



**Vlaanderen**  
is wetenschap



20\_060\_1  
WL rapporten

# Operationele voorspelling dwarsstromingen Platen van Ossenis

Deelrapport 1  
Predictie van dwarsstroming

DEPARTEMENT  
MOBILITEIT &  
OPENBARE  
WERKEN

[waterbouwkundiglaboratorium.be](http://waterbouwkundiglaboratorium.be)

# Operationele voorspelling dwarsstromingen Platen van Ossenisse

## Deelrapport 1 – Predictie van dwarsstroming

Plancke, Y.; Stark, J.; Mostaert, F.

#### Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

#### Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2021  
D/2021/3241/211

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

**Plancke, Y.; Stark, J.; Mostaert, F.** (2021). Operationele voorspelling dwarsstromingen Platen van Ossensisse: Deelrapport 1 – Predictie van dwarsstroming. Versie 4.0. WL Rapporten, 20\_060\_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

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

#### Documentidentificatie

|                    |                                                                                                |                |                 |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| Opdrachtgever:     | Gemeenschappelijke Nautische Autoriteit                                                        | Ref.:          | WL2021R20_060_1 |
| Trefwoorden (3-5): | Dwarsstroming, Schelde-estuarium, Platen van Ossensisse, voorspelling                          |                |                 |
| Kennisdomeinen:    | Hydraulica en sediment – Hydrodynamica – Getij - Literatuur- en desktoponderzoek               |                |                 |
| Tekst (p.):        | 17                                                                                             | Bijlagen (p.): | /               |
| Vertrouwelijk:     | <input checked="" type="checkbox"/> Nee <input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar |                |                 |

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

#### Controle

|                | Naam        | Handtekening                                                                                                                                      |
|----------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Revisor(en):   | Stark, J.   | Getekend door: Jeroen Stark (Signature)<br>Getekend op: 2021-08-25 10:04:26 +02:00<br>Reden: Ik keur dit document goed<br><br><i>Jeroen Stark</i> |
| Projectleider: | Plancke, Y. | Getekend door: Yves Plancke (Signature)<br>Getekend op: 2021-08-24 14:36:22 +02:00<br>Reden: Ik keur dit document goed<br><br><i>Yves Plancke</i> |

#### Goedkeuring

|                 |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Afdelingshoofd: | <b>Mostaert, F.</b><br>Voor het afdelingshoofd, afwezig<br>Patrik Peeters,<br>Ingenieur, belast met de leiding van de afdeling<br>Waterbouwkundig Laboratorium | Getekend door: Stefan Geerts (Signature)<br>Getekend op: 2021-08-26 10:36:37 +02:00<br>Reden: Ik keur dit document goed<br><br><i>Stefan Geerts</i> |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



## Abstract

In voorliggend rapport is een verkenning gebeurd naar de haalbaarheid van het vergroten van de voorspelhorizon voor het bijstellen van de waarschuwing van de dwarsstroming ter hoogte van de ooststrand van de Platen van Ossensisse. Momenteel wordt de astronomische voorspelling pas enkele uren voorafgaand aan het hoogwater bijgesteld met de voorspelde waterstanden. De operationele modellen hebben echter een voorspelhorizon tot 10 dagen vooruit. In het kader van de opmaak van de planning van de op- en afvarende zeevaart in het Schelde-estuarium, is een voorspelhorizon van 1 à 2 dagen gewenst.

Op basis van 2 periodes (één zonder, één met waarschuwing op basis van de astronomische voorspelling) is een voorspelling gemaakt van de te verwachten dwarsstroming. Deze voorspelling gebeurde aan de hand van de voorspelde waterstanden met het DCSM FM model, aangedreven door ECMWF meteo-condities. De uit voorspelde waterstanden afgeleide parameters (in casu het verval of de stijgsnelheid) werden op basis van relaties opgesteld in eerder onderzoek door Deltares, omgerekend naar een voorspelde sterkte van de dwarsstroming. Deze uit waterstandsvoorspelling afgeleide waarden werden vergeleken met de afgeleide dwarsstroming uit de waterstandsmetingen.

Uit deze verkenning is gebleken dat de variatie op de voorspelde dwarsstroming ten gevolge van de voorspelhorizon van eenzelfde grootteorde is als de afwijking tussen de astronomische voorspelling en operationele modelvoorspelling die expliciet rekening houdt met de meteo-condities. De afwijking tussen de uit de feitelijke metingen afgeleide dwarsstroming en de operationele modelvoorspelling is kleiner dan de afwijking tussen de uit de feitelijke metingen afgeleide dwarsstroming en de astronomische voorspelling als de voorspelde dwarsstroming op basis van het vervalcriterium wordt ingeschat. Op basis van de stijgsnelheid is het verschil tussen de astronomische voorspelling en de operationele modelvoorspelling kleiner. De stijgsnelheid geeft over het algemeen een betere overeenstemming tussen de voorspellingen en de waarnemingen. Er wordt voorgesteld deze nieuwe benadering verder te onderzoeken, door ze in de komende maanden mee op te nemen naast de reguliere methodiek.



# Inhoudstafel

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| Abstract .....                                                        | III |
| Inhoudstafel.....                                                     | V   |
| Lijst van de figuren .....                                            | VI  |
| 1    Introductie .....                                                | 1   |
| 1.1    Situering.....                                                 | 1   |
| 1.2    Doelstelling .....                                             | 1   |
| 2    Studiegebied .....                                               | 2   |
| 3    Dwarsstroming .....                                              | 3   |
| 3.1    Ontstaan van de neer .....                                     | 3   |
| 3.2    Voorspelling van dwarsstroming door RWS .....                  | 3   |
| 3.3    Analyse van de ADCP-stroommetingen.....                        | 4   |
| 4    Methodologie .....                                               | 5   |
| 4.1    Astronomische voorspelling .....                               | 5   |
| 4.2    Korte termijn model-voorspelling .....                         | 5   |
| 4.3    Omrekening naar dwarsstroming.....                             | 6   |
| 4.3.1    Vervalcriterium .....                                        | 7   |
| 4.3.2    Stijgsnelheid.....                                           | 8   |
| 5    Validatie voorspellingen .....                                   | 9   |
| 5.1    Niet-astronomische voorspelde periode (13-16 maart 2021) ..... | 10  |
| 5.2    Astronomische voorspelde periode (30-31 maart 2021) .....      | 12  |
| 6    Conclusies en aanbevelingen .....                                | 14  |
| 6.1    Conclusies .....                                               | 14  |
| 6.2    Aanbevelingen .....                                            | 14  |
| 7    Referenties .....                                                | 16  |

## Lijst van de figuren

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1 – Overzichtskaart van geulen en platen in het studiegebied.....                                                                 | 2  |
| Figuur 2 – Ligging gevaren ADCP-transecten.....                                                                                          | 4  |
| Figuur 3 – Bepaling van de sterkte van de dwarsstroming uit de gevaren ADCP-metingen.....                                                | 6  |
| Figuur 4 – Relatie tussen gemeten dwarsstroming en vervalcriterium: o.b.v. voorspelde (links) en gemeten (rechts) waterstanden .....     | 7  |
| Figuur 5 – Relatie tussen gemeten dwarsstroming en stijgsnelheid: o.b.v. voorspelde (links) en gemeten (rechts) waterstanden .....       | 8  |
| Figuur 6 – Gemeten windsnelheid en -richting te Hansweert .....                                                                          | 9  |
| Figuur 7 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 13-16 maart 2021 op basis van verval in relatie tot voorspelhorizon.....                | 11 |
| Figuur 8 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 13-16 maart 2021 op basis van stijgsnelheid in relatie tot voorspelhorizon.....         | 11 |
| Figuur 9 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 29 maart - 1 april 2021 op basis van verval in relatie tot voorspelhorizon.....         | 12 |
| Figuur 10 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 29 maart - 1 april 2021 op basis van stijgsnelheid in relatie tot voorspelhorizon..... | 13 |

# 1 Introductie

## 1.1 Situering

In navolging van de stranding van de Fowairet ter hoogte van de Platen van Ossenis in 2005 werden verschillende onderzoeken opgestart om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van dit ongeval. Er werden zowel stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd door Rijkswaterstaat (RWS) als numerieke modellen opgezet (Decrop *et al.*, 2009b) om de lokale stroompatronen nabij de oostrand van de Platen van Ossenis in beeld te brengen. Dit onderzoek toonde aan dat bij sterke springtijden (ook “giertij” genoemd) er ter hoogte van de rand van de vaargeul aan de oostzijde van de Platen van Ossenis een aanzienlijke stromingscomponent dwars op de vaargeul aanwezig kan zijn. De dwarsstroming wordt veroorzaakt door een grote neer die bij hoge (spring)tijden aanwezig is in dit gebied. In de afgelopen jaren werden verschillende onderzoeken naar morfologische ingrepen uitgevoerd om deze dwarsstroming in sterkte te reduceren (Deltares *et al.*, 2013 en Stark *et al.*, 2020). Echter, de verschillende oplossingen bleken maar een beperkte invloed te hebben op de dwarsstroming, waarbij ook de veranderende topo-bathymetrie het potentieel effect van de verschillende maatregelen beïnvloedt.

