



Vlaanderen
is wetenschap



17_044_1
WL rapporten

Optimalisatie diepteprofiel voor de toegankelijkheid van de Scheldehavens

Deelrapport 1
Klantenwensen Maart 2017

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Optimalisatie diepteprofiel voor de toegankelijkheid van de Scheldehavens

Deelrapport 1 – Klantenwensen Maart 2017

Verwilligen, J.; Eloot, K.; 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 2017
D/2017/3241/354

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Mostaert, F. (2017). Optimalisatie diepteprofiel voor de toegankelijkheid van de Scheldehavens: Deelrapport 1 – Klantenwensen Maart 2017. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_044_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (VNSC)	Ref.:	WL2017R17_044_1
Keywords (3-5):	Tijpoort, Bodemprofiel, Haven van Antwerpen, Vlissingen-Sloehaven		
Tekst (p.):	31	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	01/01/2020
		Uitzondering:	☒ Vlaamse overheid

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

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Eloot, K.	
Projectleider:	Verwilligen, J.	

Goedkeuring

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



Abstract

Op 10/04/2017 werd het Waterbouwkundig Laboratorium per mail gevraagd naar de mogelijkheid om een snelle en indicatieve berekening uit te voeren naar de vereiste bodemprofielen om te voldoen aan onderstaande klantenwensen:

- Tankvaart Kieldrechtsluis bij diepgang 16.5 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 2 uur:
 - Opvaart (scenario 1a en 1b)
 - Afvaart (scenario 2)
- Containervaart Deurganckdok bij diepgang 18.0 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 1 uur:
 - Opvaart (scenario 3)
 - Afvaart (scenario 4)
- Bulkvaart Vlissingen Sloehaven bij diepgang 17.0 m en een minimale tijpoortlengte gelijk aan 30 minuten
 - Opvaart met stroomcriterium [-15 minuten SvH;+15 minuten SvH] in 90% van de tijden (scenario 5).

In het kader van voorliggende opdracht ontwikkelde WL een rekenmethodiek die toeliet om uitgaande van een vooropgestelde toegankelijkheid een minimaal vereist diepteprofiel te berekenen. Hierbij wordt iteratief een gelijkwaardige verdieping toegepast op de openings- en sluitingsdrempels van een tijpoortberekening. Per drempel kon bovendien een maximale diepte gedefinieerd worden waaronder de drempel niet verdiept mocht worden.

De rekenmethodiek werd toegepast op bovenvermelde klantenwensen en resulteerde voor elk in een geoptimaliseerd diepteprofiel. Op basis van de resultaten is een inschatting mogelijk van de vereiste inspanningen om te voldoen aan de klantenwensen.

Scheepsbeweging > Ontwerp vaarweg en haven > Numerieke berekeningen
Scheepsbeweging > Ontwerp vaarweg en haven > Simulaties

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Inleiding	1
1.1 Klantenwensen maart 2017	1
1.2 Documentinhoud en -structuur.....	1
2 Ontwikkeling.....	2
2.1 DetToel	2
2.2 Ontwikkeling DetToel ter bepaling diepteprofiel.....	2
2.2.1 Iteratieve verdieping	2
2.2.2 Aandachtspunten	3
2.2.3 Degressieve verdiepingsstap	3
2.3 Oriënterende berekening.....	4
3 Input gegevens	6
3.1 Waterstanden.....	6
3.2 Tijdstippen stil van hoog.....	7
3.2.1 Deurganckdok.....	7
3.2.2 Vlissingen-Sloehaven.....	7
3.3 Drempels	8
3.3.1 Dieptes.....	9
3.3.2 Kielspelingen.....	9
4 Scenario's Klantenwensen maart 2017	13
4.1 Vaarsnelheden.....	13
4.2 Diepgangen.....	14
4.3 Tijpoortlengte en stroomcriterium.....	14
4.4 Optimalisatiecriteria	15
5 Resultaten.....	16
5.1 Opvarende tankvaart Kieldrechtsluis	16
5.2 Afvarende tankvaart Kieldrechtsluis	19
5.3 Opvarende containervaart Deurganckdok	21

5.4	Afvarende containervaart Deurganckdok	23
5.5	Opvarende bulkvaart Vlissingen-Sloehaven	24
6	Invloed toegankelijkheidspercentiel	26
7	Samenvatting en aanbevelingen	28
7.1	Samenvatting.....	28
7.2	Aanbevelingen	29
7.2.1	Doorontwikkeling rekenmethodiek.....	30
7.2.2	Waterstanden.....	30
8	Referenties	31

Lijst van de tabellen

Tabel 1 - Locaties waarvoor in het kader van Verwilligen <i>et al.</i> (2014) astronomische waterstanden bepaald werden op basis van het Kustzuidmodel.....	7
Tabel 2 - Drempels toegepast in de studie.....	10
Tabel 3 - Samenvatting berekende optimalisatie-scenario's	13
Tabel 4 - Vaarsnelheden als uitgangspunt voor berekeningen	14
Tabel 5 - Tijpoortlengte als uitgangspunt voor de berekening	15
Tabel 6 - Optimalisatiecriteria	15
Tabel 7 - Traject opvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met geoptimaliseerde diepteprofielen volgens scenario's 1a en 1b.....	17
Tabel 8 - Traject opvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met volgens scenario's 1a en 1b.....	18
Tabel 9 - Traject afvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 2).....	20
Tabel 10 - Traject opvarende containervaart (T=18.0 m) Deurganckdok met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 3).....	22
Tabel 11 - Traject afvarende containervaart (T=18.0 m) Deurganckdok met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 4).....	24
Tabel 12 - Traject opvarende bulkvaart (T=17.0 m) Sloehaven met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 5).....	25
Tabel 13 - Traject afvarende containervaart (T=18.0 m) Deurganckdok met geoptimaliseerde diepteprofiel: sensitiviteit p_{obj}	27

Lijst van de figuren

Figuur 1 - Resultaat geoptimaliseerd diepteprofiel voor oriënterende berekening	5
Figuur 2 - Locaties waarvoor de stroomresultaten uit het Kustzuidmodel geanalyseerd werden in Verwilligen <i>et al.</i> (2014b)	8
Figuur 3 - Ligging drempels op Zee.....	11
Figuur 4 - Ligging drempels Zee (rood), Rivier (blauw), Haven (groen) en Sluis (geel)	11
Figuur 5 - Ligging drempels Deurganckdok: Haven (groen) en Sluis (geel)	12
Figuur 6 - Kielspelingsgebieden zoals gedefinieerd in WESP (Verwilligen <i>et al.</i> , 2014a)	14
Figuur 7 - Geoptimaliseerde diepteprofielen voor opvarende tankvaart (T=16.5 m) naar Kieldrechtssluis....	17
Figuur 8 - Geoptimaliseerde diepteprofielen voor afvarende tankvaart (T=16.5 m) uit Kieldrechtssluis	19
Figuur 9 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor opvarende containervaart (T=18.0 m) naar Deurganckdok..	21
Figuur 10 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor afvarende containervaart (T=18.0 m) uit Deurganckdok....	23
Figuur 11 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor opvarende bulkvaart (T=17.0 m) naar Vlissingen-Sloehaven	25
Figuur 12 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor afvarende containervaart (T=18.0 m) uit Deurganckdok: sensitiviteit p_{obj}	26
Figuur 13 - Diepteprofielen geoptimaliseerd voor Klantenwensen maart 2017.....	29

1 Inleiding

1.1 Klantenwensen maart 2017

De toegankelijkheid van de Scheldehavens wordt mede bepaald door de diepteligging van de vaartrajecten naar de havens. Doordat de toegankelijkheid bovendien afhankelijk is van een groot aantal andere parameters (zoals getij, vaarsnelheid, kielspelingscriteria, tijpoortlengte en stroomcriteria) is de bepaling van de vereiste diepteligging van een vaartraject om te voldoen aan een vooropgesteld toegankelijkheidsniveau van één van de havens niet eenvoudig te bepalen.

Op 10/04/2017 werd het Waterbouwkundig Laboratorium per mail gevraagd naar de mogelijkheid om een snelle en indicatieve berekening uit te voeren naar de vereiste bodemprofielen om te voldoen aan onderstaande toegankelijkheden:

- Tankvaart Kieldrechtsluis bij diepgang 16.5 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 2 uur:
 - Opvaart
 - Afvaart
- Containervaart Deurganckdok bij diepgang 18.0 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 1 uur:
 - Opvaart
 - Afvaart
- Bulkvaart Vlissingen Sloehaven bij diepgang 17.0 m en een minimale tijpoortlengte gelijk aan 30 minuten
 - Opvaart met stroomcriterium $[-15 \text{ minuten SvH}^1; +15 \text{ minuten SvH}]$ in 90% van de tijen.

Bovenstaande toegankelijkheidswensen worden verder benoemd als *klantenwensen maart 2017*.

1.2 Documentinhoud en -structuur

In het verleden voerde WL meerdere tijpoortberekeningen uit waarbij het uitgangspunt steeds was om uitgaande van een bodemprofiel de te verwachten toegankelijkheid voor een gegeven haven en schip te bepalen (Verwilligen *et al.*, 2014a, 2016a; b). De huidige vraag betreft een meer uitdagende berekening, waarbij uitgaande van een gewenste toegankelijkheid het vereiste bodemprofiel berekend dient te worden. In het kader van voorliggende studie werd het beschikbaar instrumentarium ter berekening van tijpoortberekeningen (DetToel) verder ontwikkeld door WL. In Hoofdstuk 2 wordt het toegepaste instrumentarium beschreven.

Tijpoortberekeningen gaan gepaard met de definitie van een groot aantal inputdata en aannames. Het grootste risico op foutieve resultaten zit bijgevolg in een verkeerde of verschillende interpretatie van bepaalde input data of rekenparameters. De data waarvan gebruik gemaakt werd tijdens de studie worden gepresenteerd in Hoofdstuk 3 terwijl de aannames overeenkomstig de verschillende scenario's weergegeven worden in Hoofdstuk 4.

Uitgaande van de input data werd het ontwikkelde instrumentarium ingezet om het bodemprofiel te berekenen dat overeenkomt met de klantenwensen maart 2017. De resultaten van deze berekeningen kunnen nagelezen worden in Hoofdstuk 5. In Hoofdstuk 6 wordt op basis van één voorbeeld de sensitiviteit voor het gekozen toegankelijkheidspercentiel besproken.

¹ Stil van Hoog: kenteringstijdstip bij Hoog Water

2 Ontwikkeling

In het verleden voerde WL meerdere tijpoortberekeningen uit waarbij het uitgangspunt steeds was om uitgaande van een bodemprofiel de te verwachten toegankelijkheid voor een gegeven haven en schip te bepalen (Verwilligen *et al.*, 2014a, 2016a; b). De huidige vraag betreft echter een meer uitdagende berekening, waarbij uitgaande van een gewenste toegankelijkheid het vereiste bodemprofiel berekend dient te worden. In het kader van voorliggende studie werd het beschikbaar instrumentarium ter berekening van tijpoortberekeningen (DetToel) verder ontwikkeld door WL.

2.1 DetToel

In het kader van Verwilligen *et al.* (2014) werd een performante softwarecode (DetToel) ontwikkeld voor het uitvoeren van deterministische toegankelijkheidsberekeningen. DetToel laat toe om uitgaande van de vereiste inputparameters de toegankelijkheid voor een waaier aan diepgangen te berekenen in een korte tijdspanne (ca. drie minuten voor het doorrekenen van 500 diepgangen gedurende zes maanden). De output welke door DetToel geproduceerd wordt, betreft enerzijds tijpoortlengtes per diepgang en anderzijds maximale diepgangen gegeven een minimale tijpoortlengte. Bovendien biedt DetToel voor deze output (tijpoortlengte en maximale diepgang) informatie over de beperkende drempels welke verantwoordelijk zijn voor het openen en sluiten van de tijpoort.

2.2 Ontwikkeling DetToel ter bepaling diepteprofiel

Om een antwoord te bieden op de voorliggende onderzoeksvraag diende DetToel verder ontwikkeld te worden opdat het bodemprofiel, waarmee de initiële berekening uitgevoerd werd, verdiept wordt om de vooropgestelde toegankelijkheid te bekomen. Hierbij wordt toegankelijkheid uitgedrukt als een combinatie van diepgang (T_{obj}) en toegankelijkheidspercentiel (p_{obj}). Een toegankelijkheidspercentiel gelijk aan 100% stemt overeen met een toegankelijkheid waarbij elke tijcyclus de diepgang T_{obj} mogelijk moet zijn.

