



Vlaanderen
is wetenschap

18_108_1
WL rapporten

Harmonische analyse van het getij

Deelrapport 1
Bepaling van harmonische componenten voor
getijstations in de Zeeschelde

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Harmonische analyse van het getij

Deelrapport 1 – Bepaling van harmonische componenten voor getijstations in de Zeeschelde

Plancke, Y.; Schramkowski, G. J.; 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/2019/3241/107

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Schramkowski, G. J.; Mostaert, F. (2019). Harmonische analyse van het getij: Deelrapport 1 – Bepaling van harmonische componenten voor getijstations in de Zeeschelde. Versie 3.0. WL Rapporten, 18_108_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2019R18_108_1
Keywords (3-5):	Getij, harmonische componenten, Zeeschelde, UTide		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Plancke, Y.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Schramkowski, G.	
Projectleider:	Plancke, Y.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

In het kader van de Evaluatiemethodiek voor het beoordelen van de ontwikkelingen van het fysisch systeem van het Schelde-estuarium, worden harmonische getijcomponenten als verklarende parameter beschouwd. Voor de Westerschelde worden deze door Rijkswaterstaat systematisch berekend, voor de Zeeschelde ontbraken deze vooralsnog. Voorliggend rapport gaat in op de behoefte.

Eerst vond een gevoeligheidsonderzoek plaats waarbij de invloed van de gebruikte software en de beschouwde tijdsresolutie op de waarden van de belangrijkste harmonische componenten is onderzocht.

Vervolgens werden voor 6 getijposten verspreid langs de Zeeschelde (Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw, Temse, Dendermonde, Wetteren) en de Rupel (Walem) voor elk kalenderjaar de belangrijkste componenten (Z0, M2, M4) berekend voor de periode 2005 (i.e. start beschikbaarheid continue digitale gegevens) tot 2017.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
2 Methodologie	3
2.1 Harmonische analyse.....	3
2.1.1 Het evenwichtsgetij.....	3
2.1.2 Nyquist-bemonsteringfrequentie.....	3
2.1.3 Rayleigh criterium.....	4
2.1.4 UTide.....	4
2.1.5 TIDEMAT	5
2.2 Beschikbare gegevens	6
3 Gevoeligheidsanalyse	7
3.1 Invloed analysetool.....	7
3.2 Invloed tijdsresolutie beschikbare data	8
4 Resultaten.....	10
4.1 Vlissingen.....	10
4.2 Prosperpolder.....	10
4.2.1 Variatie van de Z0-component	10
4.2.2 Variatie van de M2-component.....	10
4.2.3 Variatie van de M4-component.....	11
4.3 Antwerpen-Loodsgebouw	11
4.3.1 Variatie van de Z0-component	11
4.3.2 Variatie van de M2-component.....	11
4.3.3 Variatie van de M4-component.....	11
4.4 Temse	11
4.4.1 Variatie van de Z0-component	11
4.4.2 Variatie van de M2-component.....	11
4.4.3 Variatie van de M4-component.....	12
4.5 Dendermonde.....	12

4.5.1	Variatie van de Z0-component	12
4.5.2	Variatie van de M2-component.....	12
4.5.3	Variatie van de M4-component.....	12
4.6	Wetteren	12
4.6.1	Variatie van de Z0-component	12
4.6.2	Variatie van de M2-component.....	12
4.6.3	Variatie van de M4-component.....	13
4.7	Walem.....	13
4.7.1	Variatie van de Z0-component	13
4.7.2	Variatie van de M2-component.....	13
4.7.3	Variatie van de M4-component.....	14
4.8	Langsprofiel	18
5	Conclusies	19
6	Referenties	20

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij gebruik verschillende tools	8
Tabel 2 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij verschillende tijds-resolutie.....	9
Tabel 3 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij gebruik verschillende tools	10

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Indicator “dynamiek waterbeweging” met onderliggende toets-, reken- en verklarende parameters	2
Figuur 2 –Ligging getijstations langsheen de Zeeschelde.....	6
Figuur 3 – Relatie gemiddelde waterstand Z0 te Wetteren – jaargemiddeld debiet te Melle	13
Figuur 4 – Evolutie in de tijd van de gemiddelde waterstand Z0	14
Figuur 5 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component	15
Figuur 6 –Verhouding van de amplitude en fase voor de M2-component t.o.v. 2005.....	15
Figuur 7 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component	16
Figuur 8 –Verhouding van de amplitude en fase voor de M4-component t.o.v. 2005.....	16
Figuur 9 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component	17
Figuur 10 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component	17
Figuur 11 –Langsprofiel van amplitude en fase van de M2-component voor toestand 2005 en 2017	18
Figuur 12 –Langsprofiel van amplitude en fase van de M4-component voor toestand 2005 en 2017	18

1 Inleiding

In het kader van de Ontwikkelingsschets 2010 werd een evaluatiemethodiek (Maris *et al.*, 2014) opgesteld die toelaat elke zes jaar een evaluatie van de Schelde-estuarium uit te voeren inzake het functioneren van het estuariene systeem. Deze methodiek is opgebouwd rond verschillende thematische “piramides”, die elk een uitspraak doen over één van zeven communicatie-indicatoren (Dynamiek Waterbeweging, Bevaarbaarheid, Plaat- en geulsysteem, Waterkwaliteit, Leefomgeving, Flora & Fauna en Ecologisch Functioneren.).

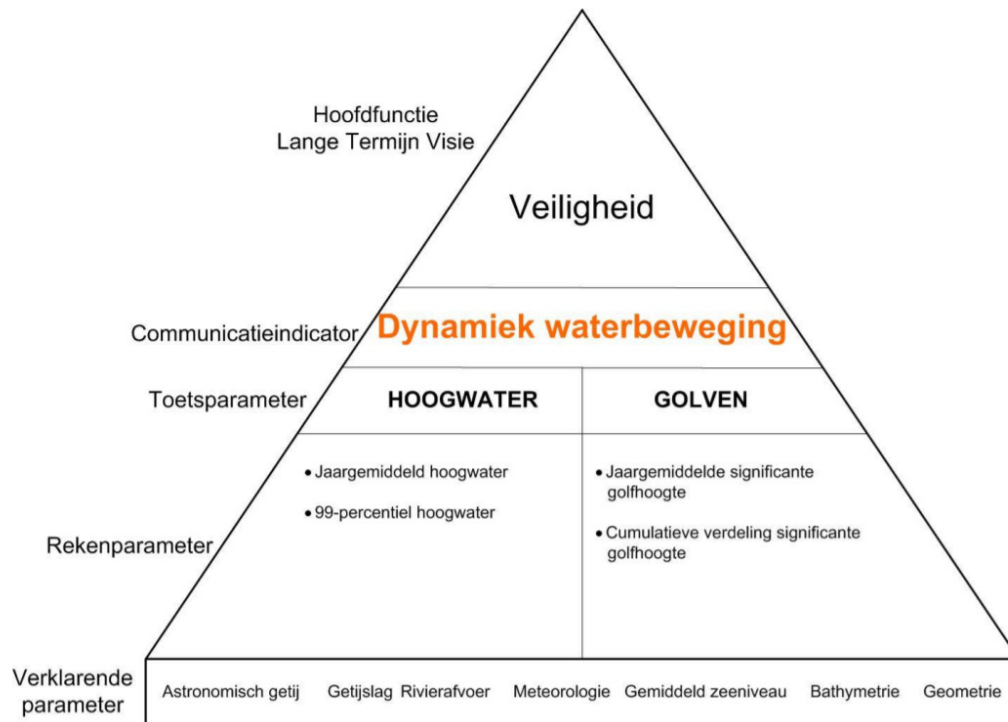
Een eerste evaluatie werd uitgevoerd in het kader van het opmaken van de referentietoestand “T2009” (Depreiter *et al.*, 2014). Vorig jaar werd een tweede evaluatie uitgevoerd die de toestand T2015 beschrijft en vergelijkt ten opzichte van de referentietoestand (Barneveld *et al.*, 2018).

De communicatie-indicator “Dynamiek Waterbeweging” omvat twee toetsparameters die steunen op een aantal rekenparameters (Figuur 1). Veranderingen in deze rekenparameters kunnen gerelateerd zijn aan wijzigingen in het estuariene systeem, waarvoor een aantal verklarende parameters werden gedefinieerd. Eén van de verklarende parameters is het astronomische getij. De onderlinge periodieke beweging van enerzijds de aarde rond haar as, de maan rond de aarde en de aarde en maan rond de zon, zorgen ervoor dat de waterstanden (en snelheden) in het Schelde-estuarium variëren op de volgende tijdschalen: de getijperiode (12u25), de dagelijkse ongelijkheid (24u50), de doottij-springtij cyclus (~14,5 dagen) en de 18,6-jarige nodale cyclus.