Om de veilige scheepvaart te garanderen wordt jaarlijks door Rijkswaterstaat een voormelding gemaakt (Rijkswaterstaat, 2020), waarbij op basis van de astronomisch voorspelde waterstanden en het vervalcriterium een inschatting wordt gemaakt wanneer zich “matige” en “sterke” dwarsstromingen kunnen voordoen. Door meteorologische omstandigheden kunnen de werkelijke condities afwijken van de astronomische voorspelde situatie, waardoor momenten in de voormelding kunnen wijzigen (zowel toename als afname in sterkte van de voorspelde dwarsstroming), alsook niet in de voormelding aanwezige momenten kunnen optreden met “matige” of “sterke” dwarsstroming. Aangezien deze aanpassingen momenteel minder dan één dag (veelal enkele uren) op voorhand worden gemeld, kan dit voor problemen zorgen op vlak van de planning voor de op- en afvarende schepen.

## 1.2 Doelstelling

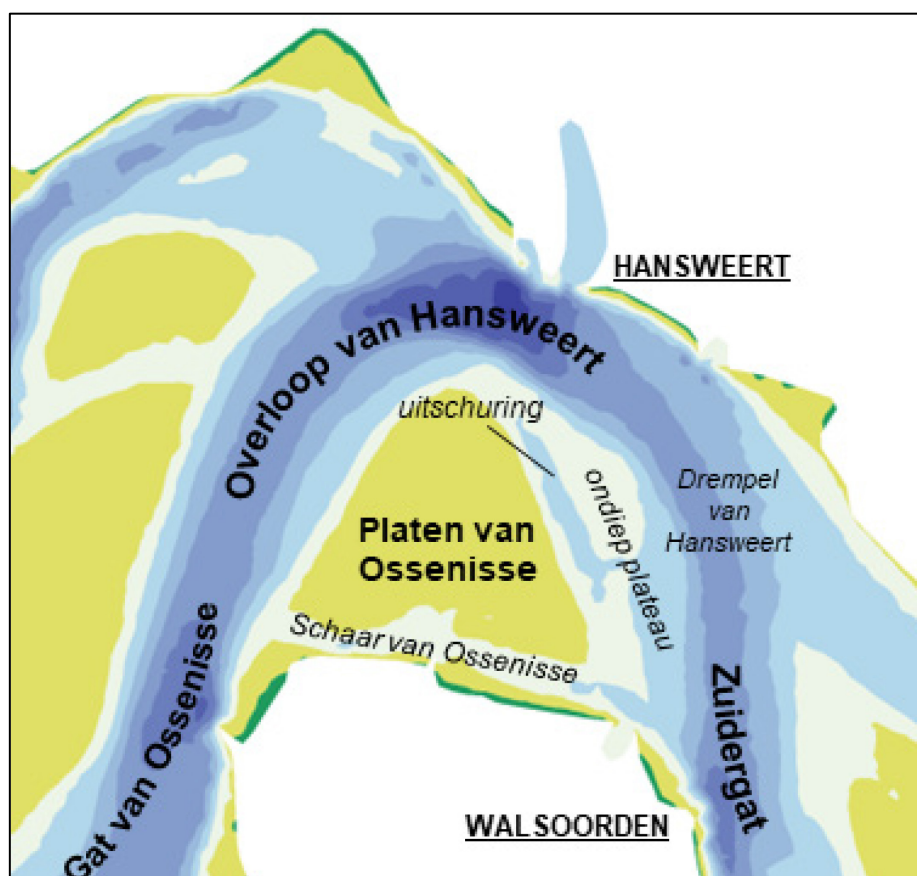
Dit rapport heeft als doel om op basis van een aantal periodes in 2021 de inzetbaarheid van numerieke voorspelmodellen te onderzoeken inzake de aanpassing van de voormelding op termijn van meerdere dagen vooraf aan het moment van dwarsstroming. Dit zou toelaten in de planning van de op- en afvarende schepen beter rekening te houden met de voorspellingen van dwarsstroming op basis van de astronomische getijcondities in combinatie met de heersende meteorologische condities. Binnen voorliggend rapport wordt voor 2 cases een vergelijking gemaakt tussen voorspelde dwarsstroming op basis van (1) de voormelding op basis van de astronomische voorspellingen, (2) de korte termijn (2-10 dagen) voorspellingen rekening houdend met meteorologische condities, (3) de zeer korte termijn (3u-48u) voorspellingen rekening houdend met meteorologische condities als (4) de gemeten opgetreden waterstanden.



## 2 Studiegebied

De dwarsstroming doet zich voor ter hoogte van de vaargeul nabij de drempel van Hansweert, grenzend aan de oostrand van de Platen van Ossensisse. Vanuit de Overloop van Hansweert plant de getijgolf zich in noordoostelijke richting voort naar Hansweert waar ze afbuigt in zuidoostelijke richting naar Walsoorden en het Zuidergat. Gedurende een groot deel van de getijcyclus vormen de Platen van Ossensisse een barrière waar het water rond moet stromen, slechts in de periode rond hoogwater worden deze platen overstroomd en kan het water vanuit de Overloop van Hansweert naar het Zuidergat stromen over de platen (Figuur 1).

Ten oosten van de Platen van Ossensisse bevindt zich een ondiepte die zich over de laatste decennia heeft ontwikkeld. Dit plateau heeft op basis van recente bathymetrische gegevens (i.e., vaklodingen) uit 2018 een hoogteligging van om en nabij -7 m NAP in het zuidoostelijk deel van de ondiepte tot -4 m NAP op het noordelijk deel. In het meest noordelijk deel manifesteert zich een nieuwe plaat, waarbij een geul ('uitschuring' op Figuur 1) zich vormt tussen deze plaat en de Platen van Ossensisse. Ten zuiden van de plaat bevindt zich een ondiepe geul (Schaar van Ossensisse). Het is op dit ondiepe plateau dat een depressie ontstaat die de aanleiding vormt voor de vorming van de neer die dwarsstromingen in de vaargeul kan veroorzaken (Plancke *et al.*, 2020).



Figuur 1 – Overzichtskartaal van geulen en platen in het studiegebied.

## 3 Dwarsstroming

Naar aanleiding van de stranding van de Fowairet ter hoogte van de Platen van Ossensisse in 2005, werden specifieke onderzoeken opgestart om meer inzicht te krijgen in de oorzaak van dit ongeval. Er werden zowel stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd (RWS) als numerieke modellen opgezet (e.g. Decrop *et al.*, 2009a; Stark *et al.*, 2020b) om meer inzicht te krijgen in de lokale stroompatronen nabij de oostrand van de Platen van Ossensisse. Door Deltares (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) werd een uitgebreide analyse uitgevoerd van de beschikbare ADCP-metingen van RWS. Daarnaast wordt door RWS op basis van de voorspelde waterstanden, een voorspelling gemaakt voor de optredende dwarsstromingen.

### 3.1 Ontstaan van de neer

In bovengenoemde studies werd de vorming van de neer bij de Platen van Ossensisse al uitvoerig beschreven. De grote neer op de Platen van Ossensisse ontstaat in de late vloedfase van hoge (spring)tijden. De Platen van Ossensisse (en het ondiepe plateau ten oosten van de plaat) bevinden zich in de binnenbocht van de vaargeul (Figuur 1) en kennen door verschillen in waterdiepte en bodemwrijving een langzamere waterstandsstijging dan de vaargeul. De waterstanden stijgen het langzaamst op het noordelijk deel van het ondiepe plateau, welke in de luwte ligt van het hoogste deel van de plaat. De waterstandsgradiënt die dientengevolge ontstaat tussen het zuidelijk deel van de plaat (i.e., inclusief de Schaar van Ossensisse) en het noordelijk deel van het ondiep plateau zorgt voor een noordwaartse tegenstroom over het ondiepe plateau. Daarnaast zorgt het verschil in traagheid tussen de vloedstroom in de vaargeul en de vloedstroom over de ondiepte er na de kentering ook voor dat de eb op het ondiepe plateau eerder gepaard gaat met zeewaarts gerichte stroming dan in de vaargeul zelf. Als de twee tegengestelde stromingen (i.e., zuidwaarts in de vaargeul en noordwaarts op het ondiep plateau) de waterstandsdepressie op het plateau omsluiten zorgen drukgradiënten voor een afbuiging van de twee stromingen en ontstaat er een neer. Deze wordt gekenmerkt door een lokale waterstandsdepressie en een circulair stromingsveld (i.e., met de klok mee) rondom deze depressie. Nadat de neer boven de ondiepte is gevormd kan deze zich onder invloed van de vloedstroming in de vaargeul nog enkele kilometers richting de vaargeul en landinwaarts verplaatsen. Als de stroomrichting in de vaargeul tijdens eb omkeert beweegt de neer zich juist stroomafwaarts. Vervolgens neemt de neer snel in intensiteit af omdat er geen sprake meer is van tegengestelde stroomrichtingen.