2.2.1 Iteratieve verdieping

De methode welke toegepast wordt voor de optimalisatie van een bodemprofiel op basis van een vooropgesteld toegankelijkheidsniveau wordt hieronder beschreven:

1. Voor een initieel bodemprofiel wordt de DetToel-berekening uitgevoerd over een voldoende lange periode en wordt voor elke tijcyclus binnen deze periode de maximale diepgang (T) bekomen.
2. Dan worden de bepalende tijcycli geselecteerd in overeenstemming met de vooropgestelde toegankelijkheid. De bepalende tijcycli betreffen de tijcycli waarvoor geldt dat:
 - a. $T < T_{obj}$ (want voor tijcycli met grotere diepgang is er geen bodemverdieping nodig);
 - b. $T > (1 - p_{obj})$ -percentiel van de bekomen maximale diepgangen per tijcyclus (want de $1 - p_{obj}$ minst gunstige tijcycli dienen niet meegenomen te worden).
3. Voor de bepalende tijcycli worden afzonderlijk voor openings- en sluitingsdrempels:
 - a. de drempels en hun procentuele aandeel opgelijst;
 - b. de drempels waarvoor het stroomcriterium maatgevend is, worden niet in rekening gebracht.
4. Een vooraf gedefinieerde verdiepingsstap (Δh) wordt verdeeld over de maatgevende drempels voor opening en sluiting:
 - a. Een verdieping gelijk aan $\Delta h/2$ wordt volgens het procentueel aandeel van voorkomen, toegekend aan de maatgevende openingsdrempels en gelijkaardig aan de sluitingsdrempels

- b. Eén en dezelfde drempel wordt maximaal met $\Delta h/2$ verdiept
 - c. De verdiepingen worden toegepast op het bodemprofiel waarbij er gecontroleerd wordt of de drempeldieptes niet groter worden dan een optioneel gedefinieerde maximale diepte van de drempel (vb. betonnen sluisdrempel)
5. Een DetToel-berekening wordt uitgevoerd op het verdiepte bodemprofiel. Zolang niet voldaan is aan de toegankelijkheid gedefinieerd door T_{obj} en p_{obj} worden de stappen 2 tot 5 herhaald.
6. Als resultaat van elke iteratie worden bijgehouden:
 - a. het bodemprofiel;
 - b. het toegankelijkheidspercentiel overeenkomstig de gewenste diepgang;
 - c. het gemiddelde van de bekomen maximale diepgang per tijcyclus.

De bovenbeschreven iteratieve berekening van het bodemprofiel wordt afgebroken wanneer een bodemprofiel gevonden werd dat voldoet aan de vooropgestelde toegankelijkheid, of wanneer twee opeenvolgende iteraties aanleiding geven tot dezelfde gemiddelde waarde van de maximale diepgangen. Dit laatste geeft aan dat er geen oplossing gevonden kon worden.

2.2.2 Aandachtspunten

Bij toepassing van deze optimalisatiemethode dient men er rekening mee te houden dat het resultaat niet eenduidig is. Doordat de verdieping (uitgaande van een initiële conditie) gelijkmatig uitgevoerd wordt over sluitingsdrempels en openingsdrempels is het uiteindelijke resultaat afhankelijk van:

- de initiële dieptes die voor de drempels aangenomen worden;
- de maximale toegelaten diepte die gedefinieerd wordt voor één of meerdere drempels;
- de locatie en het aantal drempels dat in rekening gebracht wordt.

Deze laatste afhankelijkheid is de minst triviale en verdient daardoor wat meer duiding. Aangezien bij de methode de helft van de verdiepingsstap verdeeld wordt over de openingsdrempels en een even grootte verdieping over de sluitingsdrempels, heeft de drempeldichtheid op een bepaalde locatie een invloed op de verdieping per drempel. Stel dat ter hoogte van de openingsdrempels er om de 500 m een drempel gedefinieerd werd, terwijl dit ter hoogte van de sluitingsdrempels slechts om de 2000 m zou zijn. In zo'n geval zullen de sluitingsdrempels meer bepalend zijn voor de diepteoptymalisatie en aanleiding geven tot een lokaal sterke verdieping, terwijl voor de openingsdrempels de verdieping meer gespreid zou zijn. Indien een gelijkmatige verdieping over openings- en sluitingsdrempels bekomen dient te worden dan dienen er voldoende equidistante drempels/rekenpunten gedefinieerd te worden, waarbij de dieptewaarde van elke drempel overeenkomt met een representatieve diepte voor deze drempel/rekenpunt². De keuze van het aantal drempels, hun onderlinge ligging, de initiële dieptes en de maximaal toegelaten dieptes bieden de uitvoerder de mogelijkheid om de verdeling van de verdieping over het traject te sturen.

2.2.3 Degressieve verdiepingsstap

De convergentie van de iteratieve methode is sterk afhankelijk van de verdiepingsstap (Δh) die gedefinieerd wordt. Zo zal een kleine verdiepingsstap (Δh) een groot aantal iteraties vereisen om de bodem tot op het gewenste niveau te verdiepen. Anderzijds zal een grote verdiepingsstap (Δh) aanleiding geven tot een beperkte nauwkeurigheid van het eindresultaat. Om een optimum tussen beide te bekomen wordt er een functionaliteit toegevoegd waarbij Δh stelselmatig aangepast wordt:

1. Onderstaande parameters dienen door de gebruiker gedefinieerd te worden:
 - a. De initiële verdiepingsstap (Δh_0);

² Bij toepassing van de methode in de voorliggende opdracht werd om redenen van beschikbaarheid en vereenvoudiging, gebruik gemaakt van de huidige drempels toegepast in een WESP-berekening met een initiële diepteligging conform streefdieptes. Een maximaal toegelaten diepte werd enkel gedefinieerd voor de sluisdrempel van de Kieldrechtsluis.

- b. De verhouding van de verdiegingsstappen bij opeenvolgende iteraties ($\Delta h_n / \Delta h_{n-1}$) welke aangeeft met welke factor de vorige verdiegingsstap vermenigvuldigd moet worden om een nieuwe verdiegingsstap te bekomen;
 - c. Een minimale verdiegingsstap (Δh_{end}) waarbij de berekening beëindigd wordt.
2. Het geoptimaliseerde bodemprofiel wordt berekend voor $\Delta h = \Delta h_0$ waarop Δh aangepast wordt:
 $\Delta h = \Delta h_n / \Delta h_{n-1} * \Delta h$
3. Zolang $\Delta h > \Delta h_{\text{end}}$
 - a. Alle drempels in het bekomen bodemprofiel worden verondiept met de helft van de vorige verdiegingsstap
 - b. Startend van het verondiepte bodemprofiel wordt opnieuw het geoptimaliseerde bodemprofiel berekend maar nu uitgaande van de nieuwe verdiegingsstap (Δh)

De waarden van de parameters Δh_0 , Δh_{end} en $\Delta h_n / \Delta h_{n-1}$ dienen doordacht gekozen te worden met het oog op de convergentie van de methode. Hierbij is het belangrijk om aandacht te hebben voor de verondieping volgens $\Delta h/2$ welke toegepast wordt bij de overgang van de ene naar een volgende Δh .

Op basis van een oriënterende berekening wordt voorgesteld om onderstaande parameters te hanteren:

- Δh_0 : 1 m
- $\Delta h_n / \Delta h_{n-1}$: 0.3
- Δh_{end} : 0.05 m

Deze instellingen impliceren dat achtereenvolgens onderstaande aanpassingen uitgevoerd worden op het bodemprofiel:

1. iteratieve verdieping (optimalisatie) op basis van verdiegingsstap 1 m;
2. globale verondieping met 0.5 m;
3. iteratieve verdieping (optimalisatie) op basis van verdiegingsstap 0.3 m;
4. globale verondieping met 0.15 m;
5. iteratieve verdieping (optimalisatie) op basis van verdiegingsstap 0.09 m.

De maximale fout van de drempeldieptes in het bodemprofiel zal bijgevolg 0.045 m bedragen (namelijk de maximale verdieping die per iteratie aan één drempel toegekend wordt).

2.3 Oriënterende berekening

Om de ontwikkelde rekenmethode te illustreren, wordt er hieronder een voorbeeld gepresenteerd.

De oriënterende berekening wordt in Figuur 1 gepresenteerd op basis van:

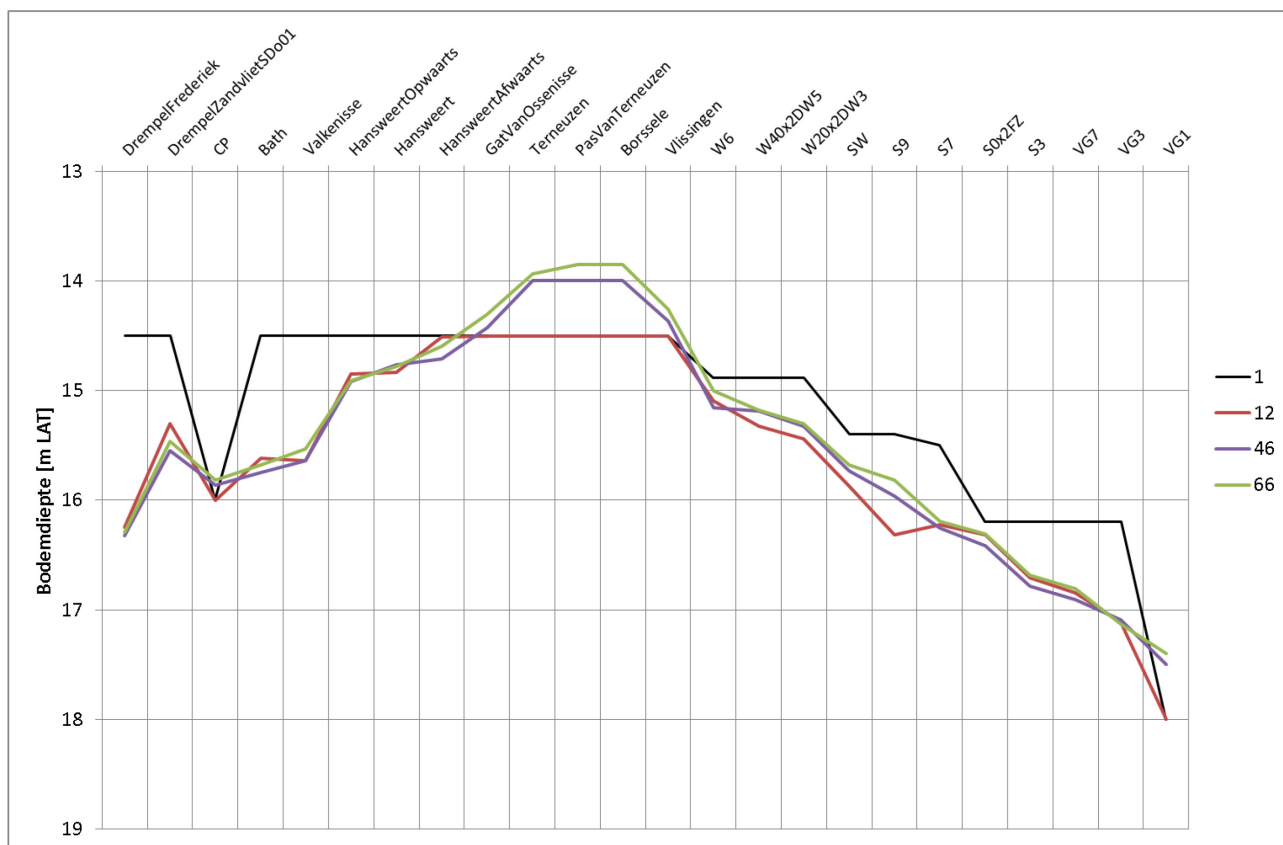
- Het initiële bodemprofiel (iteratie 1)
- Het geoptimaliseerde bodemprofiel op basis van verdiegingsstap 1 m (iteratie 12)
- Het geoptimaliseerde bodemprofiel op basis van verdiegingsstap 0.3 m (iteratie 46)
- Het finale resultaat: geoptimaliseerde bodemprofiel op basis van verdiegingsstap 0.09 m (iteratie 66)

De resultaten van de oriënterende berekening geven vertrouwen in de methode:

- De impact van de sprongen in kielspelingscriteria (Zandvliet-CP en Vlissingen-W6) zijn duidelijk merkbaar in de vereiste drempeldieptes
- Het bekomen diepteprofiel volgt de vorm van de getijconditie voor marginale diepgangen
- De berekeningen bij kleinere verdiegingsstappen vertonen binnen één kielspelingsgebied een meer continu verloop van het diepteprofiel.

