



Vlaanderen
is wetenschap



20_063_1
WL rapporten

Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge

Literatuurstudie sedimentatie

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge

Literatuurstudie sedimentatie

Vanlede, J.; Verwilligen, 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/2021/3241/015

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanlede, J.; Verwilligen, J.; Mostaert, F. (2021). Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge: Literatuurstudie sedimentatie. Versie 2.0. WL Rapporten, 20_063_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

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

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DMOW-aMT, Havens & Districten Kust	Ref.:	WL2020R20_063_1
Keywords (3-5):	Sedimentatie, sluis, slibvang		
Kennisdomeinen	Hydraulica en sediment > Sediment > Cohesief sediment > Literatuur- en desktoponderzoek		
Tekst (p.):	11	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	<input checked="" type="checkbox"/> Nee	<input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar	

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verwilligen, J.	Getekend door: Jeroen Verwilligen (Signature) Getekend op: 2021-02-09 08:41:02 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Jeroen Verwilligen</i>
Projectleider:	Vanlede, J.	Getekend door: Joris Vanlede (Signature) Getekend op: 2021-02-16 12:27:22 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Joris Vanlede</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2021-02-08 17:03:48 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

Deze nota kadert binnen de ondersteuning van Xperta aan aMT voor het complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge, en tracht een antwoord te geven van de beschikbare kennis rond sedimentatie en saliniteitsgradienten in de voorhaven.

Deze nota is aanvullend aan het onderzoek dat gepland staat voor het complex project, en dat staat omschreven in de projectonderzoeksnota

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de figuren	VI
1 Inleiding	1
1.1 Complex Project om de nautische toegankelijkheid van de (achter)haven van Zeebrugge	1
1.2 Voorkeursbesluit en redelijke alternatieven voor de sluis.....	2
1.3 Sedimentatiestudie voorzien in de PON.....	3
2 Literatuurstudie	4
2.1 Sedimentlaag in de haven	4
2.2 Baggerwerken.....	5
2.3 Scheepvaartpatronen	6
2.4 Saliniteit in de haven	8
2.5 Zoetwater aanvoer in de haven van Zeebrugge.....	9
2.5.1 Zoetwater aanvoer in de voorhaven van Zeebrugge (Schipdonk- en Leopoldkanaal).....	9
2.5.2 Verwacht dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven thv Nieuwe Sluis Zeebrugge.....	9
2.5.3 Saliniteit in de achterhaven.....	9
3 Referenties	11

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Situering van de locatie “Visartsluis”, geselecteerd in het voorkeursbesluit.....	1
Figuur 2 – Mogelijke inrichtingen van de nieuwe zeesluis.....	2
Figuur 3 – Top: Typisch densiteitsprofiel in de haven van Zeebrugge, CDNB; Bottom: ligging van de lichtenlijn	4
Figuur 4 – Seizoensale variatie in de ligging van de topsliblaag (210 kHz) in het Albert II dok.	5
Figuur 5 – Overzicht onderhoudsbaggerwerk 1999 – 2011	5
Figuur 6 – Wekelijkse baggerintensiteitskaart voor zone voorhaven in 2002.....	6
Figuur 7 – Vaartrajecten van de belangrijkste containerschepen en LNG-carriers gedurende augustus – september 2012.	7
Figuur 8 – Ontwikkeling van een slibwolk tijdens een scheepsmanoeuvre met behulp van een sleepboot....	7
Figuur 9 – saliniteit in CDNB op locatie “Stern” (zie Figuur 1).....	8
Figuur 10 – Situering van de zoetwateraanvoer in Zeebrugge	9
Figuur 11 – Conductiviteitsprofiel Boudewijnkanaal	10
Figuur 12 – Gemeten verticale profielen van saliniteit in 2018 op locaties Herdersbrug en Vandamme sluis	10

1 Inleiding

1.1 Complex Project om de nautische toegankelijkheid van de (achter)haven van Zeebrugge

Momenteel verloopt het scheepvaartverkeer naar de achterhaven louter via de P. Vandammesluis, die vandaag op volle toeren draait. De tweede zeesluis die momenteel toegang biedt tot de achterhaven, de Visartsluis, dateert immers al van 1907 en is sterk verouderd. Zij beantwoordt niet meer aan de noden van de huidige scheepvaart.

De P. Vandammesluis is sinds 1984 in gebruik en ondergaat momenteel grote onderhoudswerkzaamheden. Om de P. Vandammesluis op lange termijn in bedrijf te houden, zijn ingrijpende werkzaamheden op middellange termijn noodzakelijk. Voor deze werkzaamheden zal de P. Vandammesluis gedurende langere tijd buiten gebruik gesteld moeten worden met als gevolg dat schutten via de P. Vandammesluis voor enige tijd onmogelijk zal zijn. De realisatie van een tweede volwaardige toegang tot de achterhaven is, rekening houdend met de verdere ontwikkeling van de achterhaven enerzijds en de huidige staat van de P. Vandammesluis anderzijds, meer dan ooit de eerste prioriteit geworden.

Op 15 juli 2016 een startbeslissing genomen door de Vlaamse regering, voor de opstart van een complex project om de nautische toegankelijkheid van de (achter)haven van Zeebrugge te verbeteren en naar de toekomst toe te blijven garanderen.