### 3.2 Voorspelling van dwarsstroming door RWS

Rijkswaterstaat gebruikt het vervalcriterium waarbij op basis van astronomische voorspellingen een inschatting wordt gemaakt van het voorkomen van “matige” en “sterke” dwarsstromingen. Het criterium dat RWS hanteert is gebaseerd op het voorspelde maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert tijdens de vloedfase voorafgaand aan het hoogwater te Hansweert (Rijkswaterstaat, 2020). Als dit verhang groter is dan 0,80 m wordt een waarschuwing voor een “sterke” dwarsstroming van > 3,5 mph in het Zuidergat gegeven. Als het maximale verhang tussen Terneuzen en Hansweert tussen 0,75 m en 0,80 m blijft, wordt een waarschuwing gegeven voor een “matige” dwarsstroom van < 3,5 mph in het Zuidergat.

Naast de waarschuwing op basis van de astronomische voorspelling, wordt deze “herzien” op basis van de waterstandsvoorspellingen (HMC). Hierbij wordt enkele (2 à 3) uren voorafgaand aan het optredende hoogwater een bijgestelde waarschuwing opgemaakt. Sinds mei 2012 wordt een maximaal verhang tussen Terneuzen en Hansweert tussen 90 en 95 cm als ‘matig’ beoordeeld, een verhang groter dan 95 cm als ‘sterk’. Tevens wordt ook een hoogwatercriterium gehanteerd (andere grenswaarden wanneer HW Hansweert > 335 cm NAP, zie (van Weerdenburg & van der Werf, 2019)). Merk hierbij op dat de grenswaarden van de modelvoorspellingen afwijken van de grenswaarden bij de astronomische voorspellingen.

### 3.3 Analyse van de ADCP-stroommetingen

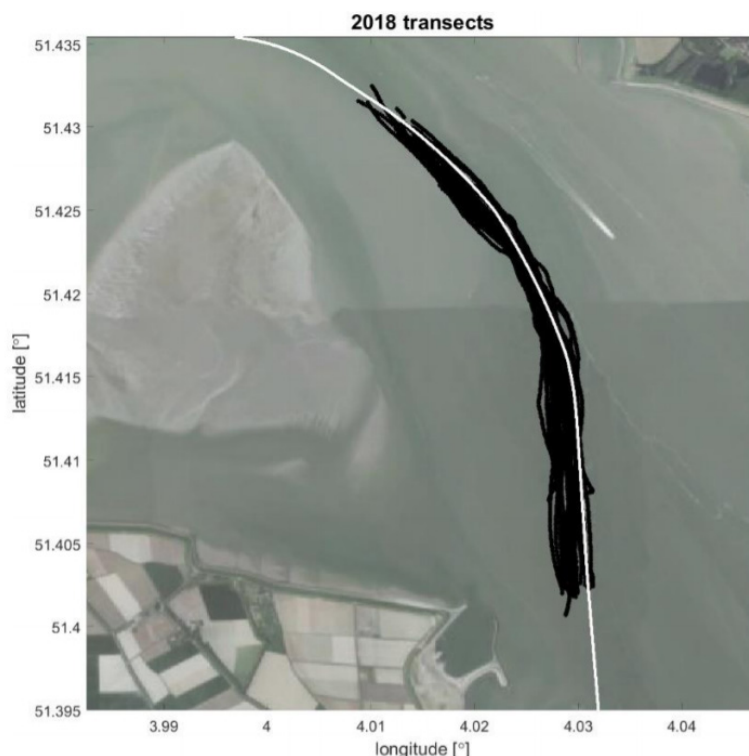
Deltares (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) voerde een uitgebreide analyse uit van de beschikbare stroommetingen in het studiegebied. Sinds 2005 worden er door Rijkswaterstaat varende stroommetingen (Figuur 2) uitgevoerd wanneer een sterke dwarsstroming voorspeld wordt op basis van het gehanteerde voorspelcriterium. Tot en met 2019 zijn er 160 meetcampagnes uitgevoerd waarbij de stroming gemeten werd met behulp van ADCP. Telkens wordt een raai langs de groene boeienzijde van de vaargeul nabij de oostrand van de Platen van Ossensisse meerdere keren gevaren en wordt een snelheidsprofiel onder het vaartuig gemeten. De stromingsdata verkregen tijdens de meetcampagnes werden door Deltares geanalyseerd. De studie had tot doel enerzijds het voorspelcriterium te evalueren en anderzijds om de fysica rondom het ontstaan en de ontwikkeling van de neer beter te begrijpen.

In de studie wordt de gemeten dwarsstroming vergeleken met enkele criteria op basis van de waterstanden (zowel gemeten als voorspeld):

- Vervalcriterium: maximale verval tussen de stations Terneuzen en Hansweert, vooraf aan het hoogwater te Hansweert
- Stijgsnelheid: maximale stijgsnelheid van de waterstand te Hansweert
- Criterium Decrop *et al.* (2010):  $cr = (1 + k_a(HWL - k_b)) \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) \geq 4 \text{ cm/min}$

waarin  $HWL$  het hoogwaterniveau bij Hansweert voorstelt,  $\frac{\partial h}{\partial t}$  is de maximale stijgsnelheid bij Hansweert en  $k_a$  [ $\text{m}^{-1}$ ] en  $k_b$  [ $\text{m}$ ] zijn kalibratieparameters die door Decrop *et al.* (2010) op 1,0 en 0,55 bepaald werden (i.e., mits waterstanden in m NAP worden uitgedrukt).

Uit de analyse blijkt dat de stijgsnelheid van de waterstand bij Hansweert een redelijke indicator is voor de sterkte van de neer. Voor de beschikbare dataset functioneert de maximale stijgsnelheid beter als indicator dan het vervalcriterium. Er moet echter ook rekening gehouden worden met de beperkte nauwkeurigheid van voorspellingen voor deze twee indicatoren met het huidige modelinstrumentarium. Bovendien bestaat de dataset van de meetcampagnes voornamelijk uit (zeer) hoge springtijden, waardoor de voorspellende waarde van de indicatoren voor andere getijcondities (i.e. doottij en gemiddeld getij) niet kon worden onderzocht.



Figuur 2 – Ligging gevaren ADCP-transecten [bron: (van Weerdenburg & van der Werf, 2019)]

## 4 Methodologie

Binnen voorliggende worden verschillende methodes onderling vergeleken inzake de voorspelkracht naar de dwarsstroming:

1. Voormelding op basis van de astronomische voorspellingen (zie §4.1)
2. Korte termijn (2-10 dagen) voorspellingen rekening houdend met meteorologische condities (zie §4.2)
3. Zeer korte termijn (3-48u) voorspellingen rekening houdend met meteorologische condities (zie §4.2)
4. Gemeten opgetreden waterstanden (data gedownload van [www.waterinfo.be](http://www.waterinfo.be))

Aangezien de voormelding gebaseerd is op basis van het vervalcriterium, doch de analyse door Deltares concludeert dat de stijgsnelheid een betere overeenstemming geeft als voorspellingsparameter voor de gemeten dwarsstroming, zullen beide parameters beschouwd worden in de vergelijking. Om de vergelijking op een uniforme manier mogelijk te maken, zullen de waterstandsparementers op basis van de analyses van Deltares worden omgerekend tot een dwarsstroming (zie §4.3).

### 4.1 Astronomische voorspelling

Op basis van gemeten waterstanden op een bepaalde locatie, kunnen de harmonische componenten afgeleid worden die op hun beurt gebruikt worden om een voorspelling te doen van de waterstanden op deze locatie. Voor Terneuzen en Hansweert gebeuren dergelijke voorspellingen door RWS, waarbij gebruik gemaakt wordt van TIDEMAT<sup>1</sup>, een verzameling Matlab scripts die door Rijkswaterstaat zijn ontwikkeld voor de harmonische analyse van metingen (Alkyon, 2004).

### 4.2 Korte termijn model-voorspelling

In het kader van de veiligheid tegen overstromingen worden continu door de Nederlandse (HMC Zeeland) en de Vlaamse (MOW-HIC) overheden operationele voorspellingen van de waterstanden opgemaakt. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een modeltrein, waarbij waterstanden gemodelleerd worden op een verschillende ruimtelijke resolutie gaande van eerder grof voor de Noordzee (Continental Shelf Model [CSM]) tot fijner voor het zuidelijke deel van de Noordzee (ZuNo) (RWS-WVL & Deltares, 2017) en meer gedetailleerd voor het Schelde-estuarium (Kustzuid (RWS-WVL & Deltares, 2016) en NeVla). Door de voorspelde meteorologische condities op te leggen als randvoorwaarde in combinatie met de astronomisch voorspelde waterstanden, is een voorspelling mogelijk van de optredende waterstanden over een tijdshorizon tot maximaal 10 dagen vooruit. Gelet op de onzekerheden rond de meteorologische condities – naast modelonzekerheden – , zal de nauwkeurigheid van de voorspellingen afnemen bij een langere voorspelhorizon.