De rekentijd voor de oriënterende berekening met 66 iteraties bedroeg 5.5 uur.

Figuur 1 - Resultaat geoptimaliseerd diepteprofiel voor oriënterende berekening



3 Input gegevens

Tijpoortberekeningen gaan gepaard met de definitie van een groot aantal input data en aannames. Onderstaande input gegevens dienden gedefinieerd te worden voor de opdracht:

1. Omgevingsdata:
 - a. Waterstanden
 - b. Tijdstippen stil van hoog
 - c. Drempels
 - i. Kielspelingspercentage
 - ii. Initiële diepte
 - iii. Maximale diepte
 - iv. Vaarafstand
2. Scheepsdata
 - a. Vaarsnelheden / vaartijden
 - b. Diepgangen
3. Toegankelijkheidscriteria
 - a. Tijpoortlengte
 - b. Stroomcriterium
4. Optimalisatiecriteria
 - a. Vooropgestelde toegankelijkheid (zie §2.2)
 - i. Vooropgestelde maximale diepgang T_{obj}
 - ii. Vooropgestelde percentiel van voorkomen: p_{obj}
 - b. Convergentie parameter verdiepingsstap (zie §2.2)
 - i. De initiële verdiepingsstap (Δh_0)
 - ii. De verhouding van de verdiepingsstappen ($\Delta h_n / \Delta h_{n-1}$)
 - iii. Een finale verdiepingsstap (Δh_{end})

3.1 Waterstanden

Om redenen van beschikbaarheid zal de berekening uitgevoerd worden voor waterstanden tijdens de eerste zes maanden van 2013.

De waterstanden betreffen astronomische voorspellingen welke gebiedsdekkend berekend werden door (het toenmalige) HMCZ middels het Kustzuidmodel. In het kader van Verwilligen *et al.* (2014) werden de gebiedsdekkende grids omgezet naar waterstanden op locaties zoals opgelijst in Tabel 1.

Voor de berekeningen vereist in voorliggende studie ontbreken er waterstandswaarden in het Deurganckdok en ter hoogte van de Kieldrechtsluis. Voor deze drempels zal eenzelfde waterstand verondersteld worden als te drempel Frederiek.

Tabel 1 - Locaties waarvoor in het kader van Verwilligen et al. (2014) astronomische waterstanden bepaald werden op basis van het Kustzuidmodel

Kwintebank
VG1
VG3
VG7
S3
SZ
S7
S9
SW
W2-W3
W4-W5
W6
Vlissingen
Borssele
PasVanTerneuzen
Terneuzen
GatVanOssenis
HansweertAfwaarts
Hansweert
HansweertOpwaarts
Valkenisse
Bath
CP
DrempelZandvliet-01
DrempelGeulZVBD
DrempelFrederiek

3.2 Tijdstippen stil van hoog

Voor de opvaart van tankers naar Deurganckdok en bulkvaart naar Vlissingen-Sloehaven zal er bij de toegankelijkheidsberekening rekening gehouden worden met een stroomventer ten opzichte van Stil van Hoog.

3.2.1 Deurganckdok

Voor de invaart van het sluizencomplex Zandvliet-Berendrecht wordt aangenomen dat het SvH optreedt 45 minuten na Hoog Water (HW) te Prosperpolder. Voor de nabijgelegen monding van het Deurganckdok kan, voor deze oriënterende berekening, eenzelfde relatie verondersteld worden tussen het SvH en HW maar dan ten opzichte van de drempel Frederiek (zie §3.1).

3.2.2 Vlissingen-Sloehaven

Voor de monding van het havengebied Vlissingen-Sloehaven werd Stil van Hoog gedefinieerd op basis van het kenteringstijdstip zoals bekomen uit het Kustzuidmodel. Dit kenteringstijdstip werd in Verwilligen *et al.* (2014b) berekend als het tijdstip waarop de stroomsnelheden omstreeks HW minimaal werden te uitleeslocatie *Sloe2*. De locatie *Sloe2* wordt weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2 - Locaties waarvoor de stroomresultaten uit het Kustzuidmodel geanalyseerd werden in Verwilligen *et al.* (2014b)



3.3 Drempels

De berekening zal uitgevoerd worden op basis van de drempelposities zoals in 2013 operationeel toegepast werden in WESP³ en waaraan twee drempels toegevoegd worden ten behoeve van de berekening naar Kieldrechtsluis:

- DeurganckdokCentraal: centraal in het midden van het dok
- Kieldrechtsluis: ter hoogte van de afwaartse sluisdrempel.

Een oplistijng van de drempels inclusief ligging, dieptes en kielspelingspercentages wordt weergegeven in Tabel 2 en visueel weergegeven in Figuren 3 tot 5.

De trajecten welke onderzocht worden betreffen:

- Voor tankers naar Kieldrechtsluis: WN – Kieldrechtsluis
- Voor containervaart naar DGD: WN - Deurganckdok⁴
- Voor bulkvaart naar Sloehaven: WN - VS

³ WESP: Westerschelde Planner. Operationele tool toegepast door GNA voor toekennen van vaarplannen en opvolgen van marginale scheepvaart.

⁴ De laatste drempel (*Deurganckdok*) bevindt zich aan de monding van het Deurganckdok. Hierbij wordt dus geen rekening gehouden met verdiepingen van het dok of de ligplaatsen.

3.3.1 Dieptes

De initiële berekening werd uitgevoerd bij streefdieptes. De drempels welke toegepast worden in de studie worden weergegeven in Tabel 2. Hierbij dient opgemerkt dat de drempel *CP* niet overeenstemt met een fysieke ondiepte en hierdoor een diepte -18 m LAT toegewezen werd⁵. Aangezien de drempels *DeurganckdokCentraal* en *Kieldrechtsluis* in realiteit steeds een grotere diepte hebben dan de streefdiepte voor de rivier werden de drempeldieptes aangepast aan informatie bekomen van het Havenbedrijf Antwerpen (Vanhoenacker, 2017). Voor het *Deurganckdok* blijken er op basis van Vanhoenacker (2017) verschillende dieptes te gelden ter hoogte van de ligplaatsen (-16.3 m LAT) dan in de vaargeul centraal in het dok (-18.3 m LAT). Hoewel een schip in doorvaart naar de *Kieldrechtsluis* verondersteld kan worden centraal in het dok te varen, werd voor de drempel *DeurganckdokCentraal* toch gerekend met de kleinere bodemdiepte ter hoogte van de ligplaatsen. Dit houdt rekening met de beschikbaarheid van een uitwijkmogelijkheid voor het schip in geval dat de sluis niet beschikbaar is. Bovendien kan, door in het *Deurganckdok* een diepte -16.3 m LAT te veronderstellen, onderzocht worden of deze diepte volstaat voor de vooropgestelde toegankelijkheid.

Voor de drempel *Kieldrechtsluis* werd verondersteld dat deze een beschikbare diepte heeft gelijk aan -17 m LAT. Bovendien betreft dit een betonnen drempel, waardoor verdieping van de *Kieldrechtsluis* niet meegenomen kan worden in de optimalisatie. Bijgevolg werd er voor de drempel *Kieldrechtsluis* ook een maximale diepte gedefinieerd waaronder niet verdiept mag worden (-17 m LAT overeenkomstig GNA (2017)).

3.3.2 Kielspelingen

Er wordt in voorliggende studie uitgegaan van een deterministische rekenmethodiek met minimale kielspelingen conform de huidige praktijk. Hierbij is de minimale vereiste kielspeling afhankelijk van de positie van de drempel, waarbij er vier deelgebieden gedefinieerd worden (zie Figuur 6):

- Zee: $UKC_{min}^6 = 15\%$;
- Rivier: $UKC_{min} = 12.5\%$;
- Haven: $UKC_{min} = 10\%$;
- Sluisdrempels⁷: $UKC_{min} = 1$ m;

Op heden loopt er een project (DKS⁸) om de operationele toegankelijkheidsberekeningen uit te voeren door middel van een probabilistische methode. Hierbij zal de kielspeling niet op een deterministische wijze beoordeeld worden, maar zal een kielspeling aanvaard worden indien enerzijds de kans op bodemraking voldoende klein is en anderzijds de manoeuvreerbaarheid van het schip voldoende is. Bij een DKS-berekening zal bij eenzelfde tijconditie de toegankelijkheid voor eenzelfde schip afhankelijk worden van de heersende golf- en windcondities. Vooronderzoek (Vantorre *et al.*, 2014) toonde aan dat toepassing van een probabilistische rekenmethode gemiddeld genomen aanleiding geeft tot een toename van de toegankelijkheid. Doordat de golf- en windcondities zich niet laten voorspellen op lange termijn, is de probabilistische methode enkel toepasbaar voor historische condities of korte termijnvoorspellingen. Bijgevolg zullen ook na implementatie van DKS de lange termijnvoorspellingen van tijpoorten en maximale diepgangen (www.vts-scheldt.net) met een deterministische methode berekend worden, weliswaar met

⁵ Bij de bespreking van de resultaten in H5 en H6 worden de resultaten voor *CP* enkel vermeld indien op deze locatie een verdieping vereist is. Dit laat een duidelijkere weergave toe van de vereiste verdiepingen ten opzichte van de initiële dieptes.

⁶ UKC: Under Keel Clearance. Procentueel aandeel van de statische kielspeling ten opzichte van de scheepsdiepgang. De statische kielspeling wordt hierbij gedefinieerd als het verschil tussen de waterdiepte en de (statische) scheepsdiepgang.

⁷ Op vraag van het Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen werd er gerekend met een minimale kielspeling boven de sluisdrempel die 1 m bedroeg. Voor een schip met diepgang 16.5 m (overeenkomstig klantenwens) stemt 1 m overeen met 6.1% van de diepgang.

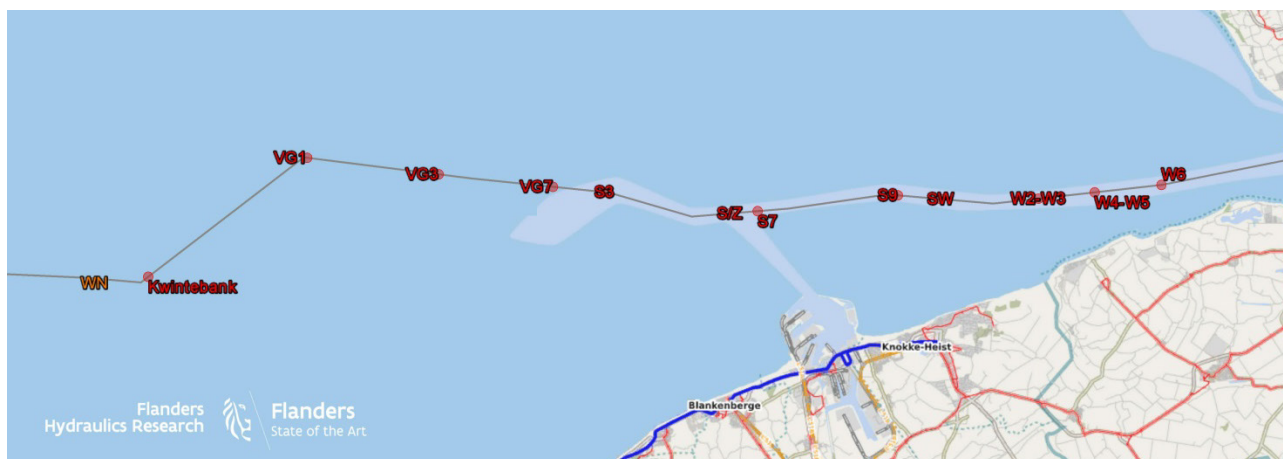
⁸ DKS: Dynamische KielSpeling (www.vts-scheldt.net).

aangepaste kielspelingspercentages op basis van historische DKS-berekeningen. De deterministische kielspelingspercentages afgeleid uit DKS-berekeningen werden tijdens de uitvoering van deze opdracht nog niet beschikbaar gesteld, waardoor deze niet in rekening gebracht konden worden. Er kan aangenomen worden dat de huidige deterministische kielspelingspercentages een conservatieve aanname zijn bij gemiddelde condities. In geval van uitzonderlijke golf- en windcondities is het anderzijds goed mogelijk dat de deterministische kielspelingspercentages toegepast in de studie geen aanvaardbaar resultaat zou leveren op basis van een DKS-berekening.

