0
Total # waves	117	116

4.4 Relatie scheepvaart en golftrein

In §4.3 werd een methode gepresenteerd om de belangrijkste golftreinen te relateren aan de bijhorende scheepspassage. Eerder werd reeds opgemerkt dat er verschillende redenen zijn waardoor een geregistreerde waterstandsschommeling niet eenduidig aan één scheepsgolf gerelateerd kan worden. Deze redenen hadden te maken met de complexiteit van het verkeersbeeld en met de beperkingen van de data of de verwerkingsmethode.

Desalniettemin werden 38 golven geregistreerd te sensor 2 en 70 golven geregistreerd te sensor 3 wel gerelateerd aan een unieke scheepspassage. Hieronder wordt verder ingegaan op de relatie tussen het schip en vaartraject enerzijds en de geregistreerde golftrein anderzijds. Aangezien het verkeersbeeld ter hoogte van sensor 3 eenvoudiger is (schepen die golven opwekken varen op relatief korte afstand van de sensor), zullen eerst de resultaten voor sensor 3 besproken worden.

4.4.1 Sensor 3

Wanneer de scheepspassage gerelateerd aan 70 golven met een unieke scheepsmatch onderzocht worden dan blijkt dat slechts in drie gevallen een vaartraject van of naar de Westsluis aan de basis lag van de opgetreden golf. In eerste instantie zal impact van scheepvaart naar de Westsluis op waterstandsschommelingen te sensor 3 onderzocht worden.

Scheepvaart van en naar de Westsluis.

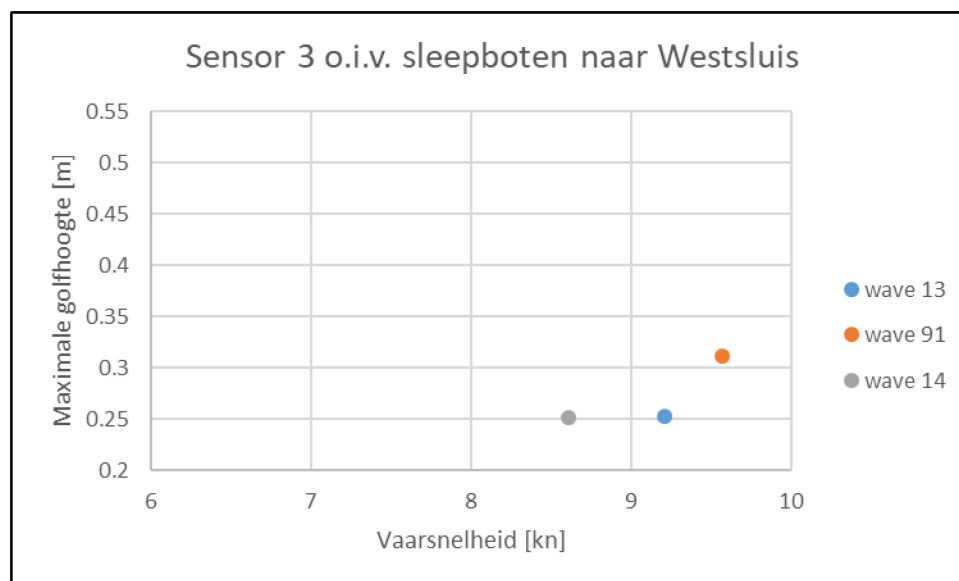
Voor deze analyse worden alle golven geselecteerd waarvoor er enkel relevante scheepspassages over de passagelijijn *VoorhavenWestsluis* geregistreerd werden. Behalve de drie golven waarvoor een unieke scheepspassage aan de basis lag, werd er ook één golf gerelateerd aan de afvaart van drie sleepboten naar de Westsluis. Voor deze golf werd aangenomen dat deze veroorzaakt werd door de snelst varende sleepboot. Aldus werden er te sensor 3, vier golven bekomen welke toegewezen werden aan scheepvaart naar de Westsluis.

Eén van deze vier golven (nr. 111) bleek niet gerelateerd aan een sleepboot. Echter analyse van de bijhorende kmz-visualisatie toonde een erg druk verkeersbeeld dat slechts op enkele seconden na, niet gevangen werd door de automatische selectiemethode. Op basis van de manuele controle kon geen eenduidige relatie tussen golf 111 en het geselecteerde binnenschip naar de Westsluis vastgesteld worden.

De drie ander golven (nrs. 13; 14 en 91) bleken allen geïnduceerd door een afvarende sleepboot. Hoewel een steekproef van slechts drie vaartrajecten niet toelaat om algemene conclusies te trekken, illustreren de scheepspassages wel de relatie tussen de vaarsnelheid en de opgewekte golf. Zo worden in Figuur 31 de maximale waterstandsschommeling (afwijking zowel naar boven als naar beneden) weergegeven in functie van de vaarsnelheid bij het kruisen van de passagelijijn *VoorhavenWestsluis* gehanteerd door de drie sleepboten.

De maximale golfhoogte die geïnduceerd werd door afvarende sleepboten richting Westsluis bedroeg 0.31 m.

Figuur 31 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid sleepboot naar Westsluis



Scheepvaart langs sensor 3

Voor 67 golven werd de waterstandsschommeling gerelateerd aan een enkele scheepspassage ter hoogte van sensor 3.

In Figuur 32 wordt een overzicht geboden van de relatie tussen golfhoogte te sensor 3 en vaarsnelheid waarbij de scheepvaart onderverdeeld werd in onderstaande categorieën:

1. Zeevaart (afwezig in Figuur 32)
2. Sleepboten
3. Pleziervaart
4. Binnenvaart kleiner dan 20 m (veelal kleine dienstvaartuigen)
5. Binnenvaart met lengte tussen 20 m en 50 m (CEMT-klasse I en II)
6. Binnenvaart met lengte tussen 50 m en 70 m (CEMT-klasse II en III)
7. Binnenvaart met lengte tussen 70 m en 100 m (CEMT-klasse IV)
8. Binnenvaart met lengte tussen 100 m en 140 m (CEMT-klasse Va)
9. Binnenvaart met lengte tussen 140 m en 200 m (duwkonvooien)

Bij deze onderverdeling dient opgemerkt te worden dat de lengte voor koppelverbanden en duwkonvooien niet consequent aangepast wordt in de AIS-gegevens.

Uit deze analyse kunnen onderstaande conclusies geformuleerd worden:

1. De impact van pleziervaart op golfhoogtes te sensor 3 is eerder beperkt, met slechts twee passages die slechts een golfhoogte van 0.20 m veroorzaakten.
2. Sleepboten passerend aan snelheden tussen 8.3 kn en 10.2 kn veroorzaken golfhoogtes tot 0.30 m. Er is geen eenduidige relatie tussen vaarsnelheid en golfhoogte merkbaar.
3. Golfhoogtes groter dan 0.4 m worden waargenomen op verschillende types binnenvaart en bij relatief lage vaarsnelheden:
 - a. Lengte 195 m varende aan 6.0 kn (golf 72). Daar dit schip een duwkonvooi betreft en er op basis van AIS geen informatie beschikbaar is over het aantal bakken is er voorbehoud bij de AIS-lengte van dit schip (195 m). Bijgevolg werd de samenstelling van het duwkonvooi opgezocht uit de IVS90 databank (bron RWS). Op basis van de AIS-gegevens kon achterhaald worden dat het schip op 07/08/2018 omstreeks 14h15 lokale tijd opschuttede via de Oostsluis. In de IVS90 database worden de schepen niet geïdentificeerd op naam of ander uniek kenmerk. Wel kon vastgesteld worden dat zowel AIS als IVS90 aangeven dat de desbetreffende schutting uitgevoerd werd door vijf binnenschepen. De IVS90 database vermeldt echter ook de schutting van een motorjacht dat ontbreekt in de AIS-data. Op basis van de hoofdafmetingen konden de vijf schepen geïdentificeerd worden en kon volgende informatie bekomen worden voor het duwkonvooi:
 - i. Duwkonvooi met twee bakken in lengte (CEMT-klasse Vb)
 - ii. L = 195 m
 - iii. B = 11.45 m
 - iv. T = 3.0 m
 - b. Lengte 30 m varende aan 8.1 kn (golf 78). Doordat dit schip doorvoer naar het Zijkanaal A en dus niet schuttede, konden er geen bijkomende gegevens opgehaald worden uit de IVS90-database.
 - c. Lengte 90 m varende aan 9.5 kn (golf 29). Op basis van de IVS90 database konden onderstaande bijkomende informatie achterhaald worden voor het schip:
 - i. Motorvrachtschip (CEMT-klasse IV)
 - ii. L = 90 m
 - iii. B = 9.5 m
 - iv. T = 2.3 m

4. Hoge vaarsnelheden (tot bijna 11 kn) leiden niet noodzakelijk tot hoge maximale golfhoogtes. Nochtans is voor de scheepsklassen overeenkomstig binnenvaart langer dan 50 m een algemeen, doch weinig uitgesproken, stijgende trend waarneembaar.

Het blijkt dat de belangrijke golven ter hoogte van sensor 3 zowel gegenereerd worden door zowel korte schepen als door lange duwkonvoeien. Een relatie met de diepgang kon niet achterhaald worden aangezien de IVS90 databank (die diepgangsinformatie bevat) en de AIS-databank geen eenvoudige automatische koppeling toelaten en er bijgevolg geen betrouwbare diepgangsinformatie beschikbaar was.

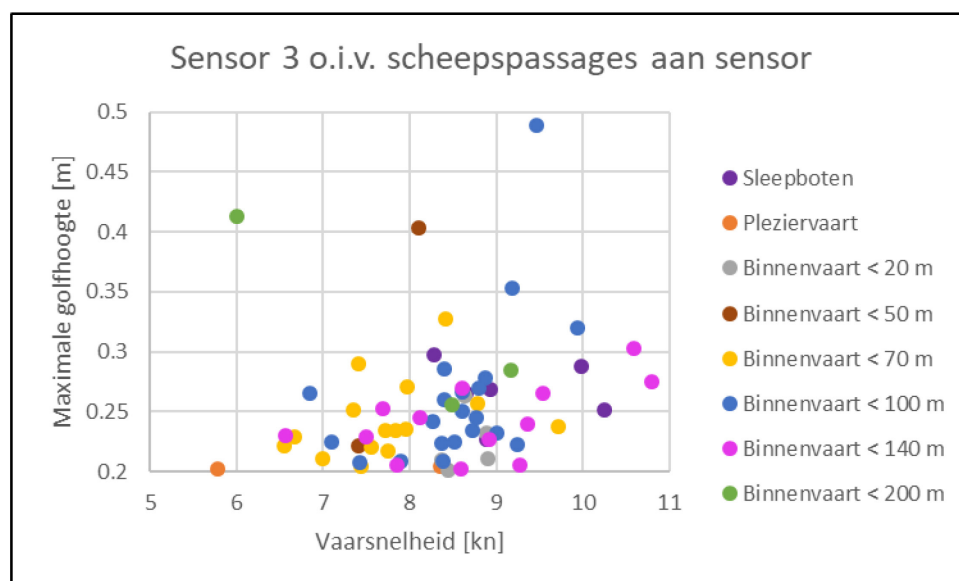
Zowel primaire als secundaire golven opgewekt door schepen zijn sterk gerelateerd aan het Froudegetal van het schip. Het Froudegetal wordt bepaald als de verhouding van de werkelijke vaarsnelheid van het schip ten opzichte van de kritische snelheid van het schip in de omgeving (overeenkomstig de maximale retourstroom in de sectie tussen schip en watersectie). Om de kritische snelheid accuraat te bepalen ontbreekt de diepgangsinformatie van de schepen. Bijgevolg wordt in deze analyse gebruik gemaakt van het Froudegetal voor diep water (wat niet overeenstemt met de condities te KGT) en dat zuiver lengteafhankelijk is:

