



Vlaanderen
is wetenschap

19_019_1
WL rapporten

Sedimentatie Rechteroever Nieuwpoort

Deelrapport 1 – Desktop studie

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Sedimentatie Rechteroever Nieuwpoort

Deelrapport 1 – Desktop studie

Vanlede, J.; Schramkowski, G.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

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

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

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

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/227

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanlede, J.; Schramkowski, G.; Mostaert, F. (2019). Sedimentatie Rechteroever Nieuwpoort: Deelrapport 1 – Desktop studie. Versie 2.0. WL Rapporten, 19_019_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	MDK-aKust	Ref.:	WL2019R19_019_1
Keywords (3-5):	Nieuwpoort, CDW, sedimentatie		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s):	Vanlede, J.
------------	-------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Schramkowski, G.	George Schramkowski Digitaal ondertekend door George Schramkowski Datum: 2020.05.14 15:28:14 +02'00'
Projectleider:	Vanlede, J.	Getekend door: Joris Vanlede (Signature) Getekend op: 2020-05-20 15:13:46 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Joris Vanlede</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2020-05-14 14:58:29 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Dit rapport geeft een kort overzicht van de beschikbare kennis met betrekking tot sedimentatie in de havenbekkens in de haven van Nieuwpoort, en gaat in op de effectiviteit van CDW als maatregel om de sedimentatie van een nieuw havenbekken te beperken.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Het project Rechteroever	1
1.2 Onderzoeksvraag	1
2 Aanslibbing in het havenbekken	2
2.1 Inleiding	2
2.2 Aanslibbingsmechanismen	2
2.2.1 Getijdenvulling.....	2
2.2.2 Horizontale menglaag bij de haveningang	3
2.2.3 Dichtheidsgedreven stromingen	3
2.3 Current Deflecting Wall	4
2.4 Case studies van een CDW	5
2.4.1 Köhlfleet (Hamburg)	5
2.4.2 Parkhaven (Hamburg).....	6
2.4.3 Deurganckdok (Antwerpen)	6
2.5 Conclusies	6
3 Eerdere studies van de haven van Nieuwpoort	7
3.1 WL (2005)	7
3.2 GEMS & IMDC (2006)	8
3.2.1 13u metingen & Sedimentconcentratiemetingen.....	8
3.2.2 CTD metingen	10
3.2.3 Drijvermetingen.....	13
3.3 Arcadis (2015).....	14
3.3.1 Hydraulisch Model.....	14
3.3.2 Sedimenttransportmodel	16
4 Conclusies en Aanbevelingen	18
5 Referenties	19

Lijst van de figuren

Figuur 1 – het bijkomende dok dat is voorzien in het project Rechteroever (in wit) en de zoekzone voor een CDW (in geel)	1
Figuur 2 – Schematische weergave (bovenaanzicht) van een wigvormige wervelstraat nabij de ingang van een haven.	3
Figuur 3 – Schets van gravitationele circulatie (zijaanzicht) in het geval van een dichtheidsverschil door saliniteit.	3
Figuur 4 – Werkingsprincipe CDW.....	4
Figuur 5 – Artist impression Current Deflecting Wal.....	5
Figuur 6 – Luchtfoto CDW in Köhlfleethaven (Hamburg).....	5
Figuur 7 – Drie uitvoeringsalternatieven in Verwaest et al. (2005a)	7
Figuur 8 – Drie aanvullende uitvoeringsalternatieven in Verwaest et al. (2005b).....	7
Figuur 9 – Locaties watermonsters 13-uurs campagne	8
Figuur 10 – resultaat ADCP meting op raai 3 op 6 oktober 2005.....	9
Figuur 11 – Concentraties zwevend stof gedurende de 13-uurs meting (HW=14:00 uur, LW=21:00) voor 6 verschillende locaties	9
Figuur 12 – Overzicht van de meetlocaties voor langdurige CTD-metingen te Nieuwpoort	10
Figuur 13 – Metingen juli 2005 op locatie C4.....	11
Figuur 14 – Metingen 6 oktober 2005 op locatie C4.	12
Figuur 15 – Stokdrijver (links) en diepdrijver (rechts).....	13
Figuur 16 – Voorbeeld resultaat van drijvermeting rond 2h voor HW.	14
Figuur 17 – Rekenroosters van de 3 deeldomeinen.....	15
Figuur 18 – Rekenroosters van de 3 deeldomeinen van het sedimenttransportmodel	16
Figuur 19 – Sedimentatie-erosiepatroon zoals gesimuleerd met het Delft3d model.....	17

1 Inleiding

1.1 Het project Rechteroever

Nieuwpoort staat met het ontwikkelingsproject Rechteroever voor een grote stadsuitbreiding. Het gaat om de realisatie van circa duizend nieuwe woonentiteiten, naast de ontwikkeling van de jachthaven van Nieuwpoort tot de grootste van Noord-Europa. Om dit te realiseren sloegen de provincie West-Vlaanderen, de stad Nieuwpoort en het agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust al in 2011 de handen in elkaar. De jachthaven van Nieuwpoort wordt hierbij met 600 ligplaatsen uitgebreid.

Figuur 1 – het bijkomende dok dat is voorzien in het project Rechteroever (in wit) en de zoekzone voor een CDW (in geel)



Het betreft een nieuw dok met een verticale damwand tot op het peil + 1,00 m TAW vanaf de bodem die op -3,65 m TAW ligt. Vanaf 1,00 m TAW zijn er taluds in 8/4 tot op het maaiveld van ca. 7,00 m TAW.

Het gemiddeld springtij in Nieuwpoort gaat van -0,02 mTAW tot 4,84 mTAW

1.2 Onderzoeksvraag

Heeft een deflectiescherm aan de toegang tot dit nieuwe dok zin om de aanslibbing van dit dok te beperken en/of het sediment te sturen naar een niet hinderende en vlot te baggeren locatie.

2 Aanslibbing in het havenbekken

Deze paragraaf is gebaseerd op Plancke en Schramkowski (2005), en is geüpdatet met recente inzichten.

2.1 Inleiding

Wateruitwisseling (getij, wervels, dichtheitsverschillen) tussen de rivier en de haven brengt slibrijk water in de haven. Binnen de haven zijn de stromingscondities zodanig (i.h.b. vanwege de lage stroomsnelheden) dat het slib er zich kan afzetten. Alzo worden havenbedrijven geconfronteerd met aanslibbing, welke resulteert in de noodzaak om te baggeren om de gewenste vaardiepte in stand te houden.

In dit memo zal eerst kort worden ingegaan op enkele mogelijke aanslibbingsmechanismen. Vervolgens zal nader worden verklaard hoe een Current Deflecting Wall (CDW) kan bijdragen aan vermindering van aanslibbing. Aansluitend zal een drietal case studies van situaties waarin bouw van een CDW is uitgevoerd of wordt overwogen, worden besproken. Tot slot zal een korte bespreking worden gegeven over numerieke modellering van het effect van een CDW.

2.2 Aanslibbingsmechanismen

Doorgaans worden er drie mechanismen onderscheiden die verantwoordelijk kunnen zijn voor aanslibbing, te weten:

1. getijdevulling
2. horizontale menglaag bij de haveningang, waarin wervels (“eddies”) worden gevormd
3. dichtheidsgedreven stromingen, bijvoorbeeld ten gevolge van een horizontale zoutgradiënt of door zwaartekracht gedreven stroming van hoog-concentratie sliblagen

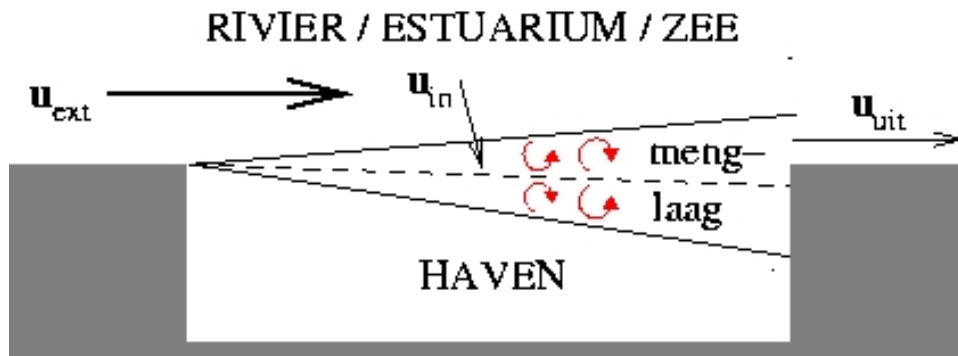
Hieronder zal kort worden ingegaan op de processen

2.2.1 Getijdevulling

Bij getijfasen waarbij de waterstand toeneemt of afneemt, stroomt water de haven in resp. uit. Doorgaans zal sediment dat bij instroom naar binnen wordt getransporteerd, neerslaan om vervolgens bij uitgaand getij slechts gedeeltelijk weer in suspensie te raken. Derhalve treedt er netto aanslibbing op.

2.2.2 Horizontale menglaag bij de haveningang

Figuur 2 – Schematische weergave (bovenaanzicht) van een wigvormige wervelstraat nabij de ingang van een haven.