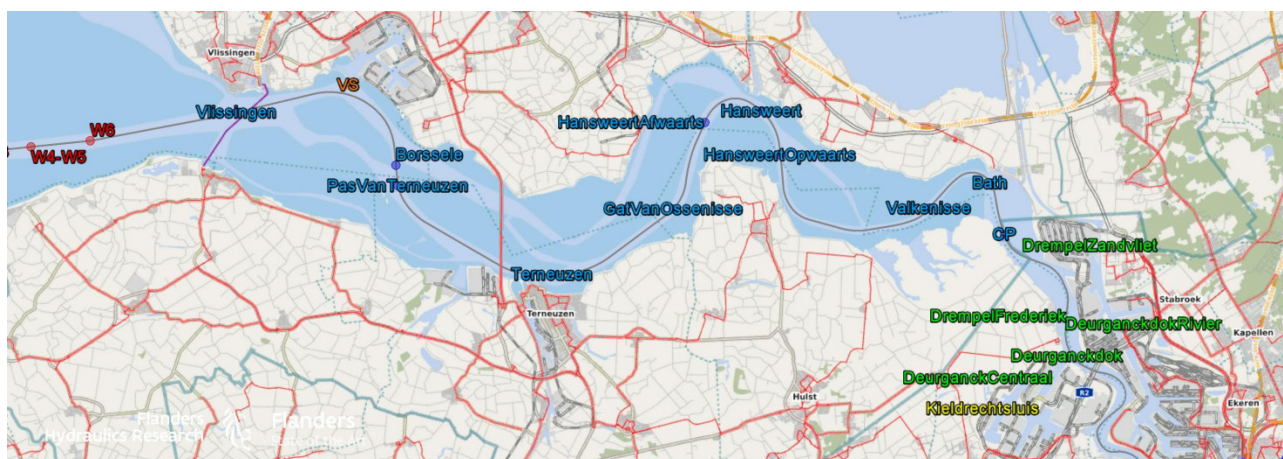
Tabel 2 - Drempels toegepast in de studie

DREMPEL	X [m UTM]	Y [m UTM]	DIEPTE [m]	UKC [%]	AFSTAND [mijl]	REFSTATION
WN	476319	5690619	999	15	0.0	Kwintebank
Kwintebank	479117	5690968	20	15	1.6	Kwintebank
VG1	487254	5697130	18.8	15	7.1	VG1
VG3	494078	5696319	16.2	15	10.8	VG3
VG7	500000	5695710	16.2	15	14.0	VG7
S3	502666	5695454	16.2	15	15.5	S3
S/Z	509159	5694393	16.2	15	19.1	S/Z
S7	510597	5694519	15.5	15	19.9	S7
S9	517851	5695374	15.4	15	23.8	S9
SW	520054	5695197	15.4	15	25.0	SW
W2-W3	525132	5695245	14.9	15	27.8	W2-W3
W4-W5	528051	5695582	14.9	15	29.4	W4-W5
W6	531516	5695985	14.9	15	31.2	W6
Vlissingen	540066	5697762	14.5	12.5	36.0	Vlissingen
Borssele	549400	5694825	14.5	12.5	42.4	Borssele
PasVanTerneuzen	549547	5693622	14.5	12.5	43.1	PasVanTerneuzen
Terneuzen	558619	5688620	14.5	12.5	49.0	Terneuzen
GatVanOssenis	565620	5692515	14.5	12.5	53.4	GatVanOssenis
HansweertAfwaarts	567386	5697553	14.5	12.5	56.3	HansweertAfwaarts
Hansweert	570689	5698269	14.5	12.5	58.6	Hansweert
HansweertOpwaarts	571820	5695741	14.5	12.5	60.1	HansweertOpwaarts
Valkenisse	580535	5692773	14.5	12.5	66.5	Valkenisse
Bath	584107	5694281	14.5	12.5	69.0	Bath
CP	584975	5691308	18.0	12.5	70.7	CP
DrempelZandvliet-01	586052	5690070	14.5	10	71.6	DrempelZandvliet-01
DrempelFrederiek	588661	5686614	14.5	10	74.3	DrempelFrederiek
DeurganckdokRivier	588620	5685554	14.5	10	74.8	DrempelFrederiek
Deurganckdok	588729	5684309	14.5	10	75.6	DrempelFrederiek
DeurganckdokCentraal	587891	5683026	16.3	10	76.4	DrempelFrederiek
Kieldrechtsluis	587178	5681823	17.0	6.1	77.2	DrempelFrederiek
VS	546552	5699433	999	10	39.7	Sloe2

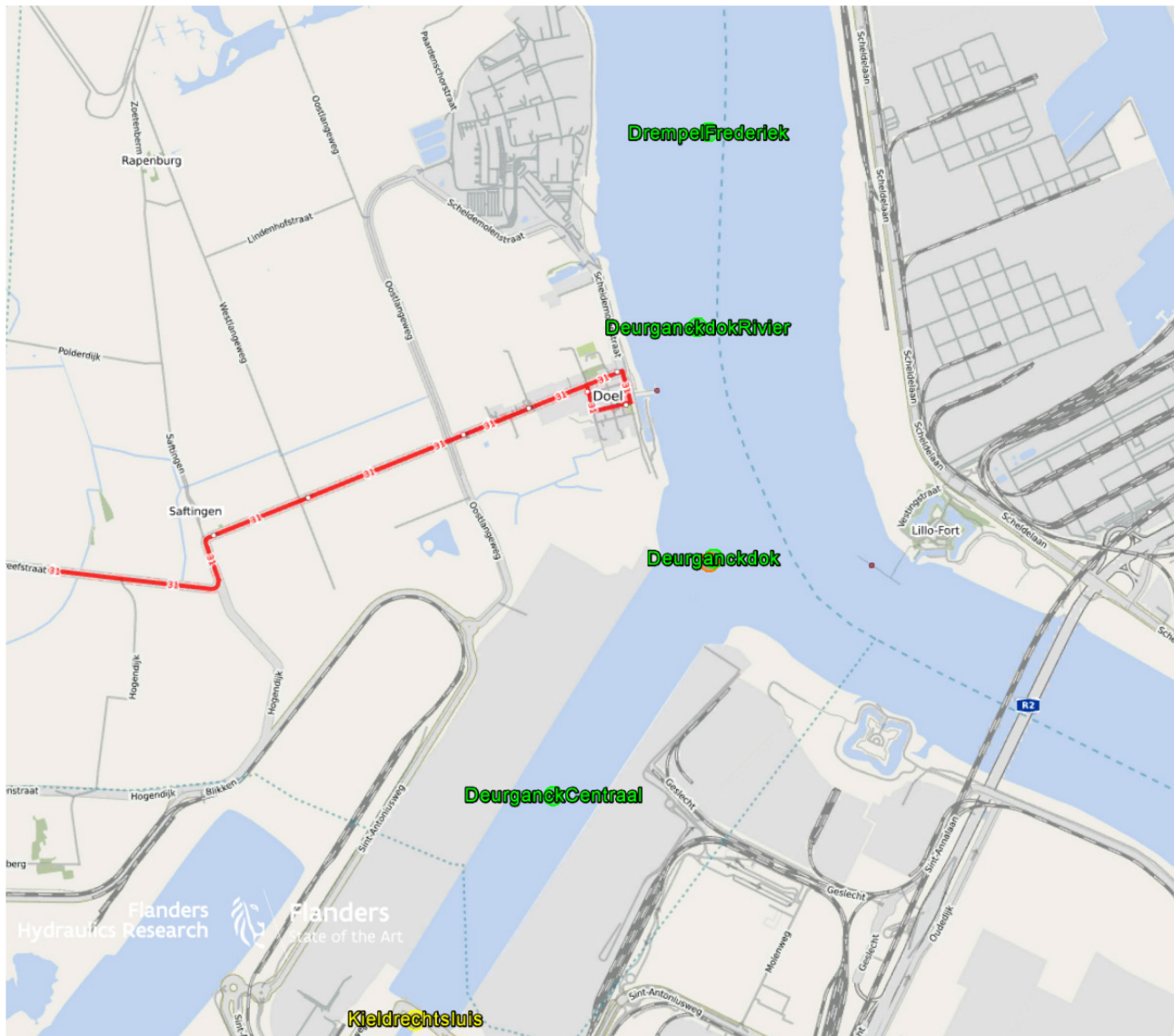
Figuur 3 - Ligging drempels op Zee



Figuur 4 - Ligging drempels Zee (rood), Rivier (blauw), Haven (groen) en Sluis (geel)



Figuur 5 - Ligging drempels Deurganckdok: Haven (groen) en Sluis (geel)



4 Scenario's Klantenwensen maart 2017

De klantenwensen maart 2017 stemmen overeen met drie scheepstrajecten waarvoor er één enkel in opvaart berekend diende te worden (zie §1.1). Bovendien werden er voor opvarende tankvaart naar de Kieldrechtshuis twee scenario's berekend waarbij de invloed van een stroomvenster op het bodemprofiel onderzocht werd. Een samenvatting van de zes onderzochte scenario's wordt weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3 - Samenvatting berekende optimalisatie-scenario's

Scenario	1a	1b	2	3	4	5
Scheepstype	Tankvaart			Containervvaart		Bulkvaart
Diepgang	16.5 m			18 m		17 m
Bestemming	Kieldrechtshuis			Deurganckdok		Sloehaven
Richting	Opvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Zee	12 kn		11 kn	14 kn	15 kn	10 kn
Rivier	12 kn		10 kn	12 kn	11 kn	5 kn
Haven	6 kn		7 kn	6 kn	6 kn	
DGD	4 kn		6 kn			
Tijpoortlengte	120 min	60 min	120 min	60 min	60 min	30 min
Stroomvenster		120 min				30 min
T_{obj}	16.5 m			18 m		17 m
p_{obj}	100%			100%		90%

4.1 Vaarsnelheden

Voor het definiëren van vaarsnelheden wordt er doorgaans uitgegaan van constante vaarsnelheden binnen de deelgebieden Zee, Rivier en Haven (zie Figuur 6). Voor de berekening naar Kieldrechtshuis werd er een aparte vaarsnelheid gedefinieerd opwaarts de drempel Deurganckdok. Dit gebied wordt in Tabel 4 aangegeven met DGD. De aannames met betrekking tot vaarsnelheden voor tankvaart naar Kieldrechtshuis werden overgenomen uit GNA (2017). De snelheden naar de andere bestemmingen werden gebaseerd op de huidige aannames voor marginale vaart.

Figuur 6 - Kielspelingsgebieden zoals gedefinieerd in WESP (Verwilligen *et al.*, 2014a)

Zee 15% (paars), rivier 12.5% (blauw), haven 10% (groen), sluicdrempel BD/ZV 7% (geel).

Tabel 4 - Vaarsnelheden als uitgangspunt voor berekeningen

Scenario	1	2	3	4	5
Scheepstype	Tankvaart		Containervvaart		Bulkvaart
Diepgang	16.5 m		18 m		17 m
Bestemming	Kioldrechtsluis		Deurganckdok		Sloehaven
Richting	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Zee	12 kn	11 kn	14 kn	15 kn	10 kn
Rivier	12 kn	10 kn	12 kn	11 kn	5 kn
Haven	6 kn	7 kn	6 kn	6 kn	
DGD	4 kn	6 kn			

4.2 Diepgangen

Alle toegankelijkheidsscenario's zijn gebaseerd op een optimalisatie van de maximale diepgang. Om de maximale diepgang voldoende accuraat te kunnen berekenen werden alle scenario's berekend voor diepgangen tussen 14.0 m en 19.0 m met een tussenstap van 0.01 m. De maximale diepgang wordt dan berekend als de hoogste diepgang waarvoor er een aanvaardbare tijpoort gevonden kon worden.

