



Vlaanderen
is wetenschap



14_082_6
WL rapporten

AvdT – Golven in het estuarium – Analyse impact golven op habitats

Deelrapport 6 – Golven en habitats

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

AvdT – Golven in het estuarium - Analyse impact golven op habitats

Deelrapport 6 – Golven en habitats

Meire, D.; Plancke, Y.

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 2024
D/2024/3241/284

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Meire, D.; Plancke, Y. (2024). AvdT – Golven in het estuarium - Analyse impact golven op habitats: Deelrapport 6 – Golven en habitats. Versie 4. WL Rapporten, 14_082_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	VNSC	Ref.:	WL2024R14_082_6
Keywords (3-5):	Golven, stroomsnelheden, habitat, ecotopen, intergetijdengebieden		
Kennisdomeinen	Hydrodynamica > Golven > in situ metingen Hydrodynamica > Getij > in situ metingen		
Tekst (p.):	37	Bijlagen (p.):	19
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Plancke, Y.	Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2024-11-25 11:48:34 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
Projectleider:	Meire, D.	Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2024-11-05 16:40:46 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Belafkih, K.	Getekend door: Abdelkarim Bellafkih (Sign) Getekend op: 2024-11-05 09:46:49 +01:0 Reden: Ik keur dit document goed   Vlaamse overheid
-----------------	--------------	---

Abstract

Eén van de vragen binnen het onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” is het belang van golven in het estuarium. Golven kunnen een belangrijk bijdrage leveren in de hydrodynamische belasting op oevers en dijken. De golven kunnen ook morfologische effecten hebben op intergetijdengebieden en bijgevolg kunnen ze een invloed hebben op de ecologische waarde van deze intergetijdengebieden (zowel platen als schorren).

Binnen het project “Golven in het estuarium” zijn verschillende meetcampagnes uitgevoerd, zowel in de Westerschelde (bij Saeftinghe en bij de Hooge Platen) als in de Zeeschelde (te Appels en bij de Notelaer). Dit rapport beschrijft de relatie van de golven op de habitats voor de verschillende meetlocaties. Het bevat eveneens een uitvoerige analyse van hoogfrequente snelheidsmetingen, om een beter inzicht te krijgen in het effect van golven nabij de bodem.

Voor de Hooge Platen liggen de hoogfrequente snelheidsmetingen uitgevoerd dichtbij de bodem, ca. 30% lager dan de diepte-gemiddelde snelheden. Ook voor Rupelmonde (eb en vloed) en Dendermonde (eb) wordt een gelijkaardige verhouding teruggevonden.

Op basis van geregistreerde scheepspassages worden een aantal events geselecteerd. Er wordt een duidelijke relatie gevonden tussen de relatieve golfhoogte tijdens deze events en de gemeten hoogfrequente snelheid nabij de bodem voor hetzelfde event. Met behulp van de lineaire golftheorie werd op basis van de golfhoogte en waterdiepte een inschatting gemaakt van de snelheid nabij de bodem, veroorzaakt door secundaire golven. Voor de meetlocaties in de Westerschelde worden snelheden berekend die voldoende zijn om (niet-cohesief) sediment in beweging te brengen. In de Zeeschelde worden lage snelheden berekend ten gevolge van de scheeps-geïnduceerde golven (ca. 0,05 tot 0,10 m/s), te laag om een effect te verwachten op het sedimenttransport en de habitats. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de impact van (snelle) pleziervaart niet in rekening werd genomen, alsook het effect dat brekende golven ter hoogte van de waterlijn kunnen hebben op de (slibrijke) bodem. Op basis van de uitgevoerde meetcampagnes kan enkel in het westelijk deel van de Westerschelde een effect van windgolven op de habitats worden verwacht. Tenslotte werd het potentieel effect ingeschat die golven kunnen hebben op intergetijdengebieden en de ecologische waardering daarvan in de ecotopenkaart.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	IV
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Meetopzet	3
2.1 Meetopstelling	3
2.2 Meetmethodes.....	4
2.2.1 Laagfrequente snelheidsmetingen (getijstroming)	4
2.2.2 Hoogfrequente snelheidsmetingen (golven).....	4
2.2.3 Waterstandsfluctuaties	6
3 Hoogfrequente snelheidsmetingen.....	7
3.1 Getijkarakteristieken tijdens metingen.....	7
3.1.1 Hooge Platen (Hoge Springer)	7
3.2 Snelheidsmetingen i.r.t. getijstroming.....	8
3.2.1 Hooge Platen (Hoge Springer)	8
3.2.2 Rupelmonde.....	11
3.2.3 Dendermonde.....	12
3.3 Snelheidsmetingen i.r.t. scheepsgolven	15
3.3.1 Selectie van scheepsevents (Hooge Platen)	15
3.3.2 Theoretische snelheid door golfbeweging	18
3.4 Inschatting impact op sedimenttransport	19
3.4.1 Relatie waterbeweging – begin van beweging	19
3.4.2 Inschatting begin van beweging voor waargenomen events.....	21
4 Ecotopenkartering	23
4.1 Inleiding.....	23
4.2 Overzicht hydrodynamische belasting.....	23
4.3 Hooge Platen.....	25
4.4 Saeftinghe	27
4.5 Rupelmonde.....	29
4.6 Dendermonde	30
4.7 Discussie.....	32

5	Conclusies	34
6	Referenties	36
Bijlage 1	Scheepsevents bij de Hooge Platen	B1
Bijlage 2	Stroomsnelheden	B19

Lijst van de tabellen

Tabel 1: Instellingen van beide Aquadopps [®] geplaatst bij de Hoge Springer	5
Tabel 2: Overzicht van de getijkarakteristieken [m TAW], bij metingen met de hoogfrequente Aquadopp [®] .	8
Tabel 3: Overzicht van maximale stroomsnelheden [m/s], volgens ecotopenkaart en gemeten met ADCP. De berekende snelheden, op basis van lineaire golftheorie voor secundaire “single ship” events en ‘windevents’ zijn eveneens toegevoegd. Per locatie is tevens in kleur de indeling inzake dynamiek opgenomen: hoogdynamisch, laagdynamisch, veranderend HD/LD	24
Tabel 4: Ecotopentypes voor de verschillende meetlocaties bij de Hooge Platen in 2016 en 2018.	25
Tabel 5: Ecotopentypes voor de verschillende meetlocaties bij Saeftinghe in 2016 en 2018.	27

Lijst van de figuren

Figuur 1: Locatie van de metingen binnen project “Golven in het estuarium”	1
Figuur 2: Aquadopp [®] (linksonder) en druksensor (midden) ingegraven in slik van intergetijdengebied, tegen de laagwaterlijn	3
Figuur 3: Aquadopp [®] (linksboven) en hoogfrequente druksensor (linksonder) ingegraven in slik (links) en hoogfrequente, neerwaarts gerichte Aquadopp [®] bij de Hoge Springer (rechts)	4
Figuur 4: Gemiddeld snelheidsprofiel voor een event opgemeten met de hoogfrequente Aquadopp [®] (bodem = -0.6 m).....	5
Figuur 5: Verloop van de waterhoogte boven de sensor (boven) en de gemiddelde snelheden (onder) voor de meetperiode van de hoogfrequente (blauw) en de laagfrequente metingen (zwart).	9
Figuur 6: Verhouding van de gemiddelde snelheid in de onderste waterlaag versus de dieptegemiddelde opgemeten snelheid, voor verschillende getijden.	10
Figuur 7: Verloop van de gemiddelde watersnelheden in de onderste waterlaag, voor verschillende getijden.	10
Figuur 8: Verloop van de snelheden (ADV) bij de Notelaer, uitgemiddeld per minuut, de verticale lijnen geven het tijdstip van laagwater (...) en hoogwater (---) weer.	11
Figuur 9: Relatie tussen het getijverschil bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) en de maximale snelheid bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts). Symbool ‘o’ weerspiegelen de ADCP metingen (WL), de ‘+’ de ADV metingen (INBO)	12
Figuur 10: Locatie van de meetpunten bij Appels (boven) en vloed – eb dominantie zoals berekend in Vos et al (2013).....	13
Figuur 11: Verloop van de snelheden (ADV) bij Appels, uitgemiddeld per minuut, de verticale lijnen geven het tijdstip van laagwater (...) en hoogwater (---) weer.	14
Figuur 12: Relatie tussen het getijverschil bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) en de maximale snelheid bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) bij Appels. Symbool ‘o’ weerspiegelen de ADCP metingen (WL), de ‘+’ de ADV metingen (INBO)	14
Figuur 13: Verloop van de waterhoogte boven de Aquadopp (onder) en de gemiddelde snelheden in de onderste zone (boven). De donkere arcering geeft de afbakening van de primaire golf weer, de lichte arcering de afbakening van de secundaire. De verticale rode lijn geeft de passage van een schip weer, volgens de AIS database.	15
Figuur 14: Verloop van de waterfluctuaties, opgemeten met de hoogfrequente druksensor, voor hetzelfde golfevent als in Figuur 13. Linksboven zijn de waterfluctuaties weergegeven na toepassing van een low-pass filter voor het uitfilteren van het getij en het energiespectrum (linksonder). Rechts zijn de waterfluctuaties en het energiespectrum weergegeven na toepassing van de bandpass filter (0,1 Hz en 0,5 Hz).....	16
Figuur 15: Verloop van de waterdiepte boven het Aquadopp toestel (boven) en de gemiddelde snelheden (onder), met aanduiding van de instantane snelheden (uitgemiddeld over 1,5 s) en de getijstroming (uitgemiddeld over 15 min). De arcering geeft de periode weer waarin de golfkarakteristieken (snelheid, hoogte) bepaald worden	17
Figuur 16: Relatie tussen de relatieve golfhoogte (golfhoogte secundaire golven/waterdiepte) en de berekende snelheid van de secundaire golven, voor de verschillende geselecteerde events	18
Figuur 17: Relatie tussen berekende en gemeten snelheid nabij de bodem.....	19

Figuur 18: Berekende snelheid nabij de bodem voor golven, voor verschillende combinaties van golfhoogte en waterdiepte, en een golfperiode van 3,5 s. De zwarte lijn geeft de grens aan van begin van beweging (volgens vergelijking 1), de gele lijn de grens van beweging (volgens vergelijking 3), de donkergrijze lijn volgens vergelijking 4.	21
Figuur 19: Berekende snelheid nabij de bodem voor golven, voor verschillende combinaties van golfhoogte en waterdiepte, en een golfperiode van 3,5 s. De verschillende golfhoogte en waterdiepte combinaties voor de single ship events zijn eveneens toegevoegd (o = Hooge Platen, Δ = Saeftinghe, + = Rupelmonde, x = Dendermonde). De zwarte, gele en grijze lijnen geven de grens aan van begin van beweging (volgens respectievelijk vergelijking 1, 3 en 4)	22
Figuur 20: Overzicht van de ecotopenkaart van 2016 (boven) en 2018 (onder) ter hoogte van de Hooge Platen	26
Figuur 21: Overzicht van de ecotopenkaart van 2016 (boven) en 2018 (onder) ter hoogte van de oostrand van Saeftinghe.....	28
Figuur 22: Overzicht van de ecotopenkaart voor de Notelaer.....	29
Figuur 23: RTK gps transect, ter hoogte van de golfmetingen, zoals aangegeven in Figuur 22.....	30
Figuur 24: Overzicht van de ecotopenkaart voor de regio te Appels.....	31
Figuur 25: RTK gps transect, ter hoogte van de golfmetingen, zoals aangegeven in Figuur 24.....	31
Figuur 26: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 1. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B1
Figuur 27: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 2. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B1
Figuur 28: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 3. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B2
Figuur 29: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 4. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B2
Figuur 30: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 5. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B3
Figuur 31: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 6. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B3
Figuur 32: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 7. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B4
Figuur 33: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 8. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B4
Figuur 34: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 9. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B5

Figuur 35: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 10. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B5
Figuur 36: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 11. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B6
Figuur 37: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 12. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B6
Figuur 38: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 13. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B7
Figuur 39: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 14. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B7
Figuur 40: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 15. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B8
Figuur 41: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 16. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B8
Figuur 42: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 17. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B9
Figuur 43: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 18. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B9
Figuur 44: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 19. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B10
Figuur 45: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 20. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B10
Figuur 46: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 21. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B11
Figuur 47: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 22. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B11
Figuur 48: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 23. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B12
Figuur 49: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 24. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.	B12

Figuur 50: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 25. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B13

Figuur 51: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 26. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B13

Figuur 52: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 27. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B14

Figuur 53: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 28. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B14

Figuur 54: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 29. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B15

Figuur 55: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 30. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B15

Figuur 56: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 31. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B16

Figuur 57: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 32. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B16

Figuur 58: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 33. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B17

Figuur 59: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 34. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B17

Figuur 60: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 35. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B18

Figuur 61: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 36. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven. B18

Figuur 62: Maximale stroomsnelheden voor de Hooge Platen, zoals gebruikt voor de ecotopenkartering van de Westerschelde B19

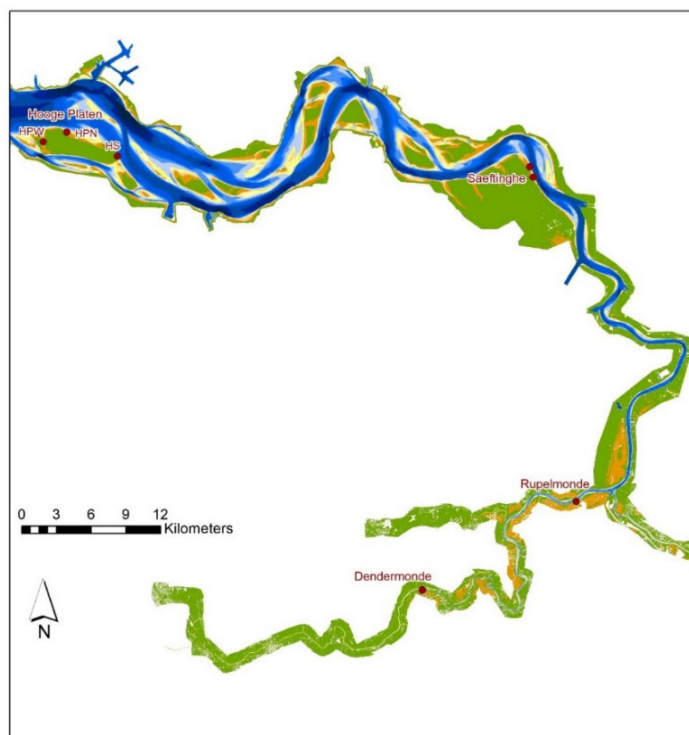
Figuur 63: Maximale stroomsnelheden bij Saefthinghe, zoals gebruikt voor de ecotopenkartering van de Westerschelde B19

1 Inleiding

De Vlaams-Nederlandse Schelde Commissie (VNSC) keurde in 2013 het onderzoeksprogramma “Agenda voor de Toekomst” goed. Op basis van de evaluatie van het gezamenlijk verdrag beleid en beheer, werden een aantal prioritaire onderzoekstopics bepaald die de basis vormden van het onderzoeksprogramma. Hierop volgend werd een actieplan opgesteld (Beirinckx et al., 2014), dat als leidraad werd gebruikt voor de uitvoering van het onderzoeksprogramma in de periode 2014-2017. Het huidige rapport is onderdeel van dit onderzoeksprogramma, en heeft als doel de kennis rond de belasting van intergetijdengebieden door golven te vergroten.

Zowel in de Zeeschelde als in de Westerschelde worden de habitats ingedeeld op basis van een aantal abiotische karakteristieken, die gecombineerd worden in een zogenaamde ecotopenkartering. Hierbij wordt een opsplitsing gemaakt in verschillende diepteklassen (subtidaal, intertidaal, supratidaal), met een verdere opsplitsing op basis van hydrodynamische variabelen (stroming), geomorfologische karakteristieken, e.d. (voor een volledige beschrijving: zie o.a. Bouma (2005), Kers et al. (2013), Van Braeckel et al (2018)). Tot op heden wordt geen rekening gehouden met golven (noch wind- of scheepsgolven) voor het aflijnen van ecotopen op intergetijdengebieden, ondanks het feit dat deze mogelijk een invloed hebben op habitats (bv. schuifspanningen geïnduceerd door golfwerking, erosie, sedimentatie,...). Dit kennishiaat vormde de aanleiding voor het uitvoeren van project “Golven in het estuarium”.

Binnen dit project werden op verschillende locaties in het Schelde-estuarium in situ golfmetingen uitgevoerd voor het inschatten van de golfimpact op intergetijdengebieden. De verschillende locaties zijn verspreid over zowel de Westerschelde (Saeftinghe en Hooge Platen) als de Zeeschelde (Notelaer nabij Rupelmonde en Appels nabij Dendermonde) (Figuur 1).



Figuur 1: Locatie van de metingen binnen project “Golven in het estuarium”

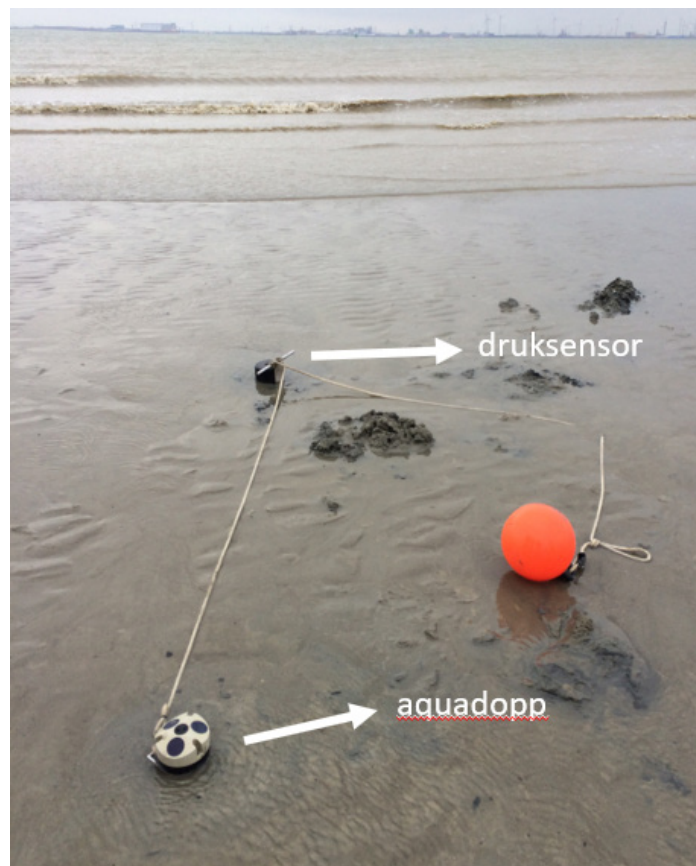
In dit rapport wordt op de meetlocaties waar golfmetingen werden uitgevoerd, de habitats en de habitatgeschiktheid (ecotopenkaart) besproken. Specifiek wordt gefocust op de mogelijke hydrodynamische belasting die deze gebieden ondervinden, zowel qua stroming als door golfwerking.

In hoofdstuk 2 wordt de meetopzet besproken. In hoofdstuk 3 worden de hoogfrequente snelheidsmetingen, zowel gerelateerd aan de getijstroming als aan sloopsevents, beschreven en geanalyseerd. De hoogfrequente metingen voor de karakterisering van sloopgolven werden enkel uitgevoerd bij de Hooge Platen. Voor deze locatie wordt ook een relatie gelegd tussen de hoogfrequente golfmetingen en de hoogfrequente snelheidsmetingen. Daarnaast worden de metingen vergeleken met de theoretische resultaten door het gebruik van de lineaire golftheorie, waarmee de stroomsnelheden t.g.v. golfwerking kunnen ingeschat worden. Op basis van het gebruik van deze theorie en eerdere classificaties van ecotopen, wordt het effect van golven op habitatgeschiktheid ingeschat aan de hand van de uitgevoerde metingen (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 worden tenslotte de belangrijkste conclusies geformuleerd.

2 Meetopzet

2.1 Meetopstelling

Gedurende het project “Golven in het estuarium” werden op de 4 verschillende meetlocaties zowel de getijstrooming (laagfrequente snelheidsmetingen, 1 meting per 5 minuten) gemeten met een Aquadopp[®] (sectie 2.2) als waterstandsfluctuaties met hoogfrequente druksensoren (sectie 2.2.3). Deze toestellen worden ingegraven in het slik, en steken slechts een tiental centimeter uit boven de bodem, zoals weergegeven in Figuur 2. Naast deze metingen werd op de Hooge Platen nabij de Hoge Springer ook hoogfrequente snelheidsmetingen uitgevoerd (sectie 2.2.2).



Figuur 2: Aquadopp[®] (linksonder) en druksensor (midden) ingegraven in slik van intergetijdengebied, tegen de laagwaterlijn

2.2 Meetmethodes

2.2.1 Laagfrequente snelheidsmetingen (getijstroming)

Met behulp van een Aquadopp[®] meettoestel wordt een verticaal snelheidsprofiel opgemeten. Uit deze metingen wordt tevens de diepte-gemiddelde snelheid bepaald door de opgemeten snelheden in verschillende meetcellen uit te middelen.

Voor de snelheidsmetingen met de Aquadopp[®] worden volgende instellingen gehanteerd:

- Verticale resolutie van 0,10 m (1 meetcel)
- Blanking afstand van 0,10 m (centrum eerste meetcel ca. 25 cm boven toestel)
- Meetfrequentie: 1 / 300 s (1 meting per 5 minuten)
- een geregistreerde meting is een gemiddelde van metingen gedurende 60 s

2.2.2 Hoogfrequente snelheidsmetingen (golven)

Ter hoogte van de Hoge Springer werd naast de gebruikelijke hoogfrequente druksensor en Aquadopp[®] die werden ingegraven in het slik (zie Figuur 3, links), eveneens een Aquadopp[®] geplaatst op een meetframe, met de meetkop naar beneden gericht (zie Figuur 3, rechts). Deze Aquadopp[®] werd ingesteld om hoogfrequent snelheden te meten nabij de bodem. De instellingen van beide Aquadopps[®] zijn weergegeven in Tabel 1.



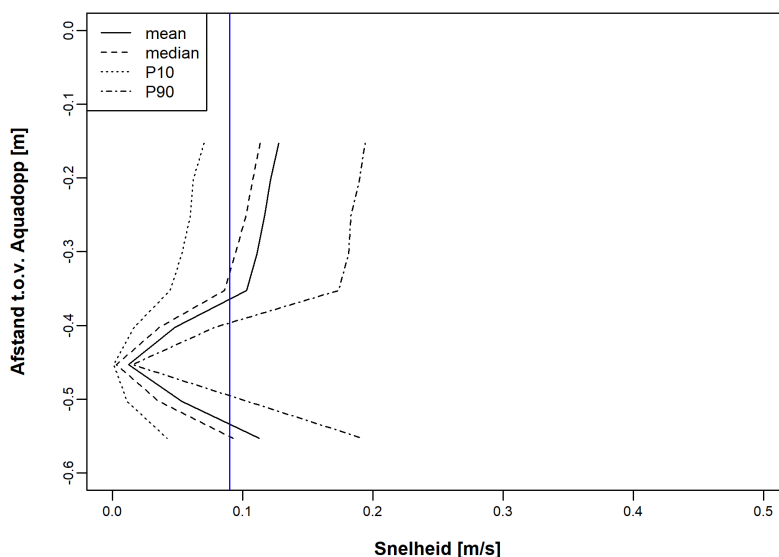
Figuur 3: Aquadopp[®] (linksboven) en hoogfrequente druksensor (linksonder) ingegraven in slik (links) en hoogfrequente, neerwaarts gerichte Aquadopp[®] bij de Hoge Springer (rechts)

Door de hoogfrequente metingen kan de neerwaarts gerichte Aquadopp[®] slechts voor een beperkte periode binnen de volledige meetcampagne worden ingezet, wegens beperkingen van zowel de geheugencapaciteit als de batterijcapaciteit. Deze periode liep van 3/11/2017 21:00 MET tot 7/11/2017 1:15 MET. De totale meetperiode ter hoogte van de Hooge Platen liep van 25/10/2017 tot 28/11/2017, zoals weergegeven in Meire et al. (2021).