Door de plotselinge overgang in snelheid worden bij de punt van de wig wervels gegenereerd die zich stroomafwaarts verplaatsen (rode pijltjes).

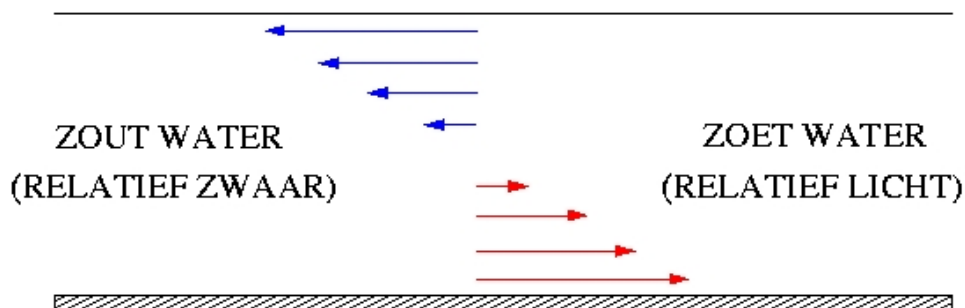
Doorgaans is de stroomsnelheid buiten de haven veel groter dan in de haven zelf. Bovendien is de snelheidsovergang nabij de havenmonding vrij abrupt zodat er min of meer sprake is van een “snelheidssprong” bij de haveningang. Deze situatie is schematisch weergegeven in Figuur 2. De stroming op het grensvlak is door de snelheidssprong instabiel, en er ontstaan daardoor een wigvormig gebied waarin wervels worden gevormd die stroomafwaarts bewegen. Het wigvormige gebied is tevens een menglaag waar water en sediment van buiten de haven met snelheid u_{in} naar binnen komt, om vervolgens gedeeltelijk gemengd aan de stroomafwaartse kant van de wig weer terug te keren met snelheid u_{uit} . Dit uitstromende water is door de menging minder slibrijk dan het water dat de grenslaag instroomt, en het aldus kwijtgeraakte sediment verdwijnt in het havenbekken om daar merendeels neer te slaan. Hieruit volgt dat de snelheidssprong nabij een haveningang een bijdrage levert aan aanslibbing van de haven.

2.2.3 Dichtheidsgedreven stromingen

Door dichtheidsverschillen kan een netto stromingspatroon in het verticale vlak worden opgewekt; deze stroming wordt ook wel gravitationele circulatie genoemd. Deze situatie is schematisch weergegeven in Figuur 3.

Dit uitwisselingsmechanisme kan zelfs bij nul netto wateruitwisseling toch een stroming induceren dicht tegen de bodem. Wanneer deze stromingscomponent gefaseerd loopt over een getijcyclus, en het moment van instroom dicht tegen de bodem overeenkomt met een verhoogde sedimentconcentratie over een getijcyclus, kan een dichtheidsgedreven stroming een netto instroom van sediment betekenen, zelfs zonder netto wateruitwisseling.

Figuur 3 – Schets van gravitationele circulatie (zijaanzicht) in het geval van een dichtheidsverschil door saliniteit.



2.3 Current Deflecting Wall

Een current deflecting wall (CDW) probeert aanslibbing op een eenvoudige manier te reduceren. Een CDW richt zich hoofdzakelijk op het reduceren van de aanslibbing door het wervel-mechanisme en werkt als volgt (van Leeuwen en Hofland, 1999).

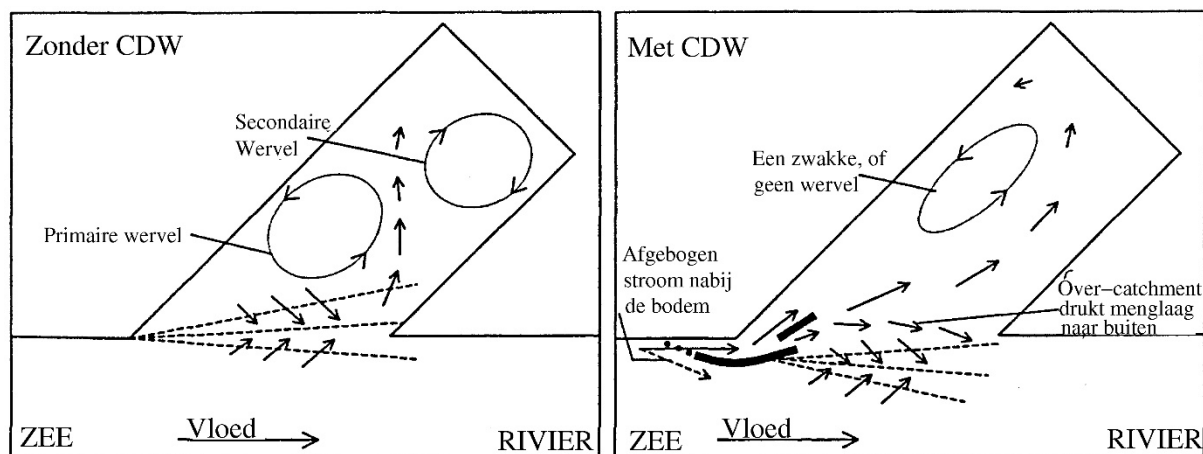
De aanwezigheid van de CDW zorgt er in eerste instantie voor dat de scherpe snelheidsovergang bij de haveningang verder buitengaats zal plaatsvinden (zie rechterpaneel van Figuur 4). Tevens zal deze overgang door de CDW minder scherp zijn omdat het loslaten van de stroming langs de gekromde wand minder abrupt is dan aan de scherpe hoek van een havendam. Daarnaast zal er aan de stroomopwaartse kant van de CDW een zekere hoeveelheid water extra worden ingevangen (zie Figuur 5). Deze zgn. “overcatch” resulteert in een verhoging van de waterstand in de haven en drukt de wervelzone nog meer naar buiten toe. Door het naar buiten verleggen van de grenslaag en door de afzwakking ervan zal er minder uitwisseling tussen havendok en buitengebied optreden, en dit vermindert de import van sediment in de haven.

Ook zullen door verzwakking van de wervelstraat de wervels in de haven minder sterk zijn, waardoor afzetting van sediment minder gelokaliseerd zal plaatsvinden.

Naast een gekromde muur bestaat een CDW doorgaans ook uit een drempel op de bodem. De drempel laat toe de onderste waterlagen, met hoger slibgehalte, af te buigen van de haveningang. De gekromde muur zorgt er vervolgens voor dat water uit de bovenste lagen, en dus minder rijk aan slib, naar de haven gestuurd wordt. Een ander, doch waarschijnlijk minder invloedrijk, gevolg van deze drempel is de drukval afwaarts de drempel die een helicoïdale stroming initieert voor de haveningang, waardoor de uitwisseling tussen rivier en haven gehinderd wordt (Hofland et al, 2001). Dit effect speelt echter over een beperkte afstand en zal bij een brede haveningang beperkt zijn.

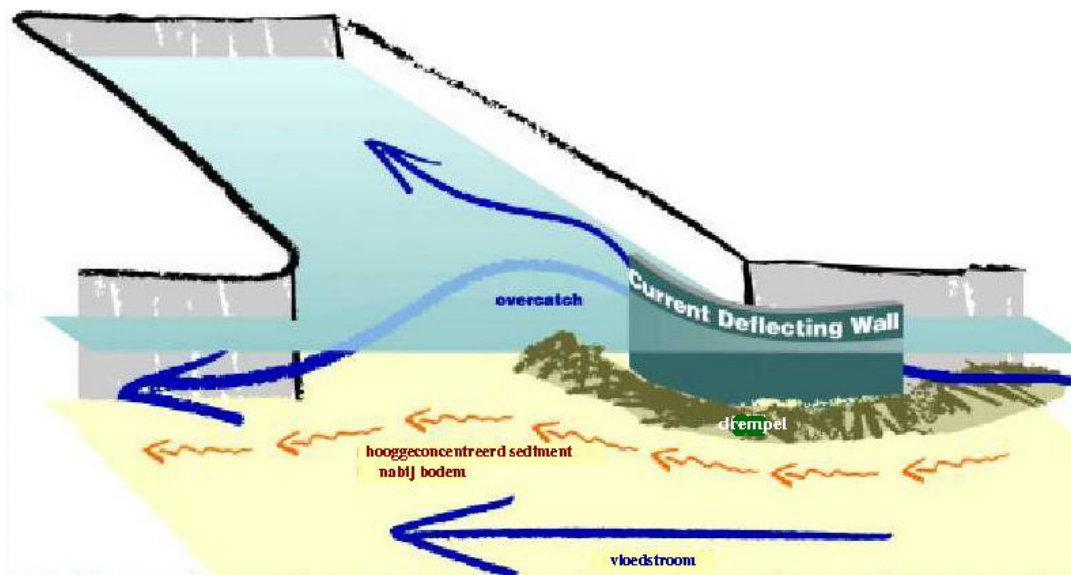
Figuur 4 – Werkingsprincipe CDW.

Rechts is duidelijk te zien hoe de aanwezigheid van de CDW de wigvormige menglaag bij de haveningang naar buiten duwt.