4.3 Tijpoortlengte en stroomcriterium

De tijpoortlengte is een uitgangspunt in de drie klantenwensen en wordt gedefinieerd zoals weergegeven in Tabel 5. Bovendien wordt voor opvarende trajecten door tank- en bulkvaart rekening gehouden met een stroomvenster ten opzichte van Stil van Hoog. Voor containervvaart werd er verondersteld geen stroomvenster te gelden.

Voor de bestaande trafiek van opvarende bulkvaart naar Vlissingen-Sloehaven is de definitie van het stroomvenster zodanig dat schepen verplicht dienen in te varen tussen 10 minuten voor en 20 minuten na het tijdstip van Stil van Hoog.

Rekening houdend met de toegankelijkheid van bulkvaart naar Sloehaven en Terneuzen kan verwacht worden dat ook voor opvarende tankvaart naar Deurganckdok een stroomvenster rond Stil van Hoog zal gelden. Daarom werden er voor de opvaart van tankvaart naar Kieldrechtssluis twee optimalisatieberekeningen uitgevoerd:

- Berekening met tijpoortlengte 2h zonder rekening te houden met stroomvenster
- Berekening met tijpoortlengte 1h met als bijkomende voorwaarde een stroomvenster van 60 minuten voor tot 60 minuten na Stil van Hoog te monding DGD.

Voor de afvaart door tankers werd geen stroomvenster in rekening gebracht.

Tabel 5 - Tijpoortlengte als uitgangspunt voor de berekening

Scenario	1a	1b	2	3	4	5
Scheepstype	Tankvaart			Containervaart		Bulkvaart
Diepgang	16.5 m			18 m		17 m
Bestemming	Kieldrechtssluis			Deurganckdok		Sloehaven
Richting	Opvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
Tijpoortlengte	120 min	60 min	120 min	60 min	60 min	30 min
Stroomvenster		120 min				30 min

4.4 Optimalisatiecriteria

De toegankelijkheid wordt gedefinieerd op basis van een vooropgestelde diepgang (T_{obj}) waarvoor gedurende een vastgesteld percentage van de tijcycli (p_{obj}) een tijpoort beschikbaar dient te zijn. Aangezien voor de scenario's naar Antwerpen p_{obj} niet gedefinieerd werd, wordt er verondersteld dat de gewenste diepgang elke tijcyclus vereist is. De waarden voor T_{obj} en p_{obj} zoals deze toegepast werden in de berekeningen, worden weergegeven in Tabel 6.

Naar aanleiding van opmerkingen van HA, werd er op basis van één scenario (scenario 4) onderzocht wat de invloed is van een kleiner toegankelijkheidspercentiel (90%). Voor de resultaten van de vergelijking wordt verwezen naar Hoofdstuk 6.

Tabel 6 - Optimalisatiecriteria

Scenario	1	2	3	4	5
Scheepstype	Tankvaart		Containervaart		Bulkvaart
Diepgang	16.5 m		18 m		17 m
Bestemming	Kieldrechtssluis		Deurganckdok		Sloehaven
Richting	Opvaart	Afvaart	Opvaart	Afvaart	Opvaart
T_{obj}	16.5 m		18 m		17 m
p_{obj}	100%		100%		90%

De toegepaste convergentieparameters werden gepresenteerd in §2.2.

5 Resultaten

De bespreking van de resultaten wordt gepresenteerd volgens de vijf berekende scenario's.

5.1 Opvarende tankvaart Kioldrechtsluis

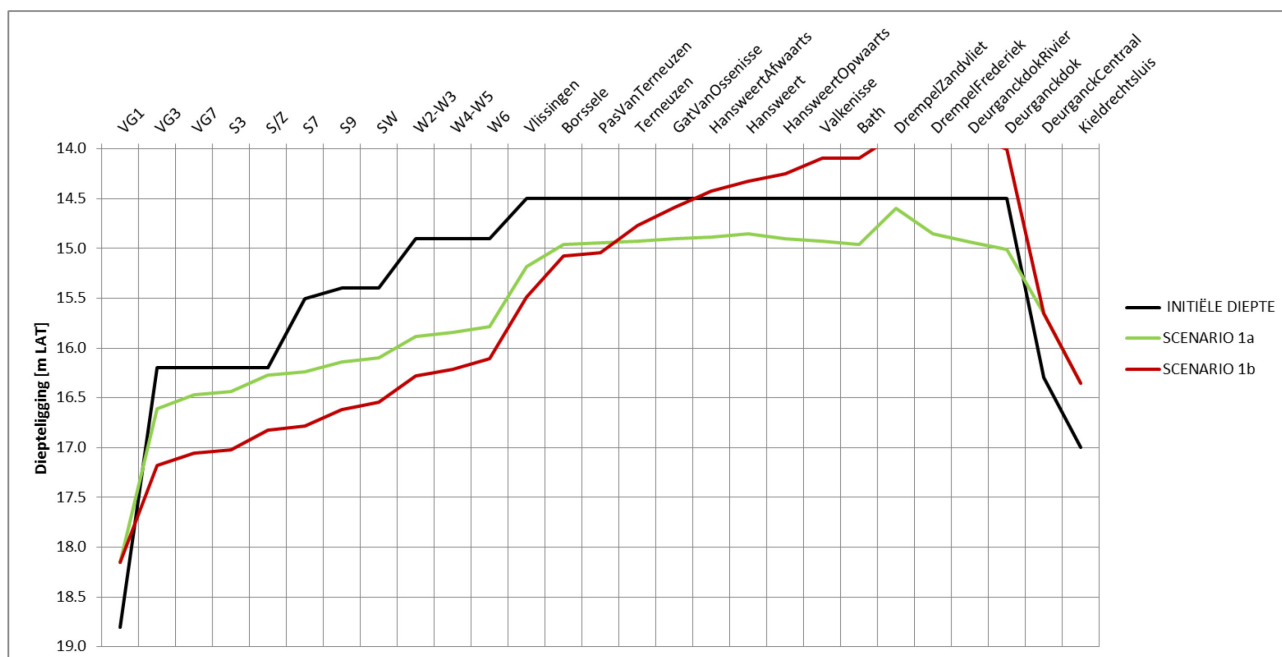
Voor opvarende tankvaart met diepgang 16.5 m naar Kioldrechtsluis resulteerden de scenario's gedefinieerd in Hoofdstuk 4 in het vaartraject zoals weergegeven in Tabel 7. De twee berekeningsvarianten 1a en 1b onderscheiden zich enkel van elkaar op basis van de minimale tijpoortlengte en het stroomvenster:

- 1a: geen stroomvenster en een minimale tijpoortlengte gelijk aan twee uur.
- 1b: stroomvenster van twee uur ([-60;+60] minuten t.o.v. SvH) waarbinnen er minimaal een tijpoort met lengte één uur beschikbaar dient te zijn.

De resultaten van de berekening worden eveneens in Tabel 7 weergegeven. In Figuur 7 wordt een grafische weergave getoond van de bekomen diepteprofielen, terwijl in Tabel 8 de vereiste verdieping per drempel weergegeven wordt. Hieruit blijkt dat, wanneer er geen rekening gehouden wordt met een stroomvenster, de vooropgestelde toegankelijkheid voornamelijk verdiepingen vereist in de vaargeulen Wielingen (tot 0.98 m) en Scheur Oost (tot 0.74 m), terwijl de verdieping van de Westerschelde (met uitzondering van drempel Vlissingen) beperkt blijven tot maximaal 0.5 m. Hierbij dient echter opgemerkt dat de resultaten deels beïnvloed worden door het groter aantal Schelde- dan Zeedrempels (zie §2.2.2).

Bij de opvaart naar Deurganckdok wordt Stil van Hoog gedefinieerd 45 minuten na HW te Frederiek. Wanneer in scenario 1b geëist wordt dat het schip maximaal één uur voor of na Stil van Hoog het DGD invaart, dan stemt dit overeen met een tijdstip tussen 15 minuten voor HW Frederiek tot 1h45 na HW Frederiek. Bovendien wordt er geëist dat het schip minimaal een tijpoort gelijk aan één uur zou hebben. Ten gevolge van het geëiste aankomsttijdstip te Deurganckdok ([-15;+105] minuten t.o.v. HW Frederiek) zullen de waterstanden op deze locatie steeds hoog zijn. Op basis van MDK - afdeling KUST - Vlaamse Hydrografie (2017) blijkt dat voor het station Prosperpolder (het dichtst gelegen bij Deurganckdok) de waterstand om 1h45 na HW steeds (overeenkomstig doodtij) hoger is dan ca. 4.5 m LAT. Voor een diepgang 16.5 m gecombineerd met een minimale kielspeling gelijk aan 10% bedraagt de minimale waterdiepte 18.15 m. Uit voorgaande volgt dat binnen het stroomvenster de minimale bodemdiepte ter hoogte van de monding van Deurganckdok 13.65 m LAT bedraagt. Dit is ruim minder dan de huidige streefdiepte (14.5 m LAT) waardoor er geen verdieping van de meest opwaartse Scheludedrempels vereist is om de toegankelijkheid volgens scenario 1b mogelijk te maken. Dit blijkt eveneens uit Figuur 7 en Tabel 8. Bovendien impliceert de combinatie van stroomvenster en tijpoort dat het stroomvenster steeds bepalend zal zijn voor het sluiten van de tijpoort. Het openen van de tijpoort is afhankelijk van de beschikbare waterdiepte op de meer afwaartse drempels. Zo blijkt dat voor het scenario 1b, enkel de drempels afwaarts *HansweertAfwaarts* (boei 40) verdiept dienen te worden. Ondanks de kortere tijpoort in scenario 1b, blijkt de toepassing van het stroomvenster voor drempels afwaarts *Terneuzen*, aanleiding te geven tot grotere verdiepingen dan scenario 1a.

Figuur 7 - Geoptimaliseerde diepteprofielen voor opvarende tankvaart (T=16.5 m) naar Kieldrechtsluis



Scenario 1a: 100% toegankelijk met tijpoort 2h

Scenario 1b: 100% toegankelijk met tijpoort 1h en stroomvenster [-60 min;+60 min] t.o.v. SvH Deurganckdok

Tabel 7 - Traject opvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met geoptimaliseerde diepteprofielen volgens scenario's 1a en 1b

DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 1a	SCENARIO 1b
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m LAT]
WN	15	0:00:00	999.00	998.35	998.35
Kwintebank	15	0:07:53	20.00	19.35	19.35
VG1	15	0:35:35	18.80	18.15	18.15
VG3	15	0:54:08	16.20	16.61	17.18
VG7	15	1:10:13	16.20	16.47	17.06
S3	15	1:17:26	16.20	16.44	17.02
S/Z	15	1:35:27	16.20	16.27	16.82
S7	15	1:39:20	15.50	16.24	16.78
S9	15	1:59:06	15.40	16.14	16.62
SW	15	2:05:04	15.40	16.10	16.55
W2-W3	15	2:18:50	14.90	15.88	16.28
W4-W5	15	2:26:46	14.90	15.84	16.22
W6	15	2:36:11	14.90	15.78	16.11
Vlissingen	12.5	2:59:46	14.50	15.18	15.49
Borssele	12.5	3:32:14	14.50	14.96	15.07
PasVanTerneuzen	12.5	3:35:30	14.50	14.95	15.04
Terneuzen	12.5	4:04:54	14.50	14.93	14.77
GatVanOssenissee	12.5	4:27:03	14.50	14.90	14.59
HansweertAfwarts	12.5	4:41:37	14.50	14.89	14.42

Hansweert	12.5	4:52:48	14.50	14.86	14.33
HansweertOpwaarts	12.5	5:00:30	14.50	14.90	14.25
Valkenisse	12.5	5:32:28	14.50	14.93	14.09
Bath	12.5	5:44:59	14.50	14.96	14.09
DrempelZandvliet	10	5:58:37	14.50	14.60	13.85
DrempelFrederiek	10	6:25:17	14.50	14.85	13.85
DeurganckdokRivier	10	6:31:00	14.50	14.93	13.85
Deurganckdok	10	6:38:31	14.50	15.01	14.00
DeurganckCentraal	10	6:50:56	16.30	15.65	15.65
Kieldrechtsluis	6.1	7:02:15	17.00	16.35	16.35

Tabel 8 - Traject opvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met volgens scenario's 1a en 1b