Daar waar de voorspelde hoog- en laagwaters te Prosperpolder gebaseerd zijn op deze harmonische componenten (J Vanlede *et al.*, 2013), worden de voorspellingen in de meer opwaartse getijposten afgeleid uit een numerieke modelsimulatie (Joris Vanlede *et al.*, 2014). Hierdoor zijn er in de Zeeschelde geen harmonische componenten beschikbaar voor de meeste getijposten. Dit werd in de evaluatie van de evaluatiemethodiek als een lacune geïdentificeerd.

Voorliggend rapport gaat in op het verzoek om deze lacune op te vullen. Voor de belangrijkste getijposten langsheen de Zeeschelde (Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw, Temse, Dendermonde, Wetteren) en één station op Rupel (Walem) worden per jaar de harmonische componenten bepaald vanaf het moment waarop hoogfrequente waterstandsregistraties digitaal beschikbaar zijn (i.e. 1 januari 2005). In de toekomst zullen de belangrijkste harmonische componenten voor deze posten, volgens de hier gehanteerde methodiek, gerapporteerd worden in de jaarlijkse MONEOS-rapporten.

Figuur 1 – Indicator “dynamiek waterbeweging” met onderliggende toets-, reken- en verklarende parameters
Bron: Maris *et al.* (2014)



2 Methodologie

2.1 Harmonische analyse

In de klassieke benadering van harmonische analyse wordt een getijsignaal (waterstand of stroming) zo goed mogelijk benaderd als een som van harmonische functies met vooraf bepaalde frequenties. Deze frequenties zijn combinaties van de 6 fundamentele frequenties die voortkomen uit de bewegingen van aarde, zon en maan (Godin, 1972). De 6 getallen die een bepaalde getijcomponent beschrijven, heten de Doodson getallen.

In een harmonische analyse van de waterstand wordt het getijsignaal beschreven als:

$$y(t) = A_0 + \sum A_j \cos 2\pi(\sigma_j t - \varphi_j) \quad (1)$$

Met A_0 de gemiddelde waterstand, A_j de amplitude, σ_j de hoekfrequentie en φ_j de fase van component j .

Er bestaan verschillende pakketten die toelaten een harmonische analyse uit te voeren. De basis van de harmonische analyse werd gelegd in (Godin, 1972) en werd vervolgens voor praktische toepassingen uitgewerkt in (Foreman, 1977). Dit resulteerde in Fortran programma's die toelieten een harmonische analyse uit te voeren. Pawlowicz *et al.* (2002) transformeerde deze code in het MATLAB-pakket "t_tide" die breed gebruikt wordt voor het uitvoeren van harmonische analyses.

Binnen voorliggend rapport werd gebruik gemaakt van UTide (§ 2.1.4). Aangezien in de klassieke harmonische voorspellingen te Prosperpolder een andere methode (TIDEMAT) wordt gebruikt (§ 2.1.5), zal een vergelijking worden uitgevoerd tussen beide methodes.

Vooraleer een korte beschrijving te geven van deze pakketten, worden een aantal begrippen toegelicht, overgenomen uit Vanlede *et al.* (2013).

2.1.1 Het evenwichtsgetij

Indien enkel astronomisch wordt geredeneerd, kan het evenwichtsgetij worden berekend. Dat is de fase en amplitude die zouden voorkomen als de aarde volledig bedekt zou zijn met water, en als de vervorming van de aarde op elk ogenblik in evenwicht zou zijn met de getijforcering. In werkelijkheid is de oceaan niet in evenwicht met de drijvende krachten. Echter, gezien de getij-amplitude typisch klein is ten opzichte van de waterdiepte in de oceanen, kan een lineaire benadering van het systeem worden toegepast, wat impliceert dat de werkelijke respons van de oceaan ook effectief die frequenties bevat die in de aandrijvende functie aanwezig zijn (Pawlowicz *et al.*, 2002).

2.1.2 Nyquist-bemonsteringsfrequentie

De Nyquist-bemonsteringsfrequentie is de theoretisch minimaal benodigde bemonsteringsfrequentie waarmee een gegeven, in bandbreedte begrensd, signaal volledig kan worden gereconstrueerd vanuit de bemonsterde waarden.

Als een signaal wordt bemonsterd met bemonsteringsfrequentie f , dan is iedere aanwezige signaalcomponent boven een frequentie $f/2$ niet betrouwbaar reconstrueerbaar vanuit de signaalmusters. De frequentie $f/2$ staat bekend als de Nyquist-frequentie.

Indien we dit toepassen op een getijsignaal met een terugkeerperiode $T_{\min}$ dat wordt bemonsterd met een interval Δt , dan wordt dit:

$$\Delta t \leq 1/2 \cdot T_{\min} \quad (2)$$

De M2 component ($28.984^\circ/\text{u}$) heeft een terugkeerperiode van 12,42u, zodat een tijdreeks waar we M2 uit willen afleiden een minimaal bemonsteringsinterval van 6,21u nodig heeft.

Indien we een tijdreeks hebben met een bemonsteringsinterval van 10 minuten, kunnen daar componenten uit worden afgeleid tot een hoekfrequentie van $1080^\circ/\text{u}$. Het is echter niet te verwachten dat een gemeten waterstandsreeks significante informatie bevat op die hoge frequenties.

Gezien het feit dat voor deze opdracht een gemeten tijdreeks van 10-minuutswaardes beschikbaar is, vormt het Nyquist criterium geen beperking in de harmonische analyse.

2.1.3 Rayleigh criterium

Het Rayleigh criterium relateert de lengte in uur (L) van het totaal aantal beschikbare getij-observaties, met de maximaal haalbare resolutie in het frequentie domein ($\Delta\omega$) van de getij analyse. Meer bepaald wordt gesteld dat:

$$\Delta\omega = (360^\circ)/L \quad (3)$$

De minimale periode (L) die nodig is om 2 componenten te onderscheiden heet hun synodische periode.

Indien bijvoorbeeld 30 dagen getij informatie beschikbaar is, stelt het Rayleigh criterium dat twee getijcomponenten kunnen worden onderscheiden indien ze meer dan $0,5^\circ/\text{u}$ verschillen. Op vergelijkbare wijze bekomen we dat registraties van 180 en 360 dagen respectievelijk componenten kunnen onderscheiden die $0,083$ en $0,042^\circ/\text{u}$ verschillen.

Om M2 en S2 van elkaar te scheiden (en zo de springtij-doodtij dynamiek te beschrijven) is minimaal een tijdreeks van 14,76 dagen nodig. Om S2 en K2 van elkaar te scheiden is al een tijdreeks van 182,93 dagen nodig.

Indien een tijdreeks van 1 jaar beschikbaar is, kunnen 2 componenten onderscheiden worden indien ze in hun hoekfrequentie meer dan $0,0411^\circ/\text{u}$ uit elkaar liggen. Indien een tijdreeks van 4 jaar beschikbaar is (zoals voor deze opdracht), kunnen 2 componenten onderscheiden worden indien ze in hun hoekfrequentie meer dan $0,0103^\circ/\text{u}$ uit elkaar liggen.

Het Rayleigh criterium zal bepalen welke componenten mee kunnen worden genomen in de analyse, en welke niet. Soms is de beschikbare tijdreeks te kort om 2 componenten van elkaar te onderscheiden, en wil men deze componenten toch allebei in de analyse betrekken. In dat geval is het gebruikelijk om de amplitude en fase van de zwakkere component uit te drukken in functie van de amplitude en fase van de sterkere component. Dat kan aan de hand van beschikbare analyses van een nabijgelegen referentiestation, of aan de hand van hun onderlinge relatie in het evenwichtsgetij (Pugh, 1987).

2.1.4 UTide

UTide bestaat uit een set MATLAB functies voor het bepalen van harmonische componenten uit hoogfrequente tijdreeksen en uitvoeren van voorspellingen. Deze software tool combineert verschillende bestaande getij-analyse methoden en bevat specifieke verbeteringen die toelaten analyses uit te voeren op langjarige tijdreeksen met onregelmatige meetintervallen. Het bevat volgende mogelijkheden:

- Nodale correcties
- Astronomisch argument voor de Greenwich fase
- Bepalen interferentie componenten
- Onregelmatig meetintervallen
- Oplossing op basis van Iteratively-Reweighted Least Squares (IRLS) of Ordinary Least Squares (OLS)
- Betrouwbaarheidsintervallen

Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar (Codiga, 2011).