Figuur 5 – Artist impression Current Deflecting Wal.

Het principe van overcatch (blauwe pijl het havendok in en uit) en omleiding van sedimentrijk water nabij de bodem (donkergele pijlen) zijn expliciet weergegeven.

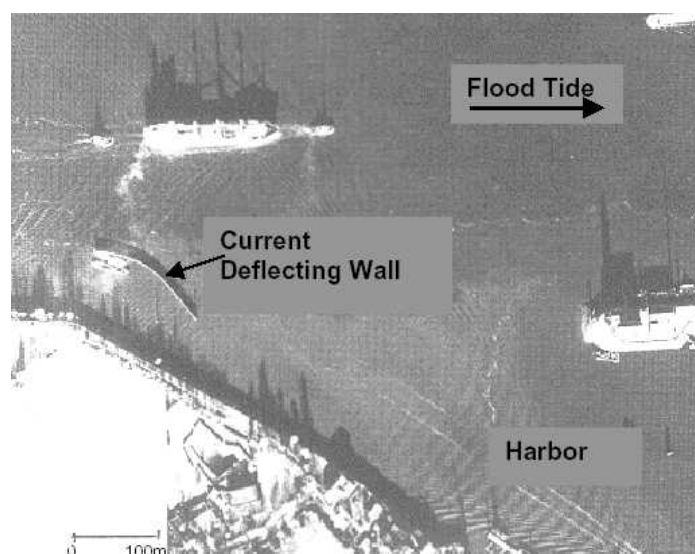


2.4 Case studies van een CDW

2.4.1 Köhlfleet (Hamburg)

De voornaamste wateruitwisselingsprocessen tussen het Hamburgse havengebied en de Elbe zijn de getijdenwerking en de wervels. Het idee van de bouw van een CDW was gefundeerd op het reduceren van de wervels en alzo de aanslibbingen. In 1990 werd een eerste prototype van de CDW gebouwd in de Köhlfleet-haven in Hamburg (Wirtschaftsbehörde, 2000). Het gaat om een 150 m lange muur, opgebouwd uit een stalen frame met betonnen panelen, van 16 m hoog (top 1 m boven gemiddeld HW), die 60 m van de oever staat, in combinatie met een 3 m hoge drempel.

Figuur 6 – Luchtfoto CDW in Köhlfleethaven (Hamburg)



Na de bouw van de CDW reduceerden de aanslibbingen met 40%. Daarnaast vonden de aanslibbingen meer uniform over het dok plaats, waardoor minder frequent gebaggerd moest worden. Dit liet toe enkel gedurende de winterperiode te baggeren waarbij het materiaal via waterinjectie terug in de rivier gebracht werd. Voorheen moest ook tijdens de zomer gebaggerd worden, wat gepaard ging met hoge verwerkingskosten voor het materiaal dat aan land moest geborgen worden.

2.4.2 Parkhaven (Hamburg)

Het idee voor de bouw van een CDW in de Parkhaven werd na het succes van de CDW in de Köhlfleet haven onderzocht. De numerieke modellen bleken echter niet in staat om de waargenomen reductie van de aanslibbingen in de Köhlfleet haven te reproduceren. De gesimuleerde wateruitwisseling vertoonde wel een goede overeenstemming. Tot 30% reductie in wateruitwisseling werd bekomen door een CDW in Parkhaven. Tot op heden is er hier nog geen CDW gebouwd.

2.4.3 Deurganckdok (Antwerpen)

Het Deurganckdok is het eerste getijdendok in de haven van Antwerpen. Naast de getijden en de wervels, dragen ook densiteitsstromingen bij tot de wateruitwisseling tussen het dok en de Schelde.

Numerieke berekeningen wezen uit dat deze densiteitsstromingen de belangrijkste bijdrage (~ 55-65%) leveren bij de wateruitwisseling tussen dok en Schelde (WL Delft, 2004; IMDC, 1998). Een belangrijk verschil met Hamburg is de aanwezigheid van deze densiteitsstromingen. De densiteitsstromingen vinden plaats van enkele uren voor HW tot een uur na HW.

De CDW configuratie voor Deurganckdok is ontworpen met een fysisch schaalmodel (van Kessel en Cornelisse, 2003). De CDW werkt hier door in te grijpen op de sedimentuitwisseling door de horizontale menglaag. De horizontale eddies worden afgezwakt aan de ingang, en worden weg van de haveningang afgebogen. Verder heeft de drempel van de CDW het effect om sedimentrijk water af te buigen weg van de ingang, en richting de Schelde (van Maren et al., 2011). Op die manier gebeurt de vulling van het Deurganckdok meer met oppervlaktewater, en minder met sedimentrijk water dicht tegen de bodem, wat natuurlijk minder aanslibbing tot gevolg heeft.

De studies die tot dusverre zijn verricht geven weliswaar aan dat de aanwezigheid van een CDW tot een reductie van aanslibbing zal leiden, maar deze reductie blijkt moeilijk te kwantificeren. Op basis van numeriek simulaties wordt een geschatte reductie van 18% gevonden (van Maren et al., 2011), op basis van waterbeweging in fysische schaalexperimenten werden geschatte reducties gevonden tussen 36% en 59% (Christiansen, 2004).

2.5 Conclusies

Alle CDW ontwerpen zijn ontworpen aan de hand van grote fysische schaalmodellen. Er zijn voor Deurganckdok wel verificatie berekeningen gebeurd (van Maren et al., 2011) met numerieke modellen, maar er is nog geen ontwerp gebeurd dat enkel op basis van numerieke berekeningen stoelt (Kirby, 2015).

Wat de kwaliteit van de numerieke modellen betreft, dient te worden opgemerkt dat er nog steeds grote afwijkingen zijn tussen modellen van (cohesief) sediment transport en veldmetingen. Er moet dus steeds omzichtig worden omgesprongen met modelresultaten als het gaat om sedimentatie van havenbekkens, en het ontwerp van reductiemaatregelen.

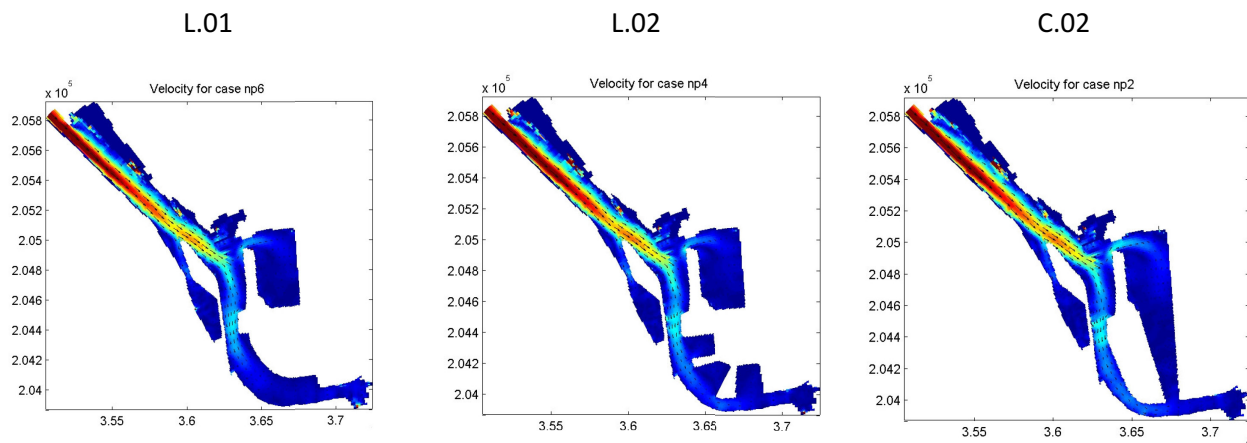
3 Eerdere studies van de haven van Nieuwpoort

3.1 WL (2005)

In het kader van de opmaak van het PRUP voor uitbreiding van de jachthaven voor de rechteroever van Nieuwpoort werd een “kwalitatieve” (lees beperkt gecalibreerde) 2DH modellering uitgevoerd met Delft3D. Naast de huidige toestand werden er 3 uitvoeringsalternatieven doorgerekend door Verwaest et al. (2005a):

- Lateraal één dok (L.01)
- Lateraal drie naburige dokken (L.02)
- Centrale doorsteek (C.02)

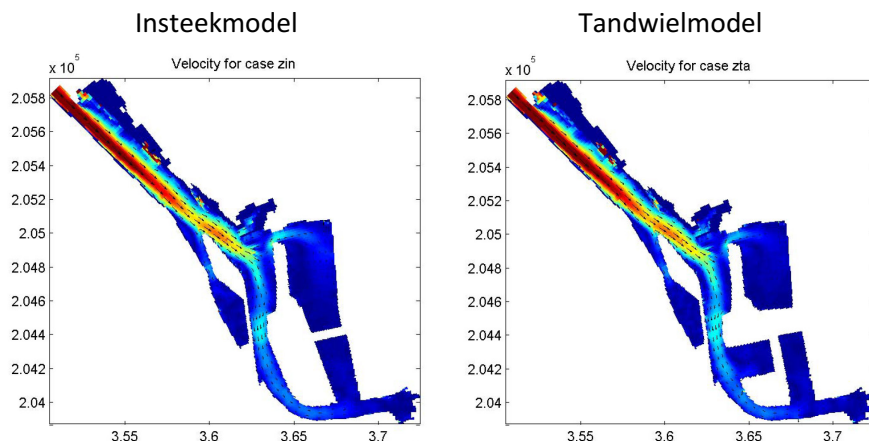
Figuur 7 – Drie uitvoeringsalternatieven in Verwaest et al. (2005a)



Een half jaar later werd deze oefening uitgebreid met 2 aanvullende planscenario's voor havenuitbreiding, gerapporteerd in Verwaest et al. (2005b).