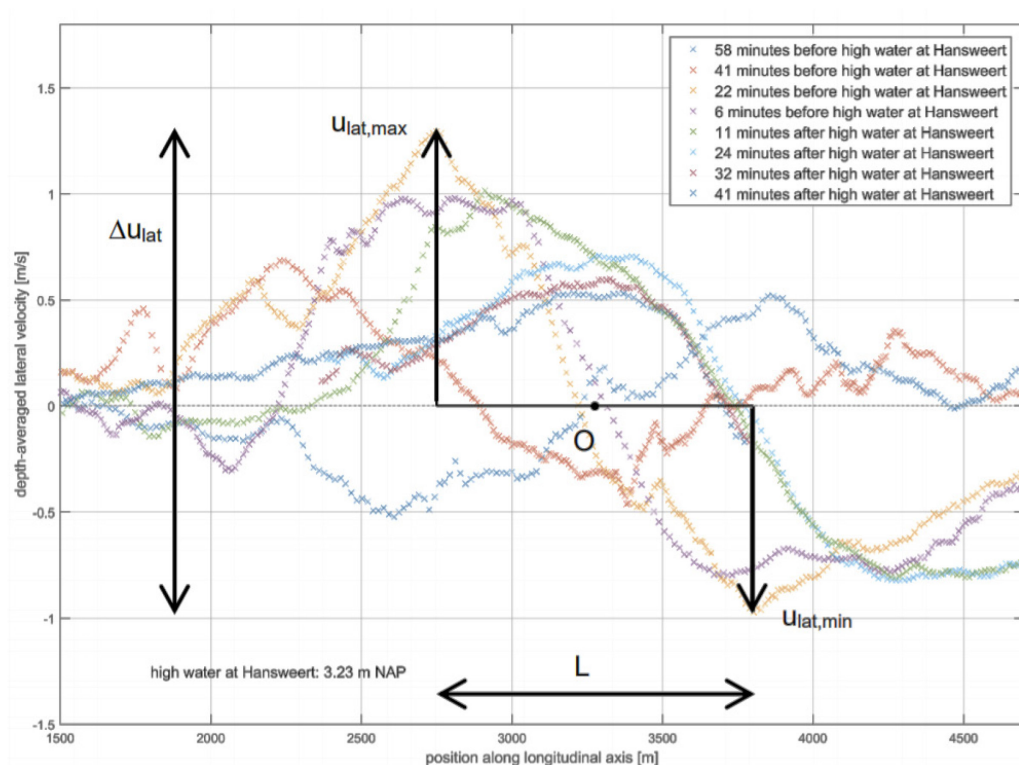
Verschillende modellen worden ingezet voor de operationele voorspellingen. Door (van Weerdenburg, 2020) werd een analyse uitgevoerd voor diverse modellen (IMPLIC, ScalWest Fijn, ZUNO, DCSMV6) die door het HMC worden gebruikt. In het kader van het huidige onderzoek wordt echter gebruik gemaakt van het operationeel voorspelmodel DCSM FM met ECMWF meteo-condities, dat binnen het HIC beschikbaar is met een voorspelhorizon van 10 dagen.

---

<sup>1</sup> Er zou sinds 2020 een andere methodiek gebruikt worden voor het voorspellen van de waterstanden. De details van de methode ontbreken momenteel.

### 4.3 Omrekening naar dwarsstroming

In (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) is een uitgebreide analyse uitgevoerd van de ADCP-metingen uitgevoerd door RWS op het moment van voorspelde ‘sterke’ dwarsstroming. Voor elke metingen werden een aantal karakteristieken bepaalde van de dwarsstroming, zoals de sterkte, de positie en de grootte van de neer. Voor voorliggend onderzoek is met name het snelheidsverschil in dwarsstromingscomponent dat optreedt in de neer van belang ( $\Delta U_{lat}$  in Figuur 3). Deze karakteristiek werd afgeleid voor alle (160 campagnes over de periode 2005-2019) uitgevoerde meetcampagnes. Vervolgens werd deze karakteristiek, die een maat is voor de sterkte van de dwarsstroming, gerelateerd aan verschillende waterstandskarakteristieken (zie volgende paragrafen).



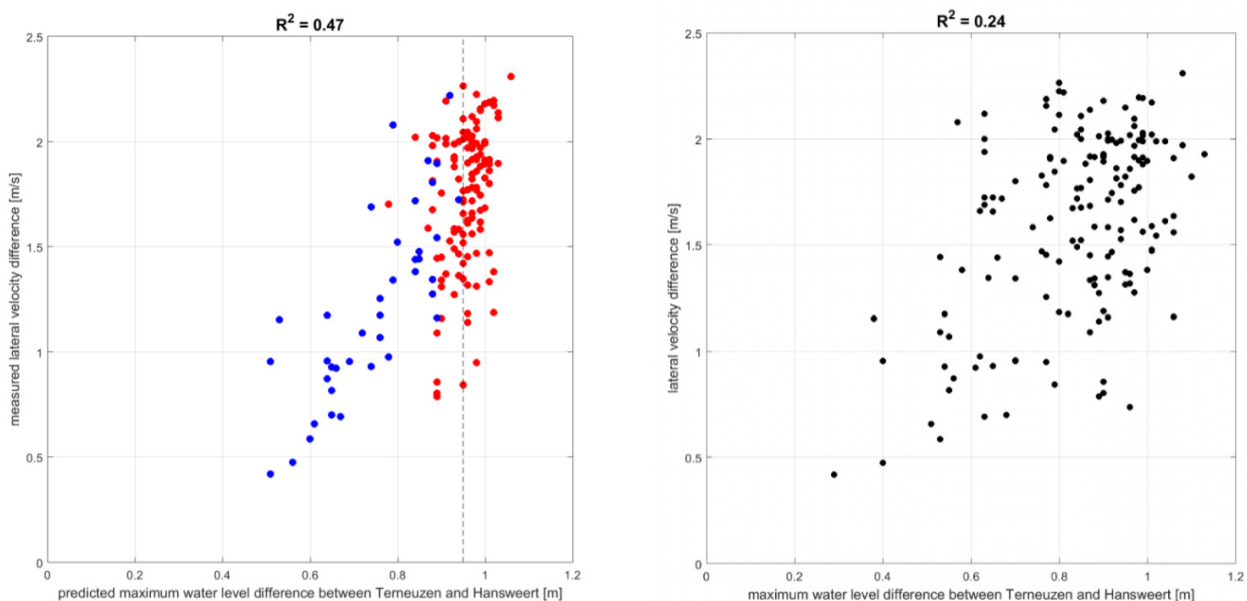
Figuur 3 – Bepaling van de sterkte van de dwarsstroming uit de gevaren ADCP-metingen  
[bron: (van Weerdenburg & van der Werf, 2019)]

#### 4.3.1 Vervalcriterium

Het vertrekpunt voor de huidige waarschuwingen is het maximale waterstandsval tussen Terneuzen en Hansweert. Deze parameter werd door (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) bepaald voor de getijden waarvoor een stroommeting beschikbaar is. Hierbij werd zowel gekeken naar de voorspelde waterstanden, als de gemeten waterstanden. Een correlatie werd opgesteld tussen het voorspelde/gemeten maximale waterstandsval tussen Terneuzen en Hansweert ( $\Delta h$ , [cm]) en de sterkte van de dwarsstroming ( $\Delta U_{lat}$ ). Beide relaties zijn weergegeven in Figuur 4. Op basis van de gegevens verkregen van Deltares, werden volgende relaties bekomen<sup>2</sup>:

- Voorspelde waterstanden:  $\Delta U_{lat} = 1,07E-3 \cdot [\Delta h]^{1,62}$   $R^2 = 0,54$
- Gemeten waterstanden:  $\Delta U_{lat} = 4.29E-2 \cdot [\Delta h]^{0,81}$   $R^2 = 0,31$

Aangezien de in dit onderzoek ingezette voorspelmodellen verschillen met deze gebruikt in de analyse van Deltares, zal de relatie niet 1 op 1 overgenomen kunnen worden. Na toepassing van bovenstaande correlatie bleek de voorspelling uit het DCSM FM model met ECMWF meteo-condities systematisch hoger te liggen dan de uit waterstandsmetingen afgeleide dwarsstroming. Om deze onderling beter te kunnen vergelijken werd een extra correctie toegepast, afgeleid uit de afwijking voor onderstaande beschouwde periodes van telkens 4 hoogwaters (factor = 1,42). Wanneer deze methodiek in de praktijk zou worden toegepast, is het noodzakelijk de analyse zoals uitgevoerd in (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) uit te voeren voor de voorspelde waterstanden uit het DCSM FM model met ECMWF meteo-condities.



Figuur 4 – Relatie tussen gemeten dwarsstroming en vervalcriterium: o.b.v. voorspelde (links) en gemeten (rechts) waterstanden [bron: (van Weerdenburg & van der Werf, 2019)]

<sup>2</sup> De  $R^2$  in de figuur betreffen waarden voor een lineaire relatie. Hier is gekozen voor een macht-relatie, waardoor de  $R^2$  afwijkt.