Op basis van de verschillende onderzoeken en de resultaten van het gevoerde overleg binnen de onderzoeksfase werd door de Vlaamse regering op 28 juni 2019 (voorkeursbesluit) gekozen voor het alternatief waarbij de nieuwe sluis op de Visartsite 'huidige locatie' komt te liggen.

Na de goedkeuring van het voorkeursbesluit, volgt de uitwerkingsfase van het complex project. De Projectonderzoeksnota (PON) werd opgesteld en ligt [ter inzage](#) tot 10/07/2020.

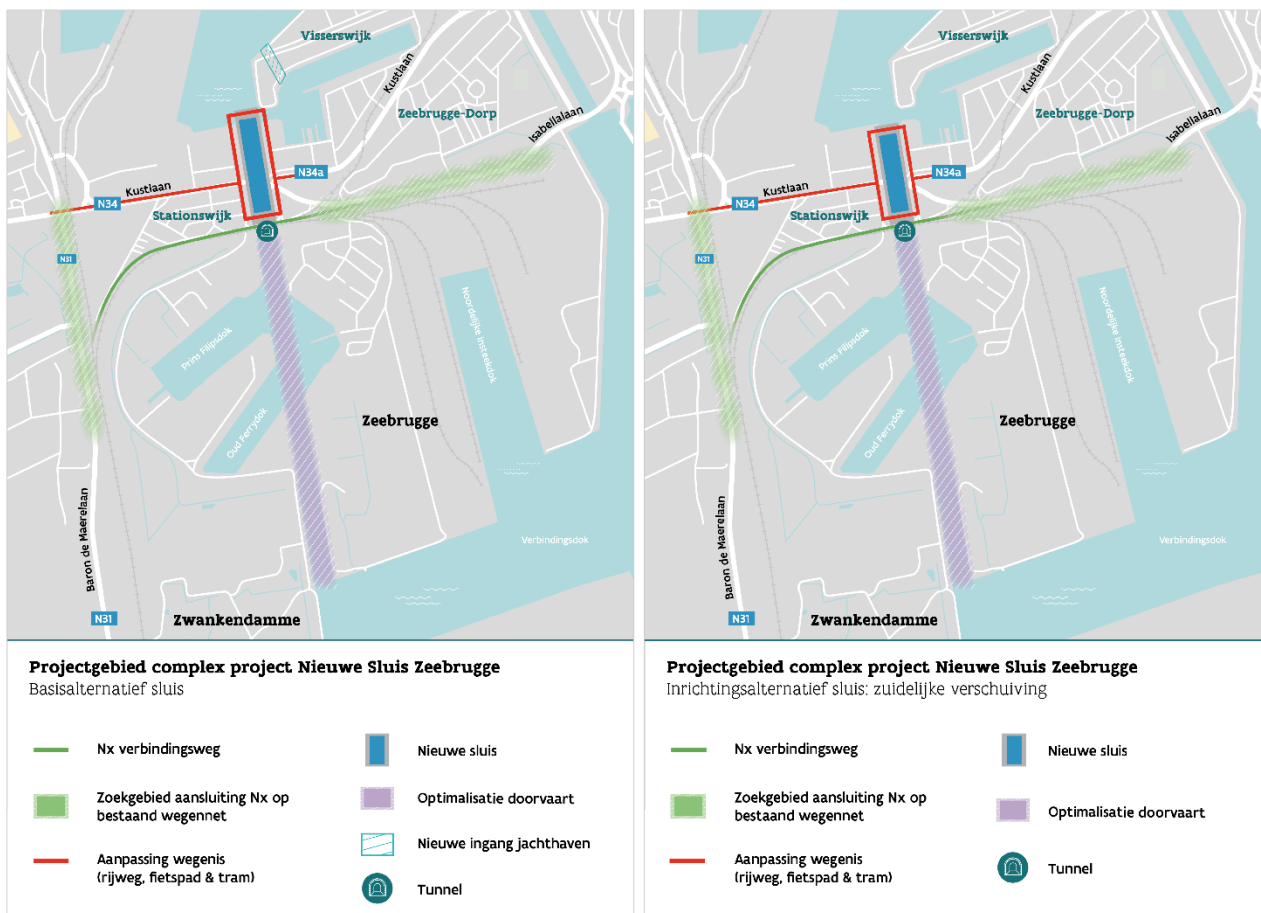


Figuur 1 – Situering van de locatie “Visartsluis”, geselecteerd in het voorkeursbesluit. (Arcadis, 2020)

1.2 Voorkeursbesluit en redelijke alternatieven voor de sluis

de Vlaamse regering heeft op 28 juni 2019 het voorkeursbesluit goedgekeurd, waarbij beslist wordt dat de nieuwe sluis op de Visartsite 'huidige locatie' komt te liggen en waarbij de gewestweg "NX" in een tunnel komt te liggen.

Ten tijde van de PON, is er naast het basisalternatief nog sprake van één inrichtingsalternatief is voor de sluis, namelijk een zuidelijke verschuiving. Het basis- en inrichtingsalternatief voor de sluis hebben beiden een uitvoeringsalternatief, waarbij de zeewaartse sluiskamer aan de westelijke zijde zit.