2.1.5 TIDEMAT

De harmonische voorspellingen voor het getijstation Prosperpolder werden uitgevoerd met TIDEMAT (J Vanlede *et al.*, 2013). Dit is een verzameling Matlab scripts die door Rijkswaterstaat zijn ontwikkeld voor de harmonische analyse van metingen. TIDEMAT wordt gebruikt om voorspellingen te maken voor de belangrijkste stations in de Westerschelde. Om geen aanleiding te geven tot discrepanties werd deze set script ook voor de voorspelling in Prosperolder gebruikt. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar bovenvermeld rapport alsook de User Manual van TIDEMAT (Alkyon, 2004).

2.2 Beschikbare gegevens

Voor het uitvoeren van de harmonische analyse werden vijf getijposten langs de Zeeschelde en één post op de Rupel geselecteerd. Uit alle beschikbare meetposten (zie Figuur 2) werd een keuze gemaakt gebaseerd op (1) beschikbaarheid digitale waterstandsmetingen, (2) tussenafstand (~ 20 km) tussen de getijposten en (3) belangrijke steden langs de Schelde met lange historische tijdreeksen. Met deze selectiecriteria werden volgende posten weerhouden:

- Prosperpolder @ KM 56,0
- Antwerpen-Loodsgebouw @ KM 77,6
- Temse @ KM 98,3
- Dendermonde @ KM 121,8
- Wetteren @ KM 144,8
- Walem (Rupel) @ KM 103,4

Ter hoogte van deze getijposten wordt de waterstand continu (i.e. één meting per minuut) geregistreerd. Voor deze analyse wordt gebruik gemaakt van meetgegevens over de periode 1 januari 2005 (moment waarop gevalideerde digitale meetgegevens beschikbaar zijn) tot 31 december 2017 (recentere gegevens zullen op een gelijkaardige manier verwerkt worden binnen de MONEOS-rapporten). Voor Prosperpolder zijn de digitale gegevens pas beschikbaar vanaf 2008 omwille van een aanvaring van de dukdalf in 2001 en het operationeel komen van de telemetrie in mei 2008.

De metingen werden in de eerste jaren uitgevoerd door akoestische waterstandsmeters die in de loop der jaren vervangen werden door waterstandsmeters gebaseerd op het RADAR-meetprincipe. De ruwe meetgegevens worden opgeslagen in de WISKI-database waar eveneens de validatie van de gegevens plaatsvindt. Voor het uitvoeren van voorliggende harmonische analyse werden gevalideerde gegevens opgeleverd door het HIC (datavraag 18_D_061).

Figuur 2 – Ligging getijstations langs de Zeeschelde (Bron: Vandenbruwaene *et al.* (2018))



3 Gevoeligheidsanalyse

Aangezien voor het opmaken van de voorspelling gebruik gemaakt wordt van een andere tool (TIDEMAT) dan deze die binnen voorliggende analyse is gebruikt (UTide), wordt voor Prosperpolder een vergelijking gemaakt tussen beide tools. Naast de invloed van de tool, zal eveneens een analyse gebeuren van de invloed van de tijdsresolutie van de beschikbare meetgegevens, waarbij naast de meetreeks op basis van 10 minuutsgegevens ook een analyse gebeurt op de 1 minuutsgegevens en op de hoog- en laagwaters. Ten behoeve van de onderlinge vergelijkbaarheid wordt steeds dezelfde periode beschouwd (1/1/2009 tot en met 31/12/2012) voor dezelfde meetpost (Prosperpolder). De vergelijking wordt uitgevoerd voor de belangrijkste¹ componenten, verkregen uit de harmonische analyse met UTide.

3.1 Invloed analysetool

Een eerste vergelijking die is uitgevoerd betreft de invloed van de analyse-tool. Binnen voorliggend rapport is gebruik gemaakt van UTide, terwijl (J Vanlede *et al.*, 2013) gebruik maakt van TIDEMAT. Tabel 1 geeft de waardes weer van de amplitude en fase van de elf belangrijkste componenten alsook de gemiddelde waarde Z0. Het is opmerkelijk dat deze Z0-waarde afwijkt (4 mm) voor beide analyses, wat te wijten kan zijn aan andere basisgegevens (mogelijks miniem verschil in validatie). De analyse met UTide geeft aanleiding tot een L2-component die niet terug te vinden is in TIDEMAT. Aangezien UTide zelf bepaald welke componenten meegenomen worden, terwijl binnen TIDEMAT deze opgelegd worden, is dergelijke afwijking mogelijk. Er kan echter opgemerkt worden dat in de TIDEMAT-analyse de 2MN2-component belangrijk blijkt (amplitude 0,18 m), waarbij de frequentie ($L2 = 29,52^\circ/u \Leftrightarrow 2MN2 = 29,528^\circ/u$) van beide componenten zeer gelijkaardig is.

De vergelijking van de belangrijkste componenten geeft een zeer goede overeenkomst inzake amplitude (afwijking 0 à 2 mm). De fase van de meeste half-dagelijkse componenten wijkt minder dan 1° af, echter voor de hogere harmonische componenten is de afwijking aanzienlijk groter: opmerkelijk is dat de fase van zowel de M6 component als de 2MN6-component gespiegeld liggen ten opzichte van de horizontale as van de goniometrische cirkel en dus resulteren in een zelfde cosinus. De oorzaak hiervan is niet onderzocht.

¹ Er is gekozen om de 10 belangrijkste componenten te vergelijken, doch aangezien hierin geen dagelijkse component bij zit, is ook de O1-component toegevoegd.

Tabel 1 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij gebruik verschillende tools

Component	Frequentie	UTide		TIDEMAT (J Vanlede <i>et al.</i> , 2013)	
		[m]	[°]	[m]	[°]
Z0	-	2,437		2,433	
M2	0,0805114	2,172±0,002	93,3±0,0	2,172	93,1
S2	0,0833333	0,560±0,002	158,5±0,2	0,560	158,5
N2	0,0789992	0,344±0,002	70,8±0,3	0,344	70,6
MU2	0,0776895	0,223±0,002	182,4±0,4	0,223	177,1
L2	0,0820236	0,175±0,002	106,6±0,5		
K2	0,0835615	0,167±0,002	156,5±0,6	0,165	156,5
M6	0,2415342	0,134±0,002	265,7±0,7	0,135	94,3
NU2	0,0792016	0,127±0,002	51,8±0,8	0,128	51,8
2MS6	0,2443561	0,126±0,002	319,3±0,8	0,127	40,7
M4	0,1610228	0,118±0,002	181,5±0,8	0,117	178,3
O1	0,0387307	0,105±0,001	214,8±0,8	0,106	144,6

3.2 Invloed tijdsresolutie beschikbare data

Een tweede vergelijking die is uitgevoerd betreft de invloed van de tijdsresolutie van de meetreeksen. Tabel 2 geeft de waardes weer van de amplitude en fase van de elf belangrijkste componenten alsook de gemiddelde waarde Z0 voor een analyse op basis van achtereenvolgens 10-minuutsgegevens, 1-minuutgegevens en hoog- en laagwaters. Het verschil tussen de 10 en 1-minuutreeksen in alle componenten is onbestaande. Het gebruik van 10-minuutsgegevens kan dus als uitgangspunt gehanteerd worden.

De vergelijking met de componenten afgeleid uit louter hoog- en laagwatertijdreeksen is uitgevoerd vanuit de interesse om ook vertrekkende van oudere meetgegevens, waarvoor enkel hoog- en laagwaterstanden digitaal beschikbaar zijn, harmonische componenten te bepalen. Uit deze analyse (UTide laat toe om met niet equidistante tijdreeksen te werken, wat reeksen van hoog- en laagwater zijn) komt naar voor dat er een duidelijke afwijking ontstaat op alle beschouwde componenten. Wanneer de belangrijkste component (M2) wordt bekeken blijkt er een verschil van meer dan 60 cm aanwezig te zijn (2,17 m $\Leftrightarrow$ 2,80 m), wat niet aanvaardbaar is. Ook op de gemiddelde waterstand (Z0) is reeds een verschil van ca. 25 cm aanwezig. Het bepalen van harmonische componenten op basis van louter de hoog- en laagwaterstanden wordt ten stelligste afgeraden.