$$F_{rL} = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}}$$

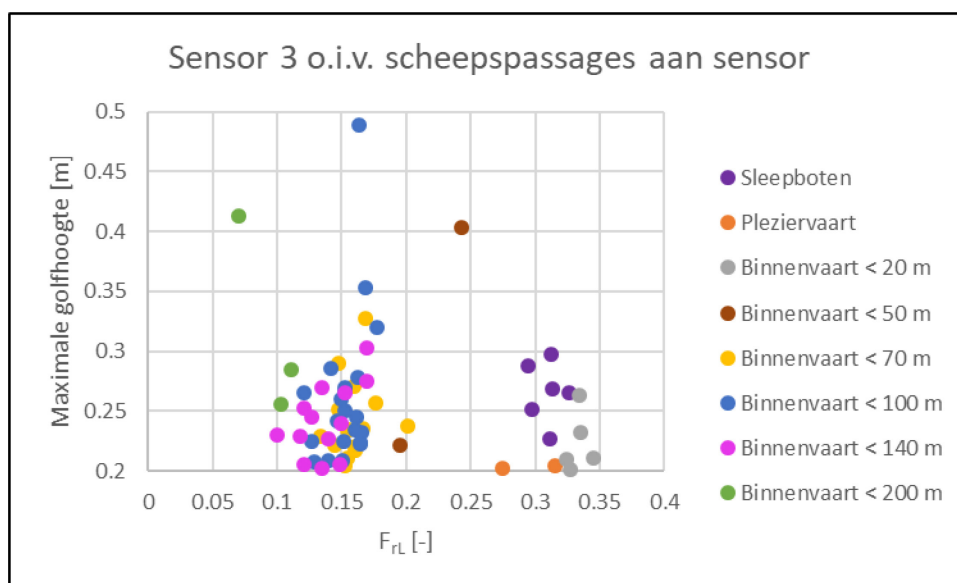
In Figuren 33 en 34 worden de maximale golfhoogtes uitgezet in functie van het Froudegetal voor diep water. Hoewel de erg korte schepen ($L < 35$ m) zoals pleziervaart, sleepboten en kleine dienstvaartuigen een afwijkend golfpatroon vertonen, blijkt dat de scheepslengte voor grotere binnenvaart (in rekening gebracht in F_{rL}) wel degelijk een impact heeft op de opgewekte golf. Desalniettemin is ook de relatie tussen het Froudegetal voor diep water op basis van scheepslengte en de maximale waterstandsschommeling te sensor 3 onvoldoende eenduidig om een voorspellingsmodel op te enten.

Een meer diepgaand onderzoek betreffende de relatie tussen scheepvaart en waterstandsschommelingen vereist een meer uitgebreide kennis van de scheepscondities (minimaal samenstelling en diepgang) en een meer gedetailleerde analyse van het scheepvaartverkeer, de vaartrajecten en de bathymetrie, welke buiten de huidige opdracht vallen.

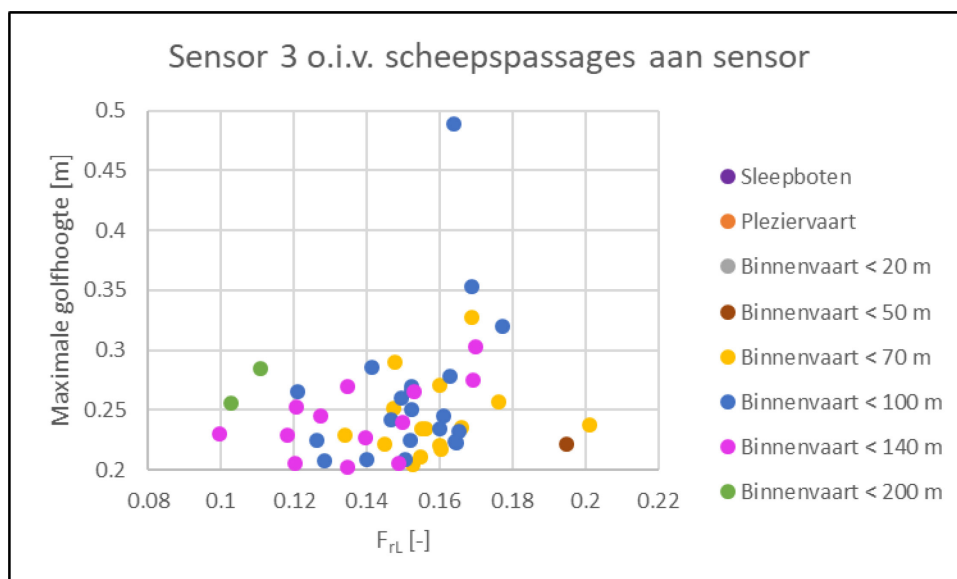
Figuur 32 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan vaarsnelheid van de passerende scheepvaart



Figuur 33 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan het Froudegetal in diep water van de passerende scheepvaart



Figuur 34 – Maximale golfhoogte te sensor 3 gerelateerd aan het Froudegetal in diep water van de passerende scheepvaart (detail 0.08 – 0.22)



Impact van Zeevaart

Op basis van de belangrijke golven die toegeschreven konden worden aan een uniek scheepstraject werd geen enkele belangrijke golf gekoppeld aan de passage van een zeeschip. Om de mogelijke invloed van zeeschepen op de waterstanden te sensor 3 te onderzoeken werden alle zeeschepen onderzocht welke volgens de methode in §4.3.3 toegewezen werden aan een belangrijke golf en die dus de mogelijke oorzaak waren van deze golf. De resulterende scheepsafmetingen worden weergegeven in Tabel 12. Voor deze scheepspassages werd manueel onderzocht of de bijhorende golf te sensor 3 toegeschreven kon worden aan het zeeschip. Voor geen van deze golfregistraties kon de oorzaak ontegensprekelijk bij een zeeschip gelegd worden. In meerdere gevallen echter was het verkeersbeeld te complex om (ook manueel) de golf te relateren aan één scheepstraject.

Op basis van het gevoerde onderzoek kon geen impact van zeevaart op belangrijke golftreinen te sensor 3 waargenomen worden.

Tabel 12 – Passages van zeeschepen naar Westsluis die de mogelijke oorzaak waren van een golfregistratie te sensor 3

wave	startTime Wave	ship L	ship B	ship T	max wave height	ship speed
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kn]
3	20/07/2018 6:25	101	18	5	0.24	7.5
4	20/07/2018 8:29	200	30	6.7	0.29	4.3
6	20/07/2018 8:51	182	30	7.1	0.25	3.6
63	6/08/2018 13:20	90	14	5.9	0.29	6.9
64	6/08/2018 13:25	87	15	5.4	0.21	6.8
97	10/08/2018 13:48	82	12	5.3	0.22	3.3
107	16/08/2018 11:21	115	18	7.9	0.29	4.0
110	17/08/2018 11:15	170	27	8.2	0.20	5.4

4.4.2 Sensor 2

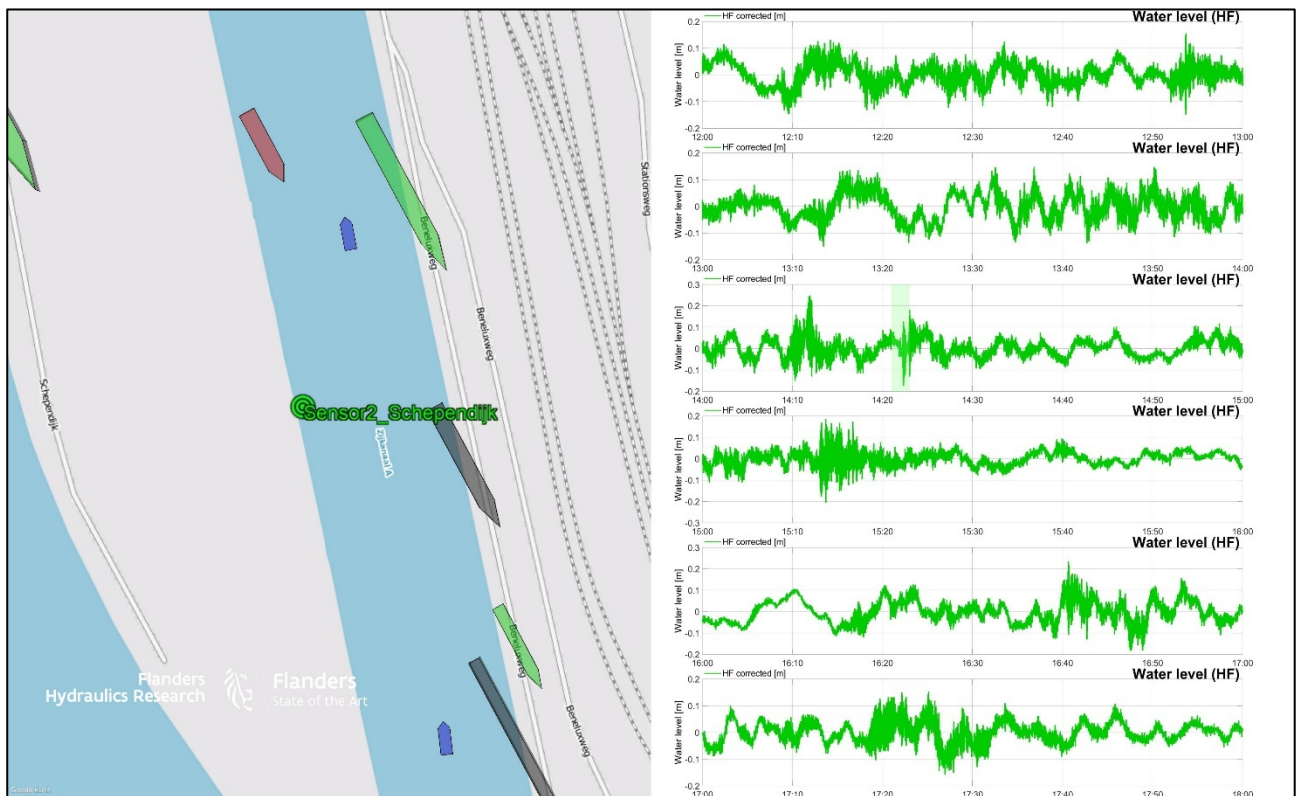
Golven waargenomen te sensor 2 kunnen toegeschreven aan scheepsbewegingen op verschillende trajecten:

- Scheepvaart in het Zijkanaal A op korte afstand van de sensor (passagelij: S2 Schependijk)
- Scheepvaart richting Oost- en Middensluis (passagelij: ToeganskanaalMiddenEnOost)
- Scheepvaart richting Westsluis (passagelij: VoorhavenWestsluis)