Figuur 2 – Mogelijke inrichtingen van de nieuwe zeesluis. Bron: <https://www.mow.vlaanderen.be/nieuwesluiszeebrugge/>

1.3 Sedimentatiestudie voorzien in de PON

In de PON (Arcadis, 2020) wordt voorzien dat de aanslibbing in de jachthaven van Zeebrugge modelmatig zal worden bestudeerd. Als bron van sediment wordt daarbij zowel sedimentaanvoer uit de Noordzee, als resuspensie van bodemsediment door schroefwerking in beschouwing genomen. Aangezien de sedimentaanvoer uit de Noordzee niet of nauwelijks zal worden beïnvloed door de bouw van de nieuwe sluis, ligt de nadruk in de PON op de tweede bron, en met name op het begroten van de extra sedimentinput omwille van schroefwerking doordat een groter aantal schepen met gemiddeld grotere afmetingen de sluis zal passeren in vergelijking met vandaag.

In de PON wordt volgende methodiek voorgesteld:

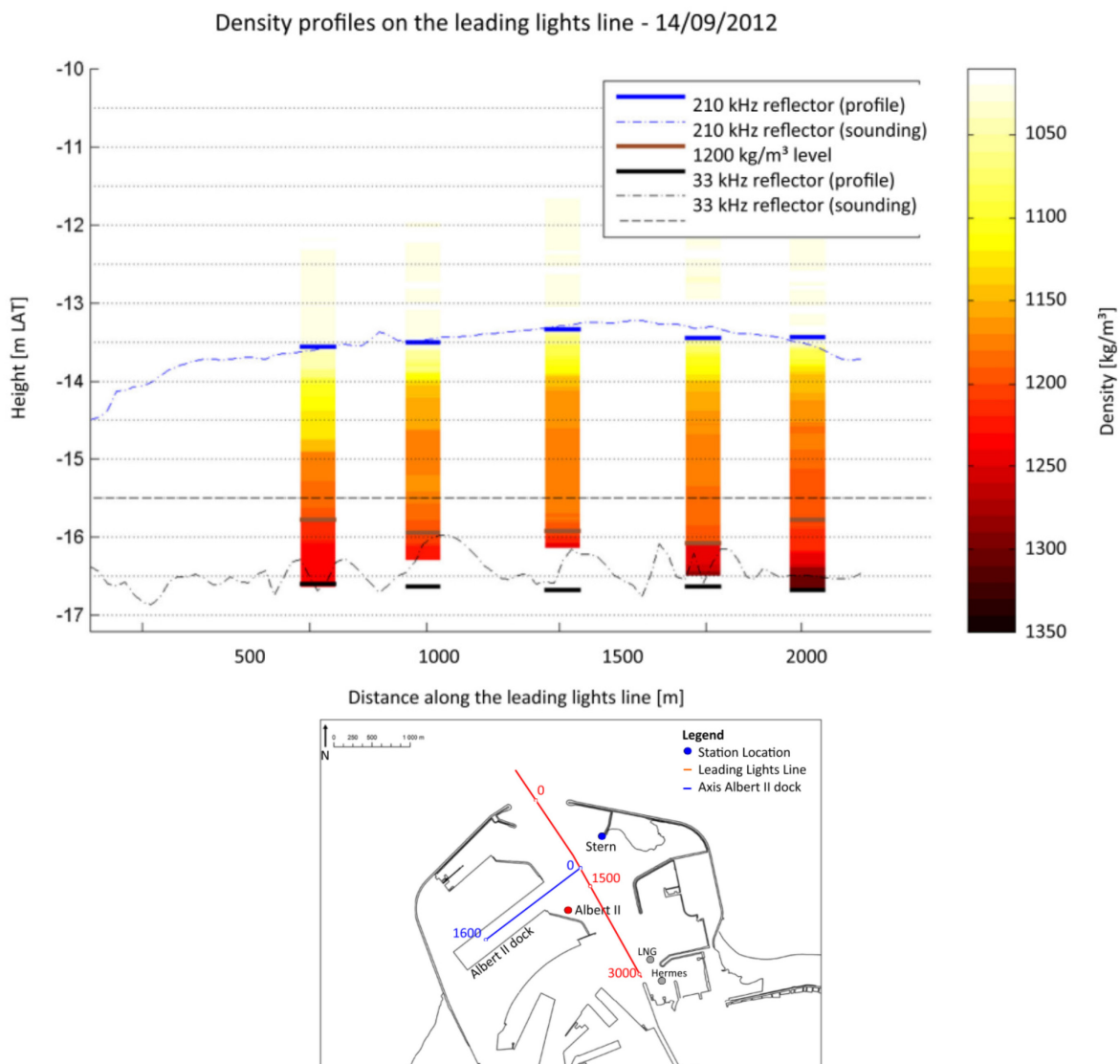
- Bepalen van brontermen van sediment in de huidige toestand en in de toekomstige toestand op basis van schatting van bodemschuifspanning veroorzaakt door schroefwerking. Voor verschillende waarden van parameters zoals diepgang, vermogen, vaarsnelheid, e.d. kan bepaald worden welke bodemschuifspanning gegenereerd wordt. Aan de hand van deze bodemschuifspanning wordt de sedimentaanvoer van de zachte bodem naar de waterkolom berekend.
- In een tweede stap wordt deze bron van sediment ingebracht in een grootschalig model voor getijstroming en sediment transport. Dit model kan de advection, diffusie en afzetting van sediment simuleren, meer bepaald voor de jachthaven van Zeebrugge in dit geval.