Tabel 1: Instellingen van beide Aquadopp[®] geplaatst bij de Hoge Springer

	Aquadopp[®] laagfrequent	Aquadopp[®] hoogfrequent
Opstelling	omhoog-kijkend	neerwaarts-kijkend
Frequentie	1/ 5 min (0,0033Hz)	4 Hz
Uitmiddeling	60 s @ 1Hz	-
Celgrootte	10 cm	5 cm
Aantal cellen	Maximaal 60, aantal meetcellen afhankelijk van waterdiepte	6, wanneer waterstand hoger dan positie meetsensor

In Figuur 4 is een snelheidsprofiel weergegeven, opgemeten met de hoogfrequente Aquadopp[®]. Er is een 'blanking' afstand van het meettoestel van 15 cm. Door weerkaatsingseffecten wordt het snelheidsprofiel op ca. 15 cm van de bodem verstoord door het zogenaamde 'side lobe' effect. Deze meetcellen kunnen niet worden weerhouden en worden bijgevolg in de analyse verwijderd. De onderste cel geeft geen metingen, aangezien deze onder de bodemligging gedefinieerd is. Hierdoor wordt slechts in slechts 6 meetcellen bruikbare data opgeleverd. Het totale meetbereik loopt van ongeveer 15 cm boven de bodem tot 40 cm boven de bodem.

Figuur 4: Gemiddeld snelheidsprofiel voor een event opgemeten met de hoogfrequente Aquadopp[®] (bodem = -0.6 m)

2.2.3 Waterstandsfluctuaties

De druksensoren (OSSI-010-003 B/C instrument) meten hoogfrequent drukmetingen met een frequentie van 20 Hz. Deze metingen zijn continu, met uitzondering van een periode van ca. 20 s per dag, waarbij de metingen worden opgeslagen door het meetinstrument. Voor een atmosferische correctie wordt steeds gebruik gemaakt van een nabijgelegen meetstation. De omzetting van drukvariaties naar golfhoogtes wordt uitgebreid beschreven in de rapporten per meetlocatie: met name voor de Hooge Platen (Meire et al., 2021); Saeftinghe (Meire et al., 2019); Notelaer nabij Rupelmonde (Meire et al., 2021b) en Appels nabij Dendermonde (Meire et al., 2020).

3 Hoogfrequente snelheidsmetingen

In voorgaande rapporten worden de metingen van de waterstandsfluctuaties (opgemeten met hoogfrequente druksensoren) en getijstroming per locatie gerapporteerd en geanalyseerd:

- Hooge Platen (Westerschelde - zout) : Meire et al., 2021
- Saeftinghe (Westerschelde – brak) : Meire et al., 2019
- Notelaer (Zeeschelde -zoet lange verblijftijd) : Meire et al., 2021b
- Appels (Zeeschelde – zoet korte verblijftijd): Meire et al., 2020

In een estuarium treden verschillende processen gelijktijdig op: op de langere tijdschaal (12u25) zijn er de getijden die voor waterstands- en snelheidsvariaties zorgen, terwijl om de kortere (grootteorde seconden) tijdschaal wind- en scheepsgolven zorgen voor fluctuaties in waterstanden en stromingen. Beide aspecten kunnen aanleiding geven tot een transport van sediment, waaruit morfologische verandering resulteren. Hier wordt in volgende paragrafen op ingegaan.

In dit hoofdstuk wordt een relatie gelegd tussen enerzijds de hoog- en laagfrequente snelheidsmetingen en anderzijds de hoogfrequente snelheidsmetingen en de golfkarakteristieken. Daarnaast wordt een inschatting gemaakt van de invloed van deze hydrodynamische belastingen op het sedimenttransport. Er wordt specifiek gefocust op de metingen bij de Hooge Platen (Hoge Springer) waarbij de verschillende gegevens op hetzelfde moment beschikbaar zijn. Daarnaast wordt ook gekeken naar oudere hoogfrequente snelheidsmetingen ter hoogte van Rupelmonde (Notelaer) en Dendermonde (Appels) die met behulp van een ADV door het INBO werden ingewonnen.

3.1 Getijkarakteristieken tijdens metingen

3.1.1 Hooge Platen (Hoge Springer)

De opgetreden getijkarakteristieken gedurende de meetperiode met de hoogfrequente Aquadopp® (zie sectie 2.2.2) zijn weergegeven in Tabel 2. Het gemiddeld tijverschil is 4,59 m, met een gemiddeld hoogwater van 5,07 m TAW en een gemiddeld laagwater van 0,48 m TAW. Het gemiddeld tijverschil voor de volledige meetcampagne bij de Hooge Platen is 3,64 m, met een gemiddeld hoogwater van 4,47 m TAW en een gemiddeld laagwater van 0,83 m TAW (Meire et al., 2021). Het gemiddeld getijverschil (Hertoghs et al., 2016) voor Vlissingen in de periode 2011 – 2015 is 3,86 m, de gemiddelde getijfactor voor de beschouwde periode, met hoogfrequente metingen is 1,19.

Tabel 2: Overzicht van de getijkarakteristieken [m TAW], bij metingen met de hoogfrequente Aquadopp®

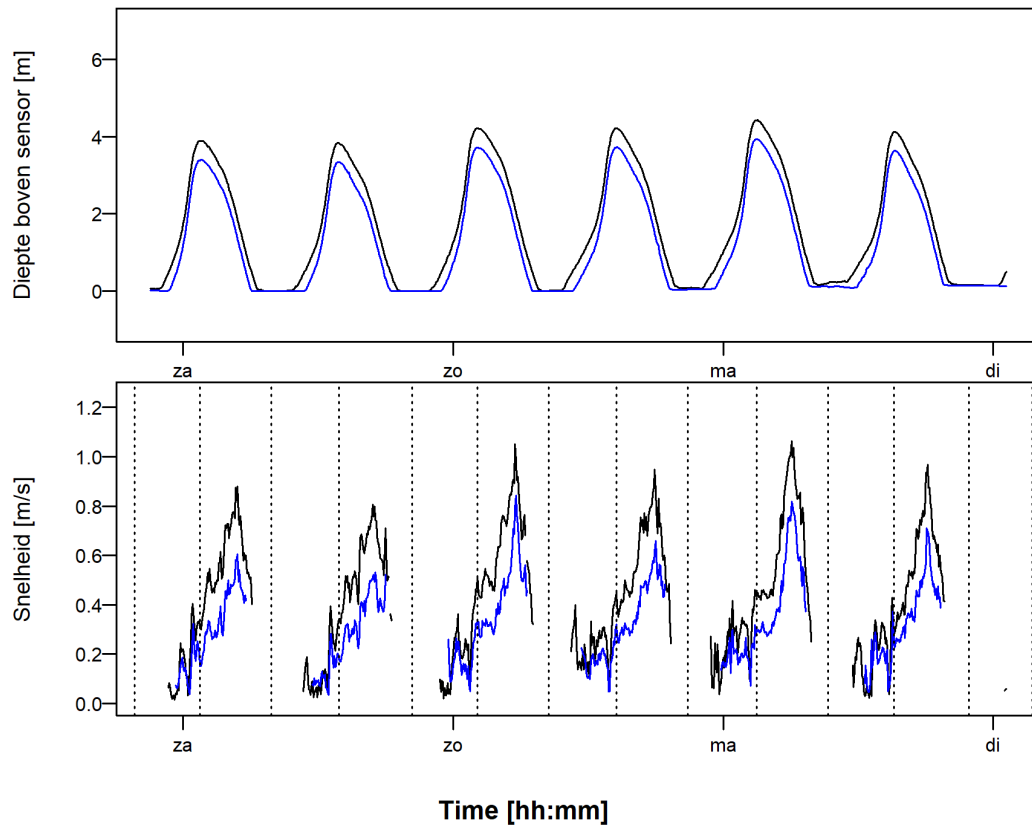
	LW ₁	HW	LW ₂	Vershil	GTV
Tij 1	0,20	4,88	0,46	4,68	1,21
Tij 2	0,46	4,90	0,48	4,44	1,15
Tij 3	0,48	5,25	0,71	4,77	1,24
Tij 4	0,71	5,17	0,54	4,46	1,16
Tij 5	0,54	5,31	0,49	4,77	1,24
Tij 6	0,49	4,94	-0,04	4,45	1,15

3.2 Snelheidsmetingen i.r.t. getijstroming

In volgende paragrafen wordt een analyse uitgevoerd van hoe de gemiddelde stroming nabij de bodem (uit de hoogfrequente metingen) zich verhoudt ten opzichte van de diepte-gemiddelde (laagfrequente) getijstroming.

3.2.1 Hooge Platen (Hoge Springer)

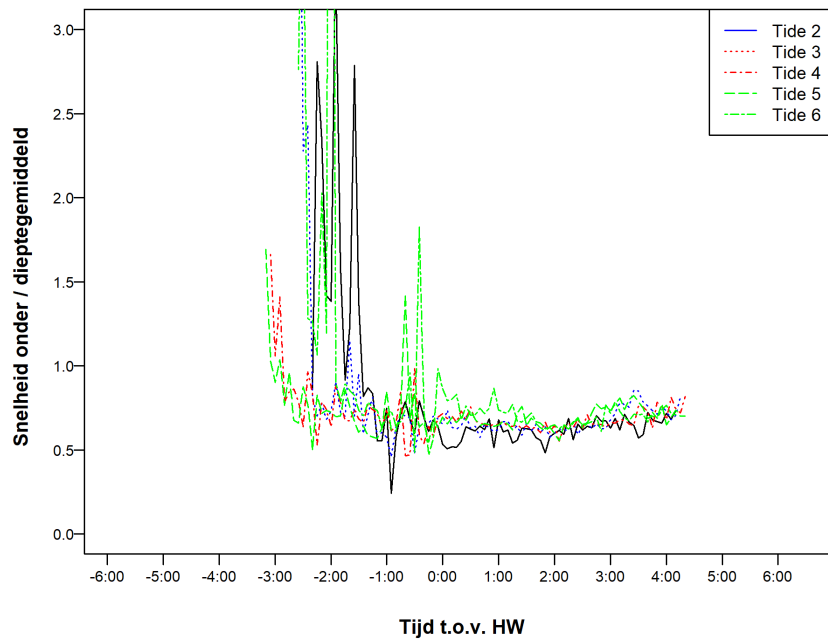
In Figuur 5 is het verloop weergegeven van de dieptegemiddelde laagfrequente snelheden (onder, zwart) en waterhoogte boven de sensor (boven, zwart) en (1 minuut tijd) gemiddelde hoogfrequente metingen (blauwe curves). De hoogfrequente metingen zijn tijd (1 minuut) en dieptegemiddeld. Het verschil in waterhoogte boven de sensor is te wijten aan de opstelling: de laagfrequente metingen gebeuren door middel van een ingegraven omhoog-gerichte Aquadopp®, de hoog-frequente metingen door een neerwaarts-gerichte Aquadopp® gemonteerd op een frame. Het is duidelijk dat de maximale stroomsterktes hier worden waargenomen tijdens de eb fase. De snelheden nabij de bodem zijn duidelijk gecorreleerd maar (logisch) lager dan de dieptegemiddelde waarden (zie ook Figuur 6). Er is in het snelheidsverloop geen duidelijk kenteringsperiode tussen de vloed- en eb fase waarneembaar op deze meetlocatie.



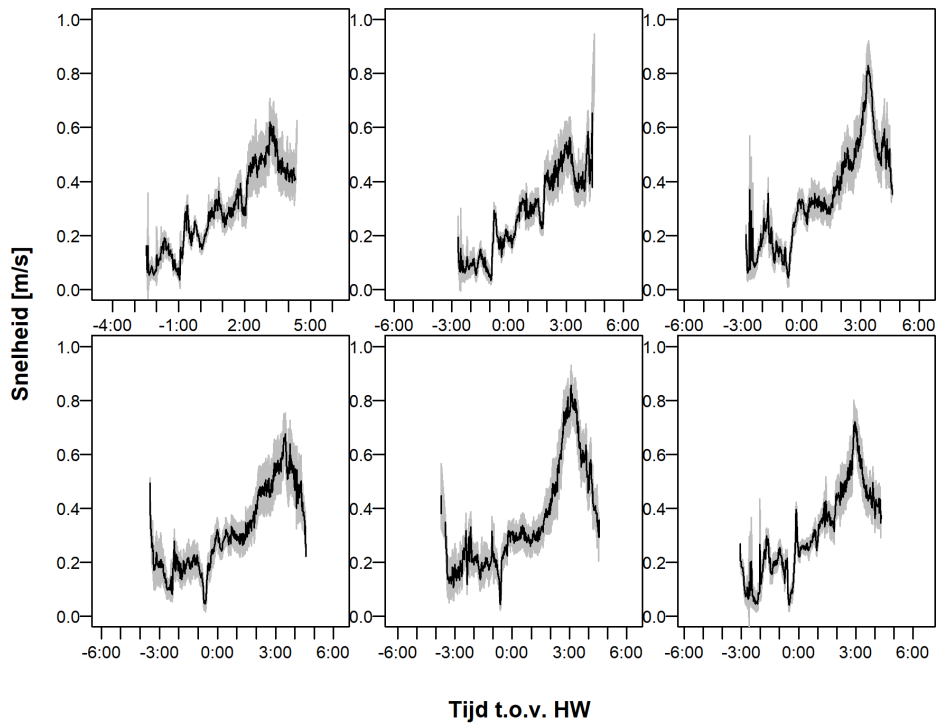
Figuur 5: Verloop van de waterhoogte boven de sensor (boven) en de gemiddelde snelheden (onder) voor de meetperiode van de hoogfrequente (blauw) en laagfrequente metingen (zwart).

In Figuur 6 is het verloop van de verhouding tussen de dieptegemiddelde snelheid (gemiddelde van laagfrequente metingen van de getijstroming) en de snelheid in de onderste waterlaag (gemiddelde van snelheden tussen 0,10 m en 0,40 m) weergegeven, voor de verschillende opgemeten getijden. Voor de vloedfase worden verschillende uitschieters waargenomen, waarvoor geen eenduidige oorzaak kan worden aangeduid. Voor de eb fase is het verloop constanter en bedraagt de verhouding tussen beide snelheden ca. 0,7.

In Figuur 7 is het verloop van de gemiddelde snelheid weergegeven voor de verschillende tijen waarvoor data beschikbaar is. De zwarte lijn geeft de minuutgemiddelde waarde weer over het meetbereik van de hoogfrequente sensor (van ca. 10 cm tot 40 cm), de grijze band er rond de standaardafwijking (op alle metingen) over deze periode. Voor de getijden met een iets kleiner tijverschil (zie Tabel 2), met name tij 1, 2 en 4 lijkt de variatie rond het gemiddelde groter in de eb fase dan in de vloed fase. Voor de getijden waarin de snelheden duidelijk pieken (tot 0,7 – 0,8 m/s), lijkt deze variatie wat kleiner te zijn.



Figuur 6: Verhouding van de gemiddelde snelheid in de onderste waterlaag versus de dieptegemiddelde opgemeten snelheid, voor verschillende getijden.



Figuur 7: Verloop van de gemiddelde watersnelheden in de onderste waterlaag, voor verschillende getijden.

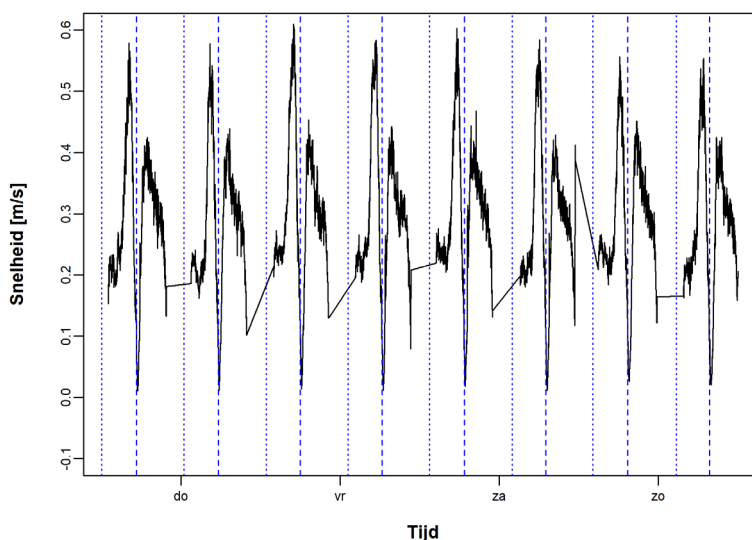
3.2.2 Rupelmonde

Beschrijving

Door het INBO werden meetcampagnes uitgevoerd met een ADV ('Acoustic Doppler Velocimetry'), weergegeven in Van Braeckel et al. (in prep.). Deze ADV meet snelheden in één meetpunt, in 3 dimensies, aan een frequentie van 4 Hz. De meethoogte van de ADV is 10 cm boven de bodem. Deze metingen werden bij de Notelaer uitgevoerd in 2014, van 14 mei tot 18 mei¹. Op deze dagen werd een tijverschil waargenomen tijdens de vloedfase tussen 5,94 m en 6,26 m, voor de eb fase was dit getijverschil gelegen tussen 6,07 en 6,28 m. Het gemiddeld tijverschil bij Temse tussen 2011 en 2015 bedroeg 5,51 m (Hertoghs et al., 2016), m.a.w. de gemiddelde getijfactor bedraagt hier ca. 1,10.

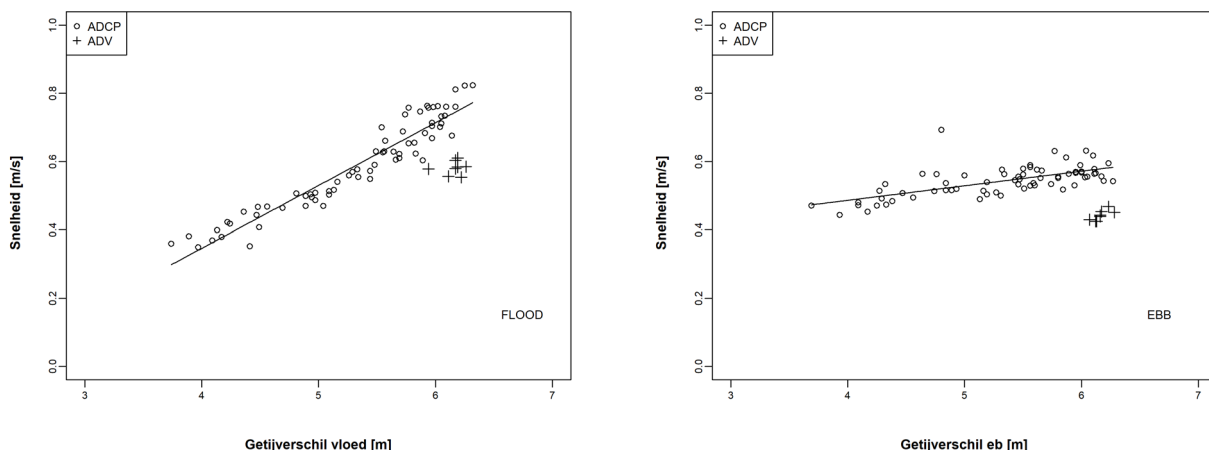
Resultaten

In Figuur 8 is het overzicht weergegeven van de ADV metingen gedurende de meetperiode, waarbij de waarden zijn uitgemiddeld per minuut. Er werd gemeten over 8 getijcycli. Op deze waarden werden de maximale snelheden bepaald gedurende de vloed- en de eb fase. Deze snelheden worden vergeleken met de maximale snelheden die werden opgemeten tijdens de meetcampagne, zoals weergegeven in Meire et al. (2021b). De resultaten van beide meetcampagnes zijn weergegeven in Figuur 9. Tijdens de beperkte meetperiode is de maximale vloedsnelheid duidelijk hoger dan de maximale ebsnelheid. De maximale snelheden nabij de bodem (ADV) zijn lager dan de dieptegemiddelde snelheden, zoals te verwachten is, maar nog steeds hoog (ca. 0,5 – 0,6 m/s). Voor de vloedfase zijn de maximale ADV snelheden ca. 75 – 80 % van de ADCP snelheden, gemeten tijdens getijden met een gelijkaardig tijverschil. Voor de eb fase wordt eenzelfde verhouding gevonden.



Figuur 8: Verloop van de snelheden (ADV) bij de Notelaer, uitgemiddeld per minuut, de verticale lijnen geven het tijdstip van laagwater (...) en hoogwater (---) weer.

¹ Deze metingen werden niet gelijktijdig uitgevoerd met de metingen van het WL beschreven in Meire et al. (2021b). Een vergelijking bij hetzelfde getij is dus niet mogelijk. Daartoe wordt de vergelijking gemaakt op basis van een gelijkaardig getij.



Figuur 9: Relatie tussen het getijverschil bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) en de maximale snelheid bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts). Symbool 'o' weerspiegelen de ADCP metingen (WL), de '+' de ADV metingen (INBO)

3.2.3 Dendermonde

Beschrijving

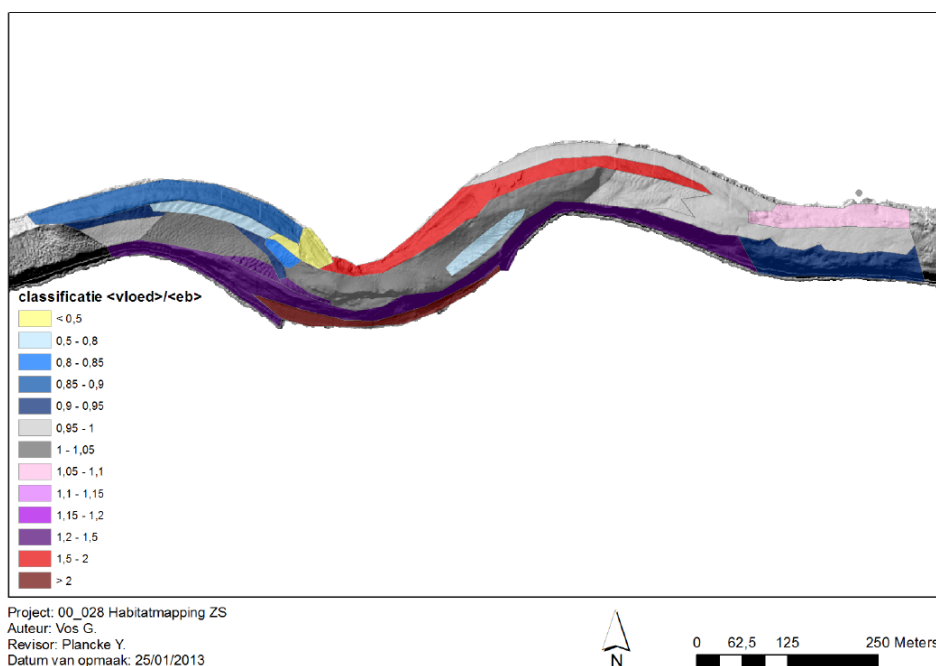
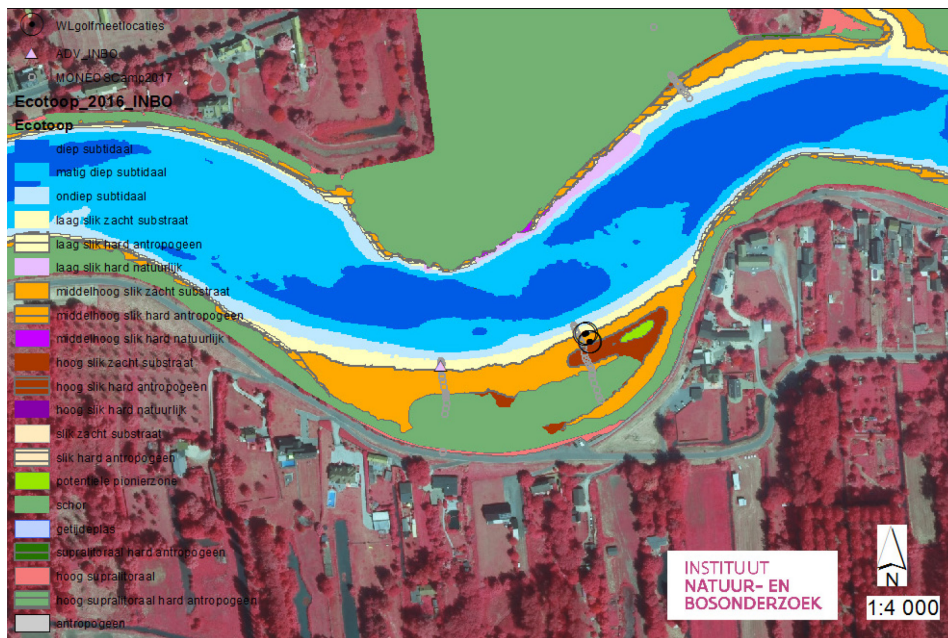
Ook ter hoogte van Appels werden door het INBO eerder meetcampagnes uitgevoerd met een ADV (Van Braeckel et al., in prep.). Deze metingen werden bij Appels uitgevoerd in 2013, van 15 december tot 18 december². Op deze dagen werd een tijverschil waargenomen tijdens de vloedfase tussen 3,85 m en 4,89 m, voor de eb fase was dit getijverschil gelegen tussen 4,18 en 4,63 m. Het gemiddelde getijverschil voor de periode 2011 – 2015 bedraagt 4,29 m (Hertoghs et al., 2016).