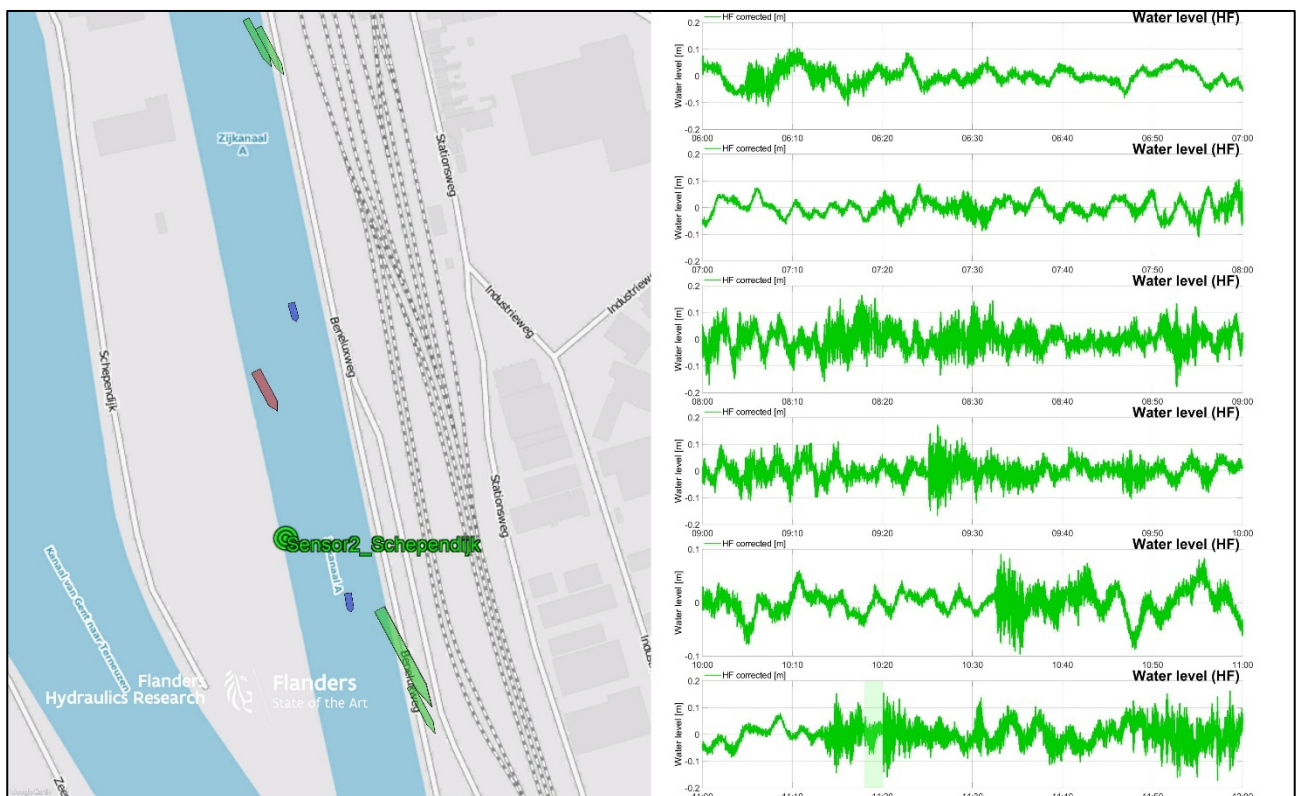
Het groter aantal scheepstrajecten dat mogelijks verantwoordelijk is voor waterstandschommelingen te sensor 2 en de grotere afstand tussen de sensor en de passagelijnen resulteren in een moeilijkere toewijzing van vaartrajecten aan waterstandsschommelingen. Bovendien zijn - wegens het complexere golfpatroon - de golfpieken te sensor 2 minder uitgesproken dan te sensor 3.

Uit §4.3.3 bleek dat slechts voor 38 belangrijke golven te sensor 2 de golf gerelateerd kon worden aan een uniek scheepstraject. Slechts in één geval werd de golfbeweging toegeschreven aan één scheepstraject in het Zijkanaal A en in twee gevallen aan één scheepstraject naar de Westsluis. Voor de 35 andere golven gerelateerd aan een uniek vaartraject, betroffen het vaartrajecten richting Middensluis of Oostsluis.

Figuur 36 – Passage schip (blauw) bij snelheid 7.2 kn op 20/07 en waterstanden te sensor 2. Weergave positie om 14h21 en 14h22



Figuur 37 – Passage schip (blauw) bij snelheid 6.9 kn op 06/08 en waterstanden te sensor 2. Weergave positie om 11h18 en 11h19



Scheepvaart van en naar Westsluis

Te sensor 3 werd reeds opgemerkt dat belangrijke golven ten gevolge van scheepvaart voor de Westsluis, enkel waargenomen worden in enkele gevallen waarbij sleepboten aan relatief hoge snelheid naar de voorhaven van de Westsluis voeren.

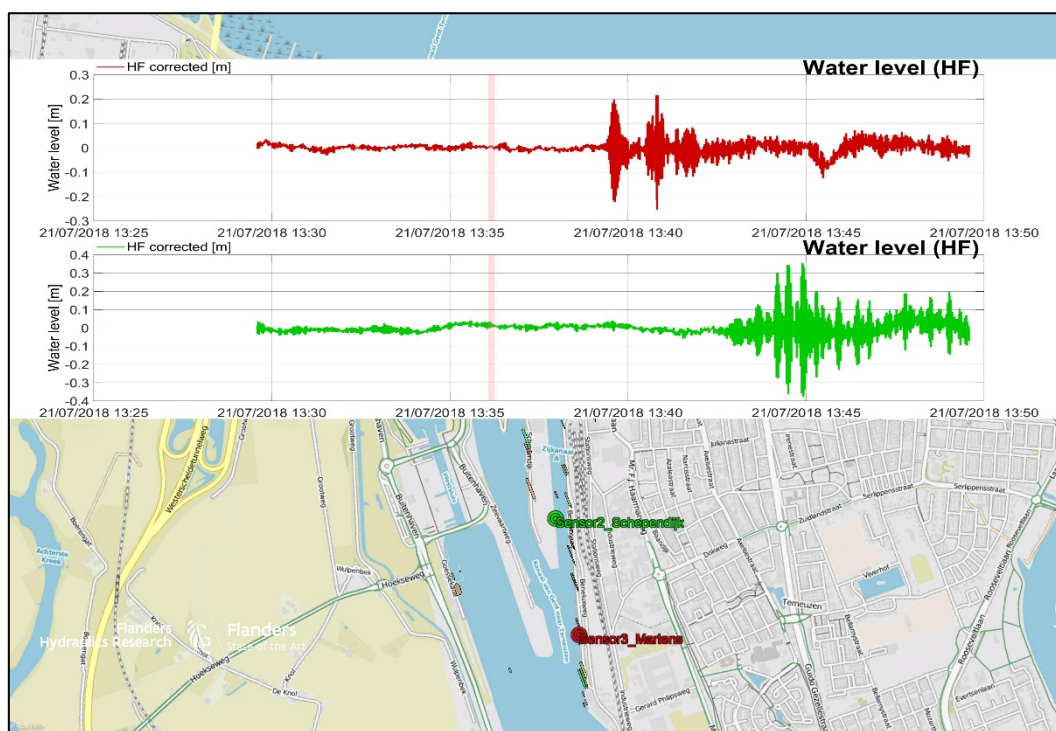
Voor de selectie van schepen naar de Westsluis die mogelijks een impact hadden op een golfregistratie te sensor 2 werd er 10 minuten teruggekeken in de tijd (zie §4.3.3). Voor sensor 2 bleek slechts in twee gevallen een belangrijke golf toegeschreven te worden aan een uniek scheepstraject via de Westsluis. De bijhorende vaarsnelheden ($V < 6.6$ kn) van deze relatief kleine schepen ($L < 32$ m) doen echter vermoeden dat de bron van de geregistreeerde waterstandsschommelingen niet overeenstemt met de vaartrajecten naar de Westsluis.

Omgekeerd werd voor de drie passages van sleepboten waarvoor te sensor 3 wel een belangrijke golf geregistreerd werd, nagegaan of deze golf zich ook doorzette tot sensor 2. Hierbij bleek dat de belangrijke golven waargenomen te sensor 3 ook overeenstemmen met een belangrijke golf te sensor 2 (zie Figuren 38 tot 40). Zo stemde golf 13 te sensor 3 overeen met golf 5 te sensor 2; 14 met 7 en 91 met 71.

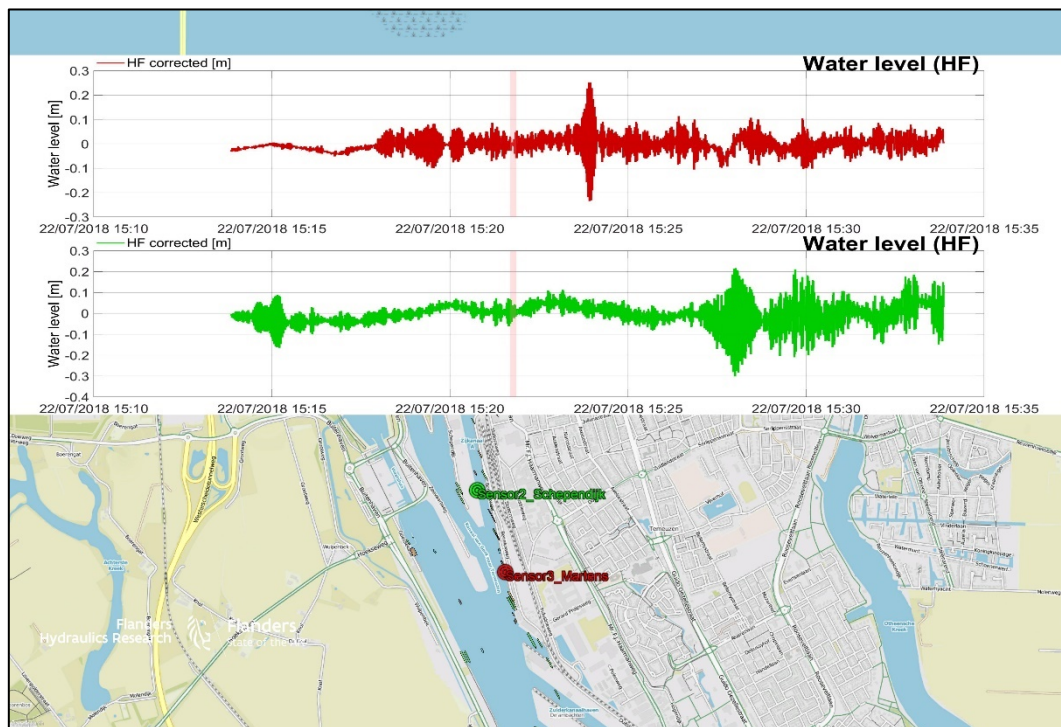
In twee gevallen wordt de golf te sensor 2 gegenereerd door een combinatie van verschillende vaartrajecten en kon de impact van de sleepboot naar de Westsluis op de waterstanden te sensor 2 niet eenduidig bepaald worden. Voor golf 91 te sensor 3 (d.i. golf 71 te sensor 2) is er behalve de verstoring door de sleepboot richting Westsluis slechts één enkel ander relevant schip. Dit binnenschip (lengte 110 m) voer aan een snelheid van 4.6 kn naar het toegangskanaal van de Midden- en Oostsluis. Voor dit schip wordt geen belangrijke golf verwacht, waardoor golf 71 te sensor 2 inderdaad toegeschreven kan worden aan de vaart van een sleepboot naar de Westsluis.