2 Literatuurstudie

2.1 Sedimentlaag in de haven

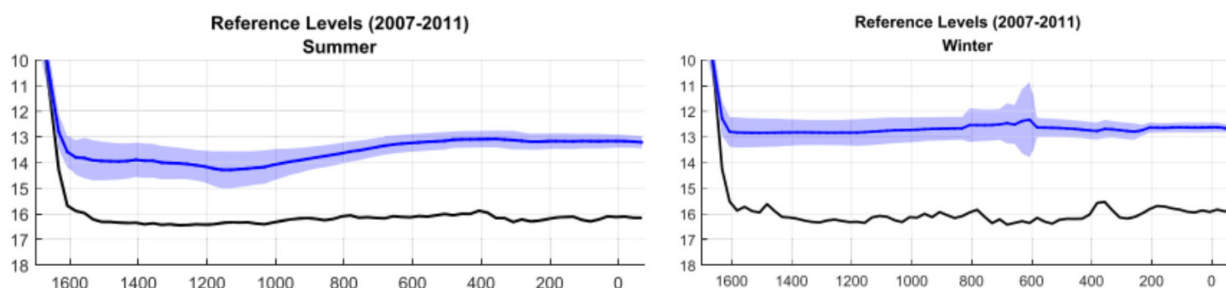
Sediment wordt de haven in geadvecteerd vanuit de Noordzee. De piek van sedimentimport ligt van 2u voor HW tot HW.

Figuur 3 geeft aan dat er in de voorhaven (CDNB) een slibpakket ligt van enkele meters dik. Verder is het ook duidelijk dat er in de haven voldoende weinig geconsolideerd slib aanwezig is (densiteit rond de 1100 kg/m³) om opwoeling door schroefwater mogelijk te maken, zoals wordt voorgesteld om te onderzoeken in de PON.



Figuur 3 – Top: Typisch densiteitsprofiel in de haven van Zeebrugge, CDNB; Bottom: ligging van de lichtenlijn (Vanlede et al, 2019)

Figuur 4 toont een interessante seizoensaliteit die is waargenomen in de ligging van de top van de sliblaag in het Albert II dok. In de winter is dit een vlak oppervlak, terwijl er in de zomer een hoogteverschil van 1m (helling 1/400) wordt geobserveerd. Dit effect is nog niet volledig begrepen, maar een mogelijke hypothese is de seizoensale variatie van de sterkte van het slib (slappere sedimentlagen spreiden beter uit in de winter). Een alternatieve hypothese is de seizoensale variatie in vlok grootte van het sediment, die leidt tot grotere vlokken in de zomer, die mogelijk dichter tegen de ingang van het Albert II dok uitzakken (Vanlede et al., 2019). Verder onderzoek is hier nodig om het systeem beter te begrijpen.



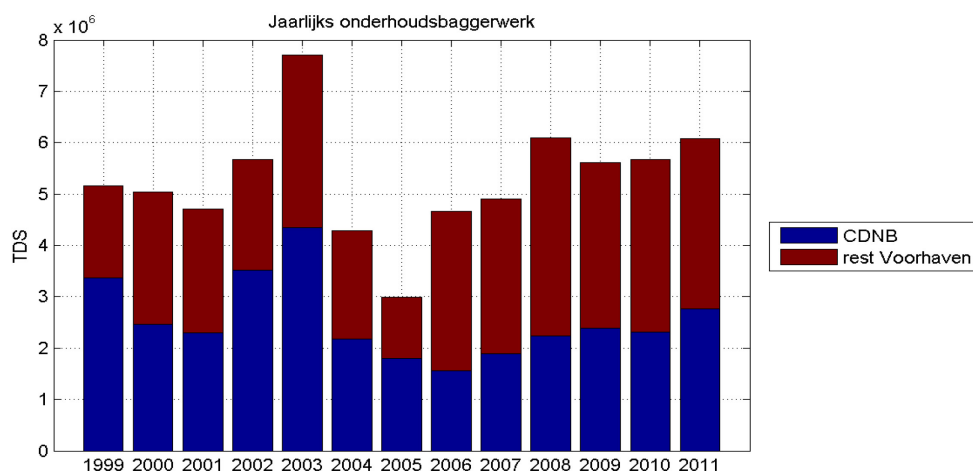
Figuur 4 – Seizoensale variatie in de ligging van de topsliblaag (210 kHz) in het Albert II dok. Voor de coördinaten langs de lichtenlijn, zie bottom panel van Figuur 3. (Vanlede et al., 2019)

Dit resultaat heeft een implicatie voor het sedimentvraagstuk van de NSZ, met name dat het sediment naar analogie met het geobserveerde gedrag in het Albert II dok, waarschijnlijk dieper de haven indringt in de winter dan in de zomer. Dat zou willen zeggen dat de sedimentatie in de achterhaven mogelijk meer speelt in de winter dan in de zomer.

2.2 Baggerwerken

Dujardin et al. (2016) presenteren een analyse van de onderhoudsbaggerwerken in Zeebrugge over de periode 1999-2011.