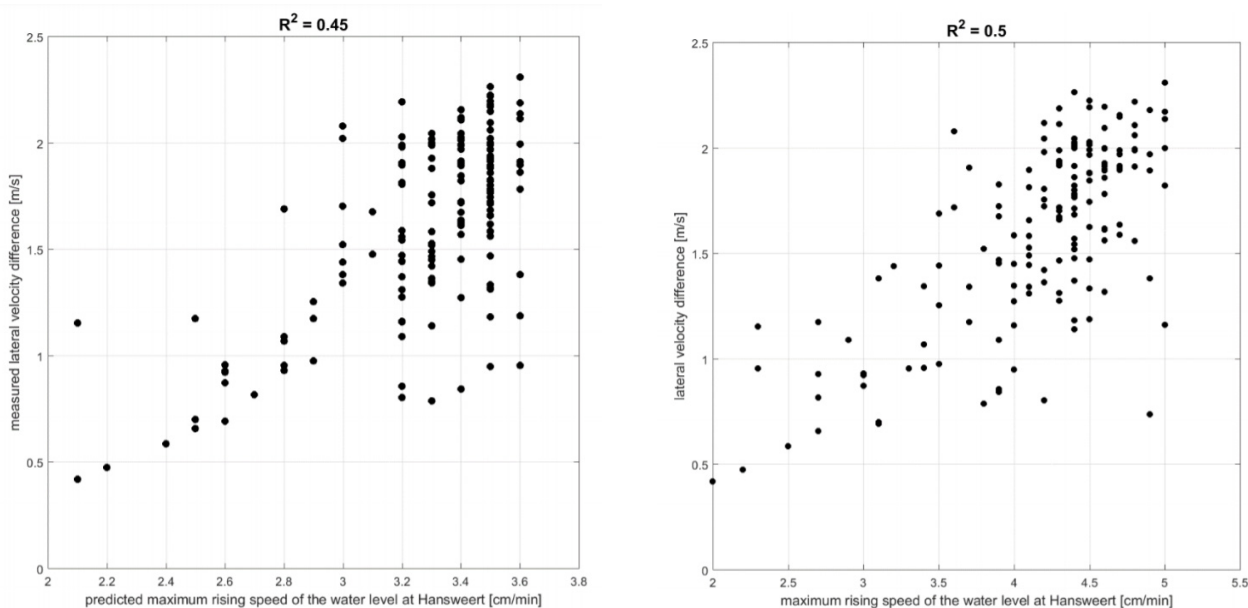


### 4.3.2 Stijgsnelheid

Naast het vervalcriterium, blijkt de stijgsnelheid van de waterstand in Hansweert een betere parameter te zijn voor het voorspellen van de sterkte van de dwarsstroming. Ook deze parameter werd door (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) bepaald voor de getijden waarvoor een stroommeting beschikbaar is. Hierbij werd zowel gekeken naar de voorspelde waterstanden, als de gemeten waterstanden. Een correlatie werd opgesteld tussen de voorspelde/gemeten stijgsnelheid van de waterstand in Hansweert ( $dh/dt$ , [cm/min]) en de sterkte van de dwarsstroming ( $\Delta U_{lat}$ ). Beide relaties zijn weergegeven in Figuur 5. Op basis van de gegevens verkregen van Deltares, werden volgende relaties bekomen<sup>3</sup>:

- Voorspelde waterstanden:  $\Delta U_{lat} = 1,14E-1 \cdot [dh/dt]^{2,21}$   $R^2 = 0,52$
- Gemeten waterstanden:  $\Delta U_{lat} = 2,14E-1 \cdot [dh/dt]^{1,40}$   $R^2 = 0,55$

Aangezien de in dit onderzoek ingezette voorspelmodellen verschillen met deze gebruikt in de analyse van Deltares, zal de relatie niet 1 op 1 overgenomen kunnen worden. Na toepassing van bovenstaande correlatie bleek de voorspelling uit het DCSM FM model met ECMWF meteo-condities systematisch hoger te liggen dan de uit waterstandsmetingen afgeleide dwarsstroming. Om deze onderling beter te kunnen vergelijken werd een extra correctie toegepast, afgeleid uit de afwijking voor onderstaande beschouwde periodes van telkens 4 hoogwaters (factor = 1,61). Wanneer deze methodiek in de praktijk zou worden toegepast, is het noodzakelijk de analyse zoals uitgevoerd in (van Weerdenburg & van der Werf, 2019) uit te voeren voor de voorspelde waterstanden uit het DCSM FM model met ECMWF meteo-condities.

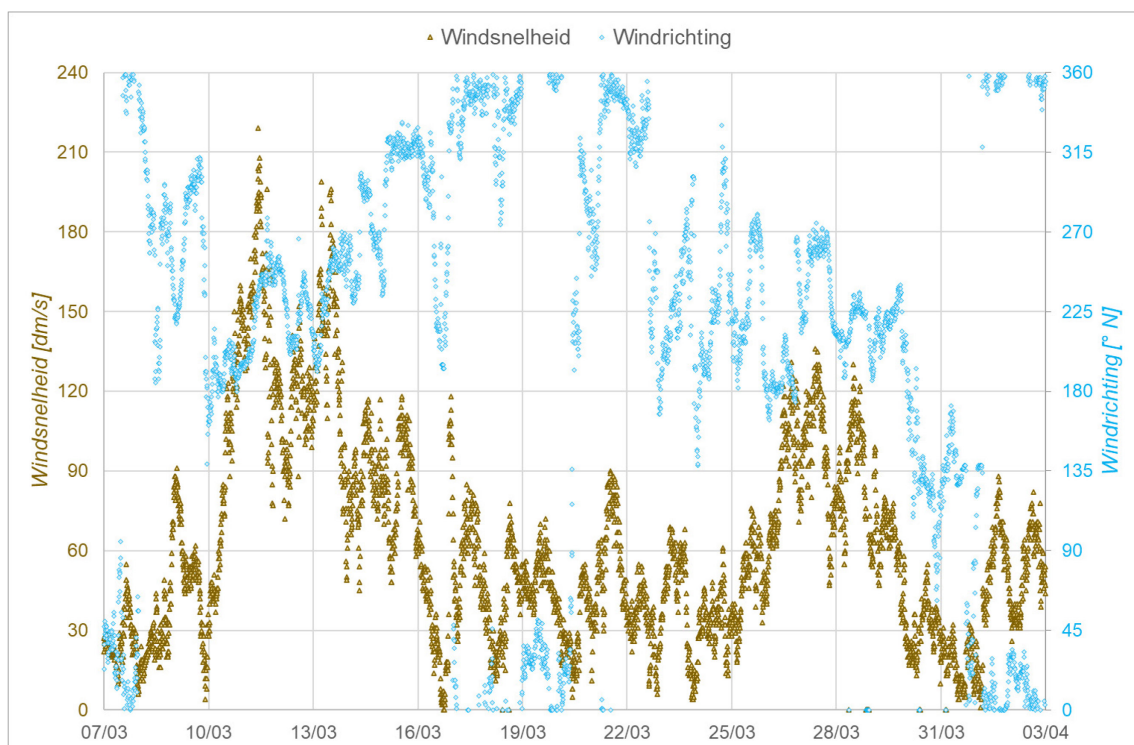


Figuur 5 – Relatie tussen gemeten dwarsstroming en stijgsnelheid: o.b.v. voorspelde (links) en gemeten (rechts) waterstanden [bron: (van Weerdenburg & van der Werf, 2019)]

<sup>3</sup> De  $R^2$  in de figuur betreffen waarden voor een lineaire relatie. Hier is gekozen voor een macht-relatie, waardoor de  $R^2$  afwijkt.

## 5 Validatie voorspellingen

Voor de validatie van de verschillende voorspellende methodes, is ervoor gekozen zowel een periode te weerhouden waar er geen voormelding van dwarsstroming van toepassing was, als een periode met een voormelding van matige dwarsstroming. De eerste periode betreft deze van 13 tot en met 16 maart 2021, waarbij het springtij samenviel met een vrij krachtige zuidwest – westen wind (Figuur 6) en er uiteindelijk op 13 maart 2021 een bijkomende waarschuwing werd uitgegeven door RWS-HMC<sup>4</sup>. De tweede periode betreft deze van 30 en 31 maart 2021, waarvoor een voormelding van een matige dwarsstroom is gedaan op basis van de astronomische voorspellingen.



Figuur 6 – Gemeten windsnelheid en -richting te Hansweert [bron: <https://waterberichtgeving.rws.nl/>]

<sup>4</sup> Mail d.d. zaterdag 13 maart 2021 13:05 - Waarschuwing Dwarsstroom Boei 53, met de mededeling: “Waarschuwing dwarsstroom boei 53 - za 13-mrt-21 15:09 tot 16:29 LT (matig > 2.5 M/h)”.



## 5.1 Niet-astronomische voorspelde periode (13-16 maart 2021)

Figuur 7 en Figuur 8 geven de voorspelde dwarsstroming weer op basis van enerzijds het verval en anderzijds de stijgsnelheid voor de periode 13 tot en met 16 maart 2021. Dit betreft een periode waarvoor op basis van de astronomische voorspellingen geen matige/sterke dwarsstroming verwacht werd.