Er kan geconcludeerd worden dat de scheepsgolven welke gegenereerd worden door snelvarende sleepboten naar de Westsluis een belangrijke golf kunnen opwekken ter hoogte van de sensoren 3 en 2. Op basis van Figuur 40 wordt vastgesteld dat de golfhoogte te sensor 2 niet noodzakelijk lager is dan ter hoogte van sensor 3.

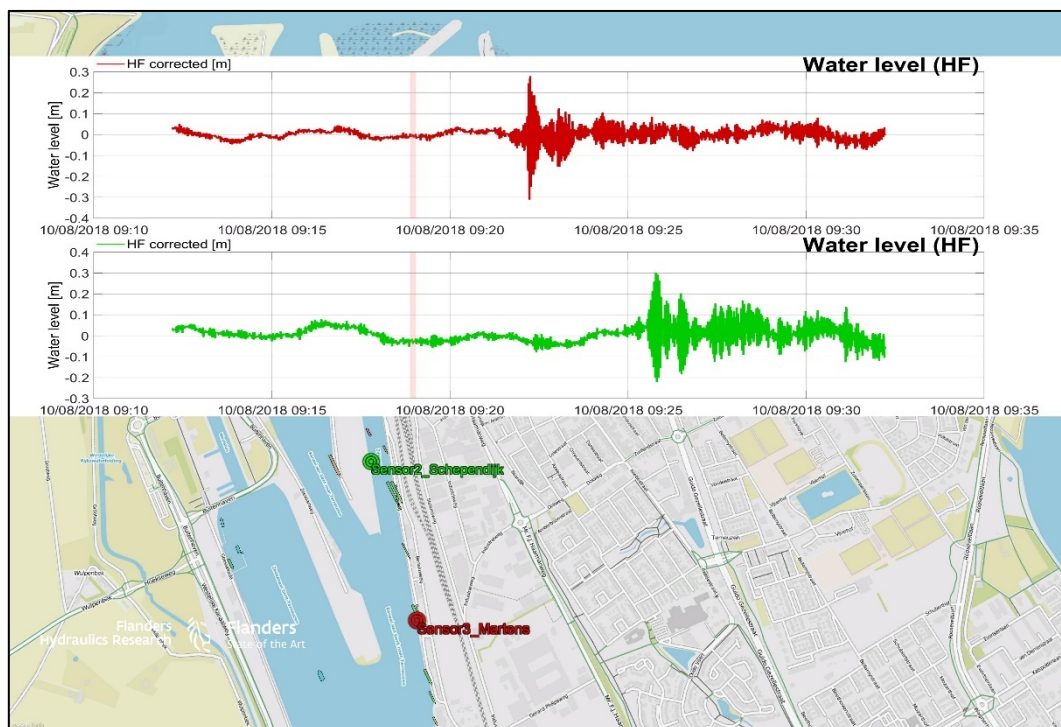
Figuur 38 – Golf 13 te sensor 3 en golf 5 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te VoorhavenWestsluis



Figuur 39 – Golf 14 te sensor 3 en golf 7 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te VoorhavenWestsluis



Figuur 40 – Golf 91 te sensor 3 en golf 71 te sensor 2 met weergave passage sleepboot te VoorhavenWestsluis



Scheepvaart van en naar Oost- en Middensluis

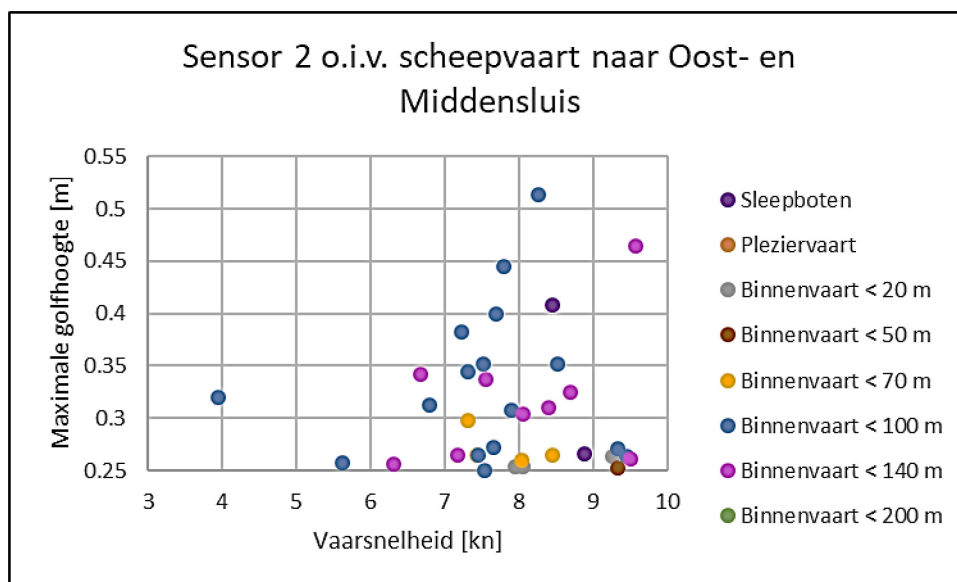
Het merendeel van de golven die toegeschreven konden worden aan een uniek vaartraject (35/38) werden gerelateerd aan scheepvaart van of naar de Oost- en Middensluis. Vrijwel al deze schepen passeerden voor- of nadien ook sensor 3.

Voor de scheepvaart naar Oost- of Middensluis werd eenzelfde opsplitsing naar scheepsklassen uitgevoerd als voor sensor 3. Figuur 41 biedt een overzicht van de betreffende scheepsklassen en de bijhorende vaarsnelheid toegepast op passagelijijn *ToegangskanaalMiddenEnOost*. Opnieuw blijkt de golfhoogte doorgaans een stijgende trend te hebben bij toenemende vaarsnelheid, hoewel sommige schepen ook bij hoge vaarsnelheden aanleiding geven tot relatief lage golfhoogtes.

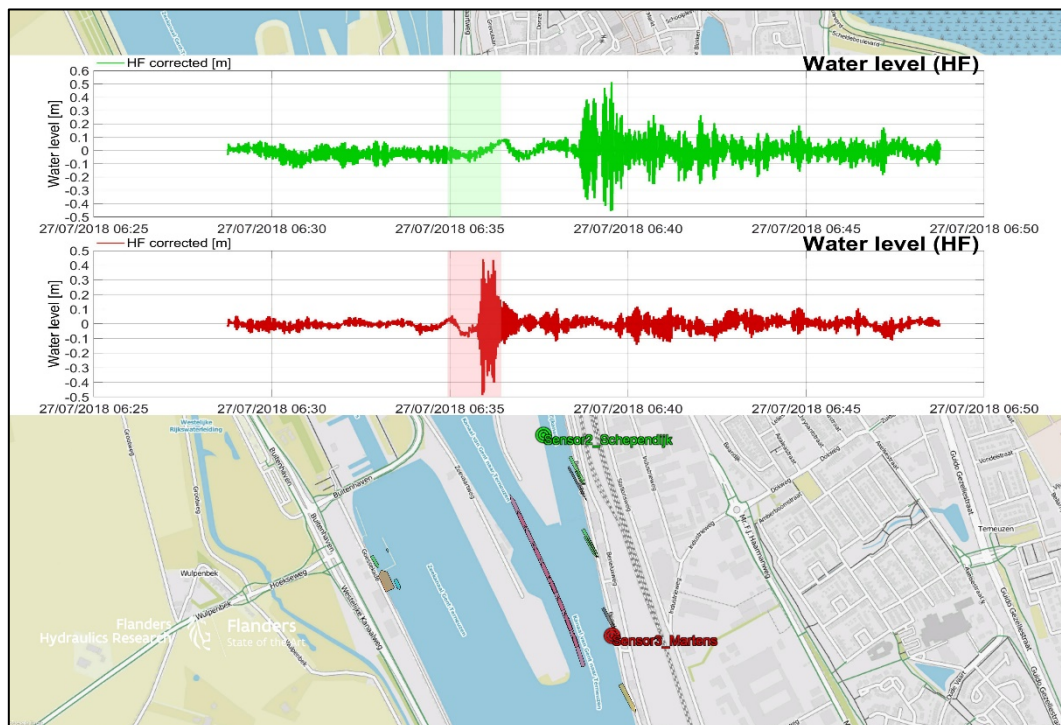
Onderstaande scheepspassages gaven aanleiding tot een golfhoogte te sensor 2, hoger dan 0.4 m:

1. Golf 15: een snelvarend (9.6 kn) binnenschip (lengte 135 m) gaf aanleiding tot een golfhoogte gelijk aan 0.46 m.
2. Golf 20: de grootste golf ter hoogte van sensor 2 (0.51 m) wordt gegenereerd door hetzelfde schip dat verantwoordelijk was voor de hoogste golf te sensor 3. Het betrof een motorvrachtschip met lengte 90 m, breedte 9.5 m en diepgang 2.3 m en vaarsnelheid 8.3 kn.
3. Golf 35: een sleepboot met vaarsnelheid 8.4 kn gaf aanleiding tot een golfhoogte van 0.41 m te sensor 2. Wanneer de vaart van deze sleepboot langs sensor 3 geanalyseerd werd, dan bleek ook daar een belangrijke golf (golf 41 met hoogte 0.3 m) toegeschreven te kunnen worden aan de passage van dezelfde sleepboot (zie Figuur 43).
4. Golf 108: een binnenschip met lengte 80 m en snelheid 7.7 kn gaf aanleiding tot een golfhoogte van 0.45 m. Merkwaardig aan dit scheepstraject is dat de passage te sensor 3 geen aanleiding gaf tot een belangrijke golf (zie Figuur 44).

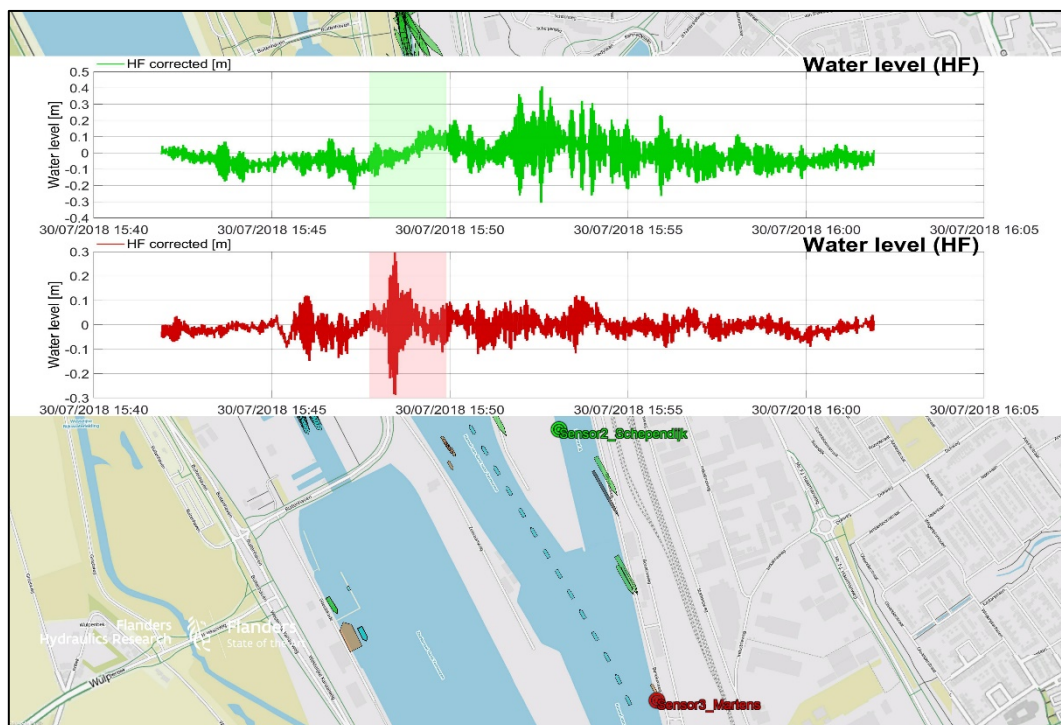
Figuur 41 – Maximale golfhoogte te sensor 2 gerelateerd aan vaarsnelheid van de scheepvaart van en naar de Midden- en Oostsluis