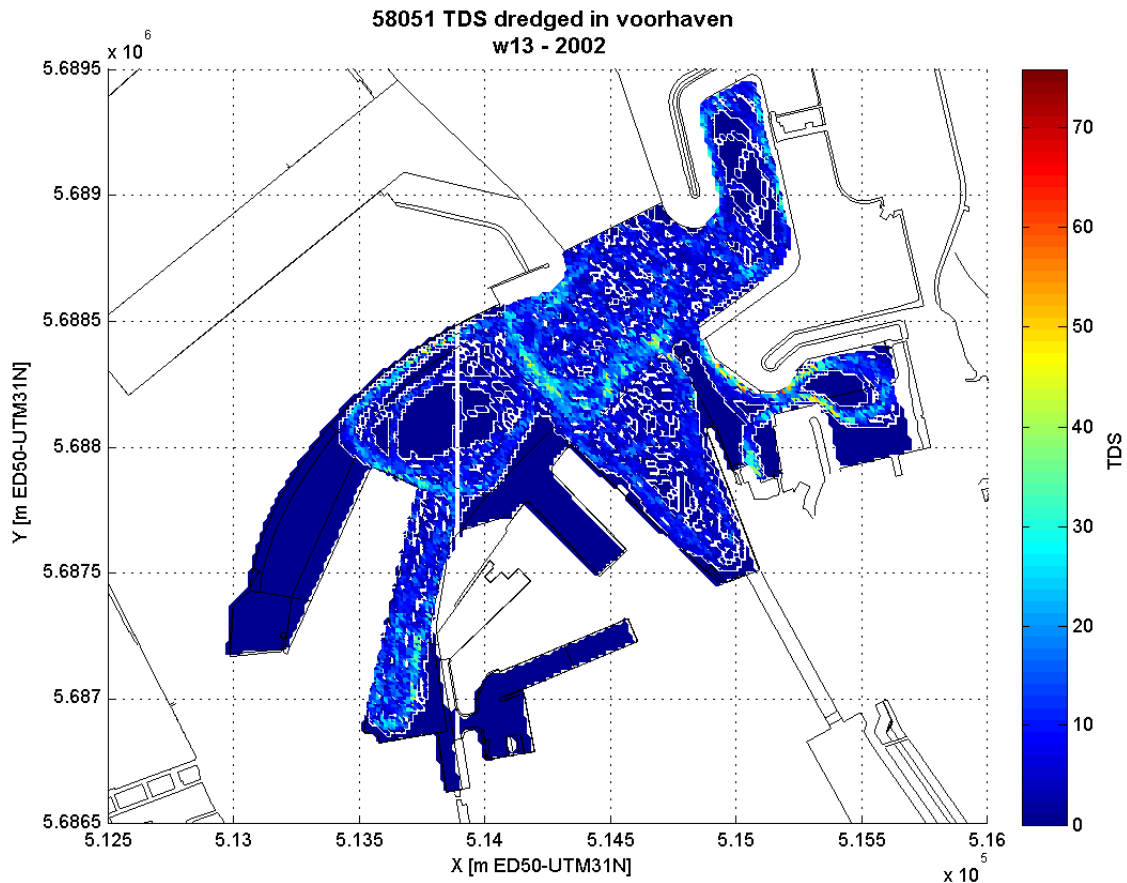
De baggerwerken worden geaggregeerd in twee deelzones: Centraal Deel Nieuwe Buitenhaven (CDNB) en Voorhaven. De som van beide geeft het totaal aan baggerwerken dat binnen de havendammen van Zeebrugge wordt uitgevoerd.



Figuur 5 – Overzicht onderhoudsbaggerwerk 1999 – 2011(Dujardin et al., 2016)

De jaargemiddelde baggerintensiteit is 5,3Mton/jaar, verdeeld over het CDNB (48%) en de Voorhaven (52%). Dit komt overeen met een gemiddelde baggerhoeveelheid van 15.000 TDS/dag.

Dujardin et al. (2016) produceerden ook wekelijkse baggerintensiteitskaarten, gebaseerd op de informatie uit BIS (Bagger Informatie Systeem). Deze data werd echter enkel geaggregeerd verwerkt voor de volledige voorhaven. De kaarten werden enkel aangemaakt voor een visuele data inspectie. Inspectie van de kaarten leert dat de zone voor de Visart sluis slechts sporadisch (5 a 10 weken per jaar) deel uitmaakte van de baggetrack.