Resultaten

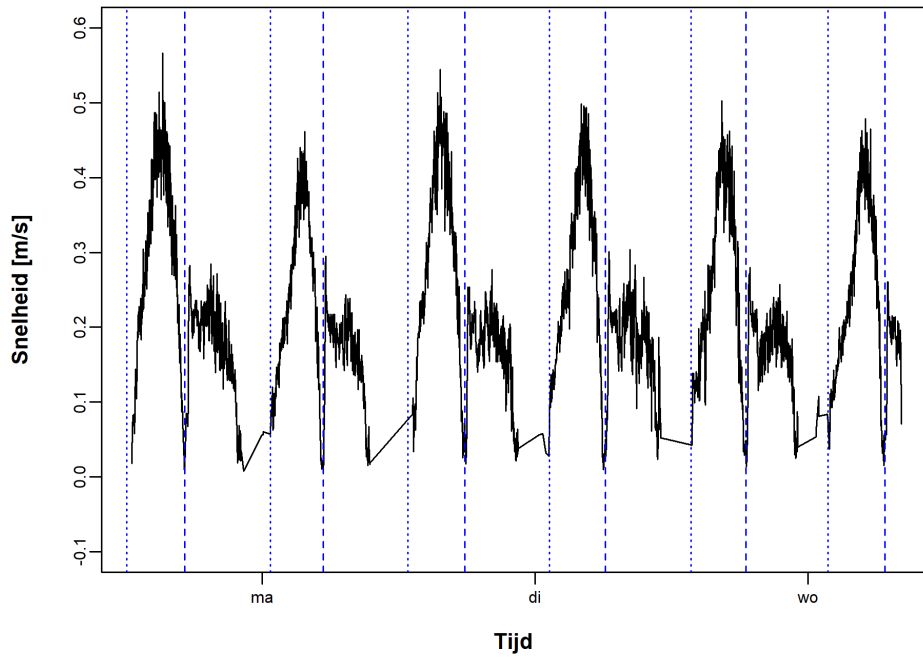
In Figuur 11 is het overzicht weergegeven van de ADV metingen gedurende de meetperiode, waarbij de waarden zijn uitgemiddeld per minuut. Er werd gemeten over 6 getijcycli. Op deze waarden werden de maximale snelheden bepaald gedurende de vloed- en de eb fase. Deze snelheden worden vergeleken met de maximale snelheden die werden opgemeten tijdens de meetcampagne, zoals weergegeven in Meire et al. (2020), zoals weergegeven in Figuur 12. Tijdens de beperkte meetperiode is de maximale vloedsnelheid duidelijk hoger dan de maximale ebsnelheid. De maximale snelheden nabij de bodem (ADV) zijn lager dan de dieptegemiddelde snelheden voor de eb fase, zoals te verwachten is. Er wordt een verhouding gevonden van de snelheden van 60%, voor de range van getijverschillen waarbinnen metingen beschikbaar zijn. Voor de vloedfase zijn de maximale ADV snelheden ca. 170 % van de ADCP snelheden, gemeten tijdens gelijkaardige getijden. Dit is vermoedelijk te wijten aan de specifieke locatie van de metingen in de bocht bij Appels. De afstand tussen de meetpunten is groter vergeleken met de metingen bij Rupelmonde (sectie 3.2.2), en bovendien is bij Rupelmonde de geometrie nagenoeg rechtlijnig versus de meander nabij Appels.

² Deze metingen werden niet gelijktijdig uitgevoerd met de metingen van het WL beschreven in Meire et al. (2020). Een vergelijking bij hetzelfde getij is dus niet mogelijk. Daartoe wordt de vergelijking gemaakt op basis van een gelijkaardig getij.

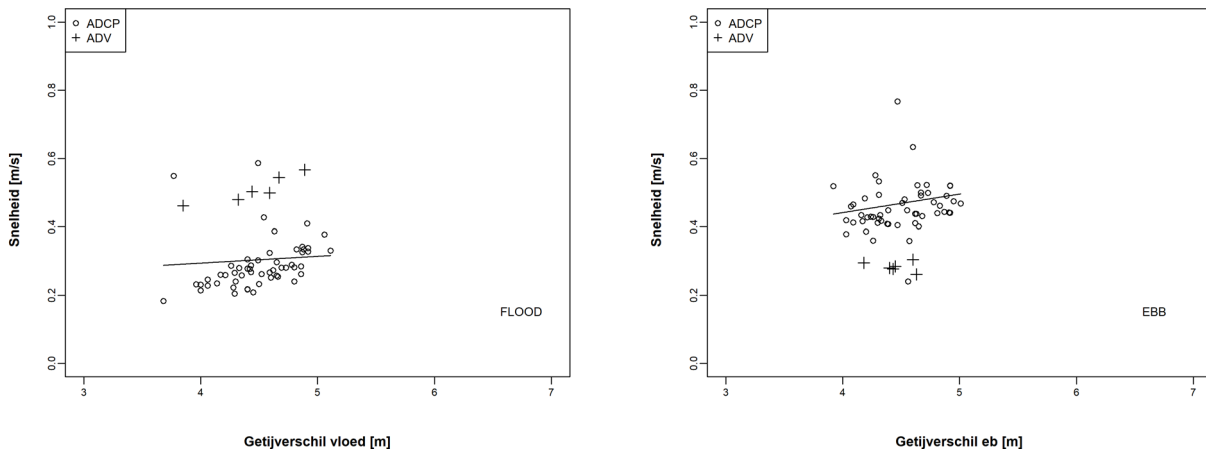
De locatie van het meetpunt is weergegeven in Figuur 10 (boven), eveneens als een gemodelleerde vloed/ebdominantie zoals berekend in Vos et al. (2013), Figuur 10 (onder). Hierbij is de vloeddominantie inderdaad iets groter aan het begin van de bocht (van de stroomopwaartse kant bekeken) dan het einde van de bocht.



Figuur 10: Locatie van de meetpunten bij Appels (boven) en vloed – eb dominantie zoals berekend in Vos et al (2013).



Figuur 11: Verloop van de snelheden (ADV) bij Appels, uitgemiddeld per minuut, de verticale lijnen geven het tijdstip van laagwater (...) en hoogwater (---) weer.



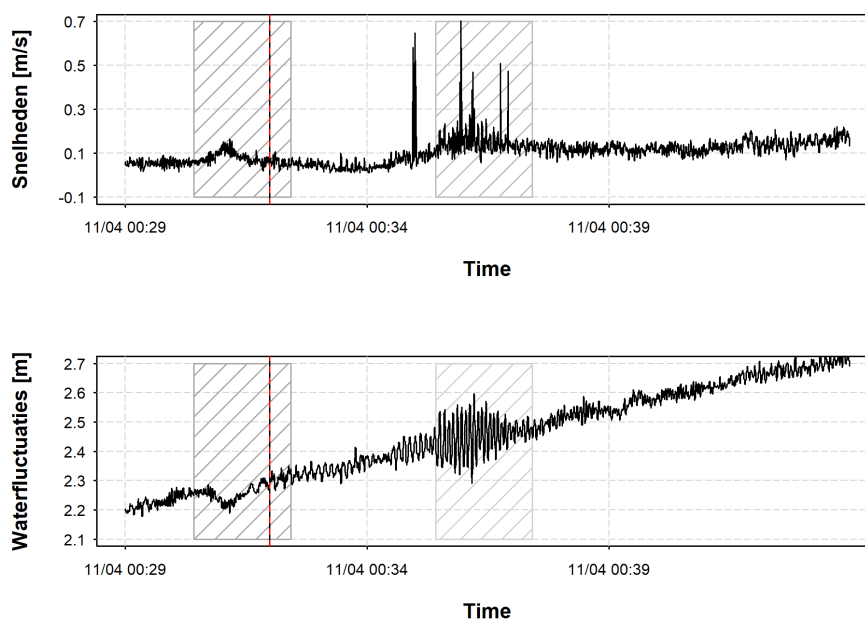
Figuur 12: Relatie tussen het getijverschil bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) en de maximale snelheid bij respectievelijk vloed (links) en eb (rechts) bij Appels. Symbool 'o' weerspiegelen de ADCP metingen (WL), de '+' de ADV metingen (INBO)

3.3 Snelheidsmetingen i.r.t. scheepsgolven

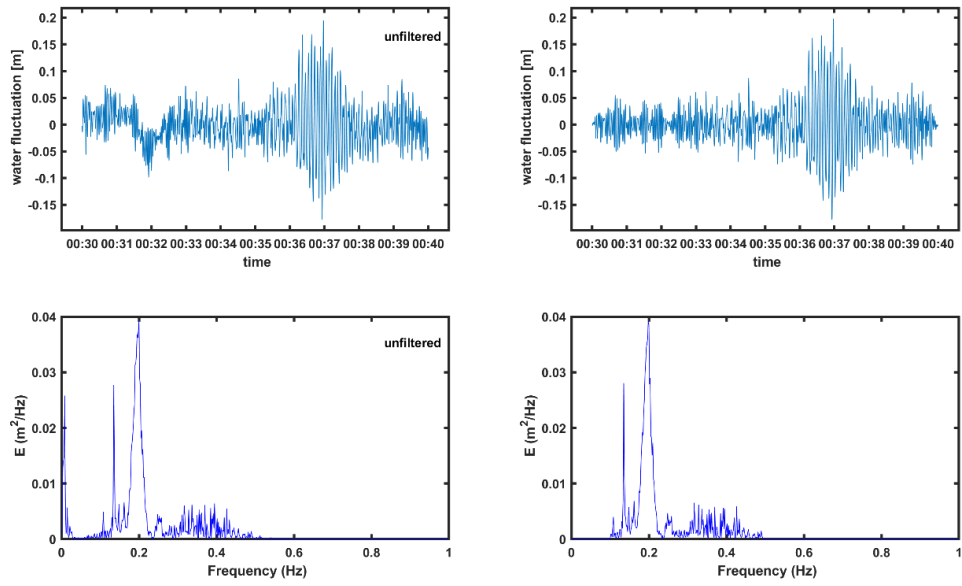
3.3.1 Selectie van scheepsevents (Hooge Platen)

Gedurende de hoogfrequente druk- en snelheidsmetingen werden een aantal events met scheepsgolven geselecteerd. Deze selectie gebeurde visueel, op basis van de AIS database en een duidelijk te herkennen secundair en/of primair golfpatroon. Een voorbeeld van zo'n event is weergegeven in Figuur 13, waarbij de waterhoogte boven de sensor is weergegeven (Figuur 13, onder) en de waargenomen snelheden (Figuur 13, boven). In totaal werden 36 events geselecteerd, waarvan 18 een primair golfpatroon vertonen en 34 een secundair golfpatroon. Het verloop van de waterhoogtes en de snelheden, opgemeten met de neerwaarts gerichte Aquadopp[®], zijn voor de verschillende events weergegeven in Bijlage 1.

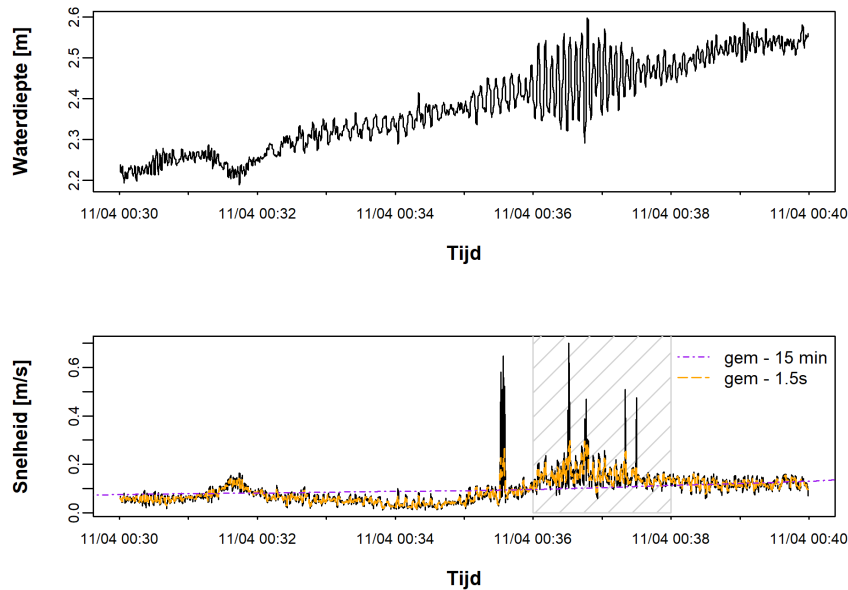
Voor de golfhoogtes werd voor elk event de secundaire golfhoogte bepaald, op basis van de hoogfrequente drukmetingen. Deze wordt bekomen door de maximale golfhoogte van het golfevent te berekenen, na toepassen van een bandpass filter tussen 0,1 Hz en 0,5 Hz. Voor hetzelfde event als weergegeven in Figuur 13 zijn ook deze resultaten weergegeven in Figuur 14. Voor de primaire golfhoogte wordt eveneens de maximale golfhoogte bepaald, maar dit na toepassen van een "low-pass" filter op het volledige signaal. Deze methode is identiek als deze beschreven in Meire et al. (2021). Deze golfhoogtes worden berekend op basis van de gecompenseerde drukhoogtes, gemeten met de hoogfrequente druksensor (20 Hz).



Figuur 13: Verloop van de waterhoogte boven de Aquadopp (onder) en de gemiddelde snelheden in de onderste zone (boven). De donkere arcering geeft de afbakening van de primaire golf weer, de lichte arcering de afbakening van de secundaire. De verticale rode lijn geeft de passage van een schip weer, volgens de AIS database.



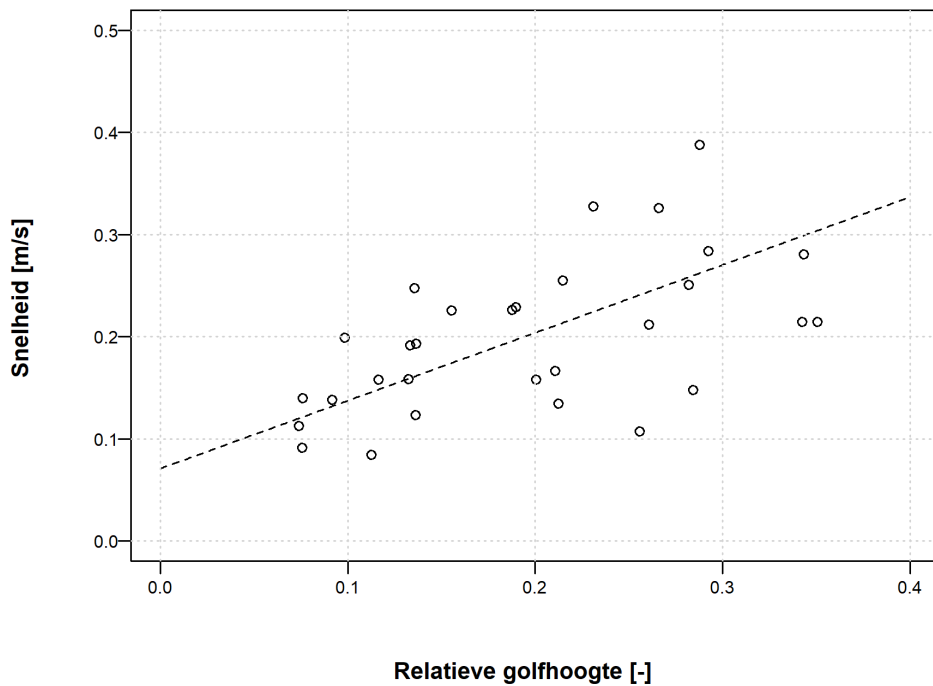
Figuur 14: Verloop van de waterfluctuaties, opgemeten met de hoogfrequente druksensor, voor hetzelfde golfevent als in Figuur 13. Linksonder zijn de waterfluctuaties weergegeven na toepassing van een low-pass filter voor het uitfilteren van het getij en het energiespectrum (linksonder). Rechts zijn de waterfluctuaties en het energiespectrum weergegeven na toepassing van de bandpass filter (0,1 Hz en 0,5 Hz).



Figuur 15: Verloop van de waterdiepte boven het Aquadopp toestel (boven) en de gemiddelde snelheden (onder), met aanduiding van de instantane snelheden (uitgemiddeld over 1,5 s) en de getijstrooming (uitgemiddeld over 15 min). De arcering geeft de periode weer waarin de golfkarakteristieken (snelheid, hoogte) bepaald worden

Voor de snelheden wordt de gemiddelde snelheid in de onderste zone berekend, voor alle cellen waar geldige meetresultaten worden bekomen (zie Figuur 4). De gemiddelde (getij)strooming wordt bepaald met behulp van een lopend gemiddelde, met een tijdvenster van 15 minuten (zie Figuur 15, paarse lijn). Voor de instantane snelheid, wordt een lopend gemiddelde bepaald met een tijdvenster van 1,5 s, wat overeenkomt met de helft van de gemiddelde periode van de secundaire golven. Voor het bepalen van de snelheden gerelateerd aan de golven, wordt visueel de periode geïdentificeerd waarin de secundaire en primaire golven waargenomen worden, zoals aangeduid in Figuur 13 en Figuur 15. Binnen deze periodes worden volgende parameters berekend:

- De gemiddelde getijstrooming: gemiddelde binnen beschouwde (gearceerde) periode van de gemiddelde snelheid (15 min tijdvenster)
- De maximale instantane snelheid: maximale waarde binnen beschouwde (gearceerde) periode van de hoofdfrequente snelheid (1,5 s tijdvenster)
- Orbitaalsnelheid van de golf : verschil tussen maximale instantane waarde en de gemiddelde getijstrooming



Figuur 16: Relatie tussen de relatieve golfhoogte (golfhoogte secundaire golven/waterdiepte) en de berekende snelheid van de secundaire golven, voor de verschillende geselecteerde events

In Figuur 16 is de relatie tussen de relatieve golfhoogte, gedefinieerd als de verhouding van de secundaire golfhoogte en de waterdiepte, en de orbitaalsnelheid van de golf, berekend op basis van de metingen (zoals hierboven beschreven), weergegeven. Hierbij zijn alle beschikbare events (34) met secundaire scheepsgolven opgenomen. De lineaire relatie tussen beide parameters is: $y = 0,07 + 0,66 x$ met een determinatie coëfficiënt $R^2 = 0,60$.

3.3.2 Theoretische snelheid door golfbeweging

De secundaire scheepsgolven zijn oscillatiegolven, waarvoor een benadering van de snelheid nabij de bodem gemaakt kan worden met behulp van de lineaire golftheorie. Hierbij wordt in de berekening van de snelheid, en het gebruik van de theorie, een aantal veronderstellingen naar voor gebracht:

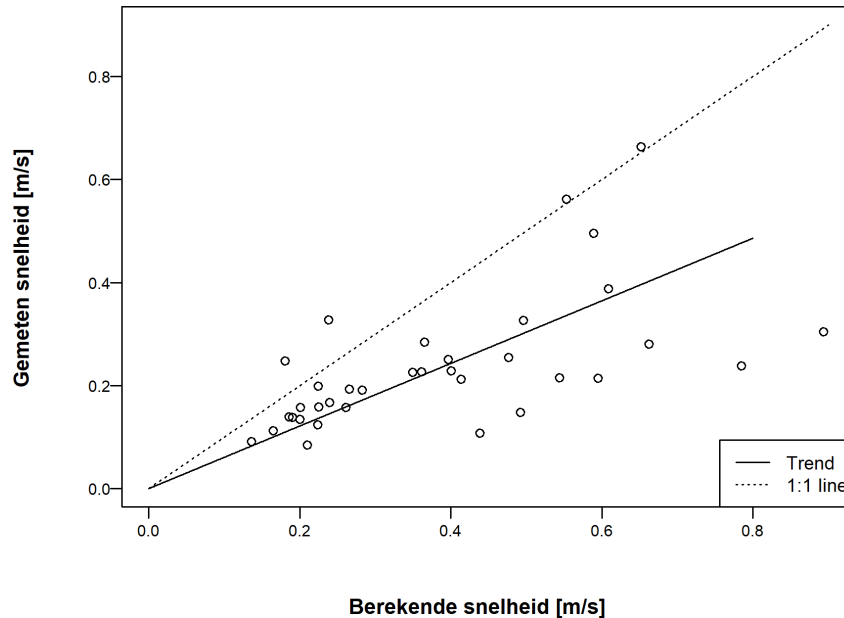
- 1) Het golffront is parallel met de kustlijn/laagwaterlijn
- 2) De verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte is klein
- 3) De verhouding tussen golflengte en golfhoogte is klein

Naast deze veronderstellingen is de gegenereerde scheepsgolf ook geen monochromatische golf, met een enkele frequentie. Voor de berekening hierop volgend worden de karakteristieken van de maximale opgemeten golf gebruikt voor de berekening van de snelheid. De snelheid wordt als volgt berekend:

$$u = k \frac{H}{2} \frac{2\pi \cosh(k(z+h))}{T \sinh(kh)}$$

met H de golfhoogte (m), T de golfperiode (s), k het golfgetal, h de waterdiepte (m) en z de diepte (m), voor de snelheid bij de bodem is $z = -h$. In Figuur 17 is de relatie weergegeven tussen de orbitaalsnelheid van de golven op basis van de metingen en de berekende snelheid op basis van deze lineaire golftheorie.

In Figuur 17 is zowel de 1:1 lijn weergegeven als de trendlijn ($y = 0,59x$; $R^2 = 0,82$). De berekende snelheden lijken de metingen iets te overschatten, desondanks kan op basis van deze relatie beschouwd worden dat voor secundaire golven een inschatting van de orbitaalsnelheid aan de bodem op basis van de lineaire golftheorie een goede, eerste benadering is.



Figuur 17: Relatie tussen berekende en gemeten snelheid nabij de bodem

3.4 Inschatting impact op sedimenttransport

Zowel de getijstroming als de stroming ten gevolge van de golven resulteren in een bodemschuifspanning. Van zodra deze waarde groter is dan de kritische waarde zal het sediment op de bodem in beweging kunnen worden gebracht. Om het effect van de waterbeweging op de bodem (hier dan vooral intergetijdengebieden) in te schatten, is een inschatting gebeurd op basis van de hierboven afgeleide hydrodynamische karakteristieken.

3.4.1 Relatie waterbeweging – begin van beweging

In Figuur 18 is de berekende orbitaalsnelheid weergegeven, in functie van de waterhoogte (afhankelijk van het getij) en de golfhoogte, zoals berekend m.b.v. vergelijking in sectie 3.3.2. In dit geval werden de berekeningen uitgevoerd voor golven met een periode T van 3,5 s, een gemiddelde waarde voor de geselecteerde, secundaire golven bij de Hooge Platen. Aangezien de golftheorie sowieso niet geldig is in het bereik waarin de golfhoogte $> 0,8$ keer de waterdiepte zijn deze resultaten in Figuur 18 niet weergegeven.

Om het effect op het sedimenttransport in te schatten, is in Figuur 18 eveneens de grenswaarde voor het begin van beweging van sediment weergegeven, in zwarte en grijze lijn. Voor deze verkenning is gekozen om de grenswaarde te hanteren voor niet-cohesief sediment (zandig materiaal). Combinaties van golfhoogte en waterdieptes boven deze lijn, resulteren in snelheden die theoretisch aanleiding geven tot sedimentbeweging, combinaties onder deze lijn zouden juist aanleiding geven tot geen sedimentbeweging.