- Insteekmodel
- Tandwielmodel

Figuur 8 – Drie aanvullende uitvoeringsalternatieven in Verwaest et al. (2005b)



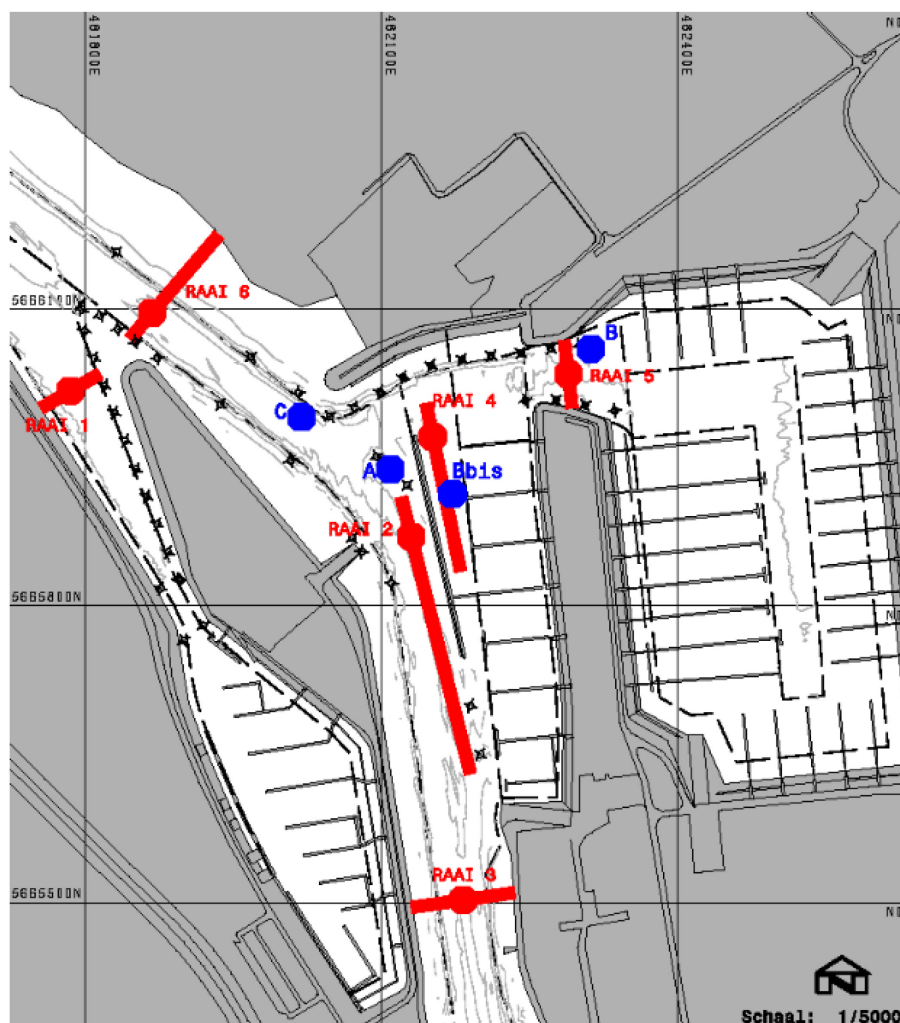
3.2 GEMS & IMDC (2006)

3.2.1 13u metingen & Sedimentconcentratieingen

Op 6 oktober 2005 is door GEMS en IMDC een 13u ADCP meetcampagne uitgevoerd (GEMS & IMDC, 2006b) op de rode raaien in Figuur 9.

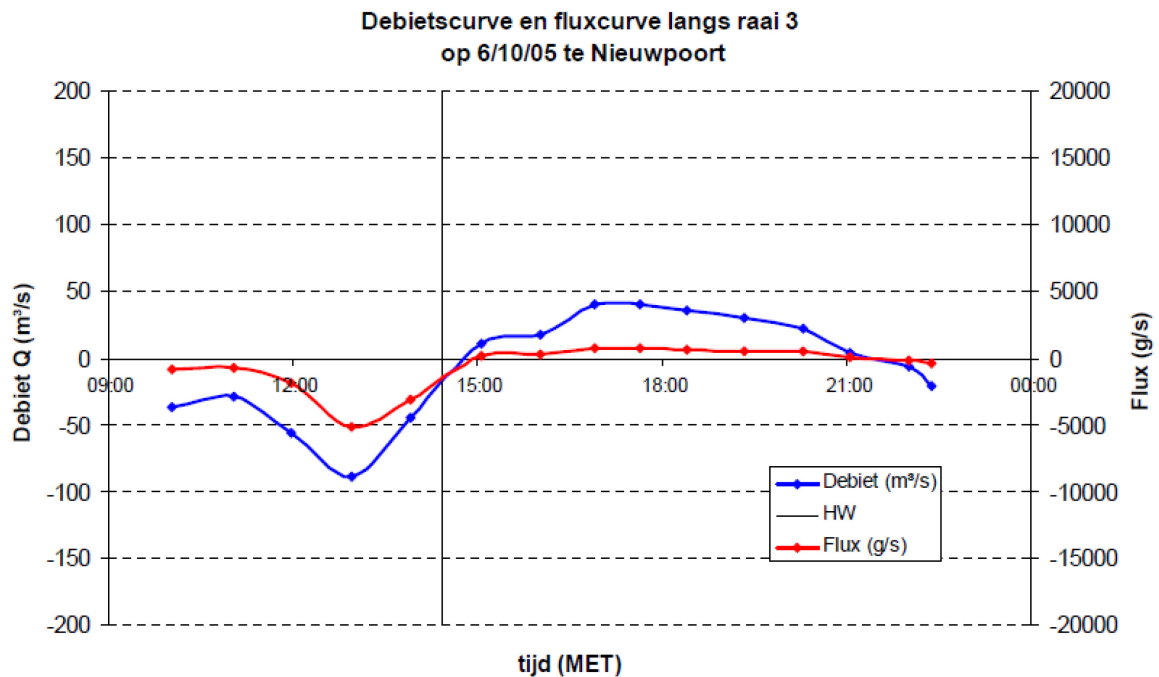
Op 6 oktober 2005 zijn door GEMS International NV en IMDC tevens watermonsters genomen uit de haven van Nieuwpoort (GEMS & IMDC, 2006d) op een aantal locaties (rode stippen in Figuur 9) en op verschillende dieptes. Het doel van deze aanvullende sedimentconcentratieingen was om deze als kalibratiepunten voor de ADCP-metingen te gebruiken.

Figuur 9 – Locaties watermonsters 13-uurs campagne (GEMS & IMDC, 2006d)



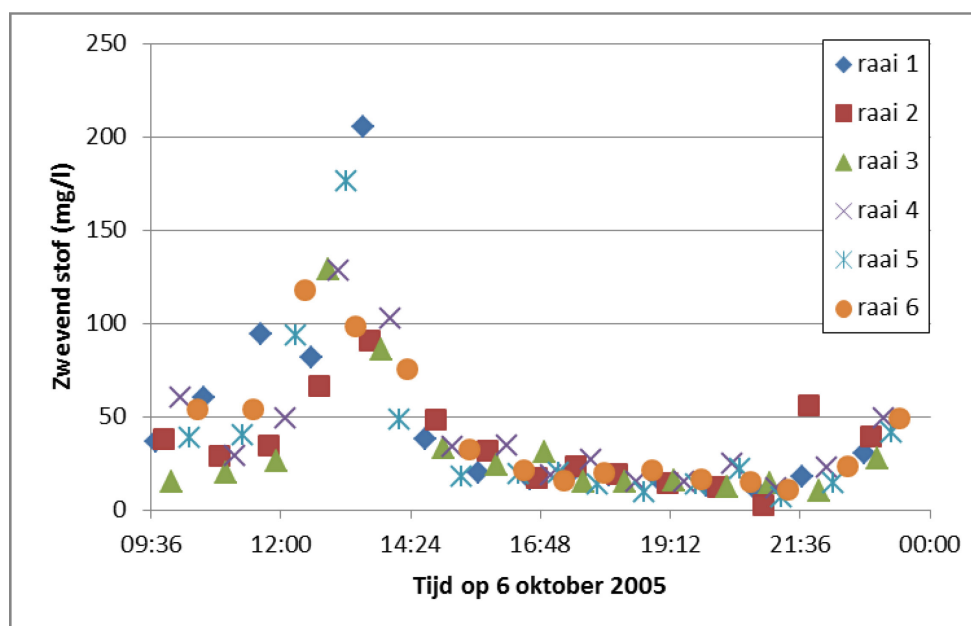
De ADCP metingen op raai 3 geven een idee van de stromingscondities ter hoogte van de nieuwe haventoeegang. In de meting op raai 3 is geen duidelijke aanwijzing te vinden van een dichtheitsstroming, maar dat kan ook aan de meteo condities liggen op 6 oktober 2005. Dit wordt ook bevestigd door de saliniteitsgegevens op de dag van de ADCP meting op locatie C4 in figuur Figuur 14. Deze metingen tonen ook geen saliniteits stratificatie, zoals die bijvoorbeeld wel waarneembaar is in juli 2005 in Figuur 13. De metingen op raai 3 geven een maximum debiet aan van $-90\text{m}^3/\text{s}$ om 13:00 en $40\text{m}^3/\text{s}$ om 17:00