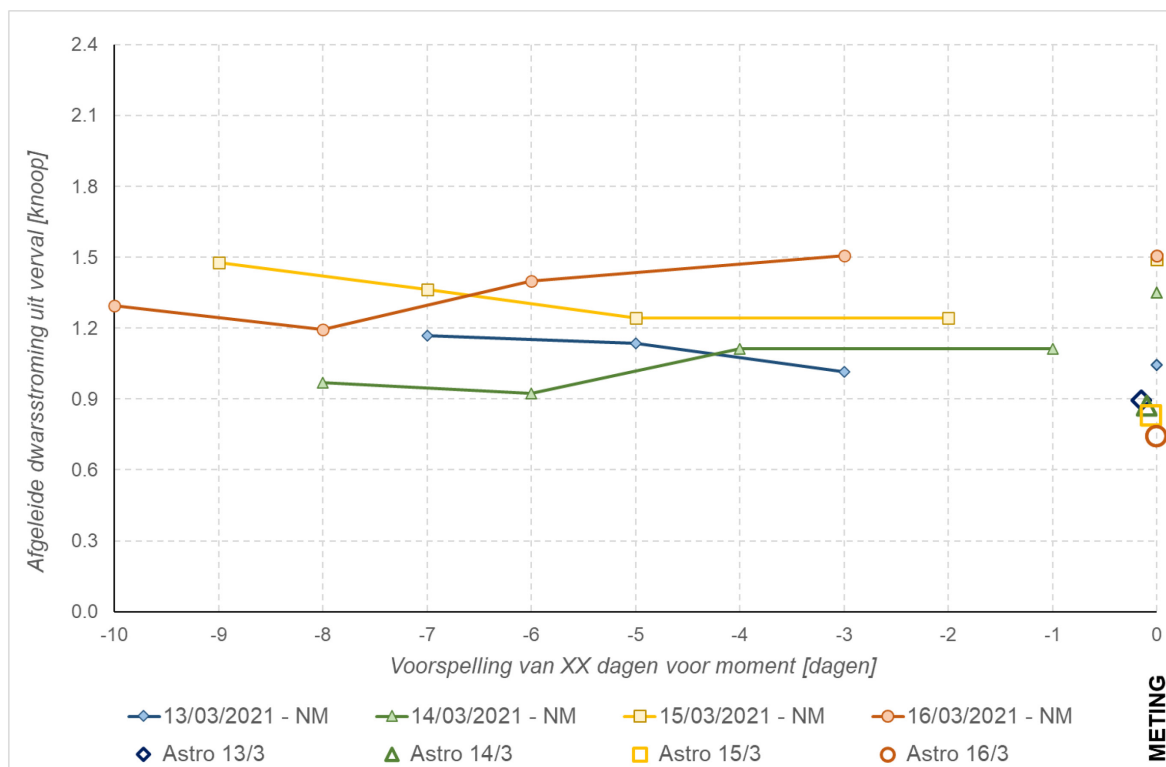
Op basis van het verval ligt de voorspelde sterkte van de dwarsstroming systematisch lager bij de astronomische voorspelling in vergelijking met het voorspelmodel en de metingen. Dit kan toegeschreven worden aan de wind gedurende deze periode (Figuur 6) die ervoor gezorgd heeft dat de optredende waterstanden afwijken van de astronomische voorspellingen. Op basis van de stijgsnelheid doet dit verschil zich niet systematisch voor, al treden er ook wel verschillen (zowel onder- (16/3) als overschatting (13/3) met ca. 0,3 kn) op tussen de astronomisch voorspelde en de uit de gemeten stijgsnelheden afgeleide dwarsstroming.

Wanneer de modelvoorspellingen van het verval vergeleken worden met de finaal gemeten waarde (Figuur 7), blijft de afwijking beperkt tot 0,3 kn. Het patroon doorheen de tijd (periode van 7 à 10 dagen voor het hoogwater) is echter verschillend tussen de verschillende hoogwaters:

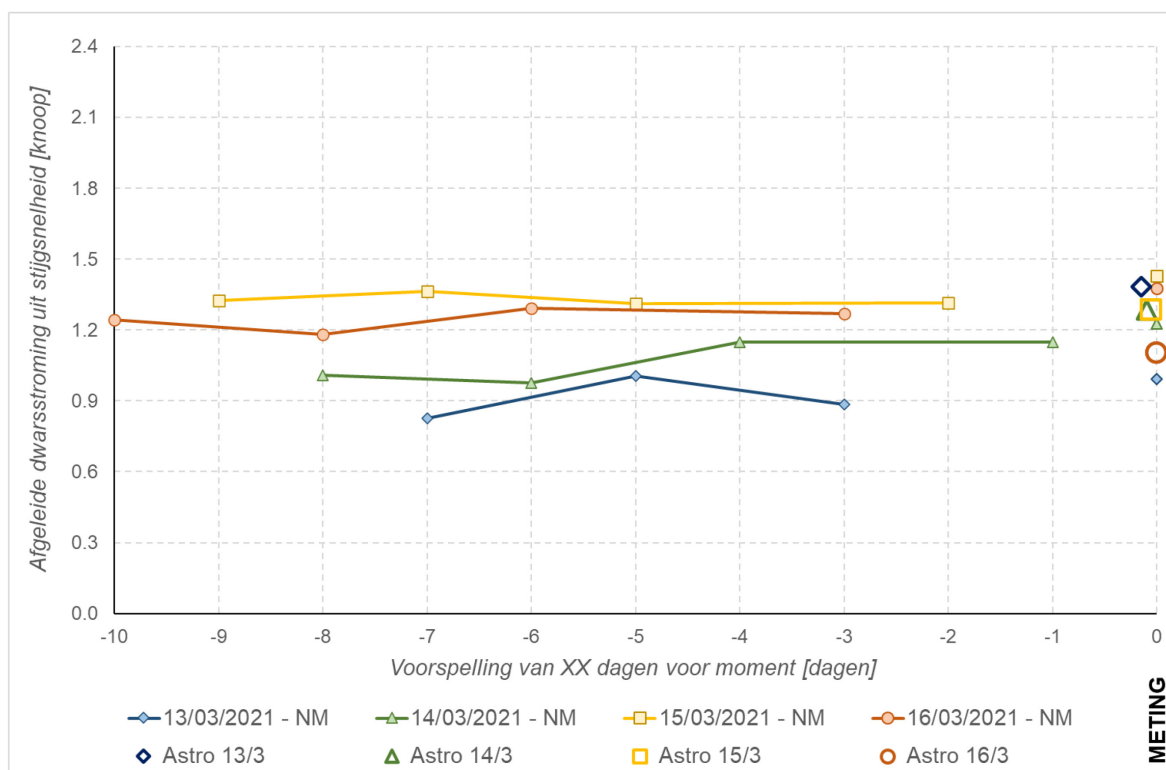
- Voor 13/3/2021 neemt de voorspelde dwarsstroming zeer beperkt ( $< 0,2$  kn) af tussen de voorspelling 7 dagen en 3 dagen vooraf. De uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde komt goed overeen met de voorspelde waarden, waarbij de afwijking tussen 7 en 3 dagen vooraf ten opzichte van de meting weinig verschilt.
- Voor 14/3/2021 neemt de voorspelde dwarsstroming beperkt ( $\sim 0,25$  kn) toe tussen de voorspelling 6 dagen en 4 dagen vooraf. De uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde ligt uiteindelijk iets ( $\sim 0,2$  kn) hoger dan de voorspelling 4 of 1 dag vooraf.
- Voor 15/3/2021 neemt de voorspelde dwarsstroming beperkt ( $\sim 0,25$  kn) af tussen de voorspelling 9 dagen en 5 dagen vooraf. De voorspelling 2 dagen vooraf blijft gelijk aan deze 5 dagen vooraf. De uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde ligt hoger dan de voorspelde waarde 2 dagen vooraf, maar is wel gelijkaardig aan de voorspelling 9 dagen vooraf.
- Voor 16/3/2021 neemt de voorspelde dwarsstroming beperkt ( $\sim 0,3$  kn) toe tussen de voorspelling 8 dagen en 3 dagen vooraf. De uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde komt goed overeen met de voorspelde waarde 3 dagen vooraf.

Wanneer de modelvoorspellingen van de stijgsnelheid vergeleken worden met de finaal gemeten waarde (Figuur 8), blijft de afwijking beperkt tot 0,1 kn. Het patroon doorheen de tijd (periode van 7 à 10 dagen voor het hoogwater) is echter verschillend tussen de verschillende hoogwaters:

- Voor 13/3/2021 varieert de voorspelde dwarsstroming zeer weinig ( $\sim 0,1$  kn); de uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde komt goed overeen met de voorspelde waarden.
- Voor 14/3/2021 neemt de voorspelde dwarsstroming beperkt ( $\sim 0,2$  kn) toe tussen de voorspelling 6 dagen en 4 dagen vooraf. De uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde ligt uiteindelijk iets ( $\sim 0,1$  kn) hoger dan de voorspelling 4 of 1 dag vooraf.
- Voor 15/3/2021 en 16/3/2021 varieert de voorspelde dwarsstroming zeer weinig ( $\sim 0,1$  kn); de uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde ligt uiteindelijk ietwat ( $\sim 0,1$  kn) hoger dan de voorspelde waarden.