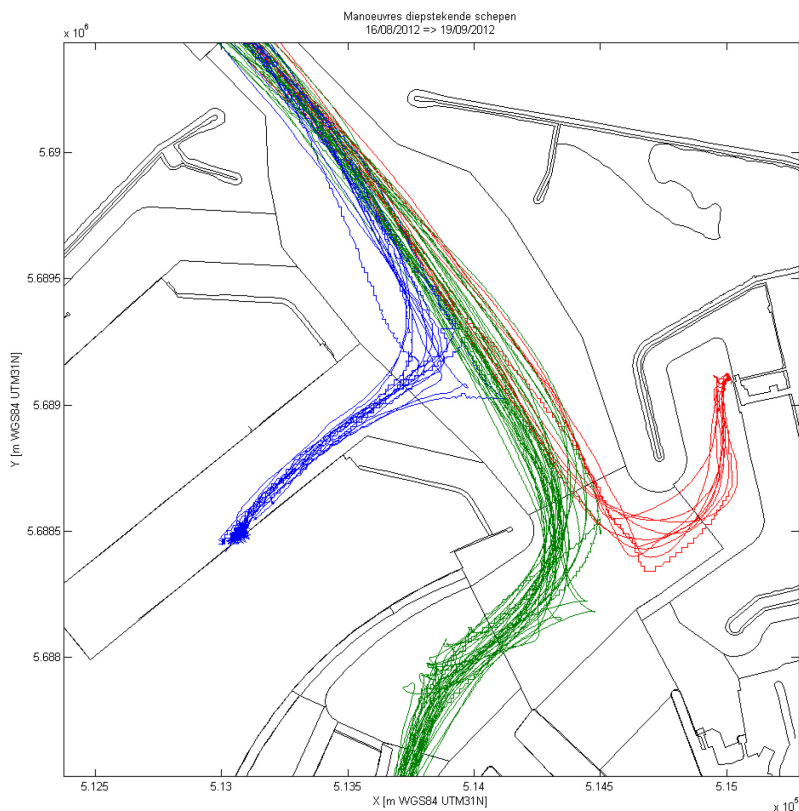


Figuur 6 – Wekelijkse baggerintensiteitskaart voor zone voorhaven in 2002

2.3 Scheepvaartpatronen

Gezien de geringe dichtheid van de bovenkant van de sliblaag in Zeebrugge (zie §2.1) is het niet verwonderlijk dat het schroefwater van manoeuvrerende schepen en/of sleepboten voldoende bodemschuifspanning genereert om sediment te re-suspenderen in de waterkolom.

Uit de analyse van AIS data in Dujardin et al. (2014) weten we dat containerschepen regelmatig de route bevaren tot aan de locatie van de nieuwe sluis. Dit effect kan dus zorgen voor sediment redistributie van de voorhaven richting de sluis.



Figuur 7 – Vaartrajecten van de belangrijkste containerschepen en LNG-carriers gedurende augustus – september 2012.
Blauw: containerschepen met bestemming Albert II-dok; Groen: containerschepen met bestemming Oostkaai;
Rood: LNG-carriers (Dujardin et al, 2014)

Anekdotisch bewijs (zie Figuur 8) bevestigt dat schepen inderdaad de sliblaag op de bodem kunnen omwoelen.

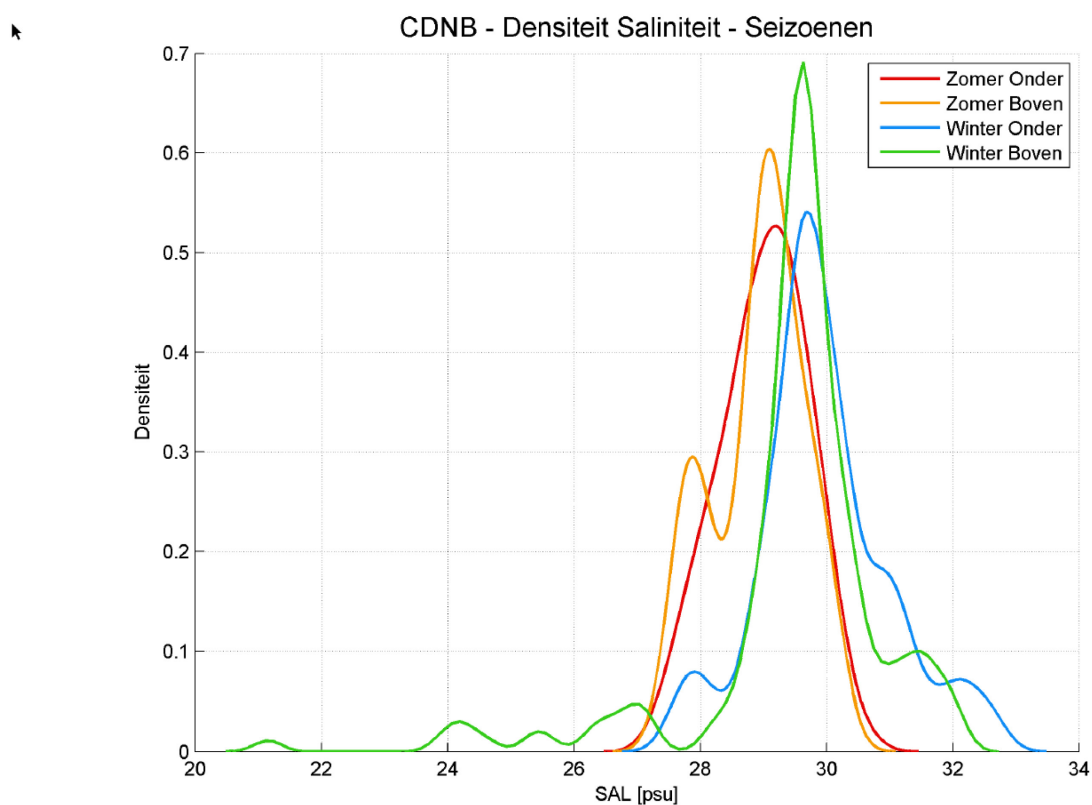


Figuur 8 – Ontwikkeling van een slibwolk tijdens een scheepsmanoeuvre met behulp van een sleeptboot(Dujardin et al, 2014)

In Antea Group (2015) werd de interne dynamiek van het slib in de haven onderzocht voor de periode april 2013 – maart 2014. Voor de scheepspassages kon geen eenduidig verband worden aangetoond; in zones waar veel scheepsmoeuvres worden uitgevoerd (ingang Albert II-dok, LNG-terminal) komt tot 28% van de pieken in sedimentconcentratie overeen met een scheepspassage.