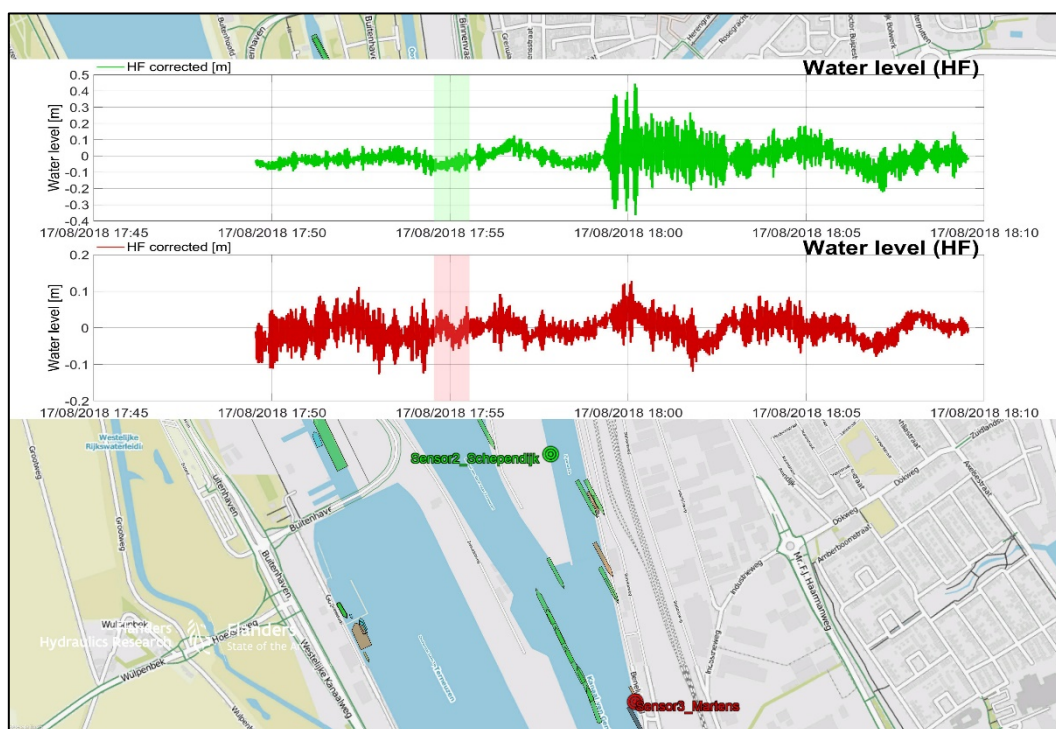
Figuur 42 – Impact van binnenschip op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 20) en sensor 3 (golf 29)



Figuur 43 – Impact van sleepboot op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 35) en sensor 3 (golf 41)



Figuur 44 – Impact van binnenschip op waterstandsschommelingen te sensor 2 (golf 108) en sensor 3 (geen golf)



5 Samenvatting

Ter beoordeling van de scheepsgolven ter hoogte van de Beneluxweg, werden in de periode 20/07/2018 tot 21/08/2018 op drie locaties waterstandsschommelingen opgemeten door middel van druksensoren ingesteld met meetfrequentie 10 Hz. Het betreft een nulmeting van de optredende waterstandsschommelingen voor de start van de werken (of aanpassingen aan de vaarwegcontour) uitgevoerd in het kader van project Nieuwe Sluis Terneuzen (NST) aan de Kanaalzijde van de sluizen.

De eerste twee sensoren (sensor 1 en 2) bevonden zich respectievelijk aan de oostelijke oever (Beneluxweg ter hoogte van kaai TK0215) en westelijke oever (Schepondijk) van het Zijkanaal A. Het Zijkanaal A wordt enkel toegepast door relatief kleine binnenvaart en dienstvaartuigen. Sensor 3 werd geplaatst op een positie ten zuiden van het Zijkanaal A eveneens langs de oostelijke oever. Alle scheepvaart tussen het kanaal en de Midden en Oostsluis passeerde op korte afstand van sensor 3. De locaties van de druksensoren wordt weergegeven in Figuur 5 op p. 5.

Door middel van een gepaste conversiemethode gebaseerd op hydrostatische theorie en lineaire golftheorie, werden de drukmetingen omgezet naar waterstandsschommelingen die vervolgens door toepassing van een frequentiefilter gereduceerd werden tot de waterstandsschommelingen ten gevolge van scheepsgolven.

De verwerking toonde een afwijkend golfbeeld voor de metingen te sensor 1, waarbij hoogfrequente golfcomponenten minder uitgesproken waren. De resultaten voor sensor 2 en 3 waren wel eenduidig. Aangezien sensor 1 en 2 zich op korte afstand van elkaar bevonden, werden de afwijkende resultaten te sensor 1 toegeschreven aan een verstoorde meting. Deze verstoring is vermoedelijk te wijten aan de aanwezigheid van afgemeerde schepen op- en afwaarts de meetpositie. Bijgevolg werden de waterstandsschommelingen te sensor 1 niet verder onderzocht. Er kan verondersteld worden dat de waterstandsschommelingen te sensor 1 in afwezigheid van afgemeerde schepen, gelijkaardig zullen zijn dan deze te sensor 2 (waar geen schepen afgemeerd lagen).

Wanneer de waterstandsschommelingen te sensor 2 en 3 met elkaar vergeleken worden dan bleken er licht grotere golven op te treden te sensor 2. De maximale afwijking van de ogenblikkelijke waterstand ten opzichte van de onverstoorde waterstand betrof 0.51 m voor sensor 2 en 0.49 m voor sensor 3.

Op basis van AIS-gegevens, bekomen uit de Schelde Radar Keten, werd het scheepvaartverkeer rond de meetpunten in kaart gebracht. De golfmetingen en scheepvaartverkeer werden grafisch weergegeven in de vorm van KMZ-bestanden en het scheepvaartverkeer werd samengevat op basis van verschillende passagelijnen in het studiegebied.

Uit de golfmetingen te sensor 2 en 3 werden de belangrijke golven gedistilleerd als die golven waarvoor de golfhoogte meer dan respectievelijk 0.25 m en 0.20 m bedroeg. Het betroffen respectievelijk 117 en 116 golven. Deze golven werden gerelateerd aan het scheepvaartverkeer door analyse van scheepspassages in een tijdsspanne rond de golf. Ook voor elke golf werd een KMZ-weergave gegenereerd die een gedetailleerde voorstelling biedt van de waterstandsvariëaties gedurende twintig minuten rond de golf en het bijhorende scheepvaartverkeer.

Bovenvermelde methode bood een automatische selectie van scheepspassages gerelateerd aan golven ter hoogte van de locaties van sensor 2 en 3. Analyse van de resultaten gaf aanleiding tot onderstaande resultaten:

- Op beide locaties werd het merendeel van de belangrijke golven gegenereerd door scheepvaart tussen het kanaal en de Midden- en Oostsluis. De belangrijkste golven op dit traject werden gegenereerd door binnenvaartschepen, duwkonvoien en sleepboten, met golfhoogtes tot 0.49 m te sensor 3 en 0.51 m te sensor 2. Op beide locaties konden de maximale golfregistraties toegewezen worden aan de opvaart van hetzelfde binnenschip met lengte 90 m, breedte 9.5 m en diepgang 2.3 m.

- Voor scheepvaart van en naar de Westsluis bleken enkel snelvarende sleepboten ($V > 8.5$ kn) aanleiding te geven tot belangrijke golven ter hoogte van sensor 3 en 2. Geen van de belangrijke golven kon gerelateerd worden aan zeevaart.
- Ook snelvarende ($V > 7$ kn) kleinere schepen ($L < 20$ m) in het Zijkanaal A gaven aanleiding tot een belangrijke golf.
- Voor geen van de meetlocaties kon de impact van zeevaart op belangrijke golftreinen waargenomen worden.

Uit het onderzoek blijkt dat de belangrijkste golven ontstaan door scheepvaart met bestemming Middensluis en Oostsluis. Na realisatie van de Nieuwe Sluis Terneuzen wordt het vaarwater voor schepen met bestemming Oostsluis ruimer (en dieper), waardoor -bij eenzelfde vaarsnelheid- de golfopwekking van deze schepen zal verminderen ten opzichte van de huidige situatie. Bijgevolg wordt er op dit vaartraject geen belangrijke toename van de golfhoogtes in Zijkanaal A verwacht door de aanpassingen aan het studiegebied bij realisatie van de Nieuwe Sluis Terneuzen.

Een aandachtspunt gaat wel uit naar de vaarsnelheid van sleepboten (en andere scheepvaart) naar de Nieuwe Sluis en Westsluis. Door het afgraven van de landtong Zeevaartweg komt de Beneluxweg ter hoogte van sensor 3 minder beschermt voor scheepsgolven van scheepvaart naar de Westsluis en naar de Nieuwe Sluis Terneuzen. De belangrijke golven opgewekt door sleepboten kunnen in dat geval aanleiding geven tot grotere waterstandsschommelingen aan de kaaimuren langs de Beneluxweg en bij uitbreiding in het Zijkanaal A. Mogelijks zijn mitigerende maatregelen (vb. snelheidsbeperkingen) noodzakelijk.

6 Aanbevelingen

Voorliggend rapport bevat de resultaten van waterstandsschommelingen op drie locaties in het havengebied van Terneuzen. Het betreft een nulmeting waarbij de scheepsgolven in kaart gebracht worden in de periode zomer 2018, voordat het studiegebied aangepast wordt in het kader van het project Nieuwe Sluis Terneuzen.

Het verdient aanbeveling om de meetcampagne te herhalen na finalisatie van het project.

Zowel de verwerking van de drukmetingen naar waterstanden als de analyse van vaartrajecten gaan gepaard met onzekerheden die de resultaten kunnen beïnvloeden. Om deze onzekerheden te mitigeren worden onderstaande bijkomende registraties aanbevolen:

- Combinatie van druksensor met een ultrasone waterstandsdetectie op één of meerdere locaties ter validatie van de verwerkingsmethode om druk om te zetten in waterhoogte. Dit dient toe te laten om de instellingen voor de berekeningsmethode voor waterstandsschommelingen (zie §2.2.5) te optimaliseren voor het studiegebied.
- Voor een meer gedetailleerde analyse van registraties van extreme waterstandsschommelingen is het nuttig om het scheepvaartverkeer te kunnen valideren op basis van fotomateriaal van het studiegebied. Hiervoor wordt aanbevolen om gesynchroniseerde cameraregistraties uit te voeren van het volledige projectgebied met periode 10 seconden.