Deze lijn voor het begin van beweging werden berekend aan de hand van volgende formule, zoals weergegeven in Van Rijn (2019):

$$U_{cr} = 5,75 \sqrt{\log\left(\frac{12h}{6D_{50}}\right) \theta_{cr} (s-1) g D_{50}} \quad (1)$$

Hierbij is U_{cr} de dieptegemiddelde kritische snelheid (m/s), h de waterdiepte (m), D_{50} de mediane korrelgrootte (100 μm), g de valversnelling, s de relatieve dichtheid en θ_{cr} de kritische Shields parameter. De mediane korrelgrootteverdeling is gekozen op basis van beschikbare metingen bij de Hooge Platen, waar mediane korrelgroottes in een range van 50 μm tot 200 μm werden gevonden (Hamers, 2021). Er wordt een d_{50} van 100 μm geselecteerd.

De Shields parameter wordt berekend als:

$$\theta_{cr} = \frac{0,3}{(1+D^*)} + 0,1 (1 - \exp(-0,05 D^*)) \quad (2)$$

met D^* een dimensieloze korrelgrootte.

Het resultaat op basis van deze berekening met bovenstaande vergelijkingen is weergegeven als de zwarte curve in Figuur 18

Eveneens kan een vereenvoudigde vergelijking voor begin van kritisch beweging worden gebruikt, die geldig is voor een range van D_{50} tussen 100 en 500 μm , dus binnen de range beschreven in Hamers (2021). Deze wordt als volgt berekend:

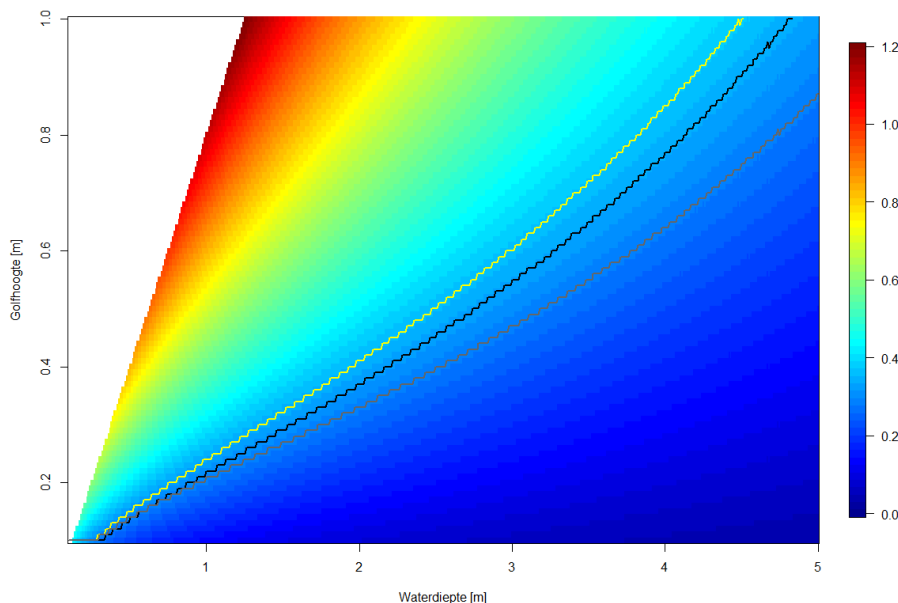
$$U_{cr} = 0,19 (D_{50})^{0,1} \log\left(\frac{12h}{6D_{50}}\right) \quad (3)$$

Het resultaat op basis van de berekening met deze vereenvoudigde vergelijking is weergegeven als de gele curve in Figuur 18. Voor golven wordt anderzijds nog volgende formulering gebruikt, waarbij de bodemschuifspanning (τ_b) gedefinieerd wordt als :

$$\tau = 0,25 \rho f_w u^2 \quad (4)$$

waarbij f_w een golf-gerelateerde wrijvingscoëfficiënt is. De kritische schuifspanning kan met de Shields parameter worden bepaald, waarbij $\tau_{b,cr} = \theta_{cr}((\rho_s - \rho_w)g D_{50})$, met ρ_s en ρ_w respectievelijk de dichtheid van het sediment en water. Het resultaat op basis van de berekening met deze vergelijking is weergegeven als de grijze curve in Figuur 18.

Het is duidelijk dat, zelfs voor grote golven met deze periode (> 0,8 m), deze weinig effect zullen hebben op de snelheid nabij de bodem wanneer deze optreden bij hogere waterstanden (> 4 m), bv. rond hoogwater en bijgevolg geen extra bodemmateriaal in beweging zullen brengen en dus weinig effect op morfologische veranderingen zullen hebben. Het is de combinatie van de golfhoogte met de waterdiepte die belangrijk is voor het effect op sedimentatie en erosie, zelfs beperkte golfhoogtes kunnen bij kleine waterdiepte een effect op het bodemsediment hebben. Dit fenomeen is ook visueel vast te stellen ter hoogte van de waterlijn, waar kleine golven kunnen zorgen voor (re)suspensie van bodemsediment.



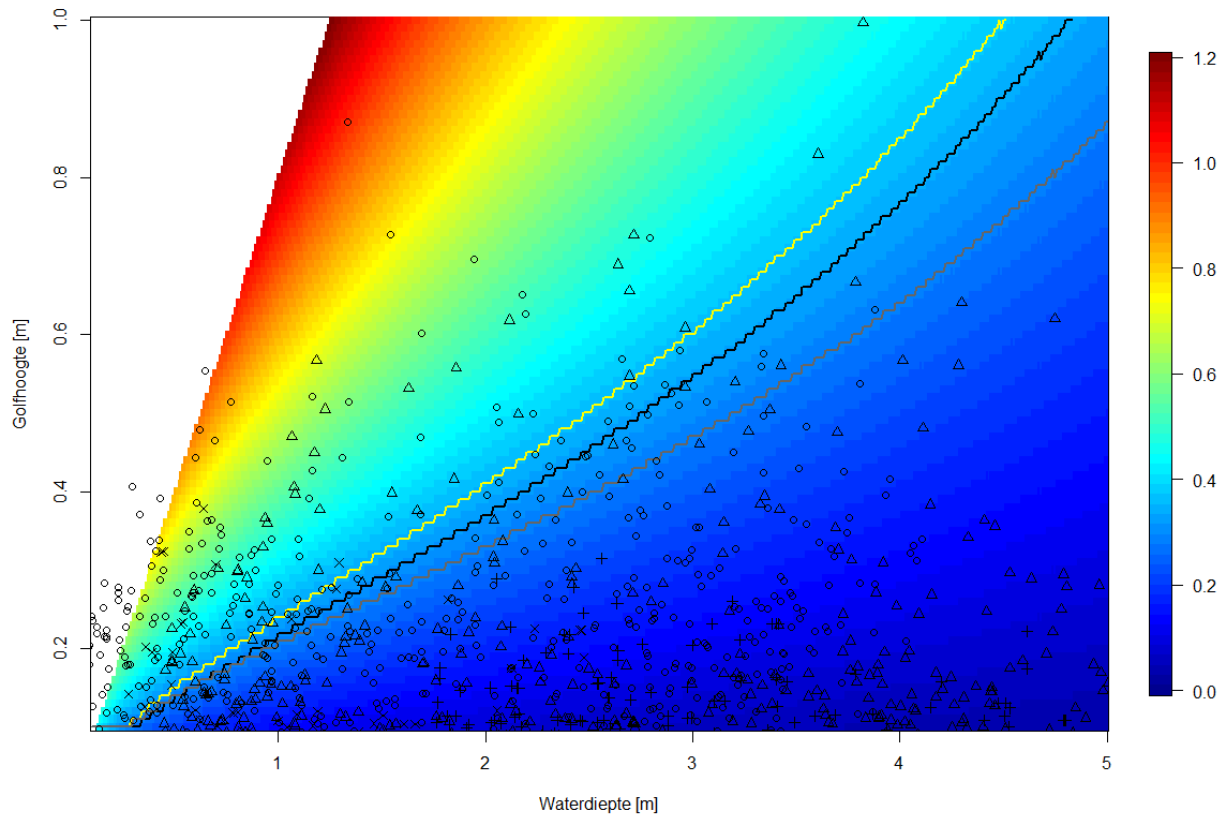
Figuur 18: Berekende snelheid nabij de bodem voor golven, voor verschillende combinaties van golfhoogte en waterdiepte, en een golfperiode van 3,5 s. De zwarte lijn geeft de grens aan van begin van beweging (volgens vergelijking 1), de gele lijn de grens van beweging (volgens vergelijking 3), de donkergrijze lijn volgens vergelijking 4.

3.4.2 Inschatting begin van beweging voor waargenomen events

In vorige paragraaf werd een inschatting gemaakt van de relatie tussen de waterbewegingsparameters en het begin van beweging voor niet-cohesief sediment. In deze paragraaf wordt deze inschatting vergeleken met de waargenomen events van scheepspassages nabij de Hooge Platen. De gemeten waterstanden en golfkarakteristieken worden hierbij afgezet tegen de (theoretische) inschatting van het begin van beweging gebaseerd op deze parameters.

In Figuur 19 is de berekende snelheid nabij de bodem weergegeven (identiek aan Figuur 18), maar werden eveneens de resultaten, voor secundaire golven van alle “single ship” events, toegevoegd als marker. Aangezien de hydrodynamische karakteristieken resp. water- en golfhoogtes zijn, zijn in deze grafiek de scheepspassages opgenomen voor alle 4 de meetlocaties.

Er kan opgemerkt worden dat bij de Hoge Springer ongeveer 20 % van de meetpunten een geschatte snelheid boven de kritische snelheid van beweging heeft. Voor Saeftinghe is dit 5 %, voor de locaties in de Zeeschelde < 1%. Er dient hier benadrukt te worden dat dit enkel de events weergeeft die gelinkt kunnen worden aan singuliere scheepspassages (“single ship” events), wat dus niet overeenkomt met alle scheeps-geïnduceerde golven. Ook het effect van windgolven is niet in deze grafiek opgenomen. Daarnaast is ook de sedimentsamenstelling in de Zeeschelde anders dan in de Westerschelde, met meer slibrijk materiaal op intergetijdengebied. In het kader van de zand- en slibblans voor de Zeeschelde, blijkt dat in de bodemstalen genomen op het slik ca. 50 à 60% slib aanwezig is (Vos *et al.*, 2023). De formules hierboven opgelijst (sectie 3.4.1) zijn opgesteld voor niet-cohesief (zandig) materiaal.



Figuur 19: Berekende snelheid nabij de bodem voor golven, voor verschillende combinaties van golfhoogte en waterdiepte, en een golfperiode van 3,5 s. De verschillende golfhoogte en waterdiepte combinaties voor de single ship events zijn eveneens toegevoegd (o = Hooge Platen, Δ = Saeftinghe, + = Rupelmonde, x = Dendermonde). De zwarte, gele en grijze lijnen geven de grens aan van begin van beweging (volgens respectievelijk vergelijking 1, 3 en 4)

4 Ecotopenkartering

4.1 Inleiding

Voor het beschrijven van de zoute ecotopen in de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van het Zoute Ecotopenstelsel (Kers et al., 2013; Bouma et al., 2005). Deze ecotopenkaart is opgebouwd uit een aantal fysische parameters, zoals topo-bathymetrie, geomorfologische kaart, waterstanden en droogvalduurkaarten, zoutgehalte en stroomsnelheid. Voor de stroomsnelheden wordt een grens van 0,8 m/s gehanteerd, tussen hoog- en laagdynamisch voor het sublitoraal. Voor het litoraal gebeurt de indeling hoog- en laagdynamisch op basis van geomorfologische kaarten.

Voor het bekomen van deze stroomsnelheden wordt gebruik gemaakt van een numeriek model, in de SIMONA software (Kers et al., 2013), waarin de enige jaarlijkse variatie de bodemhoogte is. De ruwheid van de bodem wordt gevarieerd in functie van de bodemligging. Als randvoorwaarde wordt een getij genomen uit juli 2000, waarop de maximale vloed- en ebsnelheid wordt bepaald. Deze maximum snelheden worden dan gereduceerd naar het slotgemiddeld getij van Vlissingen 2011.

Een ecotopenkartering van de Zeeschelde (litoraal) maakt gebruik van de hoogteligging en type substraat (zacht, hard, antropogeen), zoals bv. beschreven in Van Ryckegem et al. (2023). Tot op heden werden voor de litorale classificatie geen hydrodynamische variabelen gebruikt. Voor de subtidale ecotopenkartering worden snelheden gebruikt als classificatieparameter (Van Braeckel et al., 2018), voor de intertidale opsplitsing is dit nog niet uitgemaakt of deze parameter wordt weerhouden als verklarend.

In het recente verleden is reeds voorgesteld om de waterbeweging ook mee te nemen als verklarende parameter in de dynamiek voor de intergetijdengebieden. In het kader van de studie “Determinatieonderzoek plaatrandstortingen” (Ides *et al.*, 2008; Ides & Plancke, 2008) werd het numerieke model dat ingezet werd specifiek gekalibreerd om de ruimtelijke patronen van het hoog- en laagdynamisch intertidaal habitat te reproduceren. Hierbij werd een ruimtelijk variërend ruwheidsveld op de platen toegepast. Het achterliggende concept is nadien ook door Rijkswaterstaat overgenomen in de modellen die ingezet worden ten behoeve van de ecotopenkaarten. Wanneer de gemodelleerde snelheden vergeleken worden met metingen, blijkt dat de nauwkeurigheid van de hydrodynamische modellen nog onvoldoende in deze gebieden. Daarom wordt in dit rapport een vergelijking gemaakt tussen de metingen, de indeling in ecotopen en de modelresultaten.

4.2 Overzicht hydrodynamische belasting

In Tabel 3 is een overzicht weergegeven van de hydrodynamische variabelen op de verschillende locaties waar metingen werden uitgevoerd binnen het project “Golven in het estuarium”. Enerzijds zijn voor de getijstroming de opgemeten, maximale snelheden voor de eb- en vloedfase weergegeven gedurende de verschillende meetcampagnes. Anderzijds zijn de gebruikte, gemodelleerde stroomsnelheden weergegeven (een maximale snelheid, die afhankelijk van de waarde een vloed- of ebsnelheid is) die uit de kaartlagen werd gehaald voor de aflijning van ecotopen. Deze gemodelleerde snelheden zijn weergegeven voor zowel de ecotopenkartering van 2016 als 2018. De metingen uitgevoerd binnen het voorliggend project gebeurden in de tijdspanne tussen beide jaren.

Naast de metingen voor de getijstroming zijn ook snelheden berekend op basis van de geobserveerde, opgemeten golfhoogten. De golfhoogte van secundaire scheepsgolven werden bepaald voor alle locaties waar deze werden opgemeten. Een overzicht van alle meetlocaties kan worden teruggevonden in Meire et al., 2024. Bij de Hooge Platen West konden geen scheepsgolven worden onderscheiden in de metingen.

Voor de positie van Saeftinghe zuid heeft de druksensor niet gemeten tijdens de meetcampagne, waardoor hier enkel snelheden voor getijstroming ter beschikking waren. Voor de berekening van snelheden bij de bodem ten gevolge van golven werd gebruik gemaakt van de lineaire golftheorie, zoals uitgebreid beschreven in sectie 3.3.2. Voor alle opgemeten “single ship events” - dit wil zeggen alle golfpatronen die gelinkt konden worden aan één bepaald schip - wordt een snelheid berekend bij de bodem. Zowel de gemiddelde waarden als de P90 percentielen van deze berekende waarden zijn weergegeven in Tabel 3. Voor de windgolven werd eenzelfde berekening gedaan, waarbij voor alle “windevents”, de periodes waarin geen schepen aanwezig zijn, de opgemeten golfhoogtes als input wordt gebruikt. In de Boven-Zeeschelde konden geen windevents worden afgeleid, aangezien de registratie van scheepspassages niet volledig is, en dus geen periodes waarin zeker geen schepen passeren kunnen worden afgeleid. Deze getallen zijn dan ook niet terug te vinden in de tabel.

Tabel 3: Overzicht van maximale stroomsnelheden [m/s], volgens ecotopenkaart en gemeten met ADCP. De berekende snelheden, op basis van lineaire golftheorie voor secundaire “single ship” events en ‘windevents” zijn eveneens toegevoegd.

Per locatie is tevens in kleur de indeling inzake dynamiek opgenomen: **hoogdynamisch**, **laagdynamisch**, **veranderend HD/LD**

Locatie	Getijstroming			Scheepsgolven	Windgolven
	Max. stroomsnelheid (2016)	Max. stroomsnelheid (2018)	Gemeten max.snelheid (vloed/eb)	Berekende snelheden secundaire golven (gem./P90)	Berekende snelheden (gem./P90)
Hooge Platen West	0,89	0,87	1,30 / 0,42	/	0,46 / 0,88
Hooge Platen Noord	0,71	0,51	1,34 / 0,52	0,32 / 0,55	0,25 / 0,50
Hoge Springer	0,59	0,78	0,57 / 1,06	0,25 / 0,50	0,21 / 0,38
Saeftinghe Noord	0,74	0,72	1,00 / 0,77	0,12 / 0,30	0,04 / 0,07
Saeftinghe Zuid	0,66	0,71	0,66 / 1,01	/	/
Rupelmonde	/	/	0,82 / 0,69	0,04 / 0,10	/
Dendermonde	/	/	0,42 / 0,52	0,06 / 0,14	/

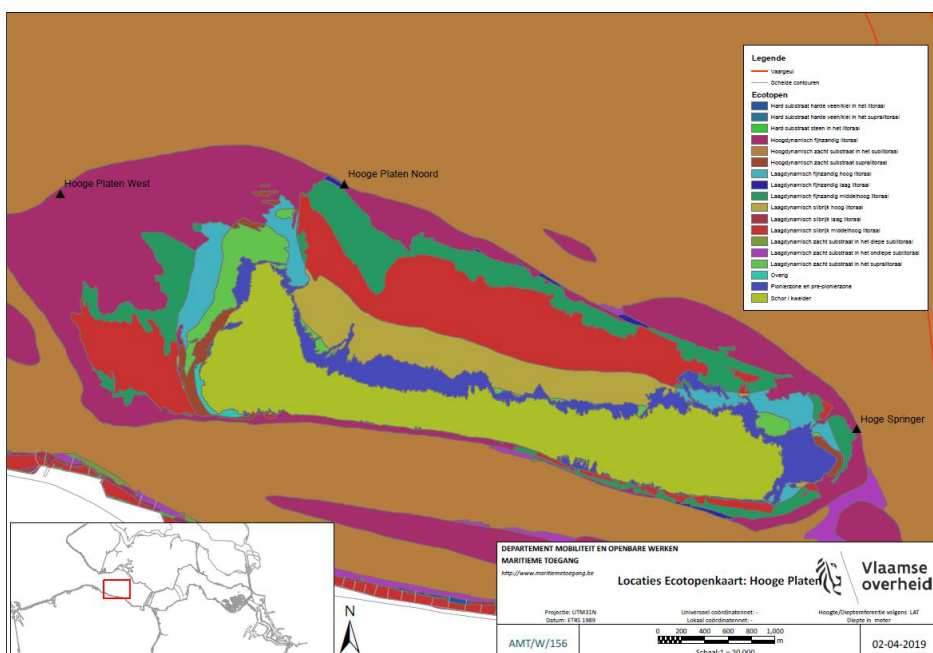
In sectie 3.3.2 zijn een aantal uitdrukkingen weergegeven voor het bepalen van de kritische snelheid die nodig is om beweging van sediment (zand) te initiëren (voor golven). Voor verschillende combinaties van waterdieptes en golfhoogtes wordt, voor sediment met een d50 van 100 tot 200 µm, een kritische snelheid gevonden die varieert tussen ca. 0,25 m/s en 0,35 m/s.

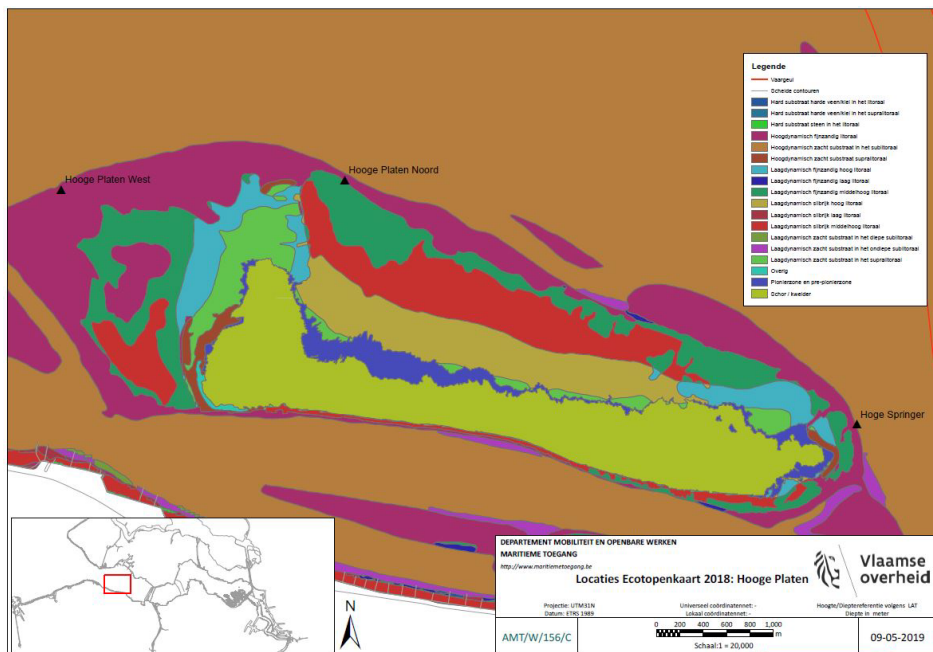
4.3 Hooge Platen

In Figuur 20 zijn de ecotopenkaarten weergegeven voor 2016 en 2018 bij de Hooge Platen. In Tabel 4 is de ecotopenklasse voor de verschillende meetpunten weergegeven, zowel voor 2016 als 2018. Op het westelijk deel van de Hooge Platen is er een duidelijke uitbreiding in westelijke richting van het “laagdynamisch fijnzandig middelhoog litoraal”. Ter hoogte van de Hooge Platen Noord verdwijnt tussen 2016 en 2018 een stukje “laagdynamisch fijnzandig laag litoraal” ten koste van “hoogdynamisch fijnzandig litoraal” en “laagdynamisch fijnzandig middelhoog litoraal”. Bij het meetpunt aan de Hoge Springer lijkt de rand de plaat ietwat geërodeerd te worden.

Tabel 4: Ecotopentypes voor de verschillende meetlocaties bij de Hooge Platen in 2016 en 2018.

Locatie	2016	2018
Hooge Platen West	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal
Hooge Platen Noord	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal	Laagdynamisch fijnzandig middelhoog litoraal
Hoge Springer	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal





Figuur 20: Overzicht van de ecotopenkaart van 2016 (boven) en 2018 (onder) ter hoogte van de Hooge Platen

Naast de ecotopenkaart zelf, kan ook naar de snelheden gekeken worden die berekend worden voor het opmaken van de ecotopenkaart. In Bijlage 2 Stroomsnelheden is de maximale stroomsnelheid rond de Hooge Platen weergegeven, in Tabel 3 een overzicht van de maximale snelheden. Het is duidelijk dat de gemeten snelheden, in de tabel zijn de maximale vloed en eb-waarden weergegeven voor de meetperiode, hoger zijn dan de gemodelleerde snelheden. Dit is consistent met resultaten in Vanlede et al. (2015) waar ook eerder onderschatting van de gemodelleerde snelheden wordt vastgesteld voor ondiepere gebieden.

Een inschatting is ook gemaakt van de snelheden t.g.v. golfwerking, waarbij gebruik gemaakt werd van de lineaire golftheorie zoals beschreven in sectie 3.3.2. Voor de Hooge Platen zijn de snelheden ten gevolge van windeffecten zodanig dat deze wel een effect kunnen hebben op de sedimentbeweging in deze habitats, aangezien de ingeschatte snelheden op basis van de opgemeten golfhoogtes (gemiddeld 0,46 m/s tot 0,21 m/s, maximaal 0,88 m/s tot 0,38 m/s, zie Tabel 3) groter zijn dan de verwachte kritische snelheid voor begin van beweging van sediment. Bijgevolg kan gesteld worden dat vanuit abiotisch oogpunt, windgolven bij de Hooge Platen morfologisch invloed kunnen hebben. De berekende snelheden t.g.v. golfwerking bij de Hooge Platen Noord en Hoge Springer zijn gelijkaardig voor secundaire golven en windgolven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er enkel naar secundaire scheepsgolven wordt gekeken. Eveneens werden enkel de resultaten gebruikt van de single ship events, waardoor dus ook hogere (of lagere) karakteristieken kunnen worden bekomen als men alle events in rekening zou brengen, bv. kruisende schepen. Hiernaast wordt in de analyse geen rekening gehouden met brekende golven, die op een andere manier (bv. resuspensie van sediment) morfologisch effect kunnen hebben.