Tabel 2 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij verschillende tijdsresolutie

Component	UTide – 10' waterstanden		UTide – 1' waterstanden		UTide – HW en LW	
	[m]	[°]	[m]	[°]	[m]	[°]
Z0	2,437		2,437		2,694	
M2	2,172±0,002	93,3±0,0	2,172±0,001	93,3±0,0	2,797±0,181	63,9±5,0
S2	0,560±0,002	158,5±0,2	0,560±0,001	158,5±0,1	0,474±0,097	116,5±12,7
N2	0,344±0,002	70,8±0,3	0,344±0,001	70,8±0,1	0,188±0,056	56,7±16,9
MU2	0,223±0,002	182,4±0,4	0,223±0,001	182,4±0,1	0,021±0,051	195,9±154,5
L2	0,175±0,002	106,6±0,5	0,175±0,001	106,6±0,2	0,055±0,039	244,5±31,4
K2	0,167±0,002	156,5±0,6	0,167±0,001	156,5±0,2	0,084±0,032	128,6±21,3
M6	0,134±0,002	265,7±0,7	0,134±0,001	265,7±0,2	0,472±0,064	350,8±11,5
NU2	0,127±0,002	51,8±0,8	0,127±0,001	51,8±0,2	0,059±0,025	55,3±23,8
2MS6	0,126±0,002	319,3±0,8	0,126±0,001	319,3±0,2	0,200±0,077	28,3±19,9
M4	0,118±0,002	181,5±0,8	0,118±0,001	181,5±0,3	0,710±0,098	32,3±9,2
O1	0,105±0,001	214,8±0,8	0,105±0,001	214,8±0,3	0,054±0,040	229,5±41,0

4 Resultaten

Ten behoeve van de toekomstige MONEOS-rapportages, is in navolging van de evaluatiemethodiek voor het Schelde-estuarium (Maris *et al.* 2014), geopteerd om louter de Z0, M2 en M4 component te rapporteren. In de volgende paragrafen worden de resultaten van deze componenten uit de analyse gepresenteerd, waarbij eveneens is onderzocht of er een lineaire trend in tijd aanwezig is. Ter vergelijking met soortgelijke analyses, worden ook de resultaten van deze componenten voor Vlissingen opgenomen, die in het kader van een andere studie berekend werden voor 1 jaar (2013).

4.1 Vlissingen

Tabel 3 geeft een overzicht van de amplitude en fase van de Z0, M2 en M4 component berekend met UTide voor het jaar 2013 voor het station Vlissingen (data afkomstig van RWS).

Tabel 3 – Vergelijking amplitude en fase van 11 belangrijkste componenten bij gebruik verschillende tools

Component	Frequentie	UTide	
		[m]	[°]
Z0	-	2,336	
M2	0,0805114	1,728±0,0029	30,7±0,1
M4	0,1610228	0,129±0,0028	59,96±1,3

4.2 Prosperpolder

4.2.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Prosperpolder over de periode 2008-2017. Hieruit blijkt dat er een toename van de gemiddelde waterstand is opgetreden, die overeenkomt met een stijging van 86 cm/ 100 jaar (aannahme lineaire variatie).

4.2.2 Variatie van de M2-component

Figuur 5 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Prosperpolder over de periode 2008-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2008. Hieruit blijkt dat de amplitude met ca. 4% is afgenomen over de betreffende periode, terwijl de fase met 1° is toegenomen.

4.2.3 Variatie van de M4-component

Figuur 7 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Prosperpolder over de periode 2008-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2008. Hieruit blijkt dat de amplitude met ca. 12% is afgenomen over de betreffende periode, waarbij deze afname zich voornamelijk manifesteert vanaf 2014. De fase vertoont enige variatie over de periode maar uiteindelijk is deze in 2017 gelijk aan deze in 2008.

4.3 Antwerpen-Loodsgebouw

4.3.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Antwerpen-Loodsgebouw over de periode 2005-2017. Hieruit blijkt dat er een zeer beperkte toename (4 cm / 100 jaar) van de gemiddelde waterstand is opgetreden.

4.3.2 Variatie van de M2-component

Figuur 5 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Antwerpen-Loodsgebouw over de periode 2005-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude met ca. 3% is afgenomen over de betreffende periode, terwijl de fase met 1° is afgenomen. De afname van de fase (-2°) treedt op in de periode 2005-2008, waarna ze licht (1°) toeneemt.

4.3.3 Variatie van de M4-component

Figuur 7 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Antwerpen-Loodsgebouw over de periode 2005-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude met ca. 16% is afgenomen over de betreffende periode, waarbij deze afname zich ook hier voornamelijk manifesteert vanaf 2014. De fase vertoont enige variatie over de periode en is met ca. 4° afgenomen over de beschouwde periode.

4.4 Temse

4.4.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Temse over de periode 2005-2017. Hieruit blijkt dat er een beperkte afname (15 cm / 100 jaar) van de gemiddelde waterstand is opgetreden.

4.4.2 Variatie van de M2-component

Figuur 5 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Temse over de periode 2005-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude met ca. 4% is afgenomen over de betreffende periode, terwijl de fase ongeveer gelijk is gebleven. Initieel is er een beperkte (-1°) afname van de fase in de periode 2005-2008, waarna ze opnieuw toeneemt.

4.4.3 Variatie van de M4-component

Figuur 7 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Temse over de periode 2005-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude beperkt (ca. 4%) is afgenomen over de betreffende periode. De fase vertoont enige variatie over de periode maar uiteindelijk is deze in 2017 quasi gelijk aan deze in 2005.

4.5 Dendermonde

4.5.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Dendermonde over de periode 2005-2017. Hieruit blijkt dat er een beperkte toename (16 cm / 100 jaar) van de gemiddelde waterstand is opgetreden.

4.5.2 Variatie van de M2-component

Figuur 9 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Dendermonde over de periode 2005-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat tot 2015 de amplitude licht afnam (ca. 3%), om in de volgende jaren opnieuw toe te nemen. Hierdoor is de variatie tussen 2005 en 2017 beperkt. De fase nam initieel af (-2°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, ongeveer gelijk te blijven.

4.5.3 Variatie van de M4-component

Figuur 10 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Dendermonde over de periode 2005-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude beperkt (ca. 4%) is afgenomen over de betreffende periode. De fase nam initieel af (-4°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, ongeveer gelijk te blijven.

4.6 Wetteren

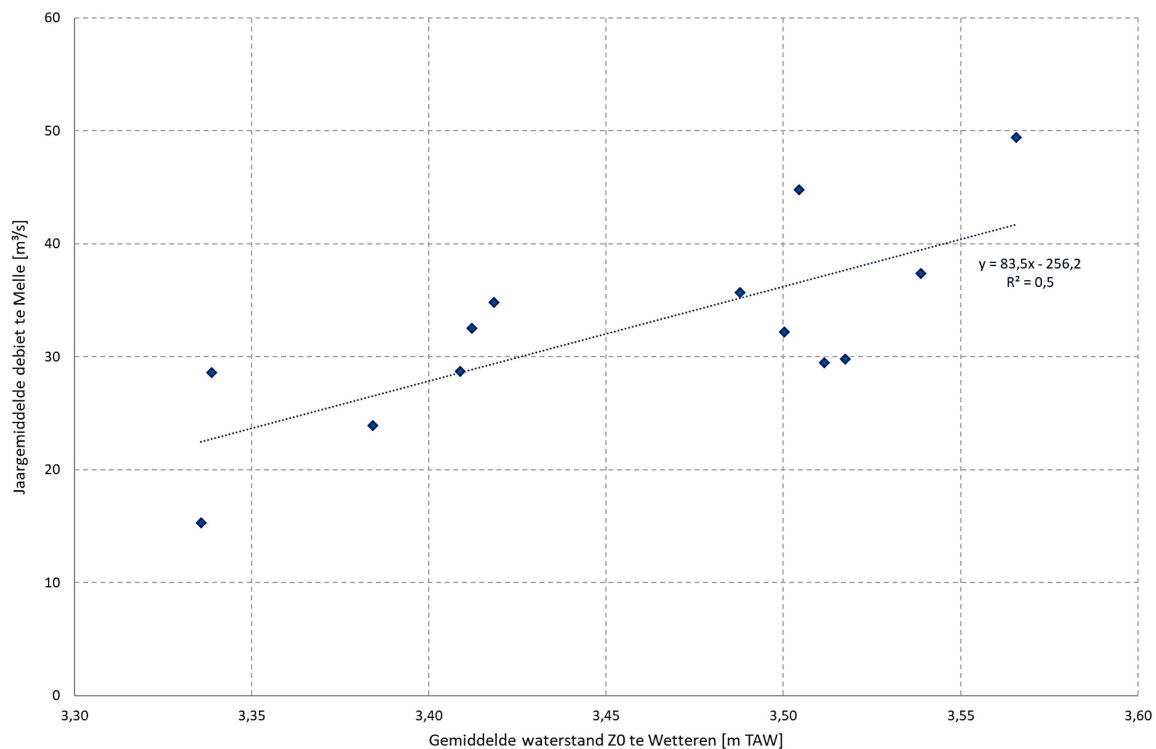
4.6.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Wetteren over de periode 2005-2017. Hieruit blijkt dat er een zeer beperkte afname (7 cm / 100 jaar) van de gemiddelde waterstand is opgetreden. In vergelijking met de meer afwaarts gelegen posten vertoont de gemiddelde waterstand hier een grotere variatie. Dit kan toegeschreven worden aan de invloed van de bovenafvoer die zich hier sterker manifesteert (Figuur 3).