2.4 Saliniteit in de haven

Figuur 9 toont de saliniteit in de haven zoals bemeaten in de periode april 2013 tot maart 2014. Het toont een havenbekken dat goed verticaal gemengd is (klein verschil tussen bovenste en onderste sensor). De sensoren waren gemonteerd nabij de bodem (+/- 2m boven bodem) en nabij LW (+/- 2m onder LW).



Figuur 9 – saliniteit in CDNB op locatie “Stern” (zie Figuur 1). Bron: Antea group (2015)

2.5 Zoetwater aanvoer in de haven van Zeebrugge



Figuur 10 – Situering van de zoetwateraanvoer in Zeebrugge

2.5.1 Zoetwater aanvoer in de voorhaven van Zeebrugge (Schipdonk- en Leopoldkanaal)

De uitwateringsconstructie te Heist regelt het debiet vanuit het Afleidingskanaal van de Leie (of Schipdonkkanaal) en vanuit het Leopoldkanaal (voor de afwatering van de noordelijke polders).

Debieten door deze kanalen kennen een gepiekt verloop, met piekdebieten boven de $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Bij die piekdebieten gebeurt de lozing in het tijvenster waarin de waterstand op zee lager is dan de waterstand in het kanaal.

Uit metingen weten we dat gedurende periodes van hoge zoetwaterafvoer in de voorhaven ($>10 \text{ m}^3/\text{s}$) er stratificatie optreedt nabij het wateroppervlak, waarbij ongeveer de bovenste meter van de waterkolom zoeter wordt. Deze stratificatie dissipeert vanzelf door verticale menging binnen de 6 a 8u. Deze zoetwateraanvoer draagt verder niet bij tot de import van sediment vanuit de Noordzee. (Vanlede et al., 2019)

2.5.2 Verwacht dichtheidsverschil tussen voor- en achterhaven thv Nieuwe Sluis Zeebrugge

Vercruyse et al. (2019) analyseerden nieuwe en bestaande meetgegevens om het saliniteitsverschil te bepalen tussen voor- en achterhaven ter hoogte van de nieuwe sluis Zeebrugge (locatie Visartsluis).

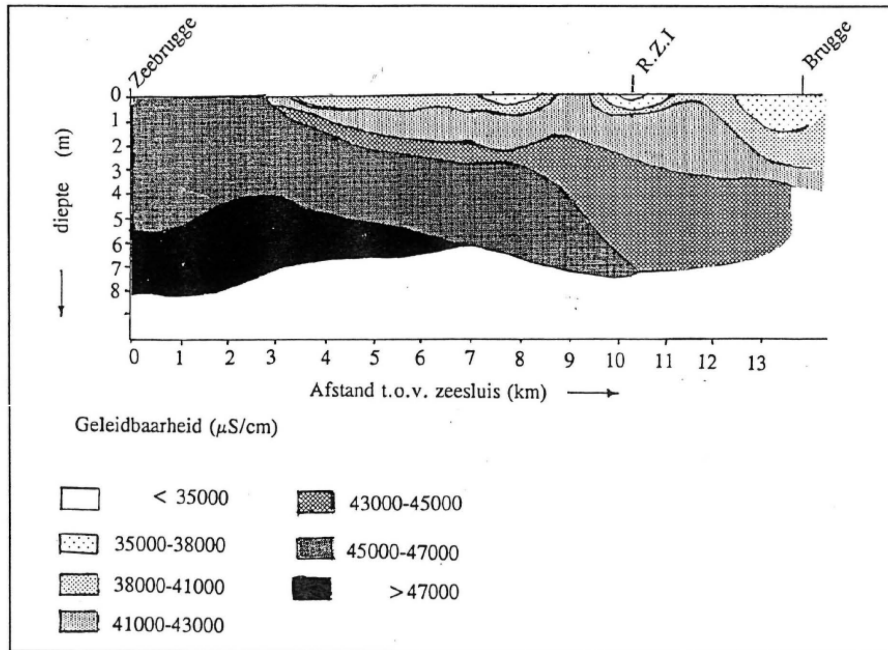
Uit de analyse van de vier beschikbare profielmetingen in de achter- en voorhaven volgt een dichtheidsverschil 1.0 kg/m^3 tot 3.0 kg/m^3 tussen voor- en achterhaven.

2.5.3 Saliniteit in de achterhaven

De achterhaven staat in open connectie met het (verzilte) Boudewijnkanaal. De achterhaven en het Boudewijnkanaal worden op peil gehouden door middel van een afvoerkoker gelegen naast de

Vandammesluis. Het Boudewijnkanaal wordt van zoet water voorzien via schuttingsen en spui-events van de Verbindingsuis (Brugge) en door middel van lozing van water uit het R.W.Z.I Brugge.