De opgetreden waterstandsschommelingen zijn vaak het gevolg van een complexe combinatie van verschillende scheepstrajecten. Om de waterstandsschommelingen op een correctere wijze toe te schrijven aan het juiste vaartraject zou de propagatie van het golfpatroon van elk schip gesimuleerd moeten worden. De realisatie van een dergelijke simulatie van scheepsgolven betreft echter een uitdagend wetenschappelijk thema dat fundamenteel onderzoek behoeft. Zo is het golfpatroon afhankelijk van vele parameters waaronder scheepsafhankelijke (lengte, diepgang, vaarsnelheid,...) en omgevingsafhankelijke (bathymetrie, waterstand, schutgolven, superpositie met andere (scheeps-)golven).

De registraties uitgevoerd in het kader van voorliggend onderzoek kunnen een belangrijke waarde hebben in het valideren van een numeriek model voor scheepsgolven. Een randvoorwaarde hiervoor betreft de validatie van de scheepseigenschappen zoals in voorliggend rapport bepaald op basis van AIS-gegevens (met beperkte kwaliteit). Een koppeling tussen de IVS90 databank voor schutting van schepen en de AIS-gegevens lijkt hiervoor de meest voor de hand liggende methode. De afwezigheid van scheepsidentificatie in de IVS90 databank bemoeilijkt echter deze koppeling.

7 Referenties

- [1] **Verelst, K.; Vereecken, H.; De Mulder, T.; Van Braeckel, A.; Speybroeck J.; MilotiĆ T.; Van Den Bergh, E.; Taverniers, E.; Mostaert, F.** (2011). Onderzoek naar de invloedsfactoren van golfbelasting en de morfologische effecten op slikken en schorren in de Beneden Zeeschelde, meer specifiek op het Galgeschoor: Deelrapport 2: Verslag testmeting van 29/11/2010 - 01/12/2010. Versie 4_0. WL Rapporten, 837_03. Waterbouwkundig Laboratorium & INBO: Antwerpen, België
- [2] **Anon** (2008). Coastal engineering manual. Engineer manual EM 1100-2-1100. Bron: <http://chl.erdc.usace.army.mil/chl.aspx?p=s&a=ARTICLES;101>
- [3] **Bishop C. T.; Donelan M. A.** (1987). Measuring waves with pressure transducers. Coastal Engineering 11: 309-328.
- [4] **Ellis J.T.; Sherman D. J.; Bauer B.O.** (2006). Depth compensation for pressure transducer measurements of Boat Wakes. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th international coastal symposium) : 488-492
- [5] **Ernest Kowles, C.** (1983). On the estimation of Surface gravity waves from subsurface pressure records for estuarine basins. Estuarine, Coastal and shelf science 17: 395-404.
- [6] **Verelst, K.; De Mulder, T.; Vereecken, H.; Taverniers, E.; Mostaert, F.** (2012). Onderzoek naar de invloedsfactoren van golfbelasting en de morfologische effecten op slikken en schorren in de Beneden Zeeschelde, meer specifiek op het Galgeschoor: deelrapport 8. Analyserapport golfbelasting op het Galgeschoor. versie 2.0. WL Rapporten, 837_03. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- [7] **Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2016). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: Deelrapport 5 – Overzicht van metingen op verschillende meetlocaties. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_082_5. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- [8] **Levy, Y.; Meire, D.; Belliard, J.P.; De Roo, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Wave measurements at Galgeschoor: Part 2: Analysis of velocities and waves during an intensive measuring campaign. Version 0.34. FHR Reports, 15_054_1. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.
- [9] **Vantorre, M.** (2003), Cursus Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Maritieme Hydrostatica en Dynamica. Hoofdstuk VI. Scheepsweerstand.
- [10] **De Roo, S.** (2014) Experimentele studie van het hydrodynamische gedrag van een natuurvriendelijke oeverbescherming belast door scheepsgolven in een beperkte, niet-tijgebonden waterweg. Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van Doctor in de Ingenieurswetenschappen: Bouwkunde. Universiteit Gent, Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur, Vakgroep Civiele Techniek, Labo voor Hydraulica.

Bijlage 1 KMZ-bestanden

KMZ-bestanden worden digitaal toegevoegd aan het rapport. Het betreffen enerzijds visualisaties per sensor van de volledige meetperiode opgesplit in tijdsblokken van 6h en anderzijds visualisaties van de belangrijkste golven aan de sensoren 2 en 3.

Deze KMZ-bestanden kunnen geopend worden door middel van Google Earth™ of ander GIS-software.

KMZ-weergave waterstandsschommelingen en scheepvaartverkeer per 6h

De inhoud van deze kmz-bestanden wordt besproken in §4.2 op p. 25.

Sensor 1

S1_60s_20180720_00_06.kmz	S1_60s_20180726_00_06.kmz
S1_60s_20180720_06_12.kmz	S1_60s_20180726_06_12.kmz
S1_60s_20180720_12_18.kmz	S1_60s_20180726_12_18.kmz
S1_60s_20180720_18_00.kmz	S1_60s_20180726_18_00.kmz
S1_60s_20180721_00_06.kmz	S1_60s_20180727_00_06.kmz
S1_60s_20180721_06_12.kmz	S1_60s_20180727_06_12.kmz
S1_60s_20180721_12_18.kmz	S1_60s_20180727_12_18.kmz
S1_60s_20180721_18_00.kmz	S1_60s_20180727_18_00.kmz
S1_60s_20180722_00_06.kmz	S1_60s_20180728_00_06.kmz
S1_60s_20180722_06_12.kmz	S1_60s_20180728_06_12.kmz
S1_60s_20180722_12_18.kmz	S1_60s_20180728_12_18.kmz
S1_60s_20180722_18_00.kmz	S1_60s_20180728_18_00.kmz
S1_60s_20180723_00_06.kmz	S1_60s_20180729_00_06.kmz
S1_60s_20180723_06_12.kmz	S1_60s_20180729_06_12.kmz
S1_60s_20180723_12_18.kmz	S1_60s_20180729_12_18.kmz
S1_60s_20180723_18_00.kmz	S1_60s_20180729_18_00.kmz
S1_60s_20180724_00_06.kmz	S1_60s_20180730_00_06.kmz
S1_60s_20180724_06_12.kmz	S1_60s_20180730_06_12.kmz
S1_60s_20180724_12_18.kmz	S1_60s_20180730_12_18.kmz
S1_60s_20180724_18_00.kmz	S1_60s_20180730_18_00.kmz
S1_60s_20180725_00_06.kmz	S1_60s_20180731_00_06.kmz
S1_60s_20180725_06_12.kmz	S1_60s_20180731_06_12.kmz
S1_60s_20180725_12_18.kmz	S1_60s_20180731_12_18.kmz
S1_60s_20180725_18_00.kmz	S1_60s_20180731_18_00.kmz

S1_60s_20180801_00_06.kmz	S1_60s_20180810_00_06.kmz
S1_60s_20180801_06_12.kmz	S1_60s_20180810_06_12.kmz
S1_60s_20180801_12_18.kmz	S1_60s_20180810_12_18.kmz
S1_60s_20180801_18_00.kmz	S1_60s_20180810_18_00.kmz
S1_60s_20180802_00_06.kmz	S1_60s_20180811_00_06.kmz
S1_60s_20180802_06_12.kmz	S1_60s_20180811_06_12.kmz
S1_60s_20180802_12_18.kmz	S1_60s_20180811_12_18.kmz
S1_60s_20180802_18_00.kmz	S1_60s_20180811_18_00.kmz
S1_60s_20180803_00_06.kmz	S1_60s_20180812_00_06.kmz
S1_60s_20180803_06_12.kmz	S1_60s_20180812_06_12.kmz
S1_60s_20180803_12_18.kmz	S1_60s_20180812_12_18.kmz
S1_60s_20180803_18_00.kmz	S1_60s_20180812_18_00.kmz
S1_60s_20180804_00_06.kmz	S1_60s_20180813_00_06.kmz
S1_60s_20180804_06_12.kmz	S1_60s_20180813_06_12.kmz
S1_60s_20180804_12_18.kmz	S1_60s_20180813_12_18.kmz
S1_60s_20180804_18_00.kmz	S1_60s_20180813_18_00.kmz
S1_60s_20180805_00_06.kmz	S1_60s_20180814_00_06.kmz
S1_60s_20180805_06_12.kmz	S1_60s_20180814_06_12.kmz
S1_60s_20180805_12_18.kmz	S1_60s_20180814_12_18.kmz
S1_60s_20180805_18_00.kmz	S1_60s_20180814_18_00.kmz
S1_60s_20180806_00_06.kmz	S1_60s_20180815_00_06.kmz
S1_60s_20180806_06_12.kmz	S1_60s_20180815_06_12.kmz
S1_60s_20180806_12_18.kmz	S1_60s_20180815_12_18.kmz
S1_60s_20180806_18_00.kmz	S1_60s_20180815_18_00.kmz
S1_60s_20180807_00_06.kmz	S1_60s_20180816_00_06.kmz
S1_60s_20180807_06_12.kmz	S1_60s_20180816_06_12.kmz
S1_60s_20180807_12_18.kmz	S1_60s_20180816_12_18.kmz
S1_60s_20180807_18_00.kmz	S1_60s_20180816_18_00.kmz
S1_60s_20180808_00_06.kmz	S1_60s_20180817_00_06.kmz
S1_60s_20180808_06_12.kmz	S1_60s_20180817_06_12.kmz
S1_60s_20180808_12_18.kmz	S1_60s_20180817_12_18.kmz
S1_60s_20180808_18_00.kmz	S1_60s_20180817_18_00.kmz
S1_60s_20180809_00_06.kmz	S1_60s_20180818_00_06.kmz
S1_60s_20180809_06_12.kmz	S1_60s_20180818_06_12.kmz
S1_60s_20180809_12_18.kmz	S1_60s_20180818_12_18.kmz
S1_60s_20180809_18_00.kmz	S1_60s_20180818_18_00.kmz

S1_60s_20180819_00_06.kmz
S1_60s_20180819_06_12.kmz
S1_60s_20180819_12_18.kmz
S1_60s_20180819_18_00.kmz
S1_60s_20180820_00_06.kmz

S1_60s_20180820_06_12.kmz
S1_60s_20180820_12_18.kmz
S1_60s_20180820_18_00.kmz
S1_60s_20180821_00_06.kmz

Sensor 2

S2_60s_20180720_00_06.kmz
S2_60s_20180720_06_12.kmz
S2_60s_20180720_12_18.kmz
S2_60s_20180720_18_00.kmz
S2_60s_20180721_00_06.kmz
S2_60s_20180721_06_12.kmz
S2_60s_20180721_12_18.kmz
S2_60s_20180721_18_00.kmz
S2_60s_20180722_00_06.kmz
S2_60s_20180722_06_12.kmz
S2_60s_20180722_12_18.kmz
S2_60s_20180722_18_00.kmz
S2_60s_20180723_00_06.kmz
S2_60s_20180723_06_12.kmz
S2_60s_20180723_12_18.kmz
S2_60s_20180723_18_00.kmz
S2_60s_20180724_00_06.kmz
S2_60s_20180724_06_12.kmz
S2_60s_20180724_12_18.kmz
S2_60s_20180724_18_00.kmz
S2_60s_20180725_00_06.kmz
S2_60s_20180725_06_12.kmz
S2_60s_20180725_12_18.kmz
S2_60s_20180725_18_00.kmz
S2_60s_20180726_00_06.kmz
S2_60s_20180726_06_12.kmz
S2_60s_20180726_12_18.kmz
S2_60s_20180726_18_00.kmz
S2_60s_20180727_00_06.kmz