Figuur 10 – resultaat ADCP meting op raai 3 op 6 oktober 2005 (GEMS & IMDC, 2006b)



In Figuur 11 zijn de waarnemingen van sedimentconcentratie uitgezet. De sedimentconcentratie metingen laten zien dat juist voor- en tijdens hoogwater de sedimentconcentraties in de waterkolom toenemen tot gemiddelde waarden van ongeveer 80 – 120 mg/l. Tijdens vallend water (eb) nemen de concentraties voor alle punten af tot minimale waarden tussen de 10 - 20 mg/l.

Figuur 11 – Concentraties zwevend stof gedurende de 13-uurs meting (HW=14:00 uur, LW=21:00) voor 6 verschillende locaties



3.2.2 CTD metingen

(GEMS & IMDC, 2006a) beschrijft langdurige stationaire metingen uitgevoerd te Nieuwpoort van 08 juli 2005 t.e.m. 09 januari 2006.

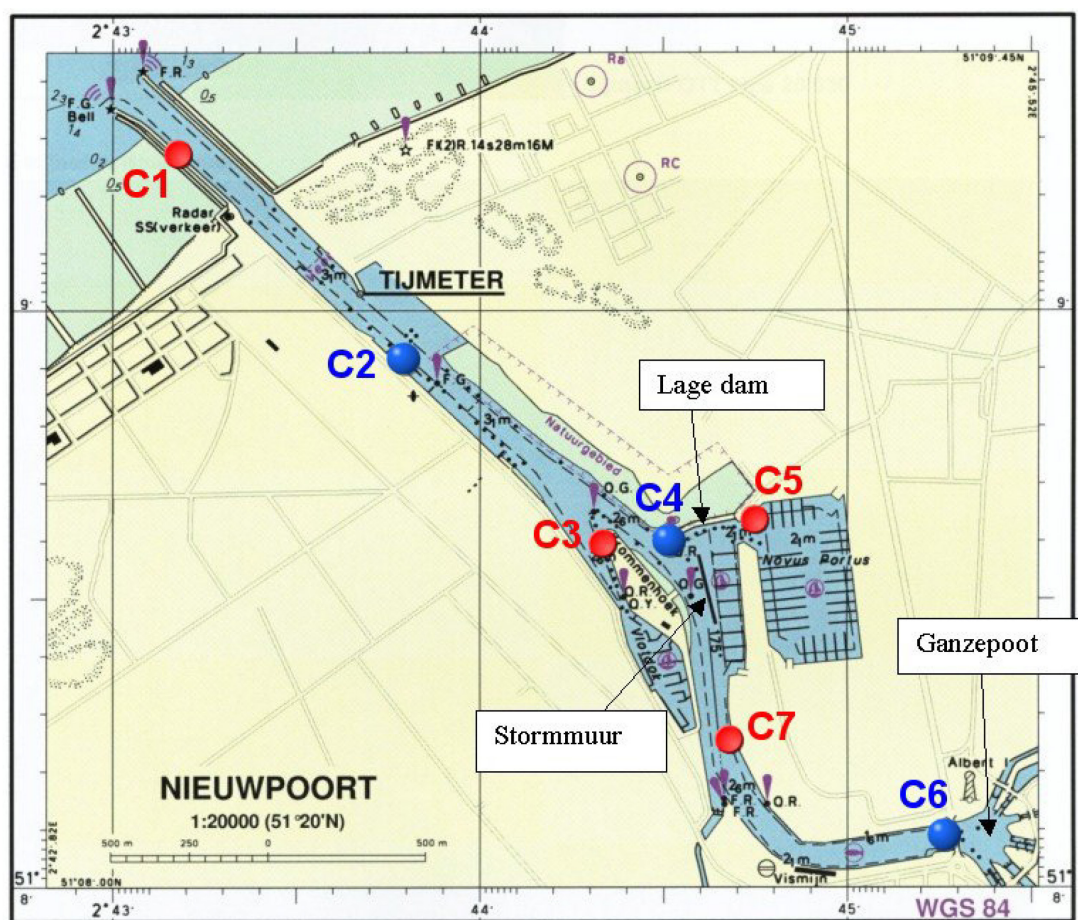
Meetopstellingen op rode locaties werden voorzien van één CTD-Diver op een vaste hoogte tov de bodem.

Meetopstellingen op blauwe locaties werden voorzien van één Aanderaa RCM9 op een vaste hoogte tov de bodem en één CTD-Diver in drijvende opstelling op 1m onder het wateroppervlak.

Van deze meetlocaties is locatie C7 het dichtst gelegen bij de geplande nieuwe haventoeegang.

Verticale gradienten zijn gemeten in C4 en C6.

Figuur 12 – Overzicht van de meetlocaties voor langdurige CTD-metingen te Nieuwpoort (GEMS & IMDC, 2006a)

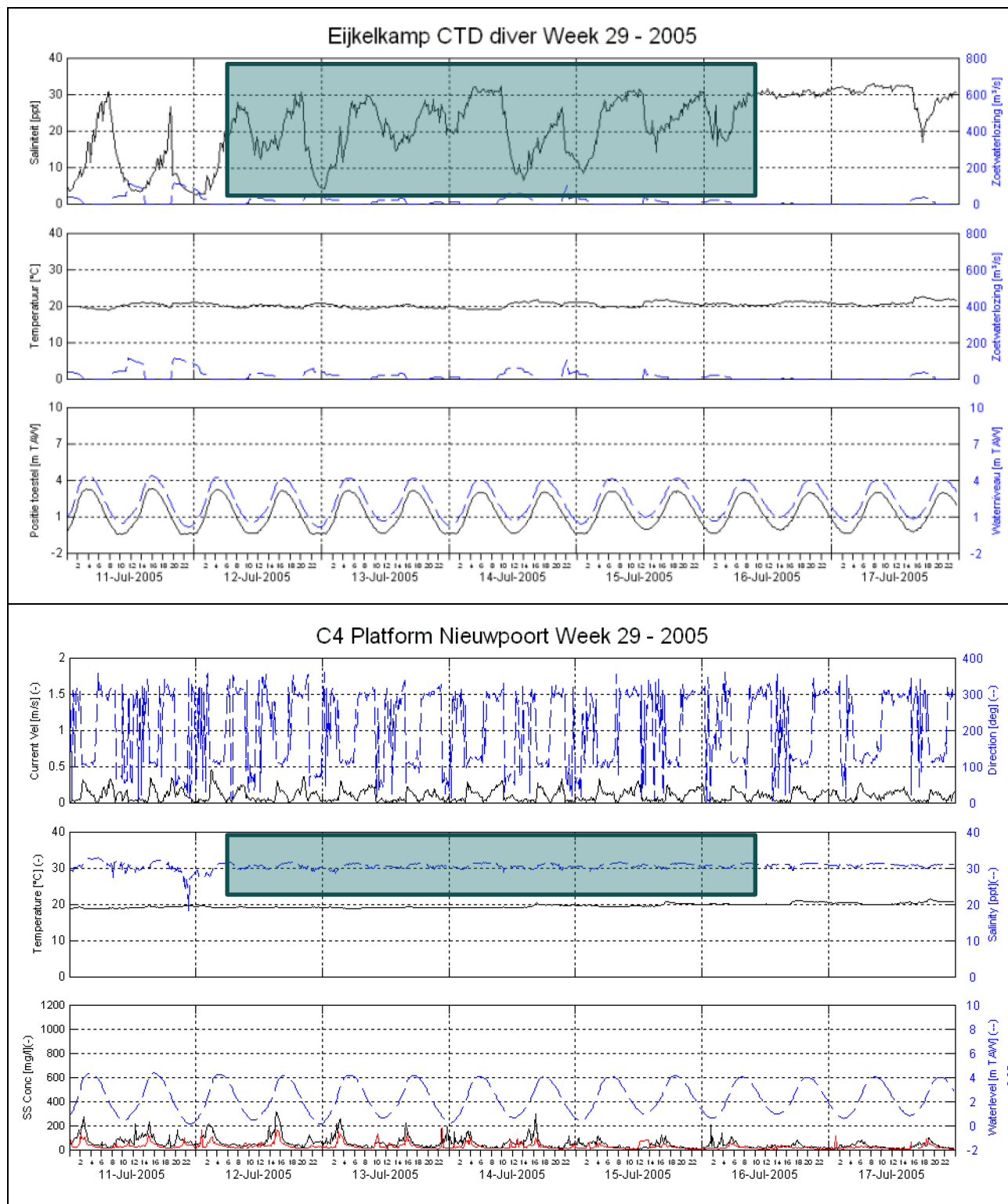


Figuur 13 geeft de meetgegevens gedurende 1 week in juli 2005 voor de bovenste en onderste sensor op locatie C4. De bodem ligt daar op -3.85 mTAW, de waterstand varieert tussen 1 en 4 mTAW (doodtij condities).