4.6.2 Variatie van de M2-component

Figuur 9 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Wetteren over de periode 2005-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat tussen 2011 en 2013 er een afname met ca. 5% optreedt, terwijl in de periode ervoor en erna de amplitude ongeveer gelijk blijft. De fase nam initieel af (-2°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, terug toe nemen tot de oorspronkelijke waarde van 2005.

Figuur 3 – Relatie gemiddelde waterstand Z0 te Wetteren – jaargemiddeld debiet te Melle



4.6.3 Variatie van de M4-component

Figuur 10 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Wetteren over de periode 2005-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude aanzienlijk (ca. 12%) is afgenomen over de betreffende periode, waarbij vooral sinds 2014 een afname opvalt. De fase nam initieel af (-3°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, ongeveer gelijk te blijven.

4.7 Walem

4.7.1 Variatie van de Z0-component

Figuur 4 geeft de variatie weer van de gemiddelde waterstand Z0 te Walem over de periode 2005-2017. Hieruit blijkt dat er een toename (45 cm / 100 jaar) van de gemiddelde waterstand is opgetreden.

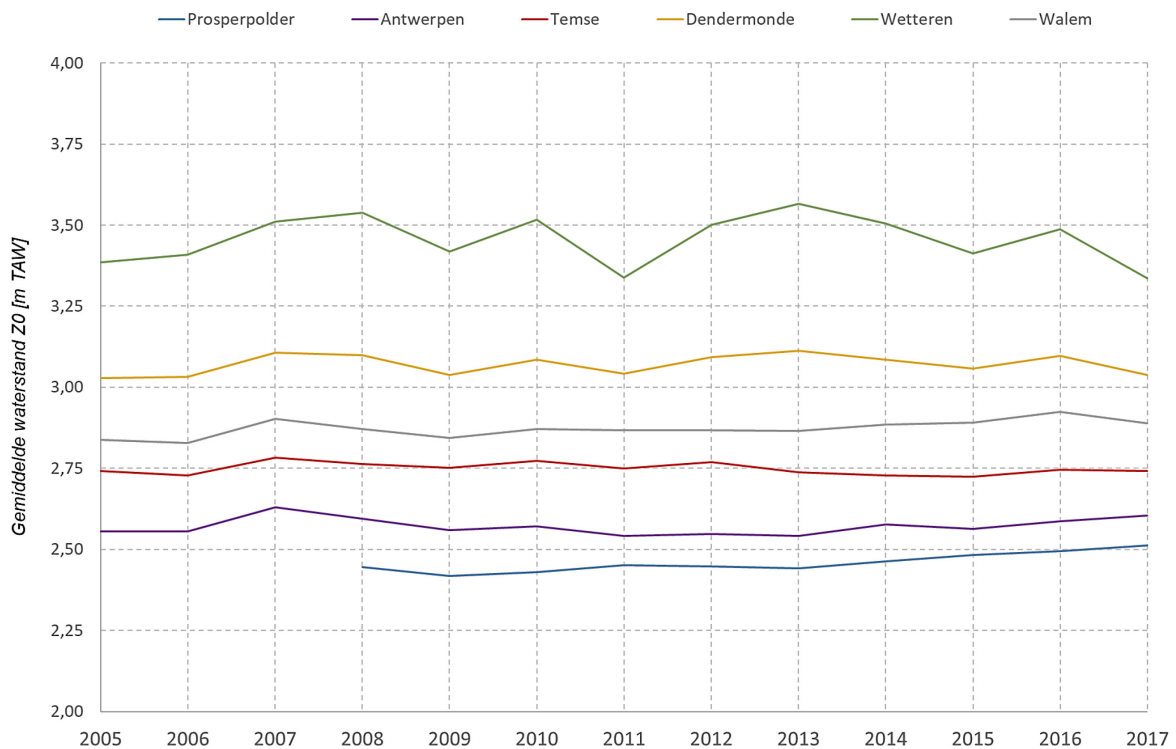
4.7.2 Variatie van de M2-component

Figuur 9 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M2 component te Walem over de periode 2005-2017. Figuur 6 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat er een geleidelijke afname (ca. 4%) optreedt over de beschouwde periode. De fase nam initieel af (-2°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, terug toe nemen tot de oorspronkelijke waarde van 2005.

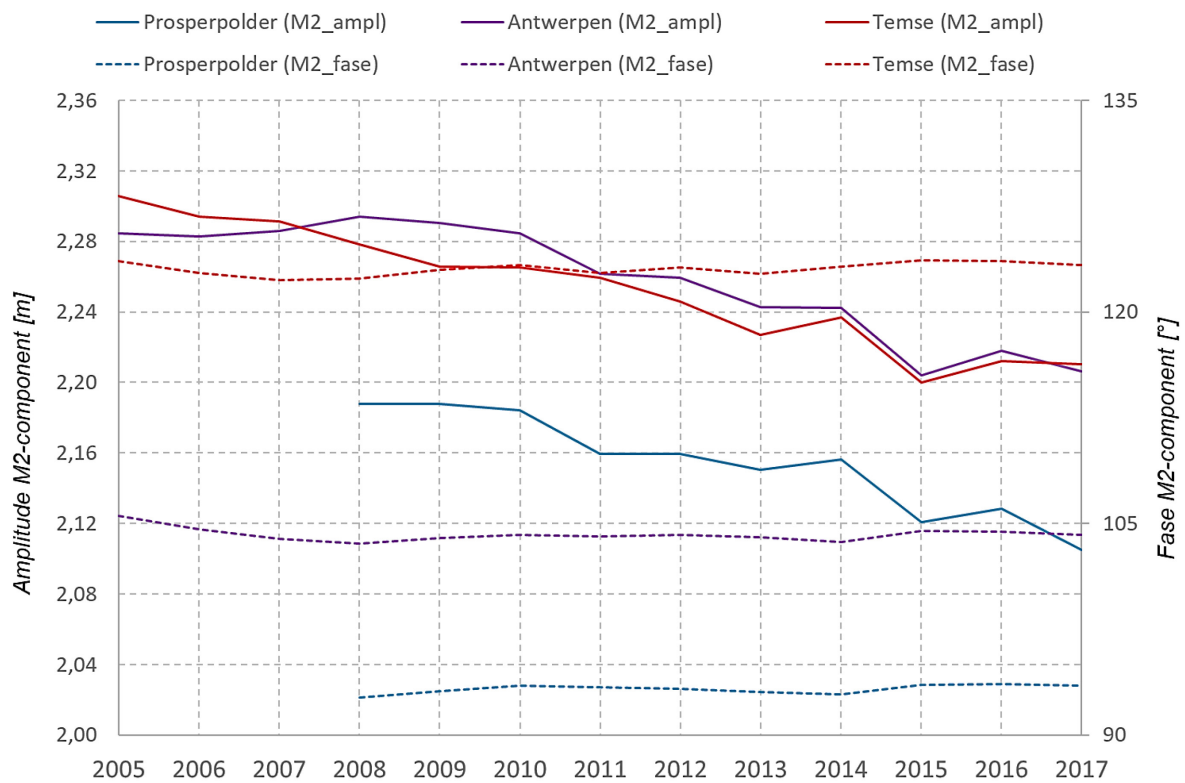
4.7.3 Variatie van de M4-component

Figuur 10 geeft de variatie weer van de amplitude en de fase van de M4 component te Walem over de periode 2005-2017. Figuur 8 toont deze ontwikkeling relatief ten opzichte van de waarde in 2005. Hieruit blijkt dat de amplitude variatie kent over de jaren heen, maar over de volledige periode licht (ca. 5%) is afgenomen. De fase nam initieel af (-3°) om vervolgens, op jaarlijkse variaties na, licht (1°) terug toe te nemen.