S2_60s_20180727_06_12.kmz
S2_60s_20180727_12_18.kmz
S2_60s_20180727_18_00.kmz
S2_60s_20180728_00_06.kmz
S2_60s_20180728_06_12.kmz
S2_60s_20180728_12_18.kmz
S2_60s_20180728_18_00.kmz
S2_60s_20180729_00_06.kmz
S2_60s_20180729_06_12.kmz
S2_60s_20180729_12_18.kmz
S2_60s_20180729_18_00.kmz
S2_60s_20180730_00_06.kmz
S2_60s_20180730_06_12.kmz
S2_60s_20180730_12_18.kmz
S2_60s_20180730_18_00.kmz
S2_60s_20180731_00_06.kmz
S2_60s_20180731_06_12.kmz
S2_60s_20180731_12_18.kmz
S2_60s_20180731_18_00.kmz
S2_60s_20180801_00_06.kmz
S2_60s_20180801_06_12.kmz
S2_60s_20180801_12_18.kmz
S2_60s_20180801_18_00.kmz
S2_60s_20180802_00_06.kmz
S2_60s_20180802_06_12.kmz
S2_60s_20180802_12_18.kmz
S2_60s_20180802_18_00.kmz
S2_60s_20180803_00_06.kmz
S2_60s_20180803_06_12.kmz

S2_60s_20180803_12_18.kmz	S2_60s_20180812_12_18.kmz
S2_60s_20180803_18_00.kmz	S2_60s_20180812_18_00.kmz
S2_60s_20180804_00_06.kmz	S2_60s_20180813_00_06.kmz
S2_60s_20180804_06_12.kmz	S2_60s_20180813_06_12.kmz
S2_60s_20180804_12_18.kmz	S2_60s_20180813_12_18.kmz
S2_60s_20180804_18_00.kmz	S2_60s_20180813_18_00.kmz
S2_60s_20180805_00_06.kmz	S2_60s_20180814_00_06.kmz
S2_60s_20180805_06_12.kmz	S2_60s_20180814_06_12.kmz
S2_60s_20180805_12_18.kmz	S2_60s_20180814_12_18.kmz
S2_60s_20180805_18_00.kmz	S2_60s_20180814_18_00.kmz
S2_60s_20180806_00_06.kmz	S2_60s_20180815_00_06.kmz
S2_60s_20180806_06_12.kmz	S2_60s_20180815_06_12.kmz
S2_60s_20180806_12_18.kmz	S2_60s_20180815_12_18.kmz
S2_60s_20180806_18_00.kmz	S2_60s_20180815_18_00.kmz
S2_60s_20180807_00_06.kmz	S2_60s_20180816_00_06.kmz
S2_60s_20180807_06_12.kmz	S2_60s_20180816_06_12.kmz
S2_60s_20180807_12_18.kmz	S2_60s_20180816_12_18.kmz
S2_60s_20180807_18_00.kmz	S2_60s_20180816_18_00.kmz
S2_60s_20180808_00_06.kmz	S2_60s_20180817_00_06.kmz
S2_60s_20180808_06_12.kmz	S2_60s_20180817_06_12.kmz
S2_60s_20180808_12_18.kmz	S2_60s_20180817_12_18.kmz
S2_60s_20180808_18_00.kmz	S2_60s_20180817_18_00.kmz
S2_60s_20180809_00_06.kmz	S2_60s_20180818_00_06.kmz
S2_60s_20180809_06_12.kmz	S2_60s_20180818_06_12.kmz
S2_60s_20180809_12_18.kmz	S2_60s_20180818_12_18.kmz
S2_60s_20180809_18_00.kmz	S2_60s_20180818_18_00.kmz
S2_60s_20180810_00_06.kmz	S2_60s_20180819_00_06.kmz
S2_60s_20180810_06_12.kmz	S2_60s_20180819_06_12.kmz
S2_60s_20180810_12_18.kmz	S2_60s_20180819_12_18.kmz
S2_60s_20180810_18_00.kmz	S2_60s_20180819_18_00.kmz
S2_60s_20180811_00_06.kmz	S2_60s_20180820_00_06.kmz
S2_60s_20180811_06_12.kmz	S2_60s_20180820_06_12.kmz
S2_60s_20180811_12_18.kmz	S2_60s_20180820_12_18.kmz
S2_60s_20180811_18_00.kmz	S2_60s_20180820_18_00.kmz
S2_60s_20180812_00_06.kmz	S2_60s_20180821_00_06.kmz
S2_60s_20180812_06_12.kmz	

Sensor 3

S3_60s_20180720_00_06.kmz	S3_60s_20180728_12_18.kmz
S3_60s_20180720_06_12.kmz	S3_60s_20180728_18_00.kmz
S3_60s_20180720_12_18.kmz	S3_60s_20180729_00_06.kmz
S3_60s_20180720_18_00.kmz	S3_60s_20180729_06_12.kmz
S3_60s_20180721_00_06.kmz	S3_60s_20180729_12_18.kmz
S3_60s_20180721_06_12.kmz	S3_60s_20180729_18_00.kmz
S3_60s_20180721_12_18.kmz	S3_60s_20180730_00_06.kmz
S3_60s_20180721_18_00.kmz	S3_60s_20180730_06_12.kmz
S3_60s_20180722_00_06.kmz	S3_60s_20180730_12_18.kmz
S3_60s_20180722_06_12.kmz	S3_60s_20180730_18_00.kmz
S3_60s_20180722_12_18.kmz	S3_60s_20180731_00_06.kmz
S3_60s_20180722_18_00.kmz	S3_60s_20180731_06_12.kmz
S3_60s_20180723_00_06.kmz	S3_60s_20180731_12_18.kmz
S3_60s_20180723_06_12.kmz	S3_60s_20180731_18_00.kmz
S3_60s_20180723_12_18.kmz	S3_60s_20180801_00_06.kmz
S3_60s_20180723_18_00.kmz	S3_60s_20180801_06_12.kmz
S3_60s_20180724_00_06.kmz	S3_60s_20180801_12_18.kmz
S3_60s_20180724_06_12.kmz	S3_60s_20180801_18_00.kmz
S3_60s_20180724_12_18.kmz	S3_60s_20180802_00_06.kmz
S3_60s_20180724_18_00.kmz	S3_60s_20180802_06_12.kmz
S3_60s_20180725_00_06.kmz	S3_60s_20180802_12_18.kmz
S3_60s_20180725_06_12.kmz	S3_60s_20180802_18_00.kmz
S3_60s_20180725_12_18.kmz	S3_60s_20180803_00_06.kmz
S3_60s_20180725_18_00.kmz	S3_60s_20180803_06_12.kmz
S3_60s_20180726_00_06.kmz	S3_60s_20180803_12_18.kmz
S3_60s_20180726_06_12.kmz	S3_60s_20180803_18_00.kmz
S3_60s_20180726_12_18.kmz	S3_60s_20180804_00_06.kmz
S3_60s_20180726_18_00.kmz	S3_60s_20180804_06_12.kmz
S3_60s_20180727_00_06.kmz	S3_60s_20180804_12_18.kmz
S3_60s_20180727_06_12.kmz	S3_60s_20180804_18_00.kmz
S3_60s_20180727_12_18.kmz	S3_60s_20180805_00_06.kmz
S3_60s_20180727_18_00.kmz	S3_60s_20180805_06_12.kmz
S3_60s_20180728_00_06.kmz	S3_60s_20180805_12_18.kmz
S3_60s_20180728_06_12.kmz	S3_60s_20180805_18_00.kmz

S3_60s_20180806_00_06.kmz	S3_60s_20180813_18_00.kmz
S3_60s_20180806_06_12.kmz	S3_60s_20180814_00_06.kmz
S3_60s_20180806_12_18.kmz	S3_60s_20180814_06_12.kmz
S3_60s_20180806_18_00.kmz	S3_60s_20180814_12_18.kmz
S3_60s_20180807_00_06.kmz	S3_60s_20180814_18_00.kmz
S3_60s_20180807_06_12.kmz	S3_60s_20180815_00_06.kmz
S3_60s_20180807_12_18.kmz	S3_60s_20180815_06_12.kmz
S3_60s_20180807_18_00.kmz	S3_60s_20180815_12_18.kmz
S3_60s_20180808_00_06.kmz	S3_60s_20180815_18_00.kmz
S3_60s_20180808_06_12.kmz	S3_60s_20180816_00_06.kmz
S3_60s_20180808_12_18.kmz	S3_60s_20180816_06_12.kmz
S3_60s_20180808_18_00.kmz	S3_60s_20180816_12_18.kmz
S3_60s_20180809_00_06.kmz	S3_60s_20180816_18_00.kmz
S3_60s_20180809_06_12.kmz	S3_60s_20180817_00_06.kmz
S3_60s_20180809_12_18.kmz	S3_60s_20180817_06_12.kmz
S3_60s_20180809_18_00.kmz	S3_60s_20180817_12_18.kmz
S3_60s_20180810_00_06.kmz	S3_60s_20180817_18_00.kmz
S3_60s_20180810_06_12.kmz	S3_60s_20180818_00_06.kmz
S3_60s_20180810_12_18.kmz	S3_60s_20180818_06_12.kmz
S3_60s_20180810_18_00.kmz	S3_60s_20180818_12_18.kmz
S3_60s_20180811_00_06.kmz	S3_60s_20180818_18_00.kmz
S3_60s_20180811_06_12.kmz	S3_60s_20180819_00_06.kmz
S3_60s_20180811_12_18.kmz	S3_60s_20180819_06_12.kmz
S3_60s_20180811_18_00.kmz	S3_60s_20180819_12_18.kmz
S3_60s_20180812_00_06.kmz	S3_60s_20180819_18_00.kmz
S3_60s_20180812_06_12.kmz	S3_60s_20180820_00_06.kmz
S3_60s_20180812_12_18.kmz	S3_60s_20180820_06_12.kmz
S3_60s_20180812_18_00.kmz	S3_60s_20180820_12_18.kmz
S3_60s_20180813_00_06.kmz	S3_60s_20180820_18_00.kmz
S3_60s_20180813_06_12.kmz	S3_60s_20180821_00_06.kmz
S3_60s_20180813_12_18.kmz	

KMZ-weergave 20 minuten rond belangrijke golven

De inhoud van deze kmz-bestanden wordt besproken in §4.3.2 op p. 27.