4.4 Saeftinghe

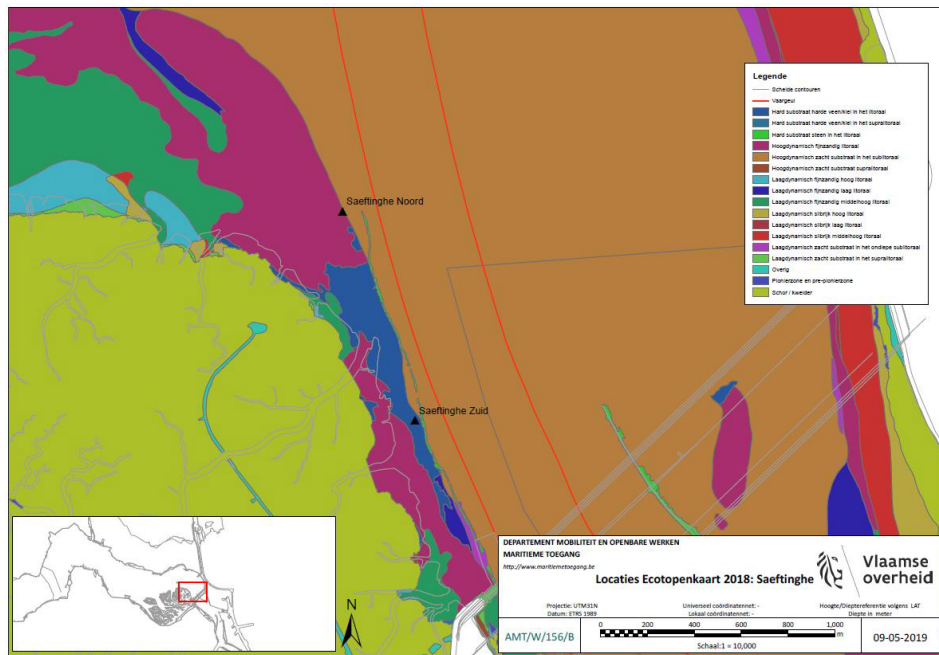
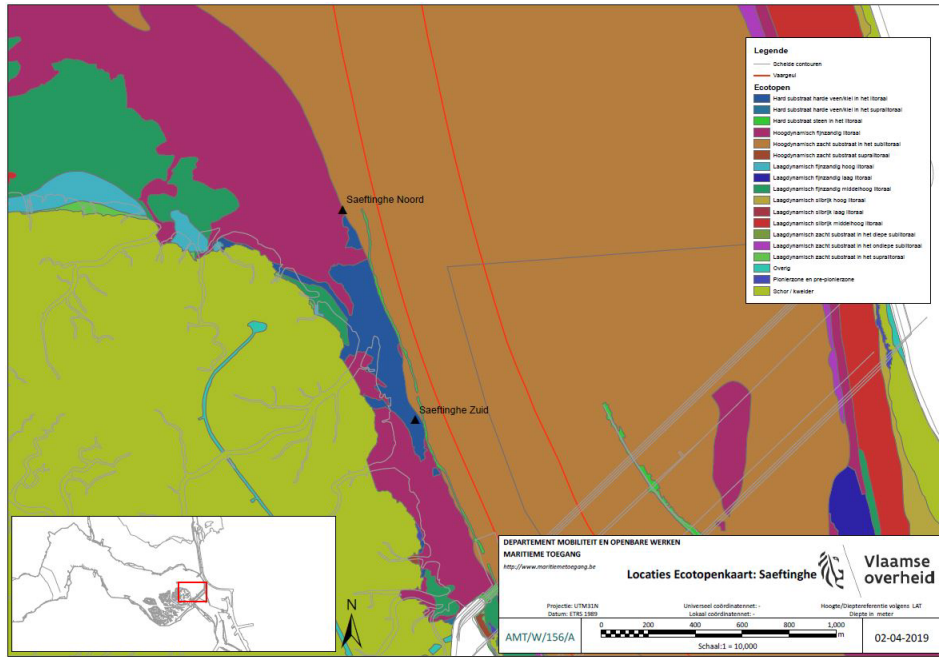
In Figuur 21 zijn de ecotopenkaarten voor de oostrand van Saeftinghe weergegeven, zowel in 2016 als 2018. Het noordelijke meetpunt werd zowel in 2016 als in 2018 geclassificeerd als “hoogdynamisch fijnzandig litoraal”, het zuidelijke meetpunt werd in beide periodes geclassificeerd als “Laagdynamisch zacht substraat in het ondiepe sublitoraal”.

Tabel 5: Ecotopentypes voor de verschillende meetlocaties bij Saeftinghe in 2016 en 2018.

Locatie	2016	2018
Saeftinghe Noord	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal	Hoogdynamisch fijnzandig litoraal
Saeftinghe Zuid	Laagdynamisch zacht substraat in het ondiepe sublitoraal	Laagdynamisch zacht substraat in het ondiepe sublitoraal

Wanneer men beide ecotopenkaarten in deze zone bekijkt kan opgemerkt worden dat de zone “Laagdynamisch zacht substraat in het ondiepe sublitoraal” juist ten zuiden van het noordelijke meetpunt kleiner werd. In zuidelijke richting (ten zuiden van het zuidelijke meetpunt) is er een duidelijk uitbreiding van het “Laagdynamisch zacht substraat in het ondiepe sublitoraal”. Opmerkelijk is dat de maximaal gemeten stroomsnelheid voor beide locatie gelijkaardig is van grootte, terwijl de indeling op vlak van dynamiek volgens de ecotopenkaart verschillend is. Ook hier kan opgemerkt worden dat de maximale opgemeten snelheden hoger zijn dan de gemodelleerde snelheden (Tabel 3). Een overzicht van de ruimtelijke verdeling van de maximale stroomsnelheden bij Saeftinghe is weergegeven in Bijlage 2 Stroomsnelheden.

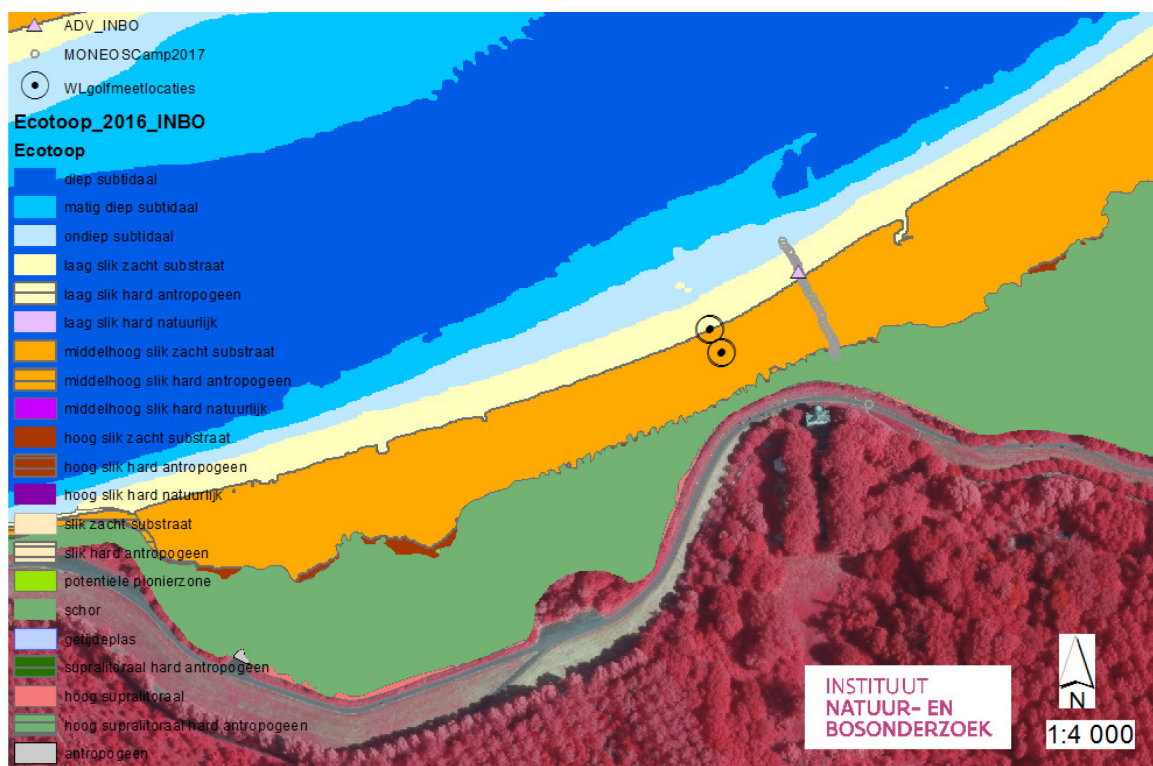
De ingeschatte snelheden o.b.v. scheepsgolven zijn groter dan deze t.g.v. windgolven. Er wordt ingeschat dat deze snelheden, voor golfwerking van individuele schepen, sediment in beweging kunnen brengen. Hierbij dient opnieuw opgemerkt te worden dat primaire scheepsgolven niet in rekening werden gebracht hier, ondanks het feit dat deze visueel in de metingen duidelijk observeerbaar zijn op deze locatie en de geobserveerde golfhoogtes (minstens) gelijkaardig zijn dan de secundaire golfhoogtes (Meire et al., 2019). De effecten door windgolven op sedimenttransport worden op basis van de metingen tijdens de meetcampagne zeer beperkt verondersteld, al dient hier wel vermeld te worden dat windcondities gedurende de meetcampagne laag waren. Vanuit abiotisch oogpunt lijken windgolven bij Saeftinghe geen invloed te hebben op de habitats, scheepsgolven daarentegen kunnen wel een invloed hebben op de habitat kwaliteit.



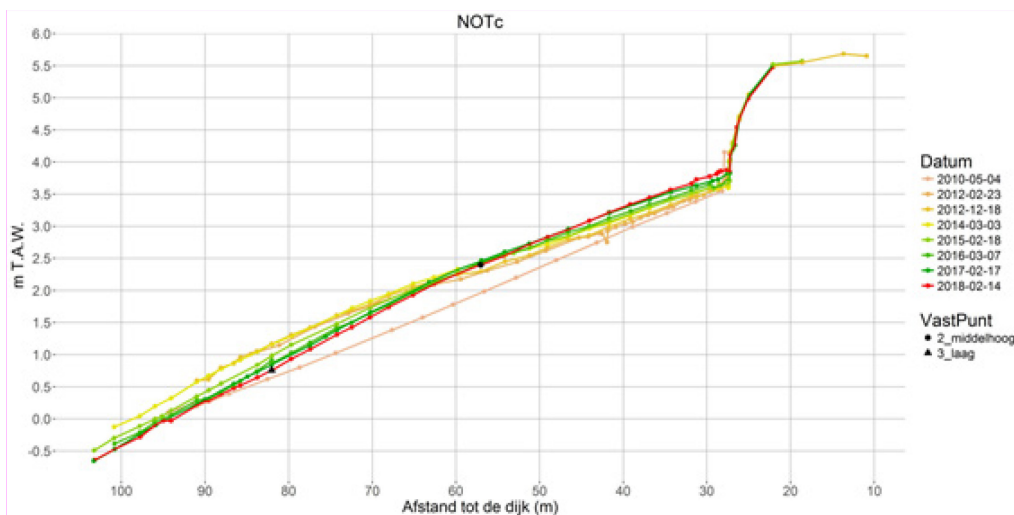
Figuur 21: Overzicht van de ecotopenkaart van 2016 (boven) en 2018 (onder) ter hoogte van de oostkust van Saefinghe

4.5 Rupelmonde

In Figuur 22 is de ecotopenkaart weergegeven voor de zone rond de Notelaer. De locaties van de AquaDopp en golfmetingen (WL) en de locatie van de ADV metingen (INBO) zijn weergegeven met een driehoek. Het onderste meetpunt is gelegen in het “laag slik zacht substraat”, het bovenste meetpunt is gelegen in het “middelhoog slik zacht substraat”. Wanneer men naar de evolutie van het slik kijkt (Figuur 23) zoals weergegeven in Van Braeckel et al. (in prep.), ter hoogte van de metingen zoals aangegeven in Figuur 22, kan men wat erosie opmerken in de lage delen van het slik. In de hoge delen van het slik wordt sedimentatie geobserveerd. De snelheden berekend op basis van de “single ship” scheepskarakteristieken zijn duidelijk lager dan de grootte orde van de getijstroming (Tabel 3). De ingeschatte snelheden nabij de bodem door scheepsgolven zijn eerder laag. In vergelijking met de Westerschelde bestaat het intergetijdengebied uit fijner, slibrijk materiaal. De invloed van resuspensie door brekende golven kan op basis van de huidige metingen niet worden ingeschat. Hierbij dient eveneens wel rekening gehouden te worden dat golven veroorzaakt door (snel varende) pleziervaart, die niet geregistreerd wordt, toch een invloed kunnen hebben.



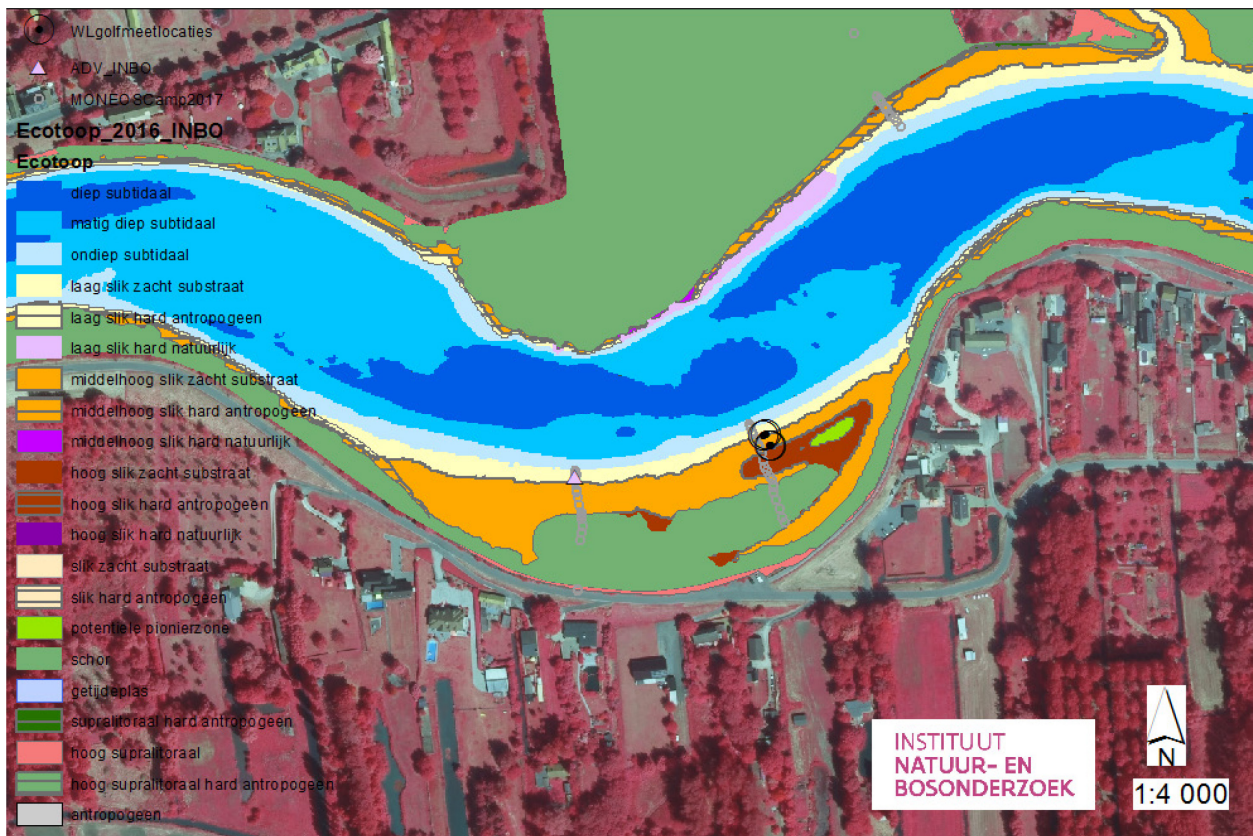
Figuur 22: Overzicht van de ecotopenkaart voor de Notelaer



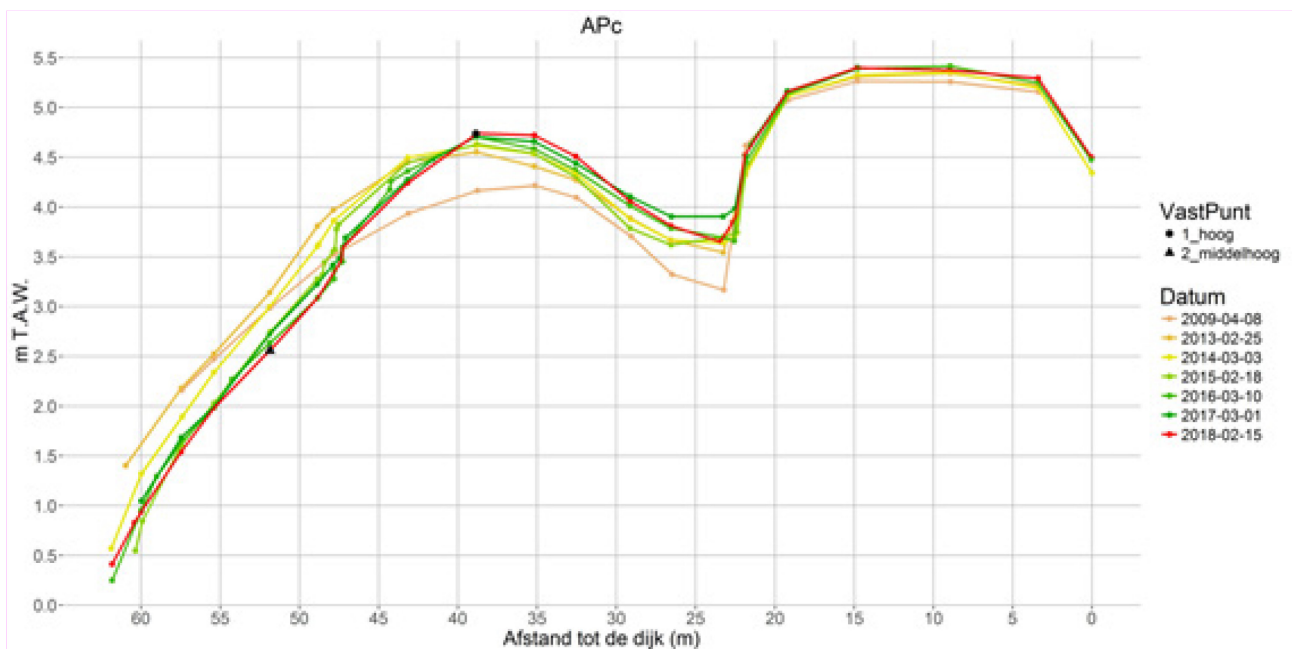
Figuur 23: RTK gps transect, ter hoogte van de golfmetingen, zoals aangegeven in Figuur 22

4.6 Dendermonde

In Figuur 24 is de ecotopenkaart weergegeven voor de zone rond Appels. De locaties van de ADCP en golfmetingen (WL) zijn weergegeven als zwarte cirkels en de locatie van de ADV metingen (INBO) zijn weergegeven met een driehoek. Het onderste meetpunt is nog juist gelegen in het “laag slik zacht substraat”, het bovenste meetpunt is gelegen in het “middelhoog slik zacht substraat”, dat dichtbij grenst aan het “hoog slik zacht substraat”. In Figuur 23 is de evolutie weergegeven van het slikprofiel, opgemeten met RTK gps, en aangegeven in Figuur 24, juist links van de meetpunten. Hierbij is er een duidelijk erosie van het laaggelegen slik waarneembaar en een verhoging van het hooggelegen slik. Er is dus een versteiling van de slikrand van 2009 tot 2018. De snelheden berekend op basis van de “single ship” scheepsgolven zijn beperkt. Ook de getijstrooming is hier duidelijk lager, al kan hier het belang van bovenafvoer op de stroming ook relevant zijn voor morfologische veranderingen op intergetijdengebied.



Figuur 24: Overzicht van de ecotoopenkaart voor de regio te Appels



Figuur 25: RTK gps transect, ter hoogte van de golfmetingen, zoals aangegeven in Figuur 24

4.7 Discussie

Uit alle metingen in de Westerschelde voor de getijstroming, samengevat in Tabel 3, kan worden opgemerkt dat de opgemeten snelheden consistent hoger zijn dan de gemodelleerde snelheden, berekend met het numeriek model voor de ecotopenkaarten. Voor het litoraal worden de geomorfologische kaarten gebruikt voor de opdeling in hoog- en laagdynamisch, maar de grootte van de stroming kan eventueel een indicatie geven van het relatief belang van getij vs. golven. Daarnaast dient opgemerkt te worden dat de heersende geomorfologische toestand eveneens afhankelijk is van de sedimentbeschikbaarheid, maar dat deze ook niet noodzakelijk representatief is voor de huidige toestand: ribbels die door een afnemende dynamiek niet worden uitgevlakt, of vlakke zones die door een sterk transport niet resulteren in bodemvormen.

De vergelijking tussen model en metingen gebeurt hier niet 1 op 1, aangezien de randvoorwaarden in het model niet exact hetzelfde zijn als de opgetreden getijcondities gedurende de meetcampagne. Ook is het niet exact duidelijk welke factor gebruikt wordt voor de berekening naar een slotgemiddeld getij van 2011, zoals beschreven in sectie 4.1, waardoor een exacte vergelijking niet mogelijk is. Desalniettemin is het verschil tussen de gemeten en gemodelleerde snelheden gelegen tussen 35 en 45 % bij de Hooge Platen. Bij Saefthinghe worden eveneens 35 à 40 % hogere gemeten snelheden opgemerkt t.o.v. de modelresultaten. Voor de Zeeschelde kan geen vergelijking gemaakt worden, aangezien nog geen gemodelleerde snelheden gebruikt werden voor de ecotopenklassering in intergetijdengebieden. Voor de Scaldis modellering, het model dat werd gebruikt voor de ecotopenklassering van het subtidale gebied, werd wel op verschillende meetlocaties een vergelijking gemaakt tussen metingen op intergetijdengebieden en de berekende snelheden (Hassan et al., 2016).

Algemeen kan gesteld worden dat er morfologische veranderingen, en dus ook invloed op habitats, optreden wanneer de snelheden de kritische snelheid voor beweging van sediment overschrijden. Gebruik makend van formule 1, 3 en 4 kan dit verwacht worden van snelheden tussen 0,20 en 0,30 m/s (afhankelijk van de diepte) voor niet-cohesief sediment met een d_{50} van 100 μm . Voor de Hooge Platen kunnen door windgolven snelheden optreden die een effect op de morfologie kunnen hebben. Tijdens de meetperiode worden, op basis van de gemeten golfhoogtes, snelheden geschat bij de bodem die variëren van gemiddeld ca. 0,50 m/s bij de meest zeewaartse kant (Hooge Platen West) tot ca. 0,20 m/s bij de Hoge Springer, aan de oostelijke kant van de Hooge Platen (zie Tabel 3). Nabij Saefthinghe, gelegen in de meest opwaartse zone van de Westerschelde, worden zeer lage snelheden verwacht op basis van windgolven. Er dient wel opgemerkt te worden dat tijdens de meetcampagne geen hoge windsnelheden werden opgemeten (Meire et al., 2019).

Voor de Zeeschelde kon geen aparte, exacte identificatie gemaakt worden van de windgolven, aangezien niet alle scheepspassages geregistreerd zijn (Meire et al., 2020; 2021). Desalniettemin is visueel opgemerkt dat deze golven kleiner zijn dan scheepsgolven, en ook 's nachts, wanneer geen (of zeer weinig) scheepspassages worden verwacht, worden zeer lage golfhoogtes geregistreerd. Er valt dus geen morfologische veranderingen te verwachten door windgolven geïnduceerde sedimentbeweging; dit wordt geconcludeerd op basis van de data gedurende de meetcampagne (er traden ook geen stormen op tijdens de campagnes).