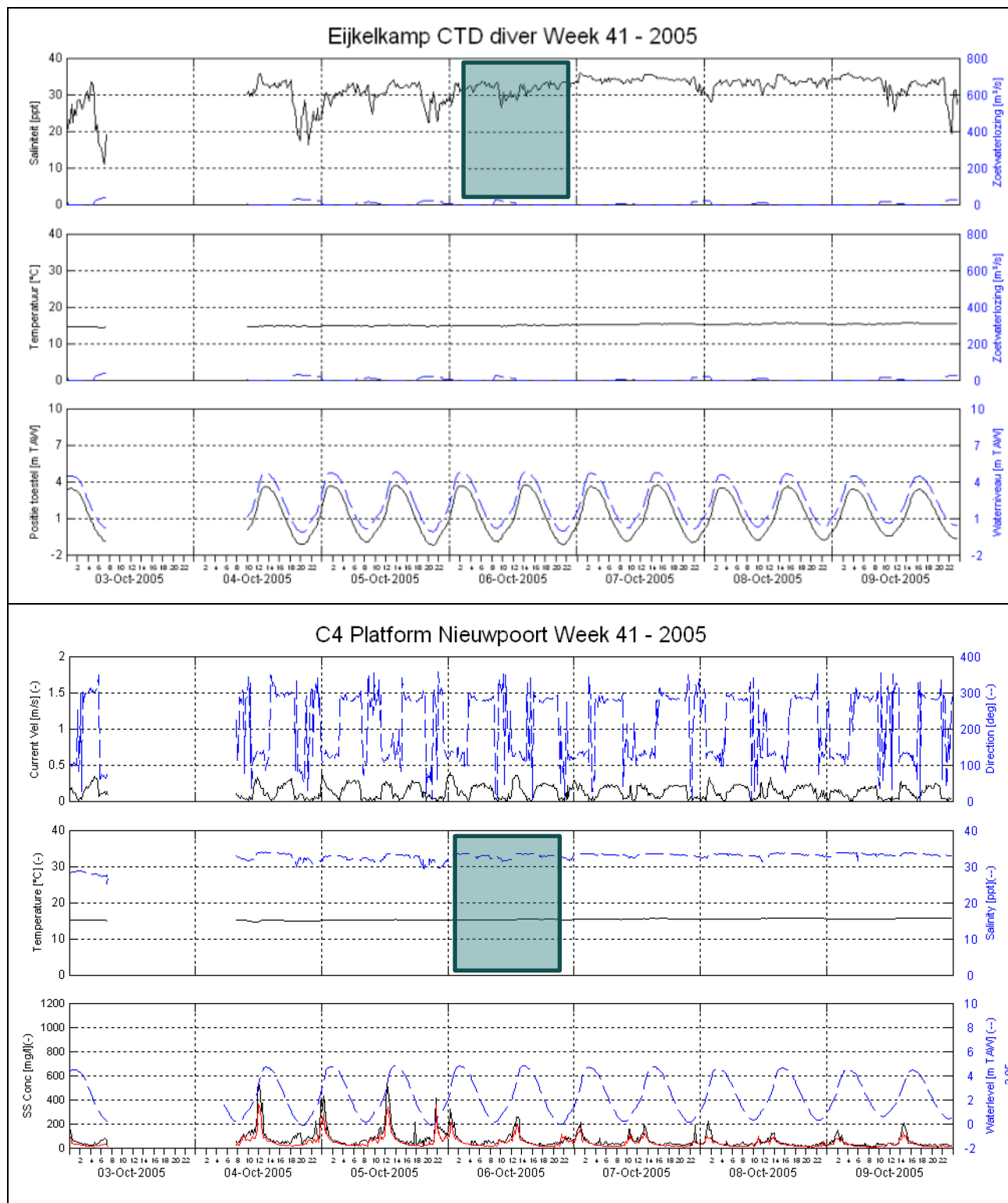
In deze data zien we duidelijk het belang van verticale stratificatie. Terwijl de bovenste sensor ongeveer een constante saliniteit van ~31 ppt geeft, varieert die in de bovenste sensor tussen 5 en 31 ppt.

Figuur 13 – Metingen juli 2005 op locatie C4.

Top sensor (top panel) drijvend op 1m onder wateroppervlak. Bottom sensor (bottom panel) op 1m boven bodem (-2.85 mTAW).
Episode van saliniteitsstratificatie aangegeven in groene box



Figuur 14 – Metingen 6 oktober 2005 op locatie C4.
 Top sensor (top panel) drijvend op 1m onder wateroppervlak. Bottom sensor (bottom panel) op 1m boven bodem (-2.85 mTAW).
 Periode van ADCP metingen aangegeven in groene box.



3.2.3 Drijvermetingen

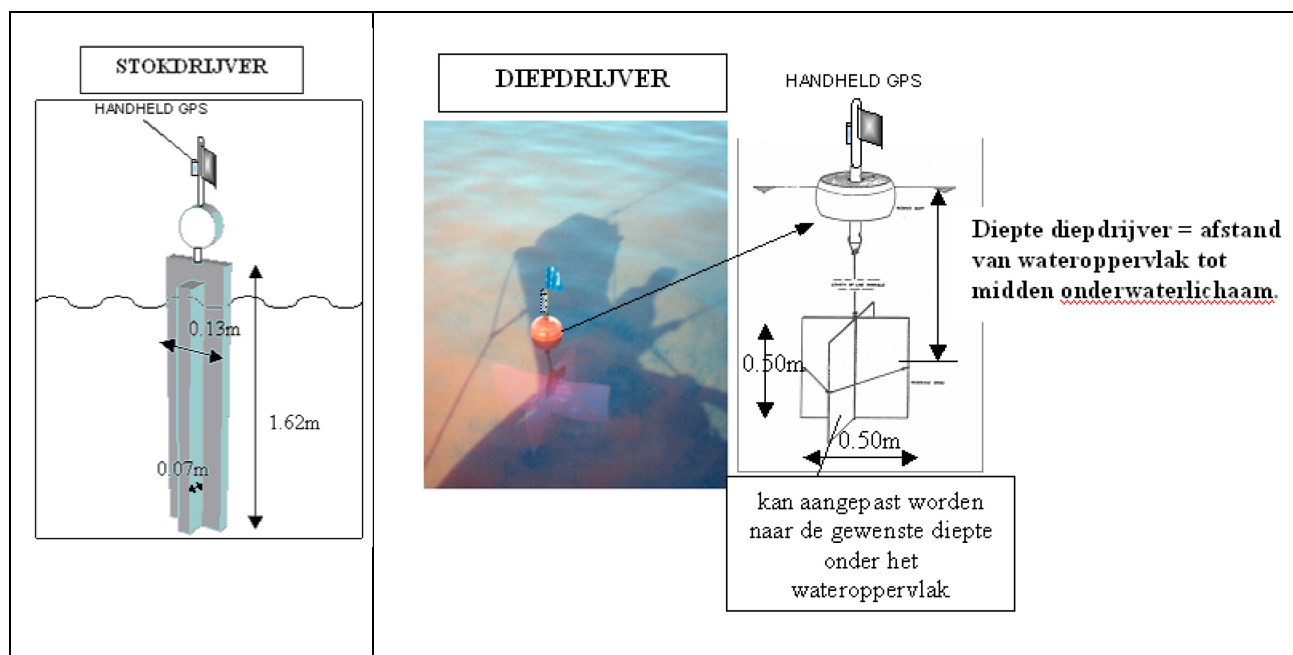
GEMS & IMDC (2006c) beschrijven een 13-uurs drijver meetcampagne uitgevoerd te Nieuwpoort op 21 november 2005. Het doel van deze metingen was om via vlotters en drijvers een coherenter en meer gebiedsdekkend beeld te krijgen van de algemene stromingspatronen (zowel aan de oppervlakte als op een zekere diepte onder het wateroppervlak).

Stokdrijvers (zie Figuur 15) bestaan uit een houten stok van 1.62 meter lang (met een gewicht van ongeveer 4 kg), die in de bovenste meter van de waterkolom blijft drijven en voortgestuwd wordt door de plaatselijke stroming. Bijgevolg weerspiegelt de beweging van deze drijver de stromingspatronen aan het wateroppervlakte.