Figuur 7 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 13-16 maart 2021 op basis van verval in relatie tot voorspelhorizon  
Aantal dagen < 0: DCSM FM-model | Aantal dagen = 0: meting | Holle markers: astro-voorspelling



Figuur 8 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 13-16 maart 2021 op basis van stijgsnelheid in relatie tot voorspelhorizon  
Aantal dagen < 0: DCSM FM-model | Aantal dagen = 0: meting | Holle markers: astro-voorspelling

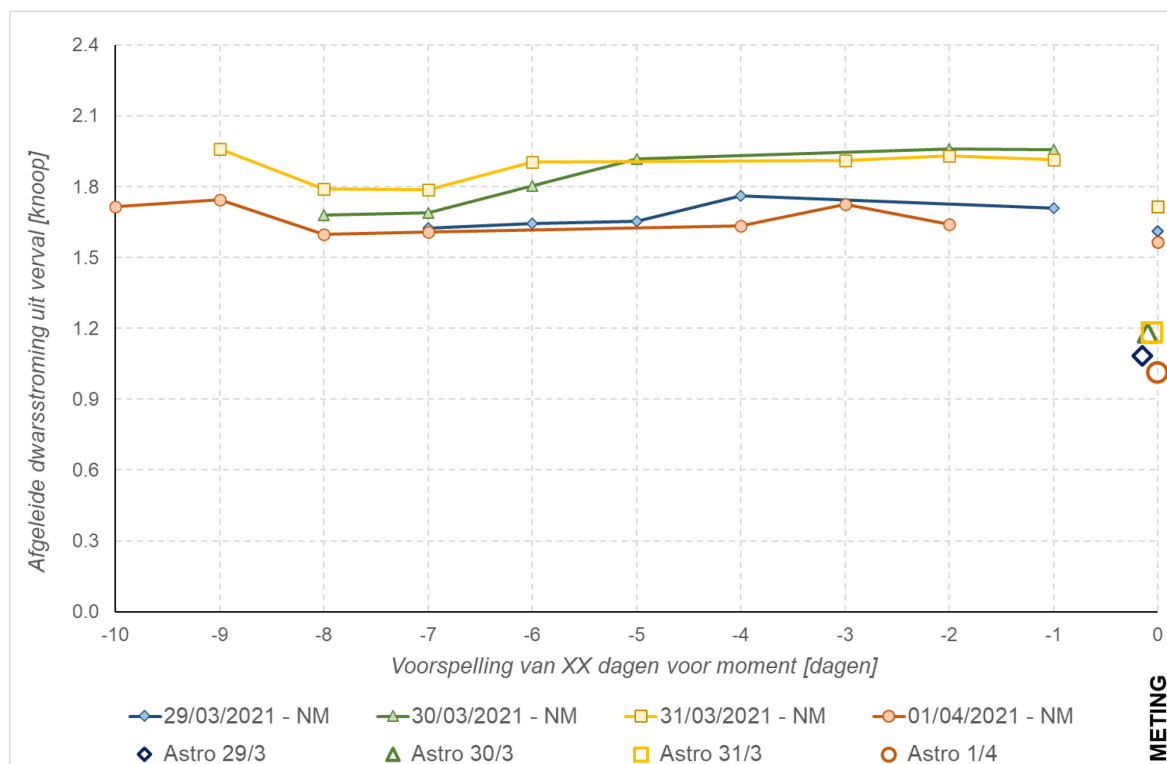
## 5.2 Astronomische voorspelde periode (30-31 maart 2021)

Figuur 9 en Figuur 10 geven de voorspelde dwarsstroming weer op basis van enerzijds het verval en de stijgsnelheid voor de periode 29 maart tot en met 1 april 2021. Dit betreft een periode waarvoor op basis van de astronomische voorspellingen een matige dwarsstroming verwacht werd.

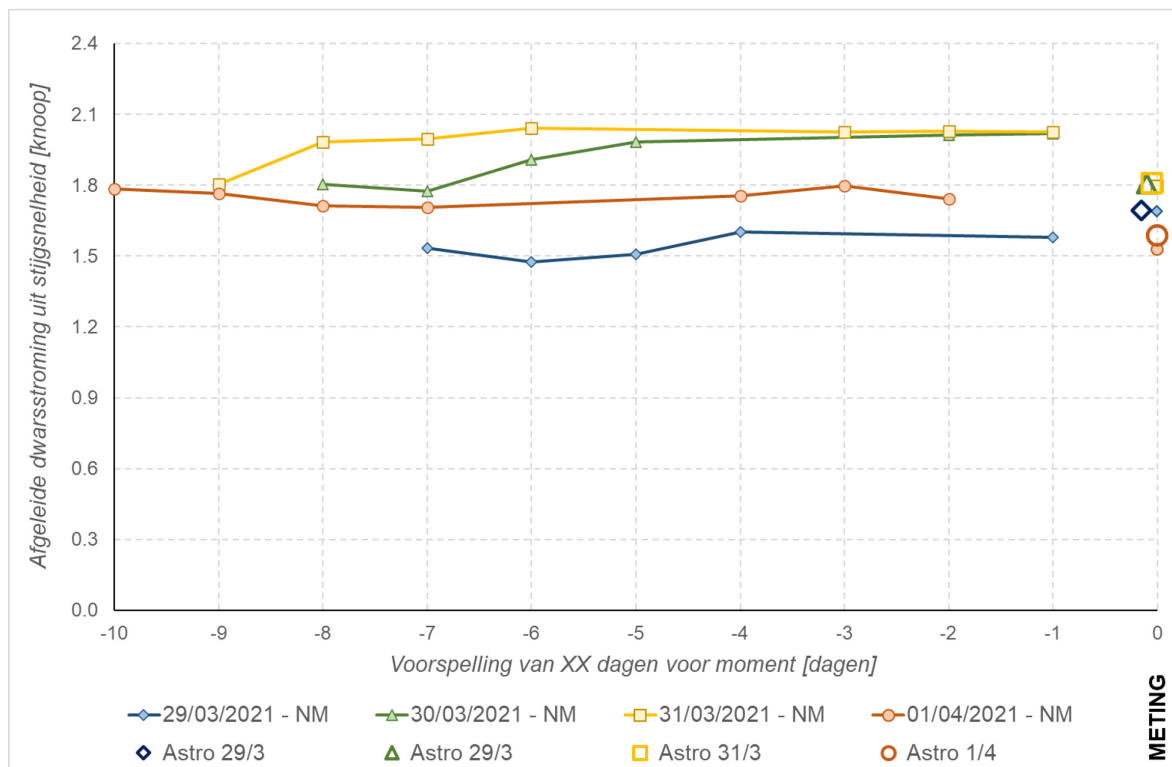
Opnieuw ligt de voorspelde sterkte van de dwarsstroming op basis van het verval systematisch lager bij de astronomische voorspelling in vergelijking met de voorspelmodel en de metingen. In tegenstelling tot de eerste periode, kan dit voor deze periode niet toegeschreven worden aan de wind (Figuur 6). Op basis van de stijgsnelheid doet dit verschil zich niet systematisch voor, en zijn de verschillen minimaal tussen de astronomisch voorspelde en de uit de gemeten stijgsnelheden afgeleide dwarsstroming.

Wanneer de modelvoorspellingen van het verval vergeleken worden met de uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde (Figuur 9), blijft de afwijking beperkt tot 0,25 kn. De variatie doorheen de tijd (periode van 7 à 10 dagen voor het hoogwater) is voor de verschillende hoogwaters zeer beperkt (< 0,15 kn). Dit kan toegeschreven worden aan de beperkte invloed van de wind in deze periode, in tegenstelling tot de periode 13-16 maart 2021 waar dit wel een rol speelt. Wel kan opgemerkt worden dat de voorspellingen voor de eerste 3 hoogwaters in deze periode, aanleiding geven tot een ietwat (0,15 kn) hogere voorspelde dwarsstroming in vergelijking met de uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde.

Wanneer de modelvoorspellingen van de stijgsnelheid vergeleken worden met de finaal uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde (Figuur 10), blijft de afwijking beperkt tot 0,2 kn. De variatie doorheen de tijd (periode van 7 à 10 dagen voor het hoogwater) is voor de verschillende hoogwaters zeer beperkt (< 0,2 kn). Dit kan toegeschreven worden aan de beperkte invloed van de wind in deze periode. Ook voor de stijgsnelheid kan opgemerkt worden dat de voorspellingen voor 3 van de 4 hoogwaters in deze periode, aanleiding geven tot een ietwat (0,2 kn) hogere voorspelde dwarsstroming in vergelijking met de uit de waterstandsmetingen afgeleide waarde.