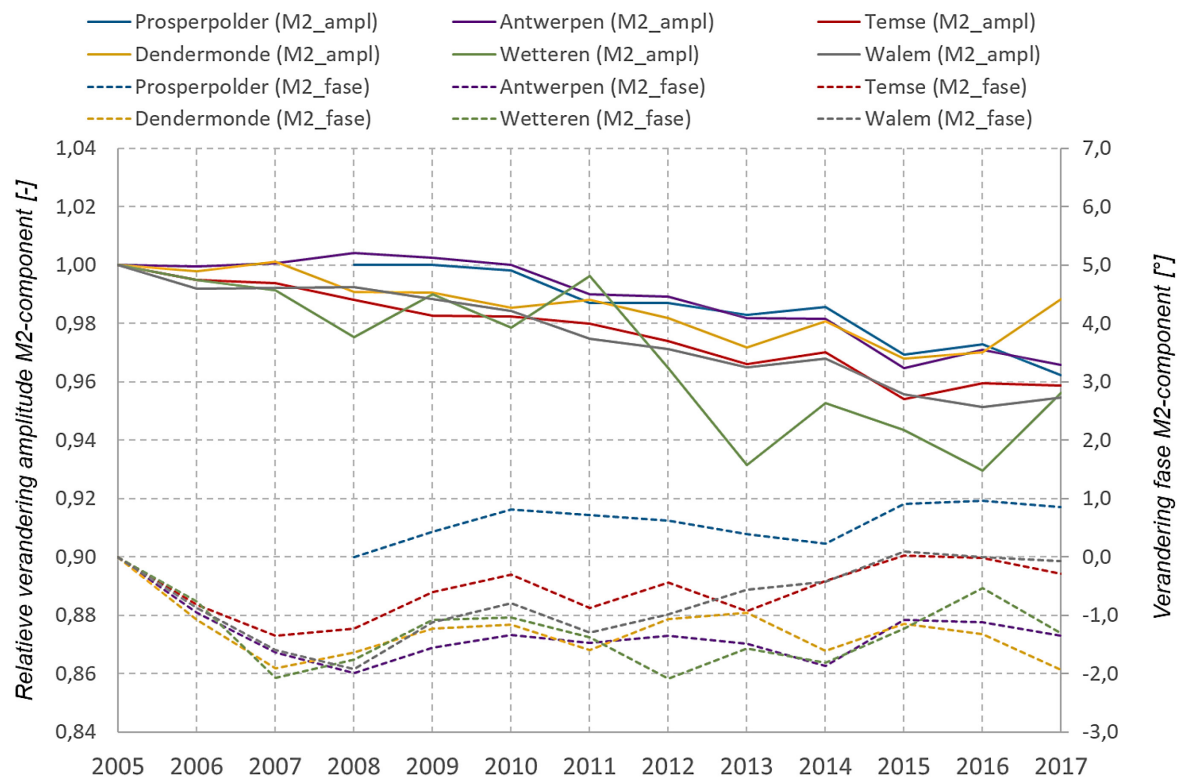
Figuur 4 – Evolutie in de tijd van de gemiddelde waterstand Z0



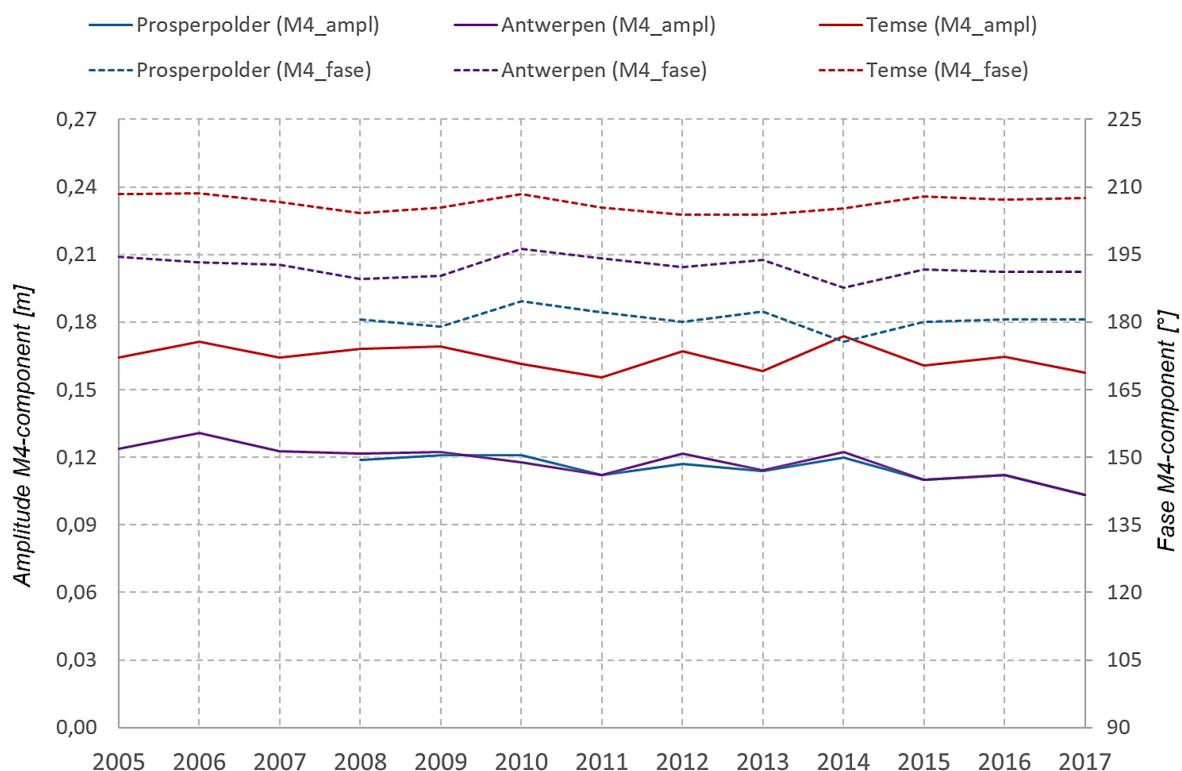
Figuur 5 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (afwaartse posten)



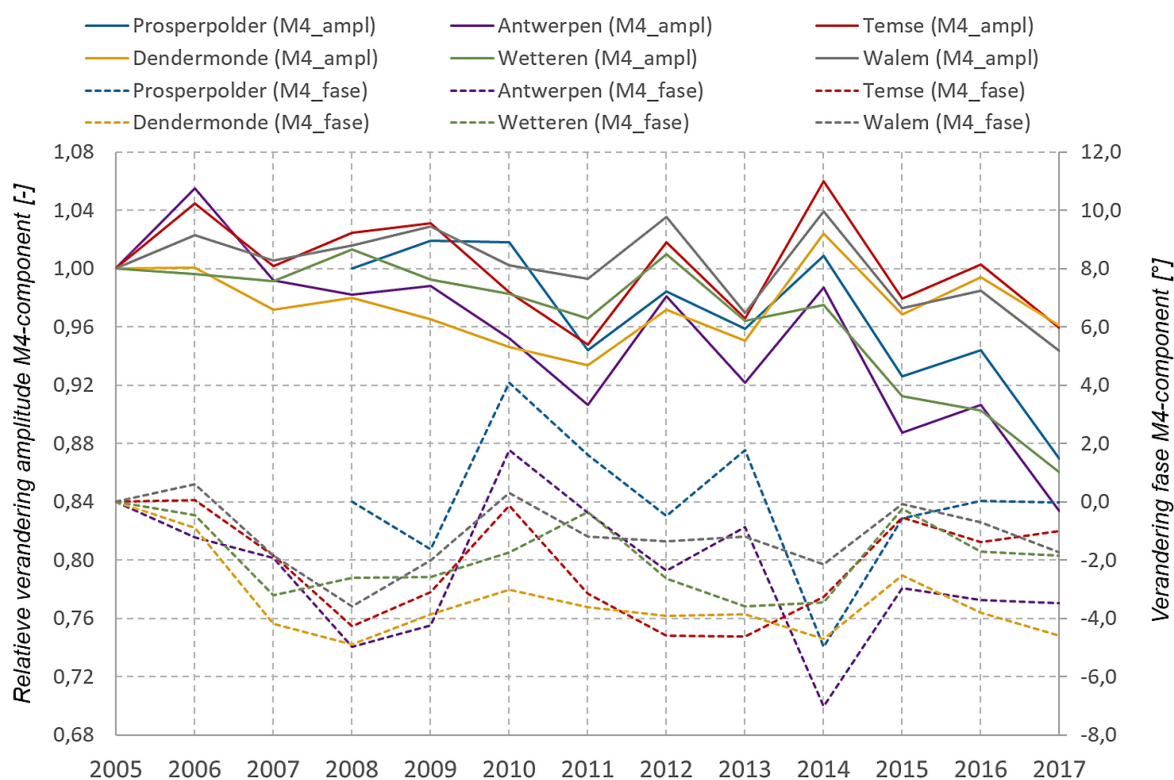
Figuur 6 –Verhouding van de amplitude en fase voor de M2-component t.o.v. 2005 (Prosperpolder t.o.v. 2008)