Diepdrijvers (zie Figuur 15) bestaan uit een metalen onderlichaam, waarop de stroming pakt, en een oppervlakteboei, onderling verbonden met een touw waarvan de lengte variabel is. Door de lengte van dit touw te verkleinen of te vergroten zal het onderlichaam respectievelijk ondieper of dieper komen te hangen en door de stroming op deze diepte voortgestuwd worden. De beweging van gans het toestel is bijgevolg een weergave van de stroomlijnen op deze welbepaalde diepte.

Voor de campagne werd gebruik gemaakt van 5 stok- en 5 diepdrijvers.

Figuur 15 – Stokdrijver (links) en diepdrijver (rechts) (GEMS & IMDC,2006c)



Figuur 16 toont een voorbeeld resultaat van de drijvermeetcampagne. We zien een neerpatroon aan de haventoeegang van Novus Portus.

Figuur 16 – Voorbeeld resultaat van drijvermeting rond 2h voor HW.
Rood is oppervlakedrijver. Lichtblauw is dieptedrijver op diepte 3m. (GEMS & IMDC,2006c)



3.3 Arcadis (2015)

In het kader van het pasterplan kustveiligheid heeft Arcadis in 2015 de opdracht verkregen voor de studie en het architecturaal ontwerp van de stormvloedkering van Nieuwpoort.

3.3.1 Hydraulisch Model

Het hydraulisch model is afgeregeld tegen 2 ADCP metingen:

- 10 mei 2012;
- eind 2012 – begin 2013.

Het hydraulisch model is opgemaakt in Delft3D en genest in het NEVLA model.

Het model is opgemaakt in 3 deeldomeinen (zie Figuur 17)

- Het kustdomein dekt een gebied van circa 15 km langs de kust en 7,5 km loodrecht op de kust. De resolutie varieert van 25 tot 75 m, met de fijnste rekencellen in de omgeving van Nieuwpoort
- Het haven-domein dekt het hele gebied in de haven, samen met een deel op zee, tot ongeveer 1300 m uit de kust. De resolutie van het model varieert tussen de 9,3 en 15,5 m.
- Het detailmodel omvat de zone waar de stormvloedkering in ontwerp zou komen, met een resolutie die varieert van 3 tot 4,5 m.

Het hydraulisch model is een 3D model met 10 sigma lagen. Het model rekent waterstanden uit met een RMSE van 15 tot 20cm. De snelheden worden gereproduceerd met een RMSE van 15 tot 25 cm/s. De resultaten van het model komen goed overeen met de metingen.

Uit de modellering komt de invloed naar boven van het lozingsdebiet in de haven. In werkelijkheid vinden de lozingen plaats rond laag water, terwijl de enige informatie die beschikbaar is zich bevindt in Keiem, op 10,5 km afstand. De zoetwaterlozing is qua volume 20% tot 30% van het getijprisma. Bij hogere afvoeren kan dit relatieve effect nog groter worden.

Het model is niet afgeregeld voor saliniteit wegens gebrek aan data. Dat is enigszins jammer, aangezien er de metingen waren van GEMS & IMDC (2006) die aantoonbaar stratificatie vertoonden (zie §3.2.2).

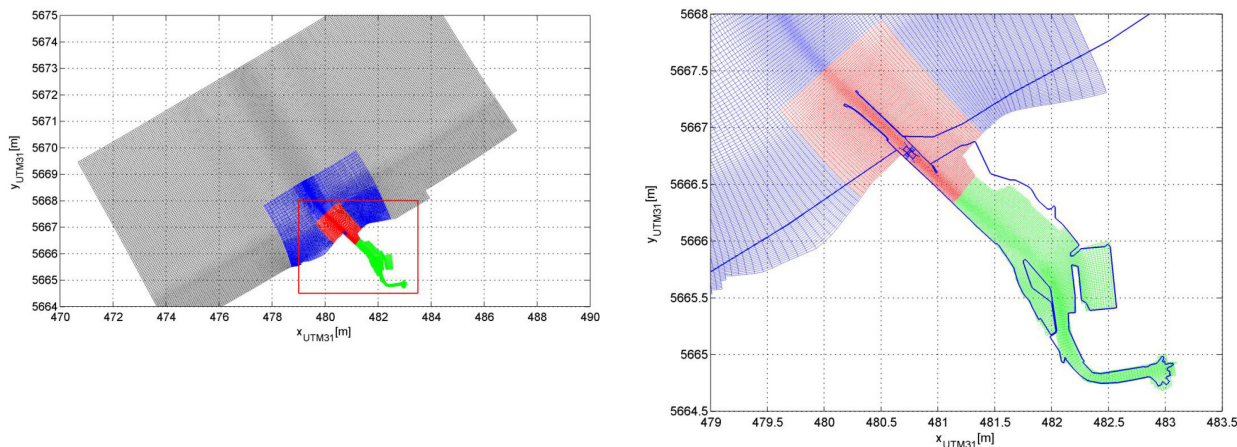
Figuur 17 – Rekenroosters van de 3 deeldomeinen; kust (blauw), haven (rood) en detail (zwart) in Arcadis (2015a)



3.3.2 Sedimenttransportmodel

Het sedimenttransportmodel is genest in het stromingsmodel en is ook opgemaakt in Delft3D. Het rooster van het sediment transport model is niet 1-op-1 overgenomen van het stromingsmodel (zie Figuur 18).

Figuur 18 – Rekenroosters van de 3 deeldomeinen van het sedimenttransportmodel: kust (blauw), voorhaven (rood) en achterhaven (groen).



Het model rekent drie dimensionaal, met voor de beide haven domeinen 8 sigma-lagen van elk 12,5 procent van de waterdiepte, het zee domein heeft 4 lagen in de verticaal.

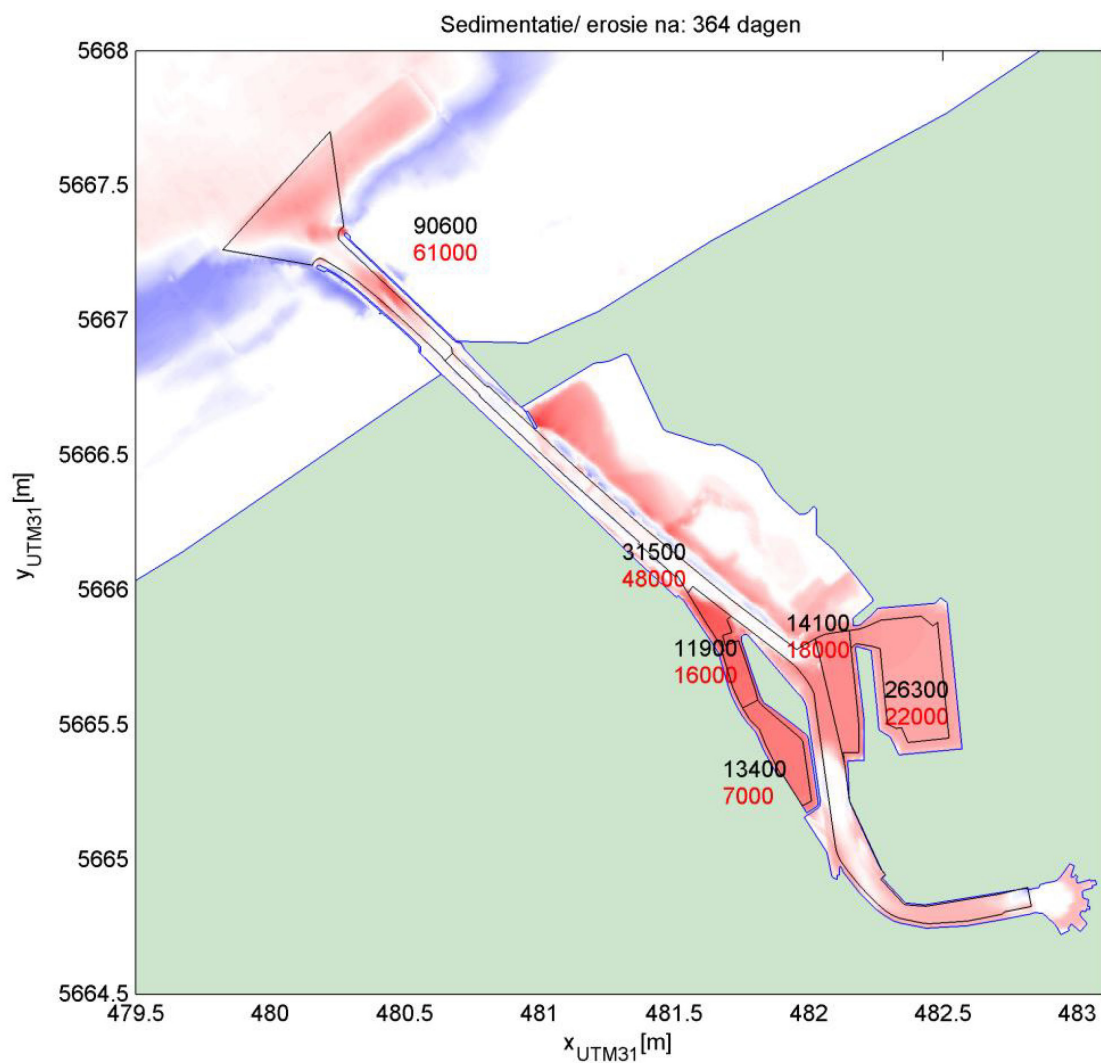
Voor het kalibreren van het sediment transport model zijn twee verschillende transport formuleringen gebruikt; de (Van Rijn, 2007) geunifieerde formuleringen en de meer conventionele Van Rijn, 1993 (voor niet-cohesief sediment) en Partheniades-Krone (1963,1965) formuleringen (voor cohesief materiaal). Het uiteindelijk gecalibreerde model maakt gebruik van deze tweede type formulering.