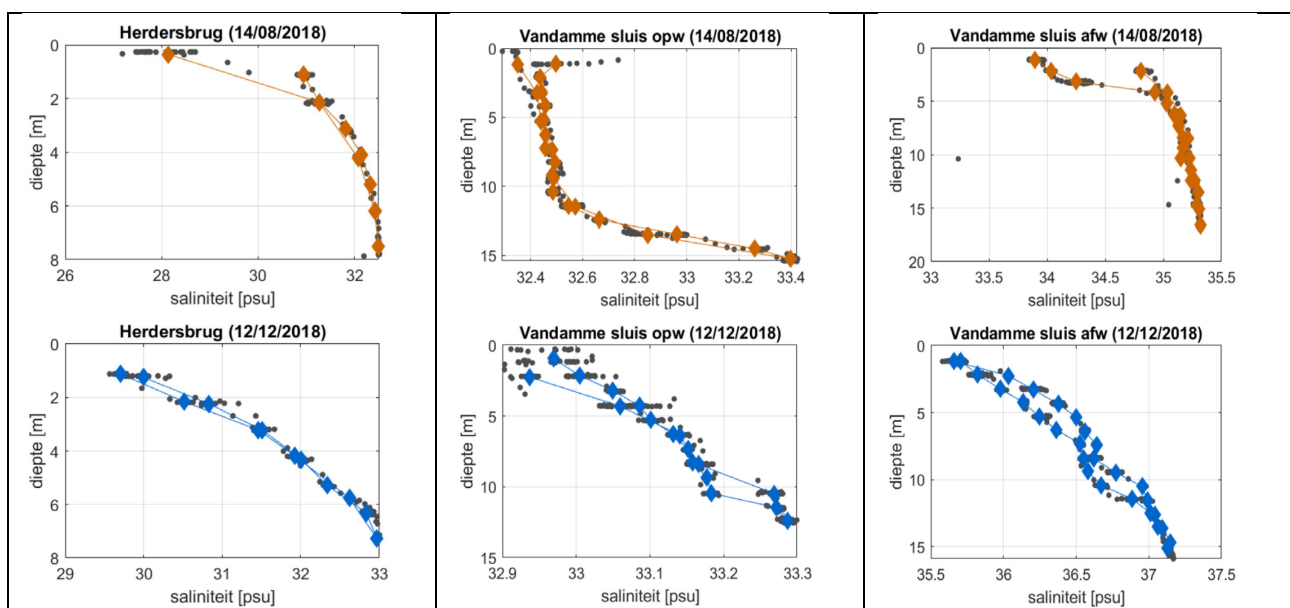
Het Boudewijnkanaal is verzilt, en toont een sterke stratificatie aan de afwaartse kant (achterhaven Zeebrugge)



Figuur 4 : Profiel geleidbaarheid van het Boudewijnkanaal (december 1990).

Figuur 11 – Conductiviteitsprofiel Boudewijnkanaal (De Breuck *et al.*, 1992)

Deze stratificatie werd ook gemeten door WL tijdens meetcampagnes in 2018 (Vercruyssen *et al.*, 2019). Locatie Herdersbrug is gelegen op het Boudewijnkanaal, 6.3km opwaarts van de Visartsluis.



Figuur 12 – Gemeten verticale profielen van saliniteit in 2018 op locaties Herdersbrug en Vandamme sluis (Vercruyssen *et al.*, 2019)

3 Referenties

Antea Group (2015). Onderzoek en monitoring alternatieve stortstrategie onderhoudsbaggerwerk voorhaven Zeebrugge 2013 – 2015 (16EF/2011/28). Studie invloed externe factoren op interne slibdynamiek in de haven (Deelopdracht 3). Rapport 2246393017-DO3.

Arcadis (2020) Complex project Nieuwe Sluis Zeebrugge. Verbetering nautische toegankelijkheid tot de (achter)haven van Zeebrugge. Projectonderzoeksnota. Versie 1.4 – 02 juni 2020

De Breuck, W.; Vercruyse, M.; Monteyne, J. (1992). Verzilting van het Boudewijnkanaal. Centrum voor de Studie van Water, Bodem en Lucht: Gent. v, 45 pp.

Dujardin, A.; Vanlede, J.; Vos, S.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2014). Invloedsfactoren op de ligging van de top van de sliblaag in het CDNB: Deelrapport 1 – Casestudy “zomer 2012”. Versie 2.0. WL Rapporten, 00_078. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group: Antwerpen, België.

Dujardin, A.; Vanlede, J.; Van Hoestenbergh, T.; Verwaest, T.; Mostaert, F. (2016). Invloedsfactoren op de ligging van de top van de sliblaag in het CDNB: Deelrapport 2 – Analyse periode 1999-2011. Versie 5.0. WL Rapporten, 00_078. Waterbouwkundig Laboratorium & Antea Group: Antwerpen, België.

Vanlede, J.; Dujardin, A.; Fettweis, M.; Van Hoestenbergh, T.; Martens, C. (2019). Mud dynamics in the Port of Zeebrugge. *Ocean Dyn.* 69(9): 1085–1099. doi:10.1007/s10236-019-01273-3

Vercruyse, J.; Vanderkimpen, P.; Claeys, S.; Mostaert, F. (2019). Complex project nieuwe sluis Zeebrugge: Opmeten dichtheidsverschil tussen voorhaven en achterhaven. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_041_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be