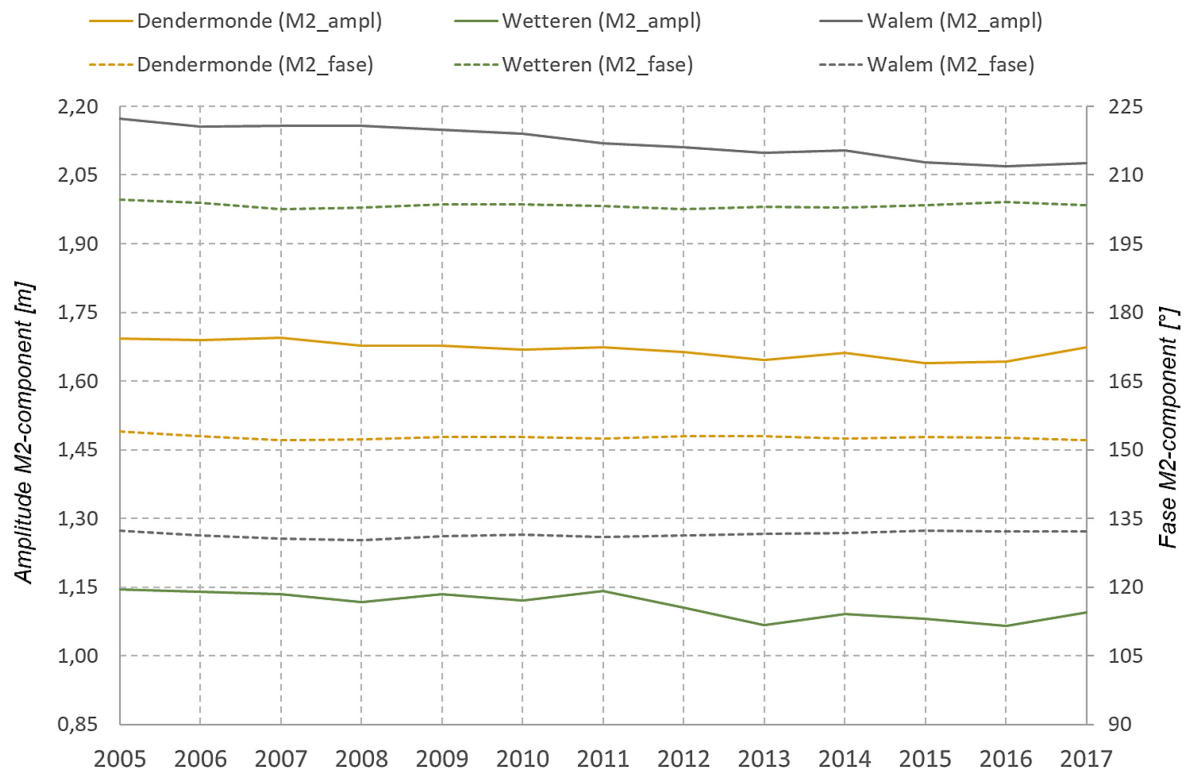
Figuur 7 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (afwaartse posten)



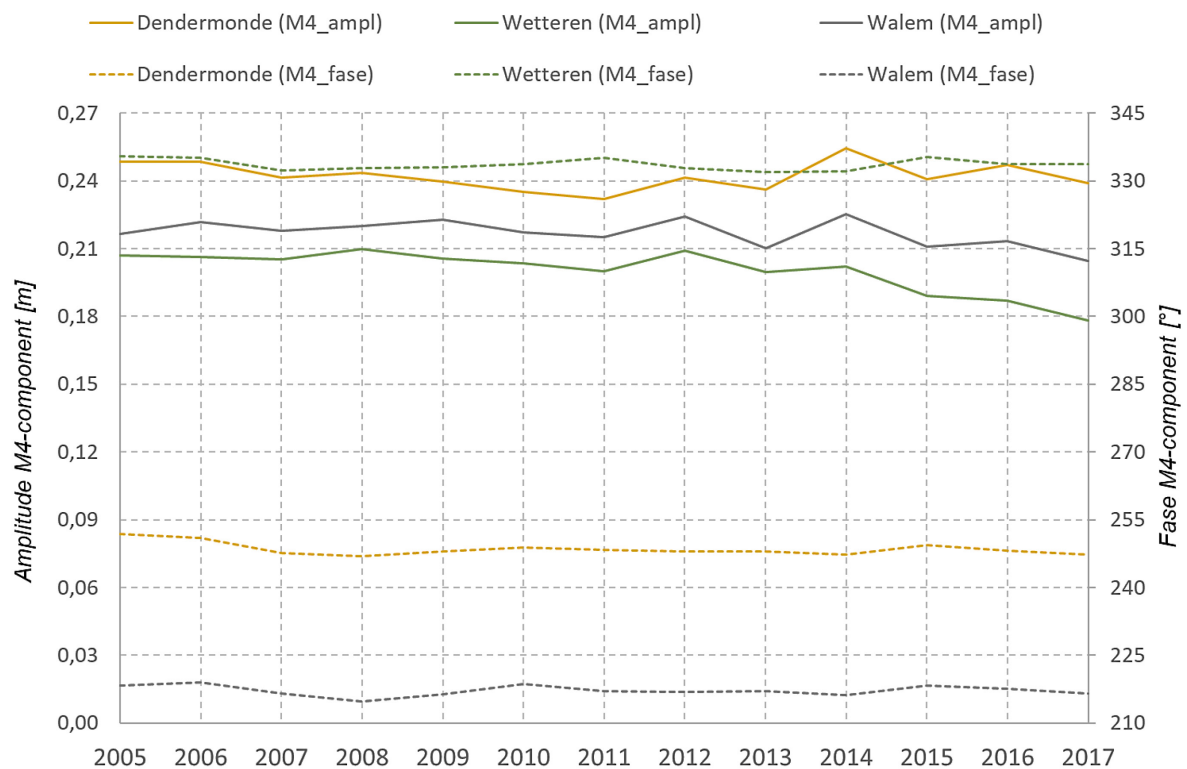
Figuur 8 – Verhouding van de amplitude en fase voor de M4-component t.o.v. 2005 (Prosperpolder t.o.v. 2008)



Figuur 9 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M2-component (opwaartse posten)



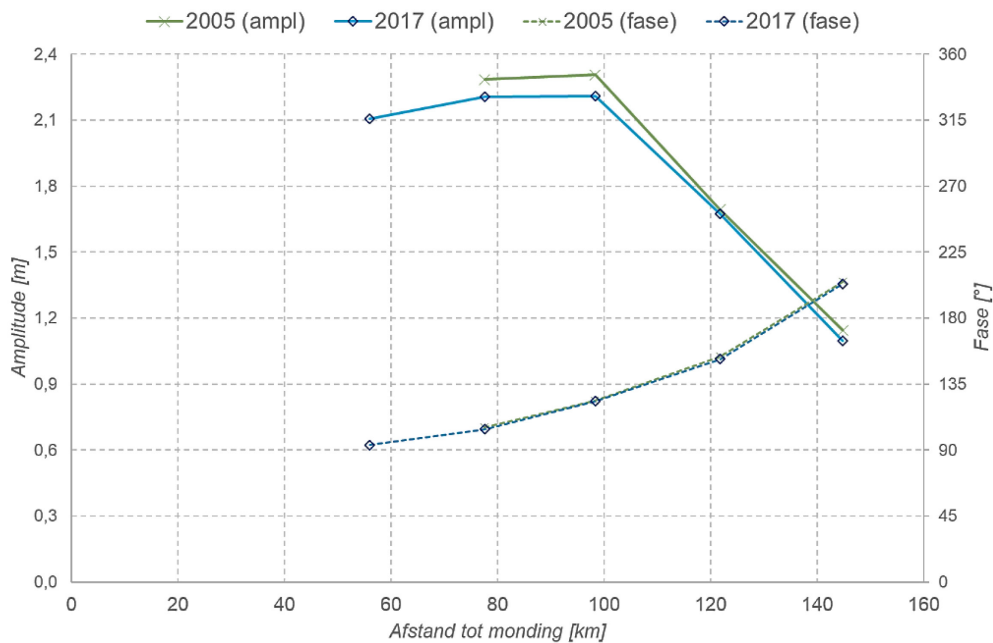
Figuur 10 – Evolutie in de tijd van de amplitude en fase van de M4-component (opwaartse posten)