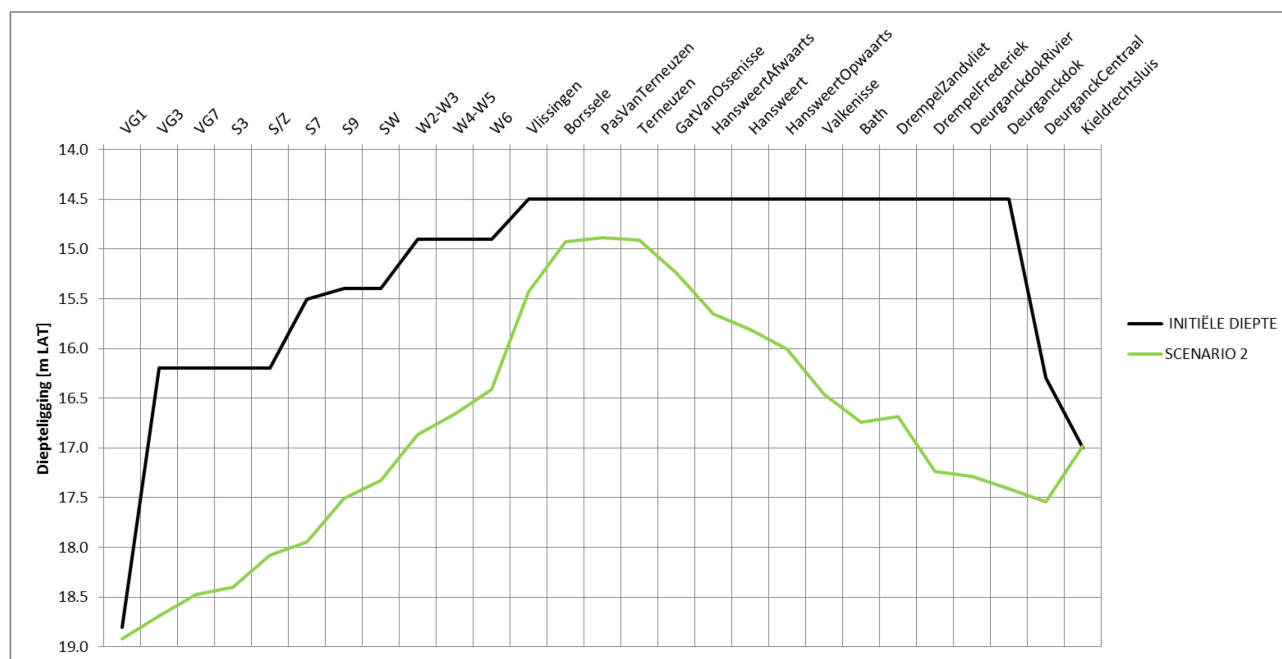
DREMPEL	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 1a Diepte	SCENARIO 1a Verdieping	SCENARIO 1b Diepte	SCENARIO 1b Verdieping
	[m LAT]	[m LAT]	[m]	[m LAT]	[m]
WN	999.00	998.35	-0.65	998.35	-0.65
Kwintebank	20.00	19.35	-0.65	19.35	-0.65
VG1	18.80	18.15	-0.65	18.15	-0.65
VG3	16.20	16.61	0.41	17.18	0.98
VG7	16.20	16.47	0.27	17.06	0.86
S3	16.20	16.44	0.24	17.02	0.82
S/Z	16.20	16.27	0.07	16.82	0.62
S7	15.50	16.24	0.73	16.78	1.28
S9	15.40	16.14	0.74	16.62	1.22
SW	15.40	16.10	0.70	16.55	1.15
W2-W3	14.90	15.88	0.98	16.28	1.38
W4-W5	14.90	15.84	0.94	16.22	1.32
W6	14.90	15.78	0.88	16.11	1.21
Vlissingen	14.50	15.18	0.68	15.49	0.99
Borssele	14.50	14.96	0.46	15.07	0.57
PasVanTerneuzen	14.50	14.95	0.45	15.04	0.54
Terneuzen	14.50	14.93	0.43	14.77	0.27
GatVanOssenissee	14.50	14.90	0.40	14.59	0.09
HansweertAfwaarts	14.50	14.89	0.39	14.42	-0.08
Hansweert	14.50	14.86	0.36	14.33	-0.17
HansweertOpwaarts	14.50	14.90	0.40	14.25	-0.25
Valkenisse	14.50	14.93	0.43	14.09	-0.41
Bath	14.50	14.96	0.46	14.09	-0.41
DrempelZandvliet	14.50	14.60	0.10	13.85	-0.65
DrempelFrederiek	14.50	14.85	0.35	13.85	-0.65
DeurganckdokRivier	14.50	14.93	0.43	13.85	-0.65
Deurganckdok	14.50	15.01	0.51	14.00	-0.50
DeurganckCentraal	16.30	15.65	-0.65	15.65	-0.65
Kieldrechtsluis	17.00	16.35	-0.65	16.35	-0.65

5.2 Afvarende tankvaart Kieldrechtsluis

Voor afvarende tankvaart uit Kieldrechtsluis wordt vooropgesteld dat voor alle tijen een diepgang gelijk aan 16.5 m overeenstemt met een tijpoort groter dan twee uur. Rekening houdend met de aannames vermeld in Hoofdstuk 4 wordt dit toegankelijkheidsniveau gerealiseerd middels het bodemprofiel weergegeven in Figuur 8 en Tabel 9. Hierbij valt onmiddellijk op dat de vereiste verdiepingen veel groter zijn dan deze vereist voor de opvaart (scenario 1a). Dit heeft enerzijds te maken met de vaarrichting ten opzichte van de getijgolf maar anderzijds met de lagere vaarsnelheden welke in afvaart aangenomen werden (zie §4.1). De verschillende vaarsnelheden geven aanleiding tot een totale vaartijd die in afvaart 38 minuten meer bedraagt dan in opvaart.

De grootste verdiepingen zijn vereist aan de opwaartse en afwaartse grens van het traject, waarbij zowel op Zee (+2.49 m te VG3) als op de Schelde (+2.91 m te *Deurganckdok*) belangrijke verdiepingen vereist zijn. Bovendien blijkt dat de maximaal toegestane diepte voor de sluisdrempel (17.0 m LAT) in dit scenario bereikt wordt. Bijgevolg heeft het aangenomen kielspelingscriterium op de sluisdrempel (1 m) een invloed op het eindresultaat. Hierbij wordt opgemerkt dat de afvaart uit de Kieldrechtsluis steeds met stijgend getij uitgevoerd zal worden en dat overeenkomstig de huidige regelgeving het aangenomen kielspelingspercentage gerechtvaardigd lijkt.

Figuur 8 - Geoptimaliseerde diepteprofielen voor afvarende tankvaart (T=16.5 m) uit Kieldrechtsluis



Scenario 2: 100% toegankelijk met tijpoort 2h

Tabel 9 - Traject afvarende tankvaart (T=16.5 m) Kieldrechtsluis met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 2)

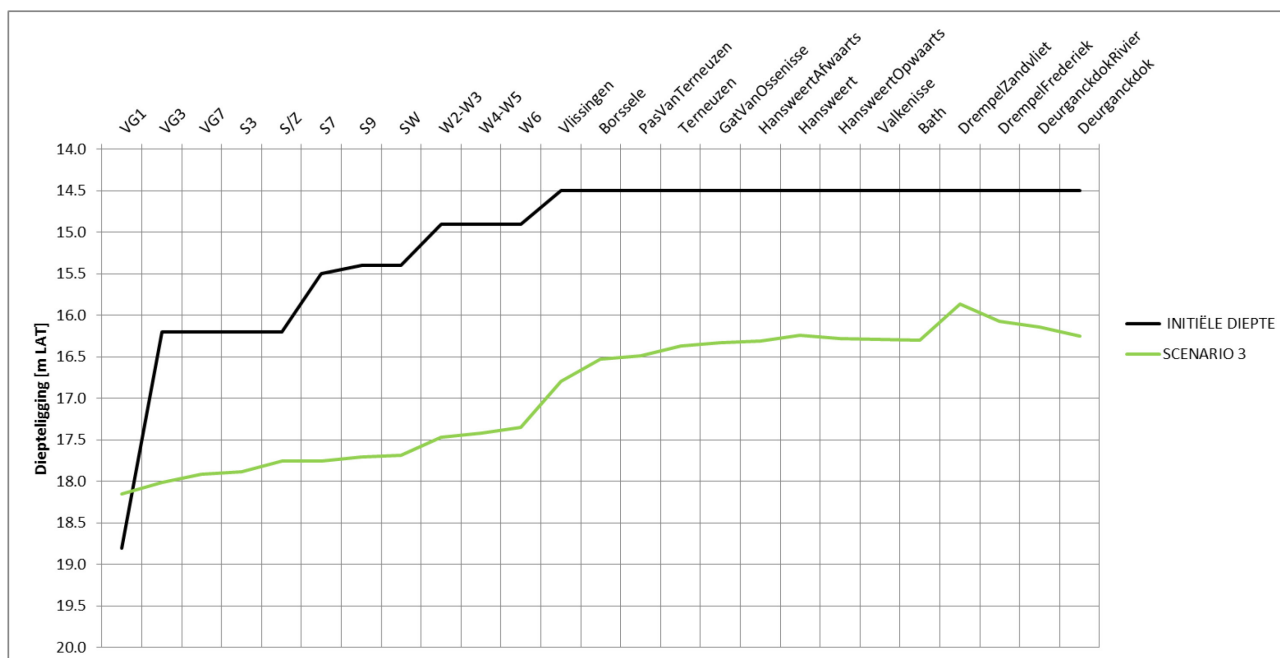
DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 2 DIEPTE	SCENARIO 2 VERDIEPING
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m]
WN	15	7:40:39	999.00	998.35	-0.65
Kwintebank	15	7:32:03	20.00	19.35	-0.65
VG1	15	7:01:50	18.80	18.92	0.12
VG3	15	6:41:35	16.20	18.69	2.49
VG7	15	6:24:03	16.20	18.47	2.27
S3	15	6:16:10	16.20	18.40	2.20
S/Z	15	5:56:31	16.20	18.08	1.88
S7	15	5:52:16	15.50	17.95	2.45
S9	15	5:30:43	15.40	17.51	2.11
SW	15	5:24:12	15.40	17.33	1.93
W2-W3	15	5:09:11	14.90	16.86	1.96
W4-W5	15	5:00:32	14.90	16.66	1.76
W6	15	4:50:15	14.90	16.41	1.51
Vlissingen	12.5	4:24:13	14.50	15.43	0.93
Borssele	12.5	3:45:16	14.50	14.92	0.42
PasVanTerneuzen	12.5	3:41:20	14.50	14.88	0.38
Terneuzen	12.5	3:06:04	14.50	14.91	0.41
GatVanOssenissee	12.5	2:39:29	14.50	15.24	0.74
HansweertAfwaaarts	12.5	2:22:00	14.50	15.65	1.15
Hansweert	12.5	2:08:35	14.50	15.81	1.31
HansweertOpwaarts	12.5	1:59:21	14.50	16.00	1.50
Valkenisse	12.5	1:20:59	14.50	16.46	1.96
Bath	12.5	1:05:58	14.50	16.74	2.24
DrempelZandvliet	10	0:50:01	14.50	16.69	2.19
DrempelFrederiek	10	0:27:10	14.50	17.24	2.74
DeurganckdokRivier	10	0:22:16	14.50	17.29	2.79
Deurganckdok	10	0:15:50	14.50	17.41	2.91
DeurganckCentraal	10	0:07:33	16.30	17.54	1.24
Kieldrechtsluis	6.1	0:00:00	17.00	16.98	-0.02

5.3 Opvarende containervaart Deurganckdok

Voor opvarende containervaart naar Deurganckdok wordt een diepgang gelijk aan 18.0 m vooropgesteld, die in alle tijden een tijpoort groter dan één uur heeft. Er wordt verondersteld dat de containervaart niet beperkt wordt door een stroomcriterium en dat de op heden toegepaste vaarsnelheden ook realistisch zijn voor grotere diepgangen.