Op basis van de metingen uitgevoerd binnen dit project, is dus enkel in het westelijk deel van de Westerschelde een invloed te verwachten van windgolven op het sedimenttransport en alzo ook op de ecotopen. Opgemerkt moet worden dat brekende golven echter resuspensie van sediment kunnen veroorzaken nabij de waterlijn, en dat het mogelijke effect hiervan hier niet beschouwd werd.

Voor de scheepsgolven kan enkel een inschatting gemaakt worden van de snelheden voor secundaire golven. Hierbij zijn specifiek single ship events beschouwd, met name scheepsgolven geïnduceerd door 1 schip. Voor de Hooge Platen West konden geen (duidelijke) scheepsgolven geïdentificeerd worden, vermoedelijk door de grote afstand tot de vaargeul (> 2500 m). Voor de Hooge Platen Noord en Hoge Springer worden gelijkaardige snelheden berekend op basis van de opgemeten scheepsgolven (zie Tabel 3), rond 0,3 m/s. Deze snelheden zijn voldoende om sediment in beweging te brengen. Bij Saefthinghe zijn de snelheden door de secundaire scheepsgolven iets lager, maar nog steeds dicht tegen de beginsnelheid van beweging.

Bovendien werden hier grote primaire sloopgolven (zie Meire et al, 2019) waargenomen, vermoedelijk door de dichte nabijheid van de (hoofd)vaargeul op ca. 300 tot 500 m.

In de Zeeschelde, op de beschouwde locaties, werden slechts beperkte golfhoogtes opgemeten, op basis van de beschouwde, passerende binnenvaart schepen. Door de hogere ligging van de schorrand, en de soms reeds steile klif hier (zie o.a. Figuur 23 en Figuur 25) kunnen effecten hier niet worden uitgesloten op basis van voorgaande analyse. In het algemeen is in dit project ook het mogelijke effect van brekende golven niet nagegaan, welke zeker voor het fijnere sediment in de Zeeschelde mogelijk relevant is.

5 Conclusies

In dit rapport wordt gefocust op het belang van golven bij de opmaak van ecotopenkaarten (bijdrage in dynamiek), alsook het effect van golven op (potentiële) erosie en sedimentatie van intergetijdengebieden.

Voor de Hooge Platen werden hoogfrequente snelheidsmetingen (Aquadopp[®]) uitgevoerd dichtbij de bodem, met name tussen 10 cm en 40 cm van de bodem. De verhouding van de metingen nabij de bodem en de dieptegemiddelde snelheden is vooral tijdens de ebfase constant en gelegen rond 70%. Voor Rupelmonde en Dendermonde werden eveneens hoogfrequente (punt)metingen (ADV) gebruikt, opgemeten op 10 cm van de bodem, die in 2013 en 2014 werden opgemeten door het INBO. Voor Rupelmonde is zowel voor de maximale eb- en vloednelheden een verhouding tussen de stroming nabij de bodem en de diepte-gemiddelde stroming gevonden van 75 tot 80 %. Bij Dendermonde zijn de resultaten voor de ebfase gelijkaardig (verhouding van ca. 60 %), voor de vloedfase zijn de resultaten anders, met hogere waarden nabij de bodem dan dieptegemiddeld (170%). Dit is vermoedelijk te wijten door de licht andere locatie, in een meanderbocht, wat zich vooral tijdens de vloedfase manifesteert.

Op basis van geregistreerde scheepspassages worden een aantal events geselecteerd, waarbij visueel een duidelijk signaal van scheepsgolven waarneembaar is en waarbij dit toe te schrijven is aan de passage van één enkel schip (geen interferentie door andere schepen). Er wordt een duidelijke relatie gevonden tussen de relatieve golfhoogte van deze events, gedefinieerd als de maximale golfhoogte (representatief voor de secundaire scheepsgolf) vs. de waterdiepte, en de gemeten hoogfrequente snelheid nabij de bodem voor hetzelfde event.

Met behulp van de lineaire golftheorie werd op basis van de golfhoogte en waterdiepte een inschatting gemaakt van de snelheid nabij de bodem, veroorzaakt door secundaire golven. Deze inschatting werd vergeleken met de opgemeten snelheden bij de Hooge Platen, en een goede correlatie werd gevonden ($y = 0,59 x$; $R^2 = 0,82$). Deze validatie rechtvaardigt bijgevolg het toepassen van deze theorie om een eerste inschatting te maken van de golfsnelheden nabij de bodem, al worden de gemeten waarden iets overschat. Het dient echter aanbeveling in de toekomst extra snelheidsmetingen uit te voeren bij golfmetingen om de toepasbaarheid van deze formule in dergelijke gevallen verder te valideren of rechtstreeks gebruik te maken van de opgemeten snelheid.

Voor de scheepsgolven kon enkel een inschatting gemaakt worden van de effecten van secundaire golven. Primaire golven zijn niet in beschouwing genomen, aangezien hun effect op schuifspanning bij de bodem moeilijker in te schatten is. Tevens wordt geen analyse gemaakt van het mogelijks effect van brekende golven. Voor de meetlocaties in de Westerschelde worden snelheden berekend die voldoende zijn om (niet-cohesief) sediment in beweging te brengen. In de Zeeschelde worden lage snelheden berekend ten gevolge van de scheeps-geïnduceerde golven (ca. 0,05 tot 0,10 m/s), te laag om een effect te verwachten op het sedimenttransport en de habitats. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de impact van (snelle) pleziervaart niet in rekening werd genomen, welke hier toch belangrijk kan zijn, aangezien aan de hand van foto's heel wat pleziervaart kon worden geregistreerd. Anderzijds is de aanname van niet-cohesief materiaal in deze zone minder accuraat.

Op basis van de meetcampagnes uitgevoerd binnen het project “Golven in het estuarium” kan enkel in het westelijk deel van de Westerschelde een effect van windgolven op de habitats bij de laagwaterlijn worden verwacht. Aan de westelijke kant van de Hooge Platen, blootgesteld naar de Noordzee toe, worden snelheden ingeschat aan de bodem van 0,5 m/s. Bij de Hoge Springer, aan de oostelijke kant, is dit al gereduceerd tot ca. 0,2 m/s. Bij de meer opwaarts gelegen meetpunten worden snelheden van < 0,10 m/s ingeschat t.g.v. windgolven, onvoldoende om niet-cohesief sediment in beweging te brengen. De meetcampagnes werden uitgevoerd in normale weersomstandigheden en bevatten dus geen events met (zware) storm condities.

Het belang van wind- en scheepsgolven op de morfologische ontwikkeling van bv. (kliffen aan) schorranden, kan op basis van huidige analyse niet worden ingeschat. Ook is het mogelijks effect van brekende golven en resuspensie van bodemmateriaal hierdoor ter hoogte van de waterlijn, niet nagegaan. Tot slot zal het effect ook lokaal sterk kunnen variëren, door de grote variatie van het bodemmateriaal langsheen het estuarium.

Tenslotte werd het potentieel effect ingeschat die golven kunnen hebben op intergetijdengebieden en de ecologische waardering daarvan in de ecotopenkaart. Het is echter niet duidelijk of een potentiële impact ook daadwerkelijk leidt tot een impact op de habitatkwaliteit. Zo dient ingeschat te worden hoe deze (event based) golfbelasting zich relateert tot een langdurigere stromingsbelasting (t.g.v. getijstroming). Bovendien kunnen beide hydrodynamische belastingen niet los van elkaar gezien worden. De impact van golven zal groter zijn gedurende de periodes met lagere waterstanden, wegens relatief hogere bodemschuifspanningen, maximale stroming zal eerder optreden bij hogere waterstanden.

6 Referenties

- Bouma, H.; de Jong, D.J.; Twisk, F. Wolfstein, K. (2005) Zoute wateren Ecotopenstelsel (ZES.1). Rapport RIKZ/2005.024, Middelburg.
- Hamers, M. (2021) Het gebruik in een mini-flume voor het bepalen van het begin van beweging van sediment
- Hassan, W.; Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2017). Agenda for the future – Hydro- and sediment dynamics in the Schelde estuary: sub report 6. Validation of the SCALDIS-model on intertidal areas. Versie 2.0. WL Rapporten, 14_024_6. Flanders Hydraulics Research: Antwerp. XI, 75 + 20 p. appendices pp.
- Jentink, R., Bijleveld, M., Slager, A.A. (2018) Kwalitatieve benthos opname Hooge platen West. Rijkswaterstaat CIV
- Kers, A.S., L. Walburg, J. Bakker, A.H. Daane, D.J. de Jong, M. Schrijver, P. Lievense, L. Dekker & J. de Klerk, 2013. Dienstbeschrijving Zoute ecotopenkarteringen. Rijkswaterstaat CIV/ZD, Delft / Middelburg.
- Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2021). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: Deelrapport 4 – Analyse van golfmetingen ter hoogte van de Hooge Platen. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_082_4. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Meire, D.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2021b). Agenda voor de Toekomst – Golven in het estuarium: Analyse van golfmetingen te Rupelmonde. Versie 4.0. WL Rapporten, 14_082_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.
- Meire, D.; Levy, Y.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2020). Agenda voor de Toekomst – Waves in the Scheldt estuary: Analysis of wave measurements at Dendermonde. Version 4.0. FHR Reports, 14_082_2. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.
- Meire, D.; Kolokythas, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F. (2019). Agenda voor de Toekomst – Waves in the Scheldt estuary: Analysis of wave measurements at Saeftinghe. Version 4.0. FHR Reports, 14_082_2. Flanders Hydraulics Research: Antwerp.
- Meire, D.; Kolokythas, G.; Plancke, Y. (2024). 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. VIII, 54 + 4 p. bijl. pp. <https://dx.doi.org/10.48607/247>
- Plancke, Y.; Ides S.; Peters J. J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen – Deelrapport 1. WL Rapporten, M791/06. Waterbouwkundig Laboratorium. Borgerhout, België
- Van Braeckel, A.; D’Haluin, P.; Terrie, T.; Elsen, R.; Van den Bergh, E. (in prep.) Habitatmapping Zeeschelde. ADV meetcampagne overzicht en 1^e lijnsrapportage stroomsnelheden op het slik. INBO.
- Van Braeckel A., Speybroeck J., Vanoverbeke J., Van Ryckegem G. & Van den Bergh E. (2018). Habitatmapping Zeeschelde subtidaal: relatie tussen bodemdieren en hydro- en morfodynamiek. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (91). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.15709116
- Vanlede, J.; Delecluyse, K.; Primo, B.; Verheyen, B.; Leyssen, G.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2015). Verbetering randvoorwaardenmodel: subreport 7. Calibration of NEVLA 3D. Version 4.0. WL Rapporten, 00_018. Flanders Hydraulics Research/IMDC: Antwerpen. VII, 88 + 112 p. appendices pp.
- Van Rijn, L. (2019) Simple general formulae for sand transport in rivers, estuaries and coastal waters (www.leovanrijn-sediment.com)

Van Ryckegem G., Van Braeckel A., Elsen R., Speybroeck J., Vandevorde B., Mertens W., Breine J., Spanoghe G., Bezdenjesnji O., Buerms D., De Beukelaer J., De Regge N., Hessel K., Lefranc C., Soors J., Terrie T., Van Lierop F. & Van den Bergh E. (2018). MONEOS – Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2017: monitoringsoverzicht en 1^{ste} lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2018 (74). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: doi.org/10.21436/inbor.15000892

Van Ryckegem, G., et. al. (2023). MONEOS - Geïntegreerd datarapport INBO: Toestand Zeeschelde 2022. Monitoringsoverzicht en 1ste lijnsrapportage Geomorfologie, diversiteit Habitats en diversiteit Soorten. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2023 (45). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel. DOI: [10.21436/inbor.98471395](https://doi.org/10.21436/inbor.98471395)

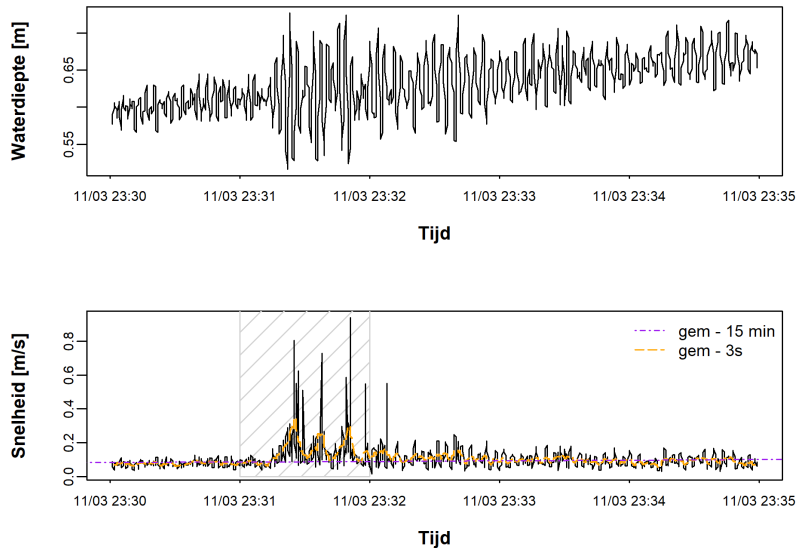
Vos, G.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2013). Habitatmapping Zeeschelde: Deelrapport 3 – Relaties abiotiek. Versie 2_0. WL Rapporten, 00_028. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België.

Ides, S.; Plancke, Y. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 2. Numerieke modellering. *WL Rapporten*, 791/06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

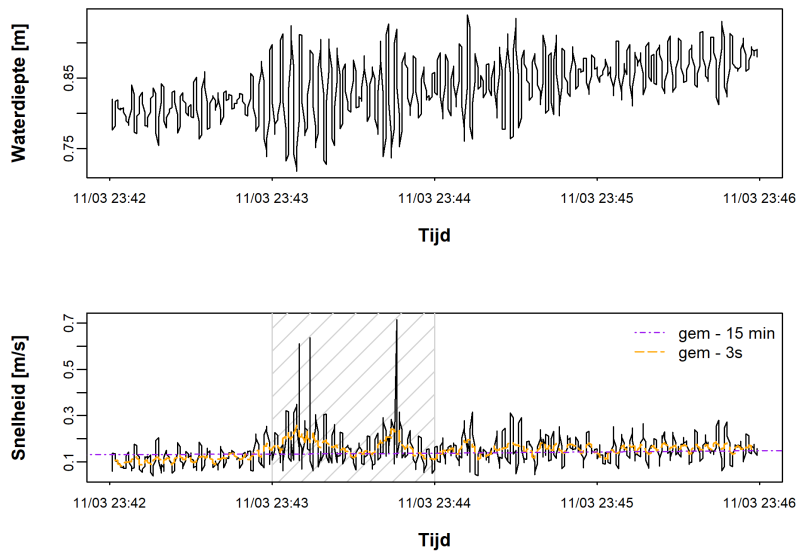
Ides, S.; Plancke, Y.; Peters, J.J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen: deelrapport 3. Voorstel stortstrategie. *WL Rapporten*, 791/06. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vos, G.; Plancke, Y.; Meire, D. (2023). Sedimentbalans Schelde-estuarium: deelrapport 6. Sedimentbalans Zeeschelde, Rupel en Durme voor de periode 2016-2019. Versie 4.0. *WL Rapporten*, 19_076_6. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Available at: <https://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=381225>

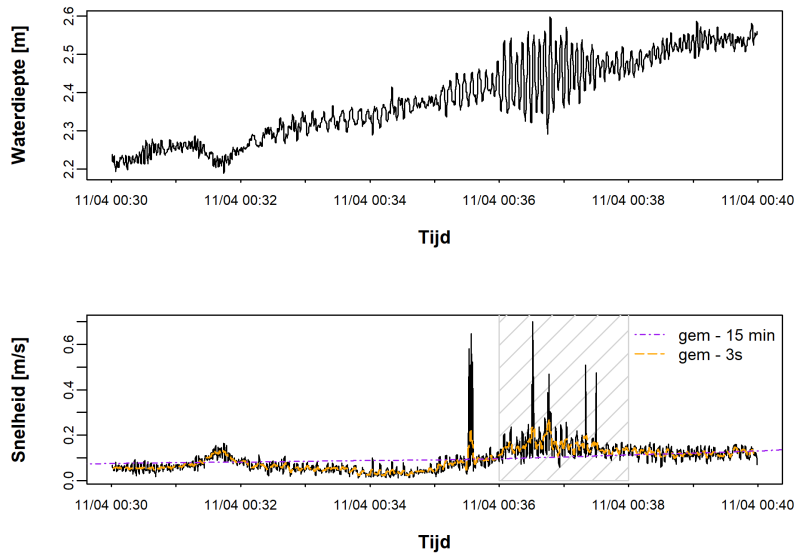
Bijlage 1 Scheepsevents bij de Hooge Platen



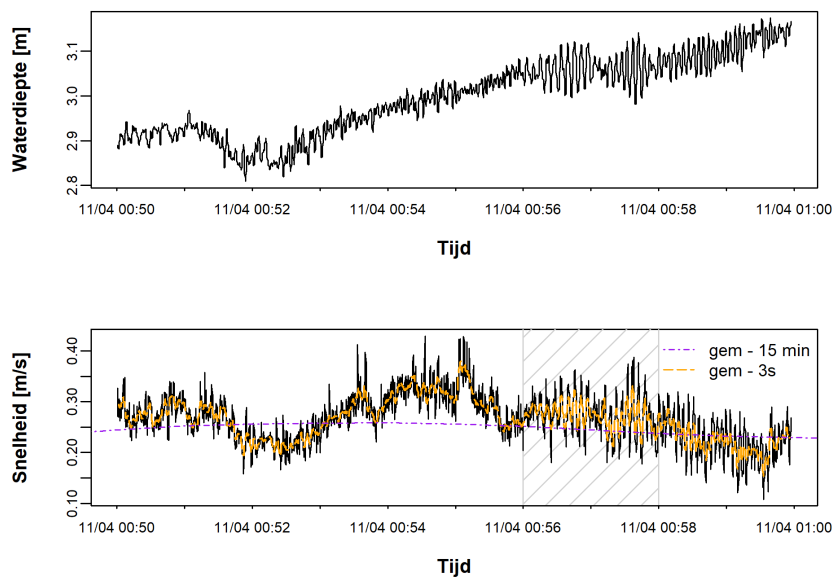
Figuur 26: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 1. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



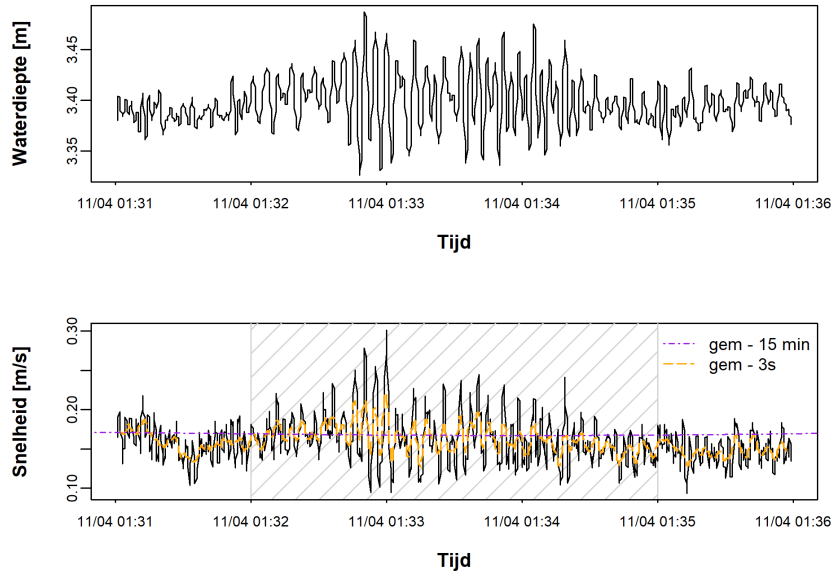
Figuur 27: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 2. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



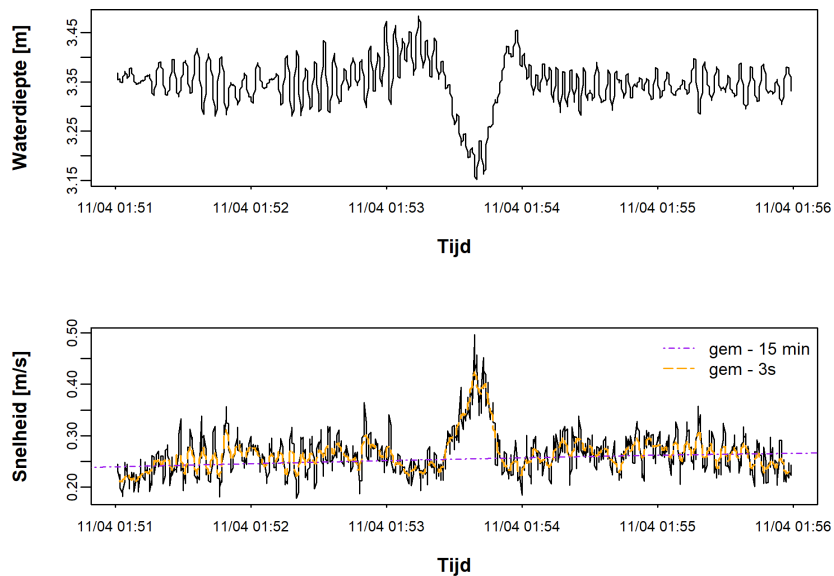
Figuur 28: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 3. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



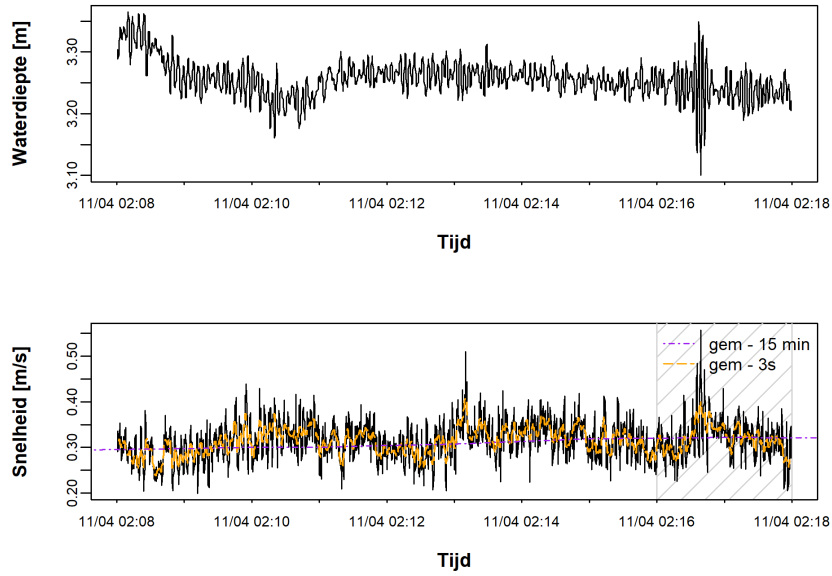
Figuur 29: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 4. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



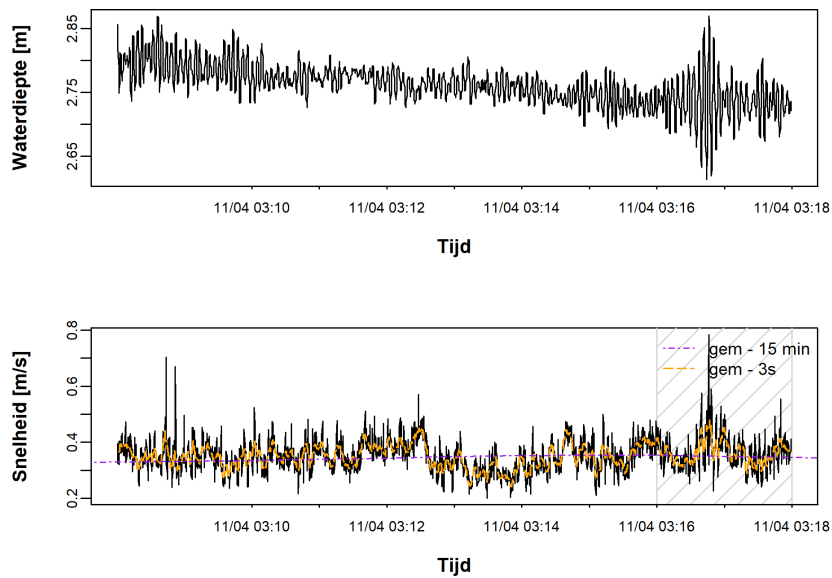
Figuur 30: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 5. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