In het Delft3D model is een doodtij-springtij cyclus gesimuleerd waarbij initieel in het hele model een dun laagje (enkele centimeters) slib is aangebracht bovenop een zandlaag.

De mediane korreldiameter van zand die in de simulaties is meegenomen is gebaseerd op de bodemonsters die in 2013 zijn genomen uit de vaargeul, ten noorden van de toekomstige stormvloedkering. In de simulaties is een D50 van en 185 μm meegenomen. Voor de slibfractie is bij het toepassen van de Partheniades (1965) formuleringen een valsnelheid opgegeven. Deze valsnelheid is gedurende het kalibreren van het model gevarieerd tussen 0,1 en 0,3 mm/s. Een valsnelheid van 0,15 mm/s geeft de beste overeenkomsten met de gemeten sedimentatie, een valsnelheid van 0,20 mm/s geeft de beste overeenkomsten met de gemeten sediment concentraties.

Het model is in eerste instantie afgeregeld op de beschikbare baggergegevens. Het model is zodanig opgezet en afgeregeld dat het zo goed mogelijk de gemeten jaargemiddelde sedimentatie kan nabootsen. Vervolgens is gecontroleerd of de sedimentconcentraties die in het model voorkomen vergelijkbaar zijn met de bij Nieuwpoort gemeten sedimentconcentraties. Het model is redelijk goed in staat om de sedimentatie in de verschillende secties te simuleren. Het overschat wel de sedimentatie in de bestaande havenbekkens Novus Portus en de oude jachthaven KYCN.

Figuur 19 – Sedimentatie-erosiepatroon zoals gesimuleerd met het Delft3d model. De rode getallen geven de gemeten jaargemiddelde sedimentatie (TDS) per baggersectie weer, de zwarte getallen de gesimuleerde sedimentatie.



4 Conclusies en Aanbevelingen

Wat betreft de onderzoeksvraag naar effectiviteit van een CDW kan het volgende worden gesteld:

- Op basis van het bestaande HD werk, wordt de snelheid in de zoekzone van de CDW geschat op 0,3 a 0,4 m/s. Dat is weinig 'current' om te 'deflecten'. Dit betekent dat het "eddy" aanslibbingsmechanisme waar een CDW op kan inwerken eerder zwak is op de voorgestelde locatie
- De piek in sedimentconcentraties treedt op voor HW, dus tijdens opkomend tij. Dat is het moment dat er netto instroming is in het dok omwille van tijvulling. Een CDW heeft echter geen impact op het aanslibbingsmechanisme "tijvulling", niet naar grootte en niet naar timing binnen de getijcyclus

Op basis van deze 2 punten is het eerder twijfelachtig dat een CDW aan de ingang van het nieuwe havenbekken veel effect zal hebben op de totale aanslibbing van het havenbekken.

Wat betreft het beschikbare modelinstrumentarium: er is tot op heden nog geen numerieke schematisatie van de to-be situatie zoals die in Figuur 1 is weergegeven. Verder is het aangewezen om bij het opnieuw opnemen van numerieke modellering in Nieuwpoort, meer aandacht te besteden aan het correct representeren van de verticale stratificatie in saliniteit. De stratificatie is geobserveerd in de saliniteitsmetingen (zie 3.2.2). Het verwachte effect op stromingen (met een onderdrukking van verticale turbulentie en mogelijk andere stroomrichtingen in bovenste en onderste waterlaag) is echter niet aanwezig in de stromingsmetingen (omdat die zijn uitgevoerd op dagen dat er geen stratificatie was). Het effect van stratificatie op de waterbeweging kan wel benaderd worden in een 3D hydrodynamisch model.

Indien het effect van een CDW toch modelmatig onderzocht dient te worden, is een uitbreiding van het sedimenttransportmodel van Arcadis aangewezen. Het model is ontwikkeld in Delft3D, en binnen die software is het mogelijk om een CDW te schematiseren (dankzij investeringen die de VO heeft gedaan tijdens het ontwerp van de CDW voor Deurganckdok).

Naast een CDW zou dan ook kunnen worden onderzocht wat het effect is van een sediment trap (lokale overdiepte) ter hoogte van de nieuwe haventoeegang, om de sedimentatie te concentreren in een zone die makkelijker te onderhouden is. Efficiëntie van zo een sediment trap zal een functie zijn van de aangenomen valsnelheid van het sediment (en dus in zekere mate onzeker). Verder kan er ook worden gevarieerd in de geometrie van de toegang, om zo de import door de horizontale menglaag te beïnvloeden.

Een aandachtspunt bij elke mogelijke studie rond de effectiviteit van aanslibbingsreducerende maatregelen in het nieuwe havenbekken, is de zout-zoet stratificatie die optreedt ter hoogte van de nieuwe haventoeegang.

5 Referenties

- Arcadis** (2015a). Stormvloedkering te Nieuwpoort – 16EH/12/06. Nota stromingsmodellering.
- Arcadis** (2015b). Stormvloedkering te Nieuwpoort – 16EH/12/06. Nota sediment transport modellering.
- Christiansen, H.** (2004), “The effect of the designed CDW/Sill on siltation reduction in the Deurganckdok”. Freie und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau; “Reduction of Sedimentation”, 2000.
- GEMS & IMDC** (2006a). Meetcampagne in kader van aanslibbingsproblematiek haven en jachthaven van Nieuwpoort. Rapport 1: Langdurige CTD-metingen d.d. juli 2005 t.e.m. januari 2006 te Nieuwpoort. I/RA/11277/06.017/BQU, in opdracht van AWZ.
- GEMS & IMDC** (2006b). Meetcampagne in kader van aanslibbingsproblematiek haven en jachthaven van Nieuwpoort. Rapport 2: Dertienuurs ADCP snelheidsmeetcampagne d.d. 6 oktober 2005 te Nieuwpoort. I/RA/11277/06.018/BQU, in opdracht van AWZ.
- GEMS & IMDC** (2006c). Meetcampagne in kader van aanslibbingsproblematiek haven en jachthaven van Nieuwpoort. Rapport 3: Aanvullende dertienuurs drijvermeetcampagne d.d. 21 november 2005 te Nieuwpoort. I/RA/11277/06.019/BQU, in opdracht van AWZ.
- GEMS & IMDC** (2006d). Meetcampagne in kader van aanslibbingsproblematiek haven en jachthaven van Nieuwpoort. Rapport 4: aanvullende sedimentconcentratietmetingen d.d. 6 oktober 2005 te Nieuwpoort., I/RA/11277/06.020/BQU, in opdracht van AWZ.
- Hofland B., Christiansen, Crowder, Kirby, Van Leeuwen, Winterwerp (2001) “The current deflecting wall in an estuarine harbour”, 2001.
- IMDC** (1998) Containerdok West: hydraulisch-sedimentologisch onderzoek. Deelrapport 5: detailonderzoek tijdok.
- Kirby** (2015) Current Deflecting Walls for Semi-enclosed Basins. Presentation for Association of Iranian Port Authorities. Retrieved from [Pianc](#).
- Krone, R.B.**, 1963. A study of rheologic properties of estuarial sediments. Final Report No. 63–8, Hydraulic Engineering Laboratory and Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Berkeley, CA.
- Partheniades, E.**, (1965). Erosion and Deposition of Cohesive Soils." Journal of the Hydraulics Division, ASCE 91 (HY 1): 105-139.
- Plancke en Schramkowski**, (2005) Current Deflecting Wall: Principe en (toekomst)voorbeelden in de praktijk. Project 643_08
- van Leeuwen, S., Hofland, B.** (1999) “The Current Deflecting Wall in a Tidal Harbour with Density Influences: Final report”, TU Delft
- Van Kessel, T., Cornelisse, J.M.**, 2003. Physical Scale Model Zeeschelde. Delft Hydraulics, Report Z2516, December 2003.

van Maren, D. S., Winterwerp, J. C., Decrop, B., Wang, Z. B., & Vanlede, J. (2011). Predicting the effect of a current deflecting wall on harbour siltation. *Continental Shelf Research*, 31(10 SUPPL.). <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.12.005>

Van Rijn, L.C., 2007a. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering* 133, 649–667.

Van Rijn, L.C., 2007b. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. II: Suspended Transport. *Journal of Hydraulic Engineering* 133, 668–689.

Verwaest, T.; De Mulder, T. (2005) PRUP jachthaven rechteroever Nieuwpoort (model 643/06). Memo van resultaten tbv bespreking 6 juli 2005.

WL Delft Hydraulics (2004); “Study of density currents in the framework of the LTV for the Scheldt estuary”.

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