Het resultaat van de bodemoptimalisatie wordt weergegeven in Figuur 9 en Tabel 10 en toont een globale verdieping van het vaartraject. De grootste verdiepingen worden berekend in de Wielingen (tot 2.56 m). Op basis van de uitgangspunten in de berekening bedraagt de verdieping van de opwaartse Schelgedrempels tot 1.80 m. Opnieuw dient hierbij opgemerkt dat eenzelfde toegankelijkheid ook bereikt had kunnen worden door de verdieping te verschuiven naar de meer opwaartse drempels, maar dat in het kader van voorliggende studie geen optimalisatie op basis van baggerkosten uitgevoerd werd.

Figuur 9 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor opvarende containervaart (T=18.0 m) naar Deurganckdok



Scenario 3: 100% toegankelijk met tijpoort 1h

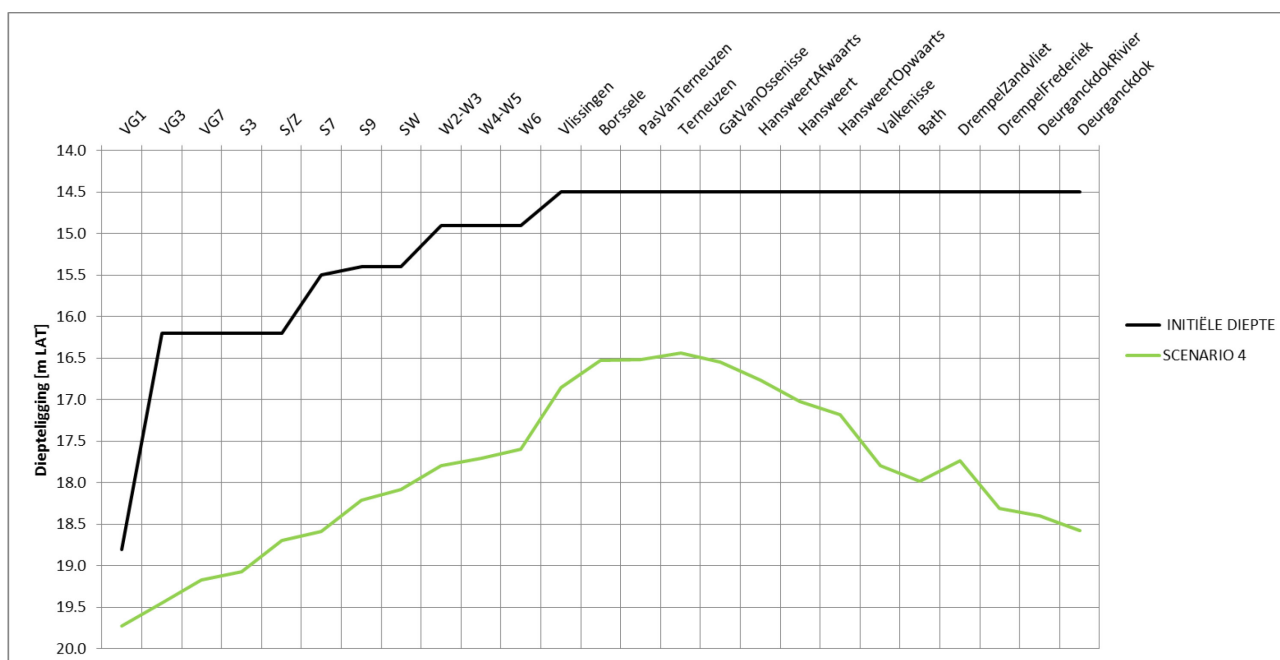
Tabel 10 - Traject opvarende containervaat (T=18.0 m) Deurganckdok met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 3)

DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 3 DIEPTE	SCENARIO 3 VERDIEPING
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m]
WN	15	0:00:00	999.00	998.35	-0.65
Kwintebank	15	0:06:45	20.00	19.35	-0.65
VG1	15	0:30:30	18.80	18.15	-0.65
VG3	15	0:46:24	16.20	18.02	1.82
VG7	15	1:00:11	16.20	17.91	1.71
S3	15	1:06:23	16.20	17.88	1.68
S/Z	15	1:21:49	16.20	17.76	1.56
S7	15	1:25:09	15.50	17.75	2.25
S9	15	1:42:05	15.40	17.71	2.31
SW	15	1:47:12	15.40	17.69	2.29
W2-W3	15	1:59:00	14.90	17.46	2.56
W4-W5	15	2:05:48	14.90	17.42	2.52
W6	15	2:13:53	14.90	17.35	2.45
Vlissingen	12.5	2:34:30	14.50	16.79	2.29
Borssele	12.5	3:06:58	14.50	16.53	2.03
PasVanTerneuzen	12.5	3:10:14	14.50	16.48	1.98
Terneuzen	12.5	3:39:38	14.50	16.37	1.87
GatVanOssenissee	12.5	4:01:46	14.50	16.33	1.83
HansweertAfwarts	12.5	4:16:21	14.50	16.31	1.81
Hansweert	12.5	4:27:32	14.50	16.24	1.74
HansweertOpwaarts	12.5	4:35:14	14.50	16.28	1.78
Valkenisse	12.5	5:07:12	14.50	16.29	1.79
Bath	12.5	5:19:42	14.50	16.30	1.80
DrempelZandvliet	10	5:33:21	14.50	15.86	1.36
DrempelFrederiek	10	6:00:01	14.50	16.07	1.57
DeurganckdokRivier	10	6:05:44	14.50	16.15	1.65
Deurganckdok	10	6:13:15	14.50	16.25	1.75
DD	10	6:13:25	999.00	998.35	-0.65

5.4 Afvarende containervaart Deurganckdok

Voor afvarende containervaart uit Deurganckdok werd dezelfde toegankelijkheid vooropgesteld als voor de opvaart besproken in §5.3. Gelijkaardig aan de resultaten voor tankvaart met bestemming Kieldrechtsluis, tonen de resultaten voor afvarende containervaart uit Deurganckdok een belangrijkere verdieping dan voor de opvaart. De vorm van de tijcurve is duidelijk waarneembaar in het bekomen diepteprofiel, waarbij de grootste dieptes geëist worden aan de eerste en laatste drempel van het traject. Rekening houdend met de huidige streefdieptes geeft dit aanleiding tot de grootste verdieping te *VG3* (3.25 m) en *Deurganckdok* (4.07 m).

Figuur 10 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor afvarende containervaart (T=18.0 m) uit Deurganckdok



Scenario 4: 100% toegankelijk met tijpoort 1h

Tabel 11 - Traject afvarende containervaartroute (T=18.0 m) Deurganckdok met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 4)

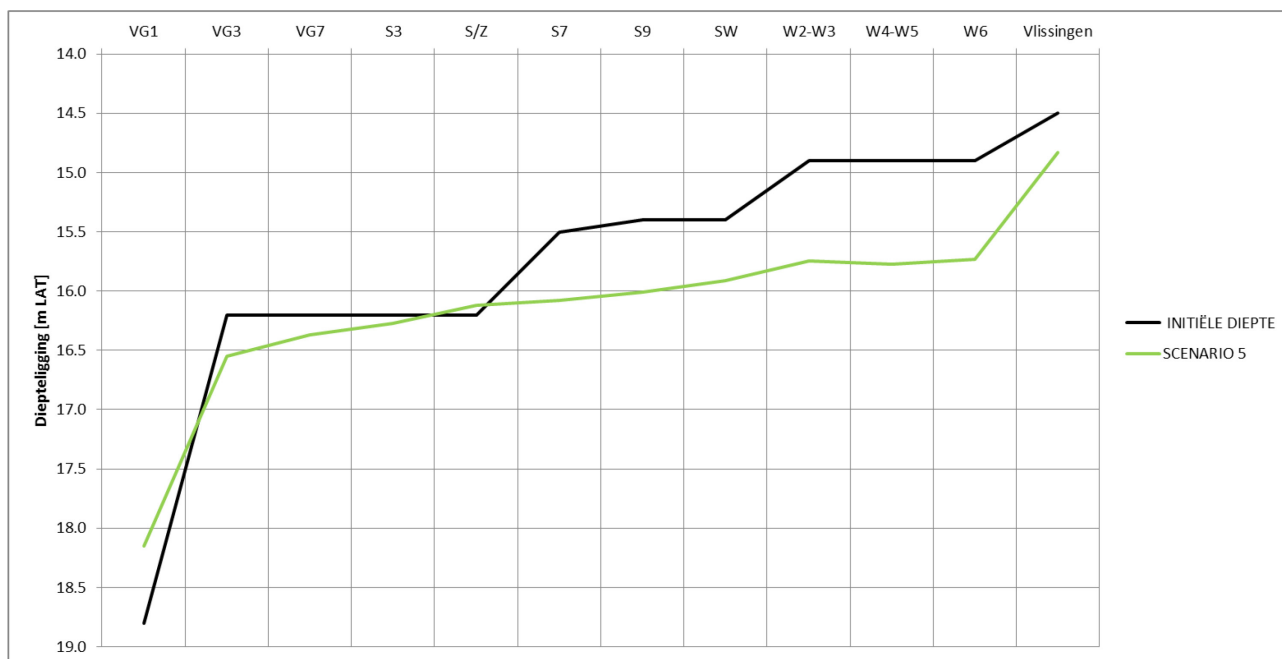
DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 4 DIEPTE	SCENARIO 4 VERDIEPING
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m]
WN	15	6:19:43	999.00	998.35	-0.65
Kwintebank	15	6:13:24	20.00	19.99	-0.01
VG1	15	5:51:15	18.80	19.73	0.93
VG3	15	5:36:24	16.20	19.45	3.25
VG7	15	5:23:33	16.20	19.17	2.97
S3	15	5:17:46	16.20	19.07	2.87
S/Z	15	5:03:21	16.20	18.69	2.49
S7	15	5:00:14	15.50	18.59	3.09
S9	15	4:44:26	15.40	18.21	2.81
SW	15	4:39:40	15.40	18.08	2.68
W2-W3	15	4:28:38	14.90	17.79	2.89
W4-W5	15	4:22:18	14.90	17.70	2.80
W6	15	4:14:46	14.90	17.60	2.70
Vlissingen	12.5	3:55:03	14.50	16.86	2.36
Borssele	12.5	3:19:39	14.50	16.53	2.03
PasVanTerneuzen	12.5	3:16:04	14.50	16.51	2.01
Terneuzen	12.5	2:44:00	14.50	16.43	1.93
GatVanOssenissee	12.5	2:19:51	14.50	16.55	2.05
HansweertAfwarts	12.5	2:03:57	14.50	16.76	2.26
Hansweert	12.5	1:51:45	14.50	17.02	2.52
HansweertOpwaarts	12.5	1:43:21	14.50	17.18	2.68
Valkenisse	12.5	1:08:28	14.50	17.80	3.30
Bath	12.5	0:54:50	14.50	17.99	3.49
DrempelZandvliet	10	0:40:04	14.50	17.73	3.23
DrempelFrederiek	10	0:13:24	14.50	18.31	3.81
DeurganckdokRivier	10	0:07:40	14.50	18.40	3.90
Deurganckdok	10	0:00:10	14.50	18.57	4.07
DD	10	0:00:00	999.00	998.35	-0.65

5.5 Opvarende bulkvaart Vlissingen-Sloehaven

De toegankelijkheid van Vlissingen-Sloehaven werd enkel in opvaart onderzocht. De vooropgestelde toegankelijkheid werd gedefinieerd voor bulkvaart met 17.0 m welke in 90% van de getijden geacht werd op te kunnen varen bij dezelfde toegankelijkheidscriteria die vandaag gelden.

De optimalisatie van het diepteprofiel wordt weergegeven in Figuur 11 en Tabel 12 en tonen aan dat de belangrijkste verdiepingen vereist zijn ter hoogte van de Wielingen (ca. 0.85 m) en in Scheur-Oost (ca. 0.55 m).