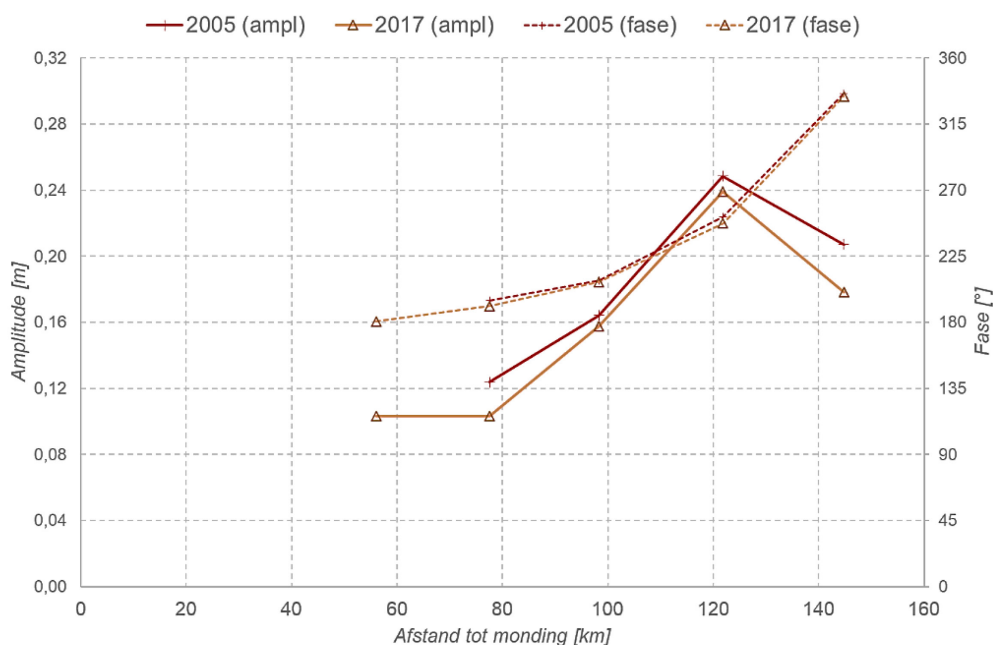
4.8 Langsprofiel

Figuur 11 en Figuur 12 geeft het langsprofiel weer van de amplitude en de fase van respectievelijk de M2 en de M4 component in de Zeeschelde. Hieruit blijkt dat de fase slechts zeer beperkt gewijzigd is over de periode. De amplitude toont voor beide componenten een lichte afname (gemiddeld 3% voor M2, 8% voor de M4 component).

Figuur 11 –Langsprofiel van amplitude en fase van de M2-component voor toestand 2005 en 2017



Figuur 12 –Langsprofiel van amplitude en fase van de M4-component voor toestand 2005 en 2017



5 Conclusies

In het kader van de Evaluatiemethodiek voor het beoordelen van de ontwikkelingen van het fysisch systeem van het Schelde-estuarium, worden harmonische getijcomponenten als verklarende parameter beschouwd. Voor de Westerschelde worden deze door Rijkswaterstaat systematisch berekend, voor de Zeeschelde ontbraken deze vooralsnog. Voorliggend rapport gaat in op de behoefte.

De gevoeligheidsanalyse ging na wat de invloed van de gebruikte software en de beschouwde tijdsresolutie is op de waarden van de belangrijkste harmonische componenten. De vergelijking tussen 2 op het Waterbouwkundig Laboratorium ingezette software pakketten (UTide en TIDEMAT) voor Prosperpolder (gebruik voor getijvoorspellingen) toont aan dat de belangrijkste componenten een zeer goede overeenkomst geven voor de amplitude (afwijking 0 à 2 mm). De fase van de meeste half-dagelijkse componenten wijkt minder dan 1° af, echter voor de hogere harmonische componenten is de afwijking aanzienlijk groter.

Een tweede vergelijking die is uitgevoerd betreft de invloed van de tijdsresolutie van de meetreeksen. Hierbij werden de harmonische componenten bepaald vertrekkende van tijdsreeksen met resolutie van respectievelijk 10-minuutsgegevens, 1-minuutgegevens en hoog- en laagwaters. Het verschil tussen de 10 en 1-minuutreeksen in alle componenten is onbestaande. Tussen de 10-minuutreeksen en de hoog- en laagwaters komt een duidelijke afwijking naar voor. Deze is aanwezig voor alle beschouwde componenten, waarbij voor de belangrijkste component (M2) een verschil van meer dan 60 cm aanwezig is. Op basis van deze gevoeligheidsanalyse is besloten dat het gebruik van 10-minuutsgegevens als uitgangspunt kan gehanteerd worden.

Vervolgens werd voor 6 getijposten verspreid langs de Zeeschelde en de Rupel een harmonische analyse uitgevoerd per kalenderjaar over de periode 2005 (eerste continue digitale gegevens beschikbaar) tot 2017. Hieruit blijkt dat de fase van de M2 en de M4 component slechts beperkt gewijzigd is over de periode voor de meeste stations. De amplitude toont voor beide componenten een lichte afname (gemiddeld 3% voor M2, 8% voor de M4 component). De grootste (10%) afwijking wordt gevonden voor de amplitude van de M4-component voor Prosperpolder, Antwerpen-Loodsgebouw en Wetteren.

6 Referenties

Alkyon. (2004). TIDEMAT Tidal Analysis User's Manual. Report I

Barneveld, H.J.; Nicolai, R.P.; Boudewijn, T.J.; Moortel, I. Van de; Postma, R. (2018). Evaluatie Schelde-estuarium: de toestand van Veiligheid, Toegankelijkheid en Natuurlijkheid - Samenvatting van de T2015-rapportage. 33 pp.

Codiga, D.L. (2011). Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide Matlab Functions. 59 pp.

Depreiter, D.; Cleveringa, J.; van der Laan, T.; Maris, T.; Ysebaert, T.; Wijnhoven, S. (2014). T2009-rapport Schelde-estuarium. 522 + 2 bijlagen pp. pp.

Foreman, M.G.G. (1977). Manual for tidal heights analysis and prediction. .

Godin, G. (1972). The analysis of tides.

Maris, T.; Bruens, A.; Duren, L. van; Vroom, J.; Holzhauer, H.; Jonge, M. De; Van Damme, S.; Nolte, A.; Kuijper, K.; Taal, M.; Jeuken, C.; Kromkamp, J.; Van Wesenbeeck, B.; Ryckegem, G. Van; Bergh, E. Van den; Wijnhoven, S.; Meire, P. (2014). Evaluatiemethodiek Schelde-estuarium - Update 2014. 356 pp.

Pawlowicz, R.; Beardsley, B.; Lentz, S. (2002). Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Comput. Geosci.* 28(8): 929–937. doi:10.1016/S0098-3004(02)00013-4

Pugh, D.T. (1987). Tides, surges and mean sea-level. A handbook for engineers and scientists. 472 pp.

Vandenbruwaene, W.; Hertoghs, R.; Michiels, S.; Van De Moortel, I.; Vos, G.; Plancke, Y.; Vereecken, H.; Meire, D.; Deschamps, M.; Mostaert, F. (2018). Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets (MONEOS) – Jaarboek monitoring 2017: Deelrapport 7. Factual data rapportage van monitoring waterbeweging en fysische parameters in de Zeeschelde in 2017. Versie 3.0. *WL Rapporten*, 12_070_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <http://www.vliz.be/nl/open-marien-archief?module=ref&refid=300451>

Vanlede, J.; Coen, L.; Deschamps, M. (2014). Tidal Prediction in the Sea Scheldt (Belgium) Using a Combination of Harmonic Tidal Prediction and 1D Hydraulic Modeling. *Nat. Resour.* 05(11): 627–633. doi:10.4236/nr.2014.511055

Vanlede, J.; Taverniers, E.; Deschamps, M.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Harmonische analyse en voorspelling: getij Schelde te Prosperpolder. *WL Rapporten*, 13_055. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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