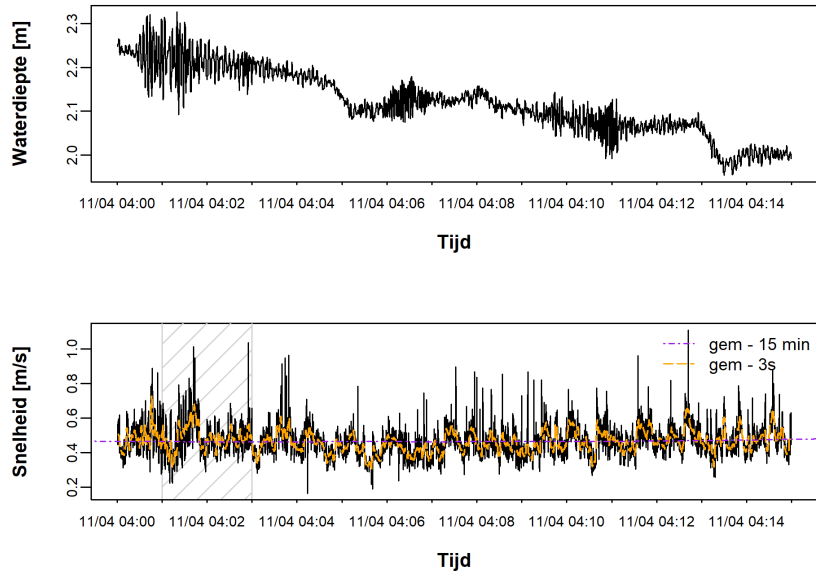
Figuur 31: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 6. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



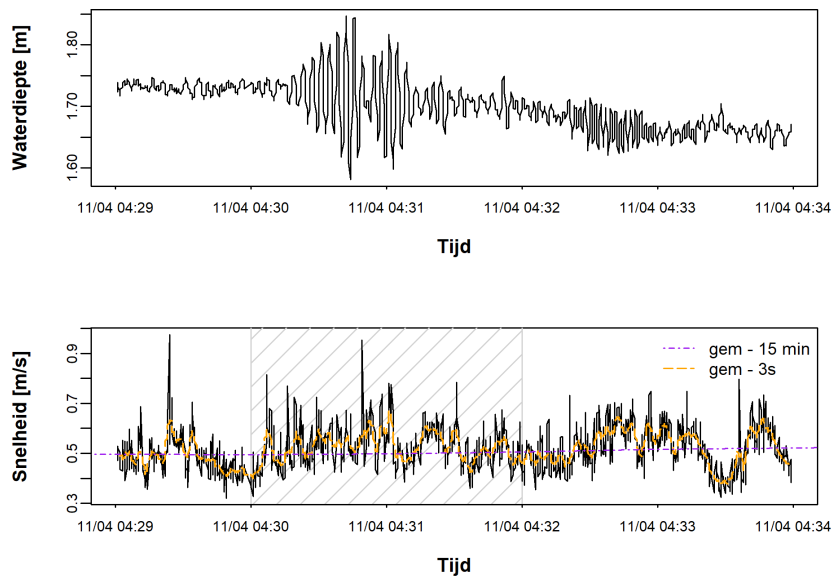
Figuur 32: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 7. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



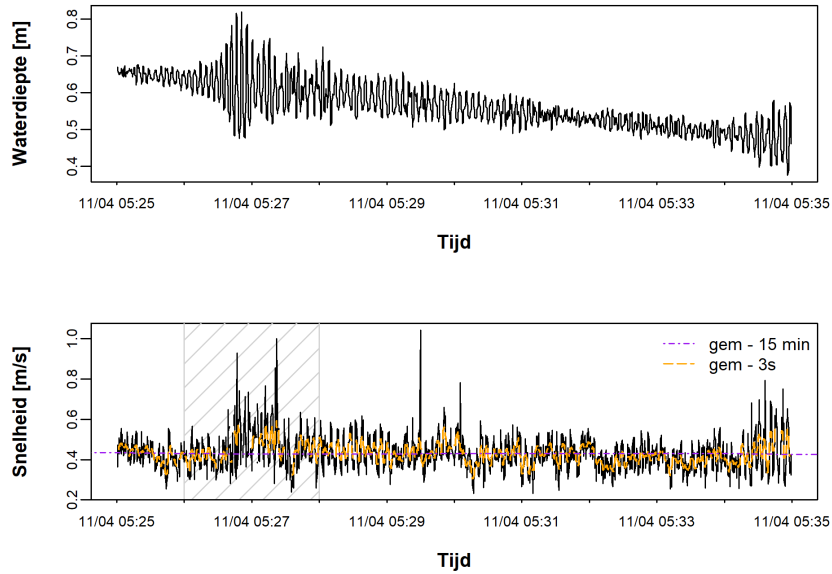
Figuur 33: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 8. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



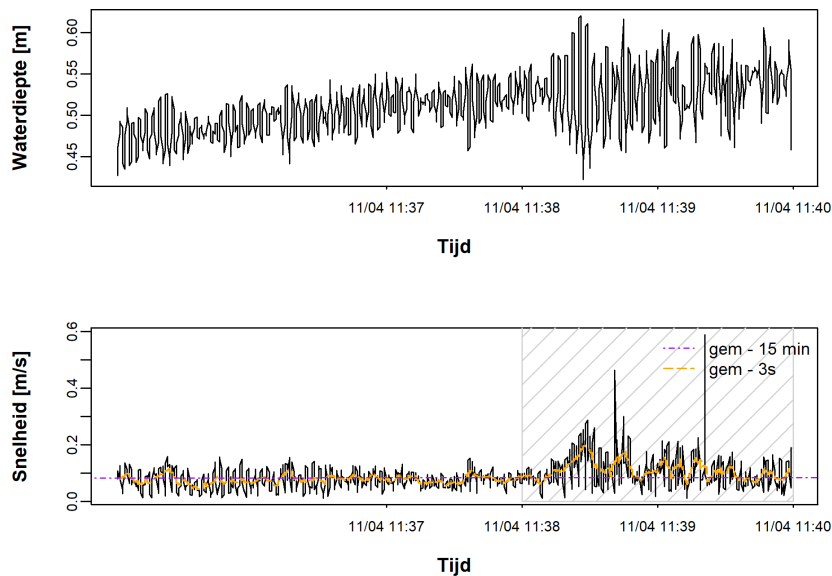
Figuur 34: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 9. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



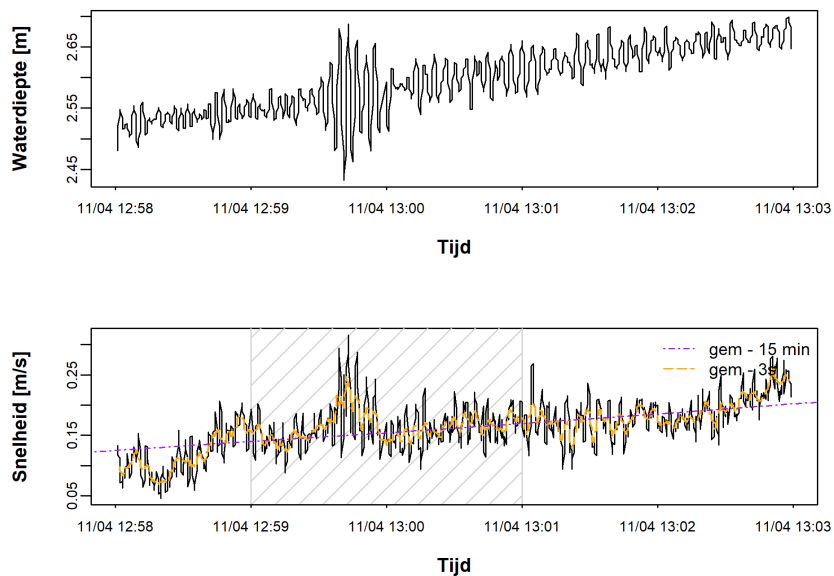
Figuur 35: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 10. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



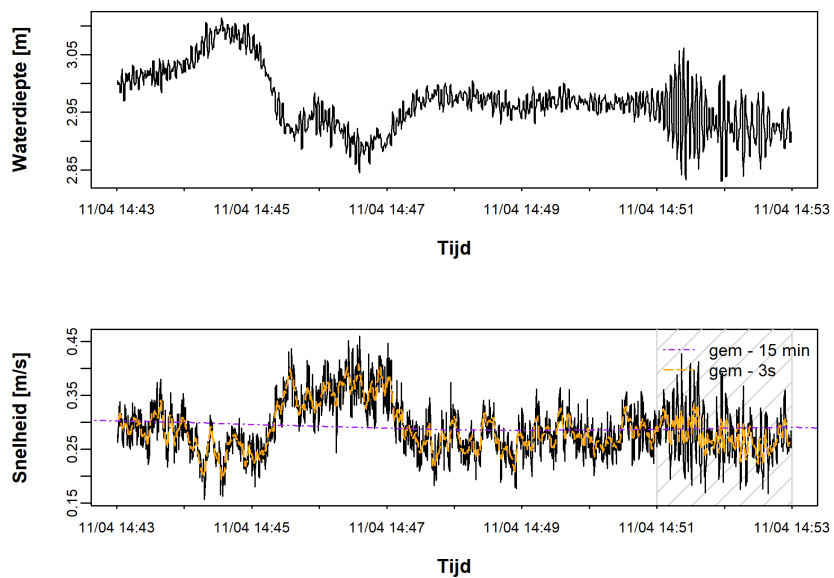
Figuur 36: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 11. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



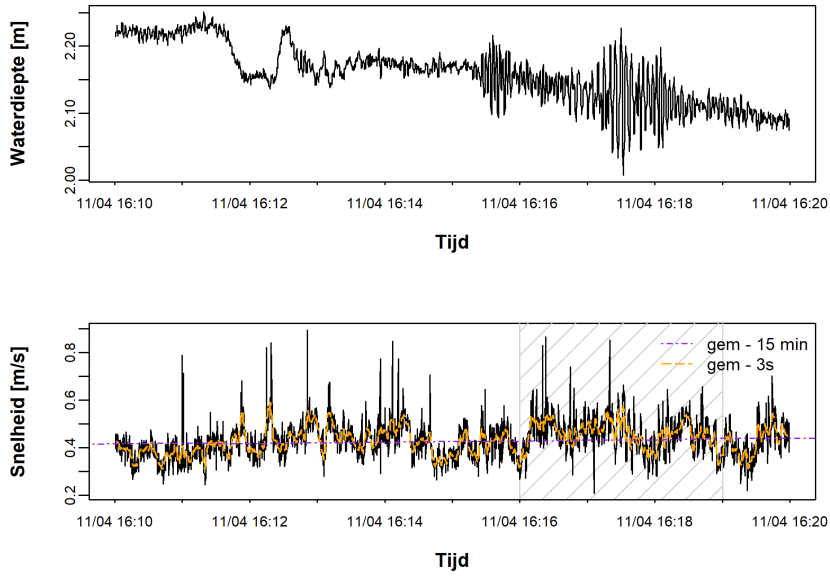
Figuur 37: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 12. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



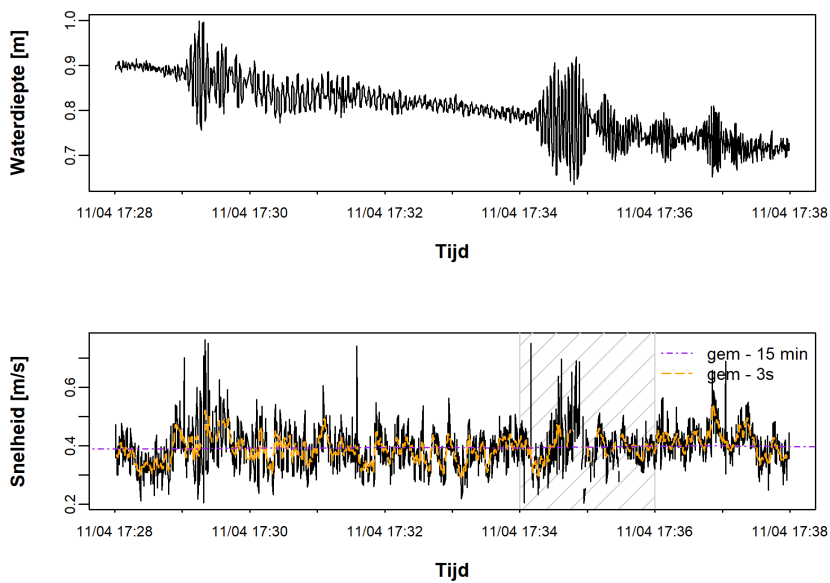
Figuur 38: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 13. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



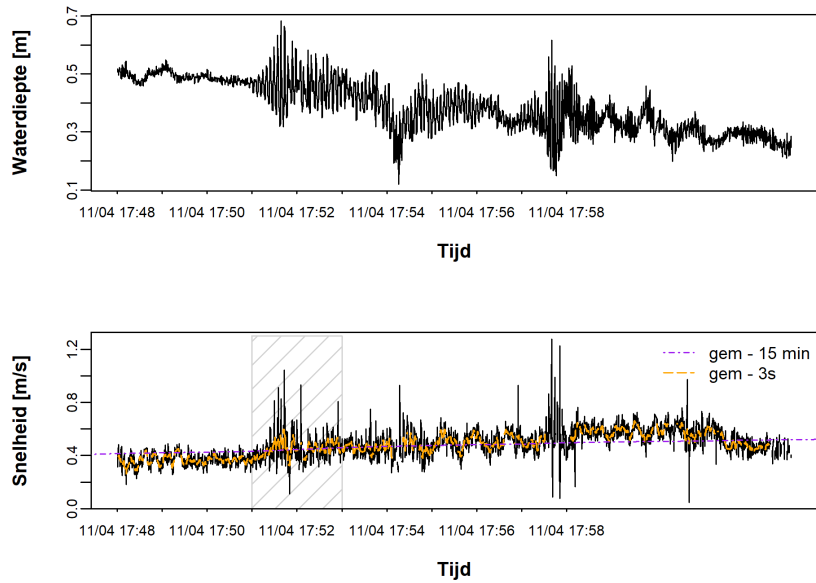
Figuur 39: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 14. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



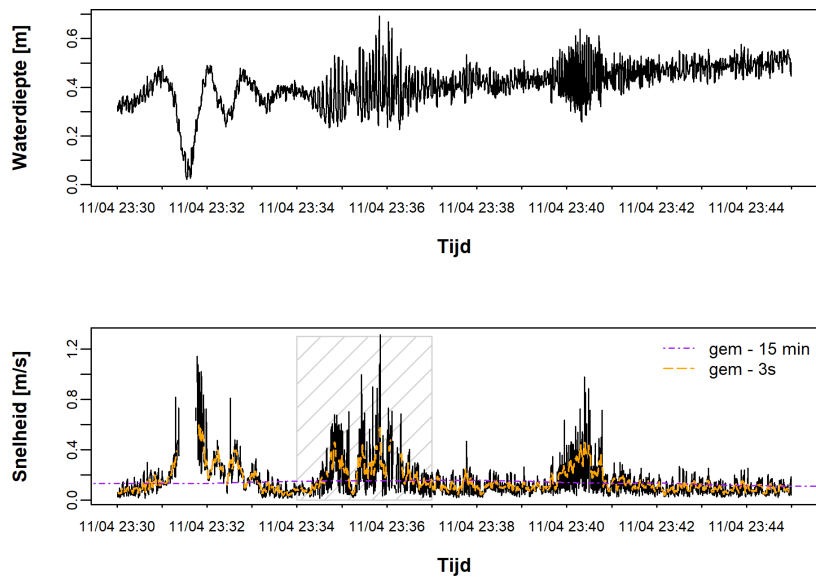
Figuur 40: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 15. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



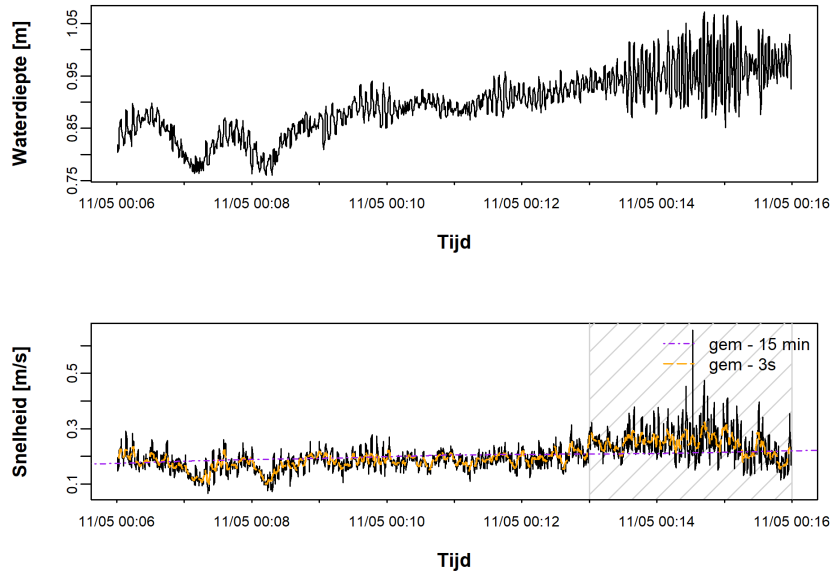
Figuur 41: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 16. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



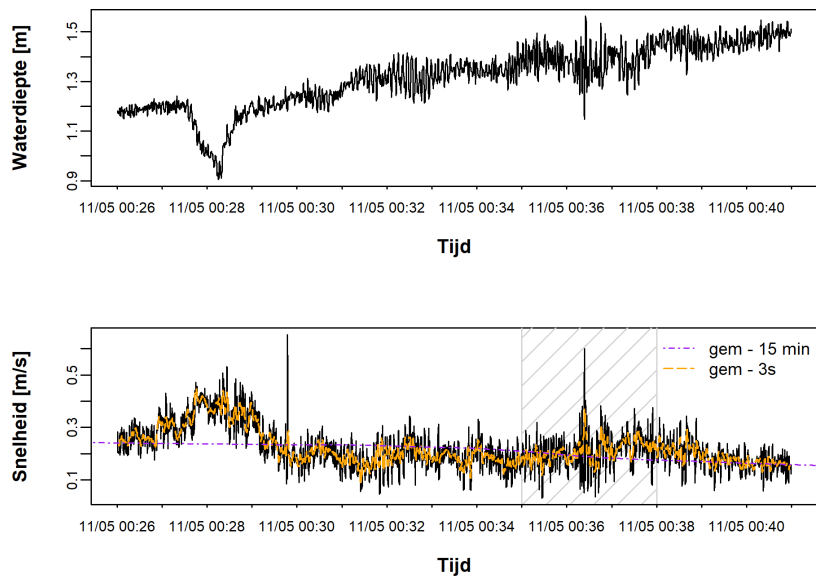
Figuur 42: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 17. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



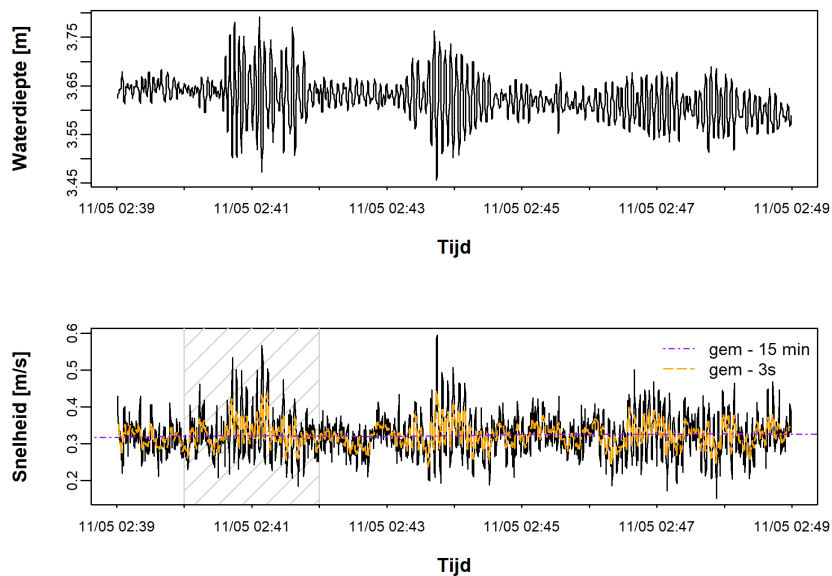
Figuur 43: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 18. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



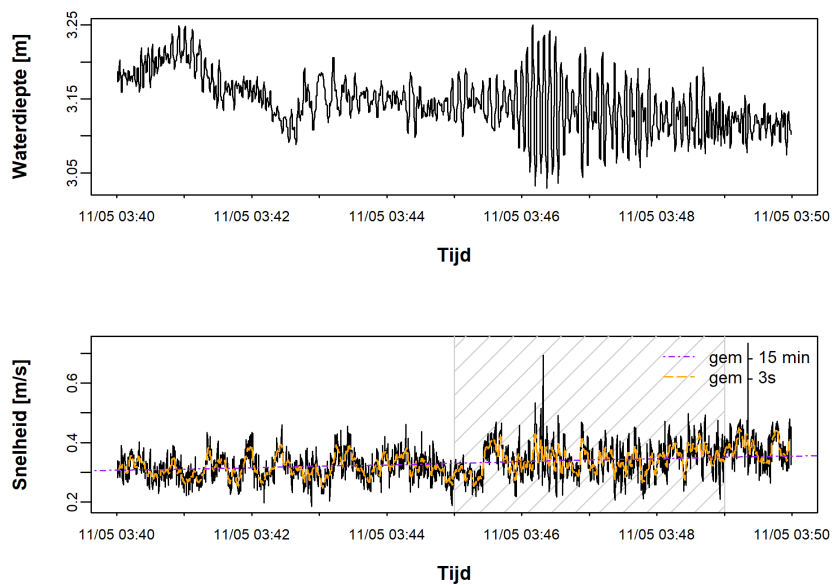
Figuur 44: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 19. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



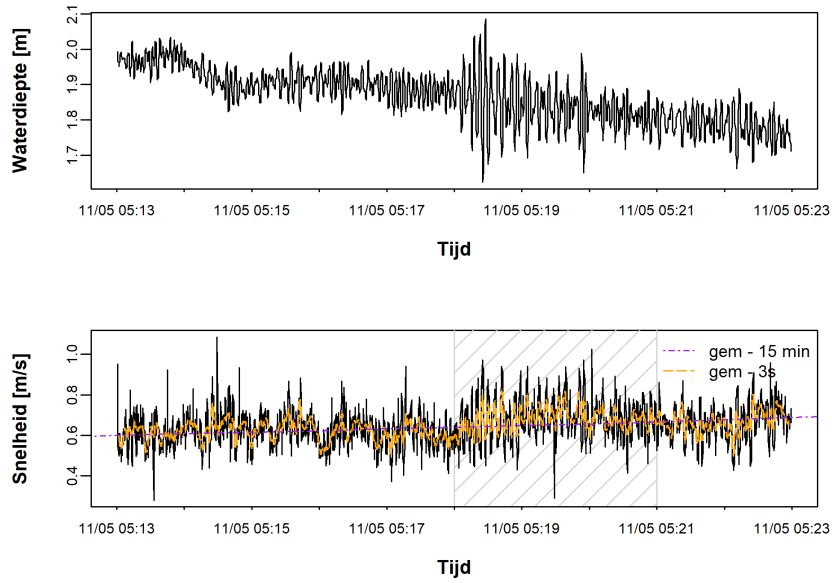
Figuur 45: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 20. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



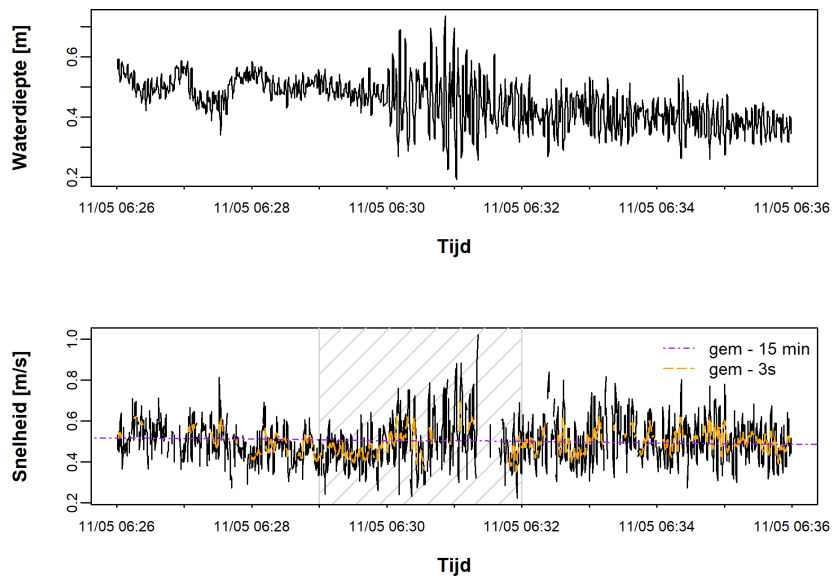
Figuur 46: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 21. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