Figuur 9 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 29 maart - 1 april 2021 op basis van verval in relatie tot voorspelhorizon  
Aantal dagen < 0: DCSM FM-model | Aantal dagen = 0: meting | Holle markers: astro-voorspelling



Figuur 10 – Voorspelde dwarsstroming voor periode 29 maart - 1 april 2021 op basis van stijgsnelheid in relatie tot voorspelhorizon  
Aantal dagen < 0: DCSM FM-model | Aantal dagen = 0: meting | Holle markers: astro-voorspelling

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

In voorliggend rapport is een verkenning gebeurd naar de haalbaarheid van het vergroten van de voorspelhorizon voor het bijstellen van de waarschuwing van de dwarsstroming ter hoogte van de oostrand van de Platen van Ossenis. Momenteel wordt de astronomische voorspelling pas enkele uren voorafgaand aan het hoogwater bijgesteld met de voorspelde waterstanden. De operationele modellen hebben echter een voorspelhorizon tot 10 dagen vooruit. In het kader van de opmaak van de planning van de op- en afvarende zeevaart in het Schelde-estuarium, is een voorspelhorizon van 1 à 2 dagen gewenst.

Uit deze verkenning is gebleken dat de variatie op de voorspelde dwarsstroming van eenzelfde grootteorde is als de afwijking tussen de astronomische voorspelling en operationele modelvoorspelling die expliciet rekening houdt met de meteo-condities. De variatie in de voorspelde dwarsstroming zal in belangrijke mate afhankelijk zijn van de variatie in meteo-condities. Bij 'stabiele' meteo-condities zullen de voorspellingen ook weinig verschillen. De afwijking tussen de uit de feitelijke metingen afgeleide dwarsstroming en de operationele modelvoorspelling is voor het vervalcriterium kleiner dan de afwijking tussen de uit de feitelijke metingen afgeleide dwarsstroming en de astronomische voorspelling. Op basis van de stijgsnelheid is het verschil tussen de astronomische voorspelling en de operationele modelvoorspelling kleiner. De stijgsnelheid geeft over het algemeen een betere overeenstemming tussen de voorspellingen en de waarnemingen, wat ook reeds door Deltares in haar eerdere studie was aangehaald.

Uit deze verkenning blijkt dat de variatie doorheen de tijd in de voorspelde dwarsstroming klein (grootteorde  $\sim 0,15$  kn, oftewel  $< 10\%$ ) is wanneer de wind beperkt blijft. Bij een sterkere invloed van de wind, wordt de variatie in de voorspelde dwarsstroming groter (grootteorde  $\sim 0,30$  kn, oftewel  $\sim 15\%$ ). Het verschil tussen een voorspelling 10 dagen vooraf en 2 dagen vooraf blijkt voor de 2 beschouwde periode eerder beperkt.

### 6.2 Aanbevelingen

Voorliggend onderzoek is uitgevoerd gebruik makend van het DCSM FM voorspelmodel op basis van de ECMWF meteogegevens. Om de inschatting te maken van de dwarsstroming is gebruik gemaakt van een relatie voor een ander voorspelmodel én een correctiefactor. Voor het DCSM FM voorspelmodel dient de analyse uitgevoerd worden waarbij de relatie opgemaakt wordt tussen de voorspelde waterstandsparameters (verval, stijgsnelheid) en de gemeten dwarsstroming.

Daarnaast is voorliggende verkenning uitgevoerd voor 2 periodes. Het verdient de aanbeveling deze verkenning uit te breiden naar meer periodes. Er kan gekozen worden om in de komende maanden deze methodologie (gebaseerd op voorspelde stijgsnelheid te Hansweert) operationeel toe te passen, samen met de reguliere werkwijze. Dit kan een bijkomend inzicht geven in de mogelijke periodes van matige/sterke dwarsstroming in de 2<sup>e</sup> helft van 2021, waar op basis van de astronomische voorspelling noch matig, noch sterke dwarsstroming is voorspeld.

De variatie in de resultaten van de voorspelmodellen hangt in belangrijke mate samen met de variabiliteit in de meteo-condities. De invloed van een wind (opzet/afwaai) op het verval en/of de stijgsnelheid en alzo op de hiervan afgeleide dwarsstroming, dient verder onderzocht te worden, momenteel is hiervan weinig bekend. De gevoeligheid van de voorspelde waterstanden en dwarsstroming voor variaties in windcondities dient verder onderzocht te worden door middel van een aantal hypothetische scenario's.

Een laatste aanbeveling is de noodzaak tot een gedegen onderbouwing van de waarschuwingsgrenzen. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de voorspelde dwarsstroming een gradueel verloop kent. Het is dan ook uitermate belangrijk om de sterkte van de dwarsstroming te relateren aan de nautische moeilijkheid. Hiervoor zouden vaarsimulaties kunnen plaatsvinden (auto-pilot of verschillende loodsen om het subjectieve karakter te beperken) voor verschillende stromingscondities en waarbij het vereiste roer-schroef-gebruik op het vaartraject wordt geregistreerd. Op basis hiervan kan een onderbouwing plaatsvinden van de waarschuwingsgrenzen.

## 7 Referenties

**Decrop, B.; De Clercq, B.; Vanlede, J.; Van Holland, G.; Ides, S.; Plancke, Y.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009). Dwarsstromingen Ossensisse-Zuidergat - Rapport numeriek modelonderzoek: Antwerp, Belgium. 115 pp.

**Decrop, B.; Vanlede, J.; De Clercq, B.; Sas, M.** (2010). Eddy-induced cross currents in the Westerschelde estuary: numerical simulation, physical driving mechanisms and navigation assistance. *Bull. Perm. Int. Assoc. Navig. Congr.* 138: 29–44

**Deltares** (2011). Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. User Manual. Version 3.15.

**IMDC; Deltares; Svasek; Arcadis.** (2013). Mitigatie dwarsstroming Zuidergat. LTV V&T - rapport B-25

**Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009). LTV O&M thema Veiligheid - Deelproject 1: Verbetering hydrodynamisch NeVla model ten behoeve van scenario-analyse. WL Rapporten, 756\_05. Flanders Hydraulics Research & Deltares: Antwerp, Belgium.

**Plancke, Y.; Stark, J.; Meire, D.; Schrijver, M.** (2020). Complex flow patterns in the Scheldt estuary: field measurements and validation of a hydrodynamic model. *Journal of Hydraulic Engineering*. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001737

**Smolders, S.; Maximova, T.; Vanlede, J.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Integraal Plan Bovenzeeschede: Subreport 1 – Scaldis: a 3D Hydrodynamic Model for the Scheldt Estuary. Version 5.0. WL Rapporten, 13\_131. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium.

**Stark, J.; Meire, P.; Temmerman, S.** (2017). Changing tidal hydrodynamics during different stages of eco-geomorphological development of a tidal marsh: A numerical modeling study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 188, 56–68. doi:10.1016/j.ecss.2017.02.014

**Stark, J.; Vandenbruwaene, W.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2019). Morfologie mesoschaal: Deelrapport 7 – Sedimentatie ter hoogte van drempels: validatie numeriek model. Versie 4.0. WL Rapporten, 14\_024\_7. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

**Stark, J.; De Maerschalck, B.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (in voorbereiding-a). Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: Deelrapport 3 – Modelleren van hydro- en morfodynamische processen in de Westerschelde met Telemac: Scenario's in het kader van gevoeligheidsanalyse numeriek model. Versie 1.0. WL Rapporten, 17\_088\_3. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

**Stark, J.; Smolders, S.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (in voorbereiding-b). Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: Deelrapport 8 – Additionele validatie complexe numerieke modellen: stroomsnelheidsmetingen Platen van Ossensisse maart 2018. Versie 1.0. WL Rapporten, 17\_088\_8. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

**Stark, J.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (in voorbereiding-c). AvdT – Sedimenttransport op verschillende tijdschalen: Deelrapport 15 – Additionele validatie complexe numerieke modellen: stroomsnelheidsmetingen Put van Hansweert - December 2018. Versie 1.0. WL Rapporten, 17\_088\_15. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.



**Vanlede, J.; De Clercq, B.; Decrop, B.; Ides, S.; van Holland, G.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009) Permanente verbetering modelinstrumentarium. Verbetering Randvoorwaardenmodel. Deelrapport 2: Afregeling van het 2D Scheldemodel. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC (I/RA/11313/09.012/BOB), Antwerpen, België.

**Vos, G.; Wouters, K.; Deleu, J.; Meire, D.; Plancke, Y.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2017). Agenda voor de toekomst – Stroming en sedimenttransport op de mesoschaal in het Schelde-estuarium: Deelrapport 1. Data-analyse sedimentdynamica ter hoogte van drempels. WL Rapporten, Antea Group, Antwerpen.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**  
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

**T** +32 (0)3 224 60 35

**F** +32 (0)3 224 60 36

[waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be](mailto:waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be)

[www.waterbouwkundiglaboratorium.be](http://www.waterbouwkundiglaboratorium.be)