Sensor 2

S2_10s_wave1_20180720_062852.kmz	S2_10s_wave31_20180730_122302.kmz
S2_10s_wave2_20180720_105543.kmz	S2_10s_wave32_20180730_135037.kmz
S2_10s_wave3_20180721_065655.kmz	S2_10s_wave33_20180730_135259.kmz
S2_10s_wave4_20180721_074833.kmz	S2_10s_wave34_20180730_140128.kmz
S2_10s_wave5_20180721_134410.kmz	S2_10s_wave35_20180730_155154.kmz
S2_10s_wave6_20180721_141628.kmz	S2_10s_wave36_20180730_172544.kmz
S2_10s_wave7_20180722_152757.kmz	S2_10s_wave37_20180730_173747.kmz
S2_10s_wave8_20180723_074624.kmz	S2_10s_wave38_20180730_225654.kmz
S2_10s_wave9_20180724_060459.kmz	S2_10s_wave39_20180801_073258.kmz
S2_10s_wave10_20180724_090942.kmz	S2_10s_wave40_20180801_121440.kmz
S2_10s_wave11_20180724_101722.kmz	S2_10s_wave41_20180801_121712.kmz
S2_10s_wave12_20180724_114352.kmz	S2_10s_wave42_20180801_144034.kmz
S2_10s_wave13_20180725_124209.kmz	S2_10s_wave43_20180802_024812.kmz
S2_10s_wave14_20180725_131311.kmz	S2_10s_wave44_20180802_083752.kmz
S2_10s_wave15_20180725_140425.kmz	S2_10s_wave45_20180802_084150.kmz
S2_10s_wave16_20180725_173527.kmz	S2_10s_wave46_20180802_162812.kmz
S2_10s_wave17_20180726_042454.kmz	S2_10s_wave47_20180802_170723.kmz
S2_10s_wave18_20180726_103633.kmz	S2_10s_wave48_20180802_193802.kmz
S2_10s_wave19_20180726_135528.kmz	S2_10s_wave49_20180803_061513.kmz
S2_10s_wave20_20180727_063845.kmz	S2_10s_wave50_20180803_070108.kmz
S2_10s_wave21_20180727_093338.kmz	S2_10s_wave51_20180803_101935.kmz
S2_10s_wave22_20180728_092116.kmz	S2_10s_wave52_20180803_185459.kmz
S2_10s_wave23_20180728_122517.kmz	S2_10s_wave53_20180804_013145.kmz
S2_10s_wave24_20180728_140032.kmz	S2_10s_wave54_20180804_061247.kmz
S2_10s_wave25_20180728_152518.kmz	S2_10s_wave55_20180804_190911.kmz
S2_10s_wave26_20180730_062341.kmz	S2_10s_wave56_20180805_052444.kmz
S2_10s_wave27_20180730_073448.kmz	S2_10s_wave57_20180806_193501.kmz
S2_10s_wave28_20180730_073804.kmz	S2_10s_wave58_20180807_124405.kmz
S2_10s_wave29_20180730_090058.kmz	S2_10s_wave59_20180808_101253.kmz
S2_10s_wave30_20180730_101910.kmz	S2_10s_wave60_20180808_122029.kmz

S2_10s_wave61_20180808_202819.kmz
 S2_10s_wave62_20180808_203057.kmz
 S2_10s_wave63_20180809_043001.kmz
 S2_10s_wave64_20180809_043644.kmz
 S2_10s_wave65_20180809_054017.kmz
 S2_10s_wave66_20180809_101337.kmz
 S2_10s_wave67_20180809_101810.kmz
 S2_10s_wave68_20180809_124814.kmz
 S2_10s_wave69_20180809_220943.kmz
 S2_10s_wave70_20180810_072334.kmz
 S2_10s_wave71_20180810_092544.kmz
 S2_10s_wave72_20180810_111911.kmz
 S2_10s_wave73_20180810_113050.kmz
 S2_10s_wave74_20180811_053205.kmz
 S2_10s_wave75_20180811_074326.kmz
 S2_10s_wave76_20180811_151927.kmz
 S2_10s_wave77_20180812_070045.kmz
 S2_10s_wave78_20180812_110958.kmz
 S2_10s_wave79_20180812_120122.kmz
 S2_10s_wave80_20180812_122216.kmz
 S2_10s_wave81_20180813_141729.kmz
 S2_10s_wave82_20180813_183400.kmz
 S2_10s_wave83_20180813_184522.kmz
 S2_10s_wave84_20180813_184803.kmz
 S2_10s_wave85_20180814_104438.kmz
 S2_10s_wave86_20180814_141129.kmz
 S2_10s_wave87_20180814_154819.kmz
 S2_10s_wave88_20180814_173542.kmz
 S2_10s_wave89_20180814_175905.kmz

Sensor 3

S3_10s_wave1_20180720_022236.kmz
 S3_10s_wave2_20180720_052039.kmz
 S3_10s_wave3_20180720_062524.kmz
 S3_10s_wave4_20180720_082904.kmz
 S3_10s_wave5_20180720_083234.kmz

S2_10s_wave90_20180815_003146.kmz
 S2_10s_wave91_20180815_003732.kmz
 S2_10s_wave92_20180815_114137.kmz
 S2_10s_wave93_20180815_133538.kmz
 S2_10s_wave94_20180815_133909.kmz
 S2_10s_wave95_20180815_185757.kmz
 S2_10s_wave96_20180815_211516.kmz
 S2_10s_wave97_20180816_040636.kmz
 S2_10s_wave98_20180816_100243.kmz
 S2_10s_wave99_20180816_142932.kmz
 S2_10s_wave100_20180816_154257.kmz
 S2_10s_wave101_20180816_165310.kmz
 S2_10s_wave102_20180816_183904.kmz
 S2_10s_wave103_20180816_224959.kmz
 S2_10s_wave104_20180817_063412.kmz
 S2_10s_wave105_20180817_065305.kmz
 S2_10s_wave106_20180817_070224.kmz
 S2_10s_wave107_20180817_073215.kmz
 S2_10s_wave108_20180817_175932.kmz
 S2_10s_wave109_20180817_214752.kmz
 S2_10s_wave110_20180818_060439.kmz
 S2_10s_wave111_20180818_060651.kmz
 S2_10s_wave112_20180818_110025.kmz
 S2_10s_wave113_20180818_185623.kmz
 S2_10s_wave114_20180819_150615.kmz
 S2_10s_wave115_20180819_191143.kmz
 S2_10s_wave116_20180820_070726.kmz
 S2_10s_wave117_20180820_170443.kmz

S3_10s_wave6_20180720_085110.kmz
 S3_10s_wave7_20180720_105018.kmz
 S3_10s_wave8_20180720_113819.kmz
 S3_10s_wave9_20180720_120544.kmz
 S3_10s_wave10_20180720_163655.kmz

S3_10s_wave11_20180720_190722.kmz	S3_10s_wave47_20180801_115253.kmz
S3_10s_wave12_20180721_074516.kmz	S3_10s_wave48_20180801_162037.kmz
S3_10s_wave13_20180721_133935.kmz	S3_10s_wave49_20180801_190126.kmz
S3_10s_wave14_20180722_152351.kmz	S3_10s_wave50_20180801_190400.kmz
S3_10s_wave15_20180722_175618.kmz	S3_10s_wave51_20180802_024451.kmz
S3_10s_wave16_20180723_073941.kmz	S3_10s_wave52_20180802_142901.kmz
S3_10s_wave17_20180723_074153.kmz	S3_10s_wave53_20180802_170320.kmz
S3_10s_wave18_20180723_113702.kmz	S3_10s_wave54_20180802_172831.kmz
S3_10s_wave19_20180724_060036.kmz	S3_10s_wave55_20180802_201302.kmz
S3_10s_wave20_20180724_101305.kmz	S3_10s_wave56_20180803_060958.kmz
S3_10s_wave21_20180724_134927.kmz	S3_10s_wave57_20180803_121203.kmz
S3_10s_wave22_20180725_071848.kmz	S3_10s_wave58_20180804_172825.kmz
S3_10s_wave23_20180726_042206.kmz	S3_10s_wave59_20180805_182548.kmz
S3_10s_wave24_20180726_103317.kmz	S3_10s_wave60_20180806_033659.kmz
S3_10s_wave25_20180726_121350.kmz	S3_10s_wave61_20180806_075438.kmz
S3_10s_wave26_20180726_200244.kmz	S3_10s_wave62_20180806_090024.kmz
S3_10s_wave27_20180726_200555.kmz	S3_10s_wave63_20180806_132014.kmz
S3_10s_wave28_20180726_224037.kmz	S3_10s_wave64_20180806_132522.kmz
S3_10s_wave29_20180727_063552.kmz	S3_10s_wave65_20180806_135404.kmz
S3_10s_wave30_20180727_105104.kmz	S3_10s_wave66_20180806_142747.kmz
S3_10s_wave31_20180728_091734.kmz	S3_10s_wave67_20180806_143009.kmz
S3_10s_wave32_20180728_143905.kmz	S3_10s_wave68_20180806_192854.kmz
S3_10s_wave33_20180729_175842.kmz	S3_10s_wave69_20180807_070436.kmz
S3_10s_wave34_20180730_052413.kmz	S3_10s_wave70_20180807_080304.kmz
S3_10s_wave35_20180730_072942.kmz	S3_10s_wave71_20180807_081644.kmz
S3_10s_wave36_20180730_073404.kmz	S3_10s_wave72_20180807_122637.kmz
S3_10s_wave37_20180730_084821.kmz	S3_10s_wave73_20180807_124047.kmz
S3_10s_wave38_20180730_122014.kmz	S3_10s_wave74_20180807_140125.kmz
S3_10s_wave39_20180730_123448.kmz	S3_10s_wave75_20180808_100806.kmz
S3_10s_wave40_20180730_134700.kmz	S3_10s_wave76_20180808_105441.kmz
S3_10s_wave41_20180730_154819.kmz	S3_10s_wave77_20180808_120340.kmz
S3_10s_wave42_20180730_173354.kmz	S3_10s_wave78_20180808_121230.kmz
S3_10s_wave43_20180731_073412.kmz	S3_10s_wave79_20180808_121637.kmz
S3_10s_wave44_20180731_123655.kmz	S3_10s_wave80_20180808_202502.kmz
S3_10s_wave45_20180801_085116.kmz	S3_10s_wave81_20180809_081925.kmz
S3_10s_wave46_20180801_115019.kmz	S3_10s_wave82_20180809_101528.kmz

S3_10s_wave83_20180809_112609.kmz
S3_10s_wave84_20180809_140542.kmz
S3_10s_wave85_20180809_155824.kmz
S3_10s_wave86_20180809_195052.kmz
S3_10s_wave87_20180809_220526.kmz
S3_10s_wave88_20180810_070454.kmz
S3_10s_wave89_20180810_070701.kmz
S3_10s_wave90_20180810_071028.kmz
S3_10s_wave91_20180810_092212.kmz
S3_10s_wave92_20180810_094831.kmz
S3_10s_wave93_20180810_095109.kmz
S3_10s_wave94_20180810_110625.kmz
S3_10s_wave95_20180810_111421.kmz
S3_10s_wave96_20180810_131416.kmz
S3_10s_wave97_20180810_134851.kmz
S3_10s_wave98_20180812_115958.kmz
S3_10s_wave99_20180813_073626.kmz
S3_10s_wave100_20180814_063216.kmz

S3_10s_wave101_20180814_100915.kmz
S3_10s_wave102_20180814_102855.kmz
S3_10s_wave103_20180814_140853.kmz
S3_10s_wave104_20180815_111543.kmz
S3_10s_wave105_20180815_141255.kmz
S3_10s_wave106_20180816_012829.kmz
S3_10s_wave107_20180816_112153.kmz
S3_10s_wave108_20180816_131639.kmz
S3_10s_wave109_20180817_070434.kmz
S3_10s_wave110_20180817_111509.kmz
S3_10s_wave111_20180817_124616.kmz
S3_10s_wave112_20180817_164648.kmz
S3_10s_wave113_20180819_120639.kmz
S3_10s_wave114_20180819_183658.kmz
S3_10s_wave115_20180820_070338.kmz
S3_10s_wave116_20180820_152657.kmz

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