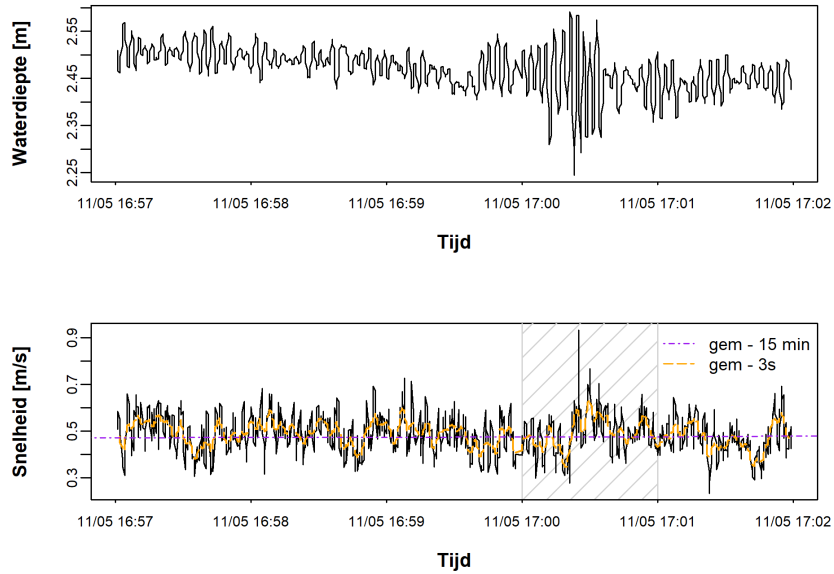
Figuur 47: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 22. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



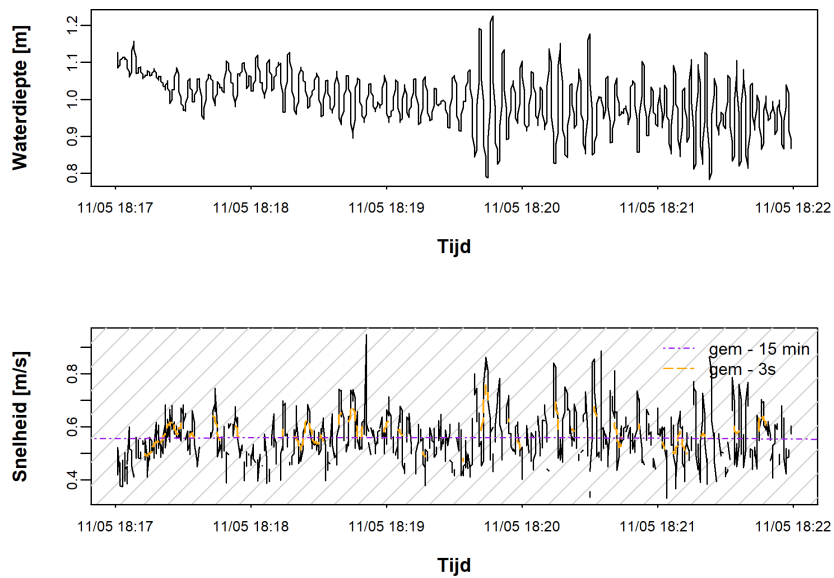
Figuur 48: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 23. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



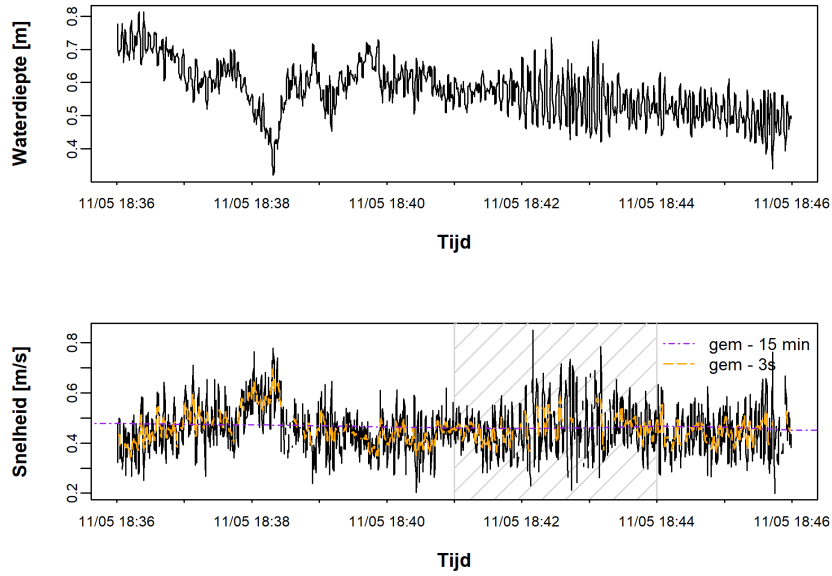
Figuur 49: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 24. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



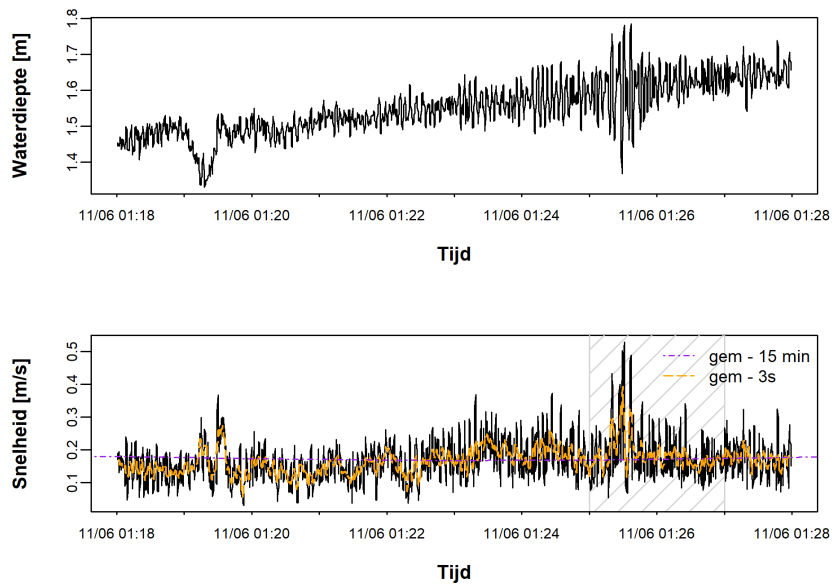
Figuur 50: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 25. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



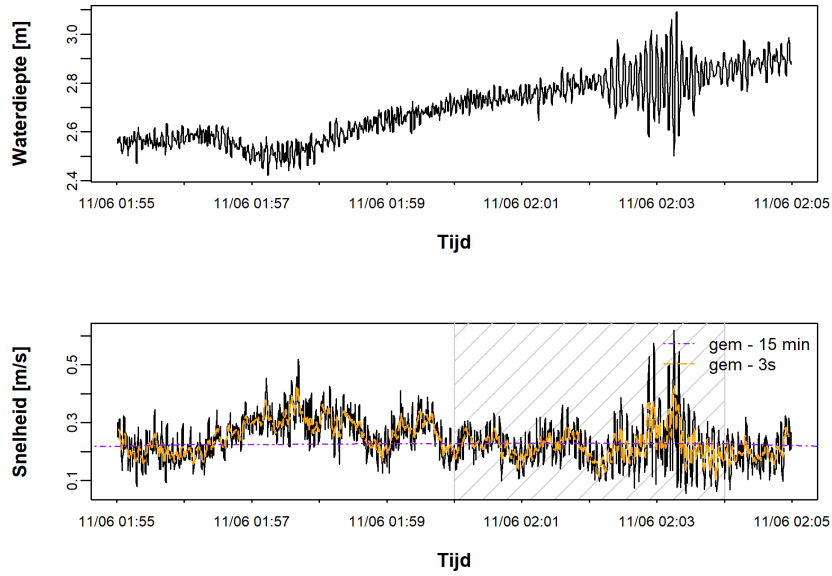
Figuur 51: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 26. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



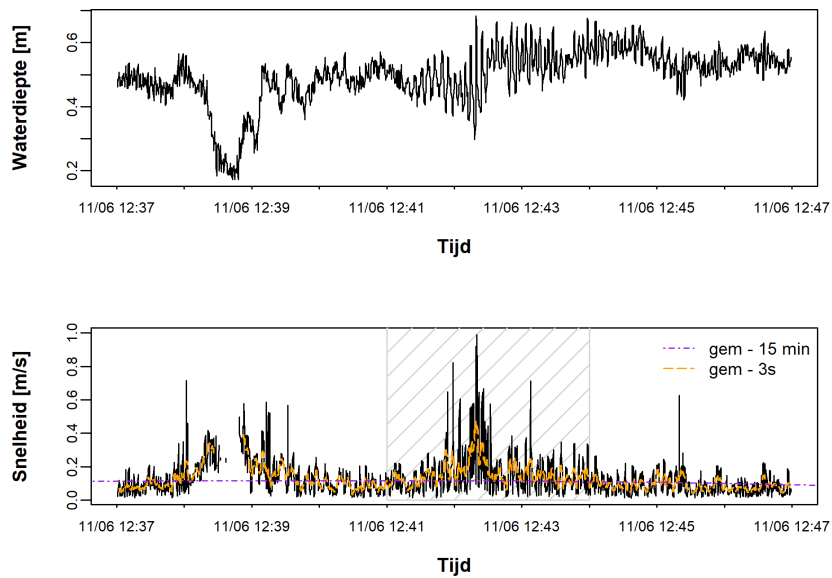
Figuur 52: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 27. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



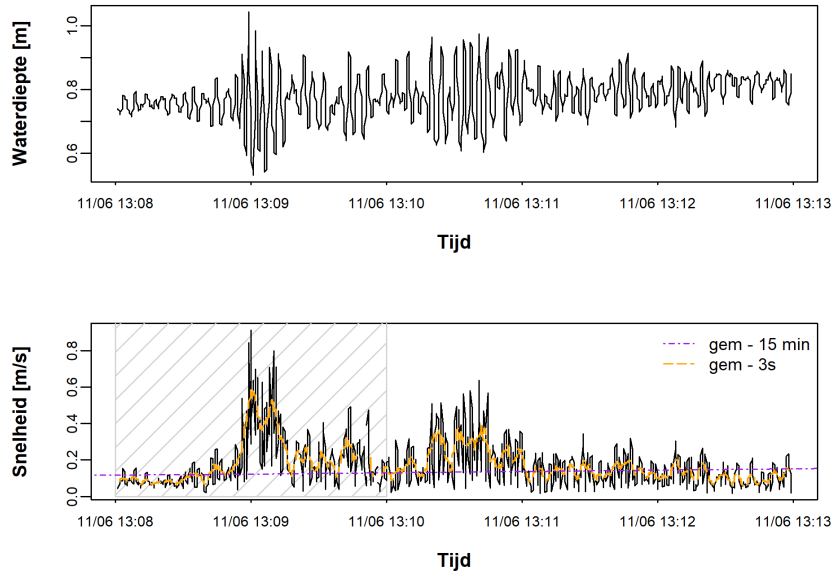
Figuur 53: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 28. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



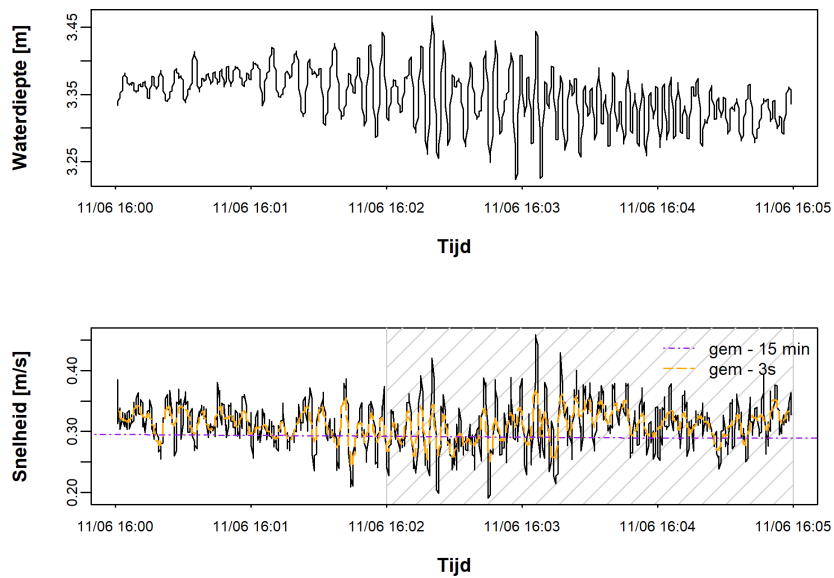
Figuur 54: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 29. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



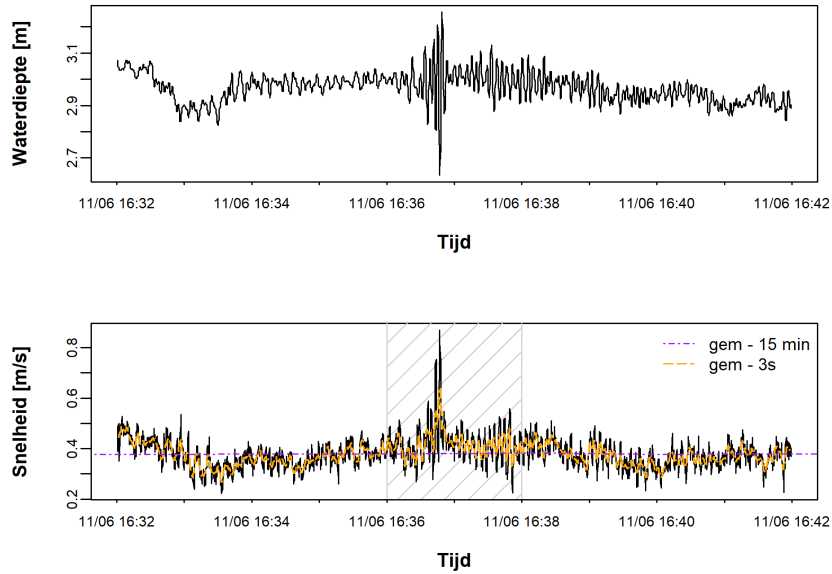
Figuur 55: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 30. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



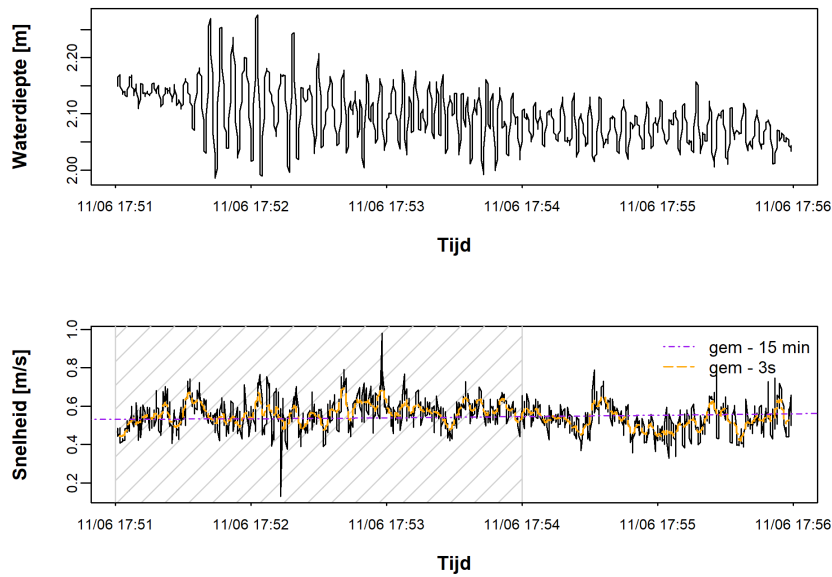
Figuur 56: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 31. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



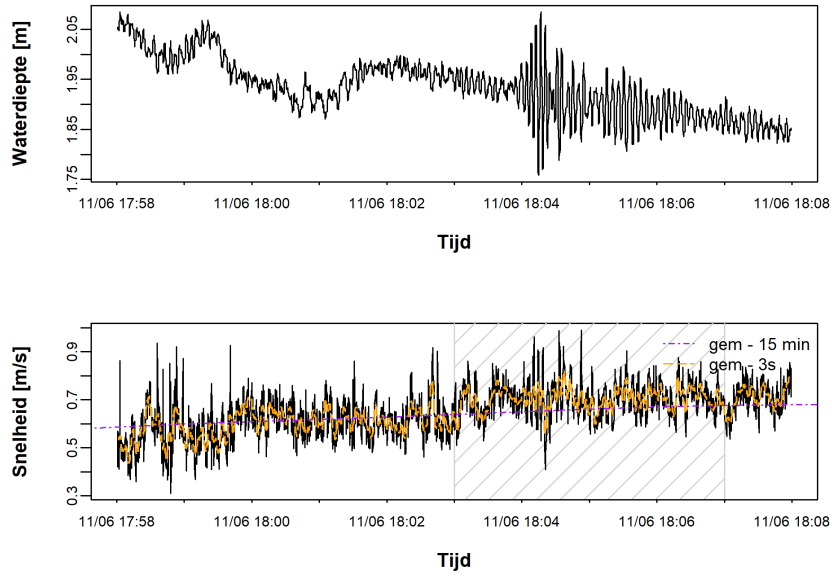
Figuur 57: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 32. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



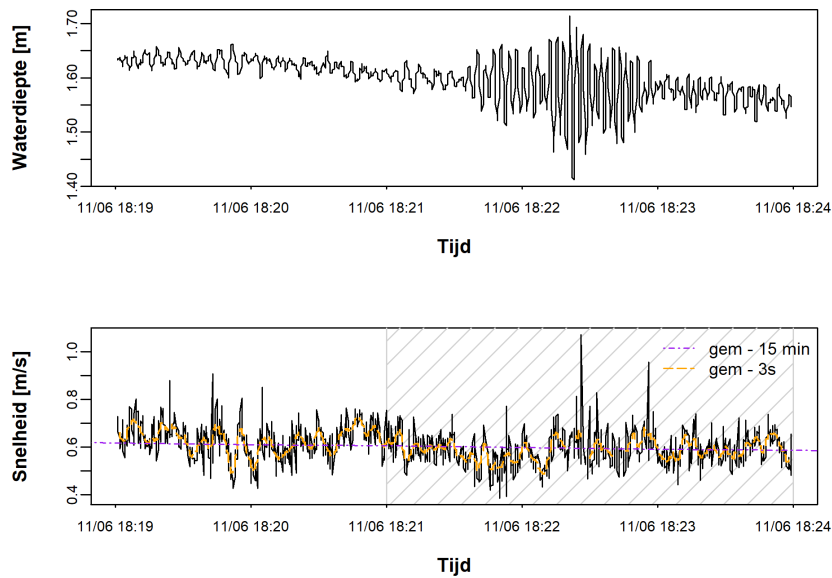
Figuur 58: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 33. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



Figuur 59: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 34. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



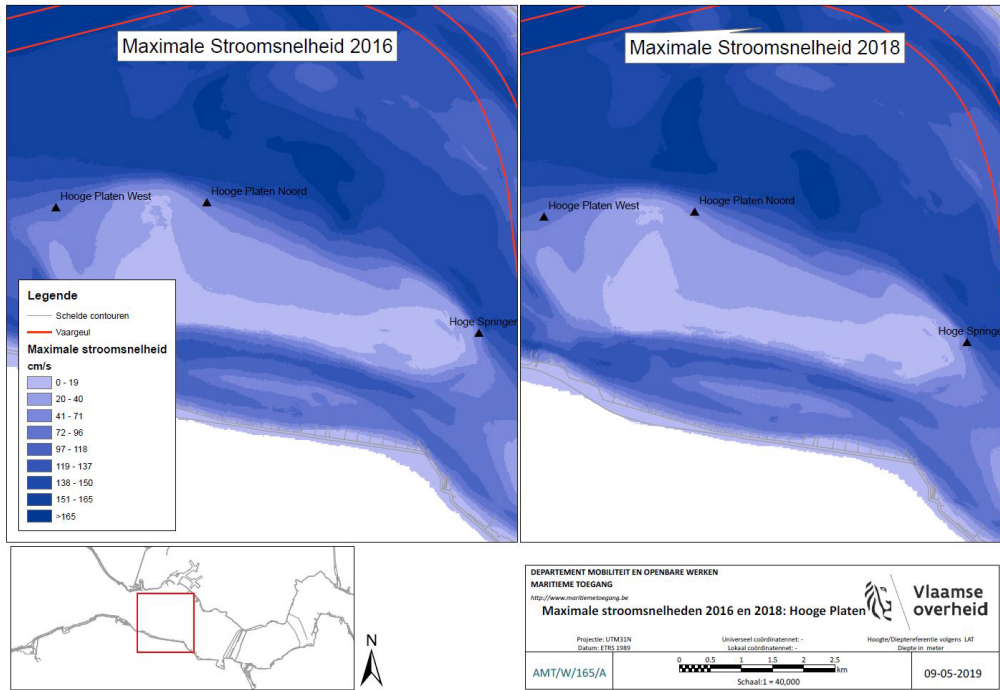
Figuur 60: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 35. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.



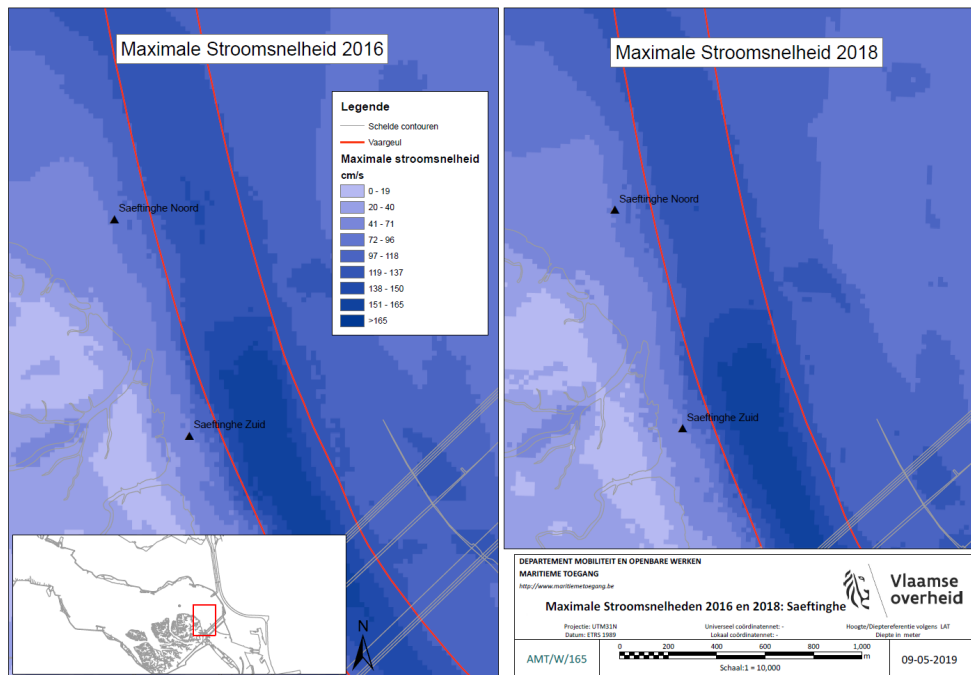
Figuur 61: Verloop van de waterdiepte (boven) en gemiddelde snelheid (onder) gemeten met neerwaarts gerichte Aquadopp bij event 36. De getijgemiddelde snelheid (15 min middeling) en instantane snelheid (3s middeling) zijn eveneens weergegeven.

Bijlage 2 Stroomsnelheden

Figuur 62: Maximale stroomsnelheden voor de Hooge Platen, zoals gebruikt voor de ecotopenkartering van de Westerschelde



Figuur 63: Maximale stroomsnelheden bij Saefinghe, zoals gebruikt voor de ecotopenkartering van de Westerschelde



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