Figuur 11 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor opvarende bulkvaart (T=17.0 m) naar Vlissingen-Sloehaven



Scenario 5: 90% toegankelijk met tijpoort 30 minuten en stroomvenster [-10 min;+20 min] t.o.v. SvH Sloehaven

Tabel 12 - Traject opvarende bulkvaart (T=17.0 m) Sloehaven met het geoptimaliseerde diepteprofiel (scenario 5)

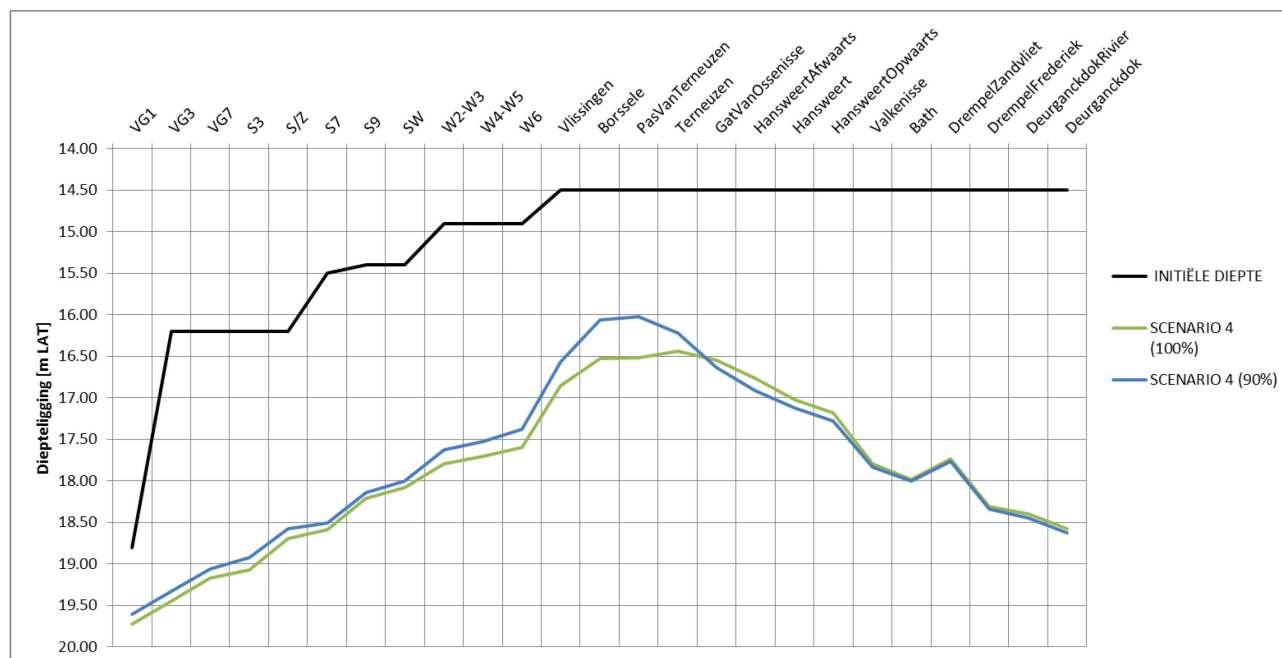
DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 5 DIEPTE	SCENARIO 5 VERDIEPING
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m]
WN	15	0:00:00	999.00	998.35	-0.65
Kwintebank	15	0:09:27	20.00	19.35	-0.65
VG1	15	0:42:42	18.80	18.15	-0.65
VG3	15	1:04:58	16.20	16.55	0.35
VG7	15	1:24:15	16.20	16.37	0.17
S3	15	1:32:56	16.20	16.27	0.07
S/Z	15	1:54:32	16.20	16.12	-0.08
S7	15	1:59:13	15.50	16.08	0.57
S9	15	2:22:55	15.40	16.01	0.61
SW	15	2:30:05	15.40	15.92	0.51
W2-W3	15	2:46:36	14.90	15.75	0.84
W4-W5	15	2:56:08	14.90	15.77	0.87
W6	15	3:07:26	14.90	15.73	0.83
Vlissingen	10	3:39:12	14.50	14.83	0.33
VS	10	4:24:31	999.00	998.35	-0.65

6 Invloed toegankelijkheidspercentiel

De klantenwensen gedefinieerd voor de haven van Antwerpen werden allen berekend bij een toegankelijkheidspercentiel gelijk aan 100%. Bijgevolg werd het bodemprofiel dusdanig geoptimaliseerd zodat de vooropgestelde toegankelijkheid elke tijcyclus mogelijk was. Om de sensitiviteit van het toegankelijkheidspercentiel op het vereiste bodemprofiel te beoordelen, werd één van de berekeningen herhaald voor een toegankelijkheidspercentiel gelijk aan 90%. Hierbij werd gekozen voor het scenario dat gepaard ging met de grootste verdieping. Dit is scenario 4 (afvarende containervaart met diepgang 18.0 m).

In Figuur 12 en Tabel 13 worden de geoptimaliseerde diepteprofielen weergegeven indien er vooropgesteld wordt dat de afvaart met diepgang 18.0 m in alle tijen of in minimaal 90% van de tijen mogelijk moet zijn. Algemeen kan gesteld worden dat de afwaartse drempels minder verdiept dienen te worden voor een toegankelijkheidspercentiel gelijk aan 90%, terwijl de opwaartse drempels minder verdiept dienen te worden voor een toegankelijkheidspercentiel gelijk aan 100%. Dit laatste lijkt contradictorisch maar is een rechtstreeks gevolg van de tijcondities die het aandeel (10%) vormen dat wel meegenomen wordt bij $p_{obj}=100\%$ maar niet bij $p_{obj}=90\%$. Dit zijn de 10% minst gunstige tijcycli voor afvarende containervaart overeenkomstig doottij-condities. Door de doottij-condities te weren uit de optimalisatie treedt er zowel een verschuiving als verhoging van de waterstanden op. Hierdoor zal het ideale vertrektijdstip te Deurgangckdok verlaten, waardoor het HW op een meer afwaartse drempel bereikt wordt en de verdiepingen globaal gezien verminderen.

Figuur 12 - Geoptimaliseerd diepteprofiel voor afvarende containervaart (T=18.0 m) uit Deurgangckdok: sensitiviteit p_{obj}



Scenario 4 (100%): 100% toegankelijk met tijpoort 1h

Scenario 4 (90%): 90% toegankelijk met tijpoort 1h

Tabel 13 - Traject afvarende containervaart (T=18.0 m) Deurganckdok met geoptimaliseerde diepteprofiel: sensitiviteit p_{obj}

DREMPEL	UKC	VAARTIJD	INITIËLE DIEPTE	SCENARIO 4 (100%)	SCENARIO 4 (90%)
	[%]	[hh:mm:ss]	[m LAT]	[m LAT]	[m LAT]
WN	15	6:19:43	999.00	998.35	998.35
Kwintebank	15	6:13:24	20.00	19.99	19.89
VG1	15	5:51:15	18.80	19.73	19.60
VG3	15	5:36:24	16.20	19.45	19.33
VG7	15	5:23:33	16.20	19.17	19.06
S3	15	5:17:46	16.20	19.07	18.92
S/Z	15	5:03:21	16.20	18.69	18.58
S7	15	5:00:14	15.50	18.59	18.51
S9	15	4:44:26	15.40	18.21	18.14
SW	15	4:39:40	15.40	18.08	18.01
W2-W3	15	4:28:38	14.90	17.79	17.63
W4-W5	15	4:22:18	14.90	17.70	17.53
W6	15	4:14:46	14.90	17.60	17.37
Vlissingen	12.5	3:55:03	14.50	16.86	16.56
Borssele	12.5	3:19:39	14.50	16.53	16.06
PasVanTerneuzen	12.5	3:16:04	14.50	16.51	16.02
Terneuzen	12.5	2:44:00	14.50	16.43	16.22
GatVanOssenissee	12.5	2:19:51	14.50	16.55	16.64
HansweertAfwaarts	12.5	2:03:57	14.50	16.76	16.92
Hansweert	12.5	1:51:45	14.50	17.02	17.12
HansweertOpwaarts	12.5	1:43:21	14.50	17.18	17.28
Valkenisse	12.5	1:08:28	14.50	17.80	17.83
Bath	12.5	0:54:50	14.50	17.99	18.01
DrempelZandvliet	10	0:40:04	14.50	17.73	17.77
DrempelFrederiek	10	0:13:24	14.50	18.31	18.34
DeurganckdokRivier	10	0:07:40	14.50	18.40	18.45
Deurganckdok	10	0:00:10	14.50	18.57	18.63
DD	10	0:00:00	999.00	998.35	998.35

7 Samenvatting en aanbevelingen

7.1 Samenvatting

Op 10/04/2017 werd het Waterbouwkundig Laboratorium per mail gevraagd naar de mogelijkheid om een snelle en indicatieve berekening uit te voeren naar de vereiste bodemprofielen om te voldoen aan onderstaande toegankelijkheden:

- Tankvaart Kieldrechtssluis bij diepgang 16.5 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 2 uur:
 - Opvaart (scenario 1a en 1b)
 - Afvaart (scenario 2)
- Containervaart Deurganckdok bij diepgang 18.0 m en minimale tijpoortlengte gelijk aan 1 uur:
 - Opvaart (scenario 3)
 - Afvaart (scenario 4)
- Bulkvaart Vlissingen Sloehaven bij diepgang 17.0 m en een minimale tijpoortlengte gelijk aan 30 minuten
 - Opvaart met stroomcriterium [-15 minuten SvH;+15 minuten SvH] in 90% van de tijen (scenario 5).

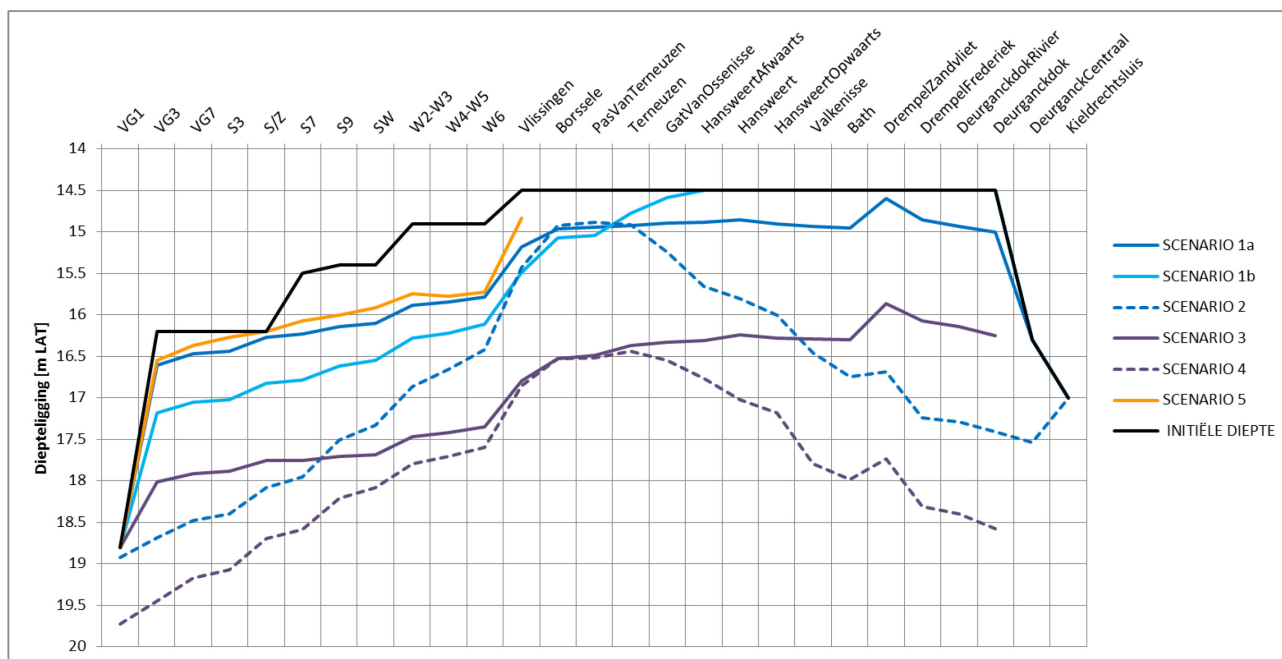
Bovendstaande toegankelijkheidswensen worden verder benoemd als *klantenwensen maart 2017*.

In het kader van voorliggende opdracht ontwikkelde WL een rekenmethodiek die toeliet om uitgaande van een vooropgestelde toegankelijkheid een minimaal vereist diepteprofiel te berekenen. Hierbij wordt iteratief een gelijkwaardige verdieping toegepast op de openings- en sluitingsdrempels van een tijpoortberekening. Per drempel kon bovendien een maximale diepte gedefinieerd worden waaronder de drempel niet verdiept mocht worden.

De rekenmethode werd toegepast op bovenvermelde klantenwensen op basis van de referentieperiode januari 2013 tot juni 2013. Voor deze periode waren er astronomische waterstanden beschikbaar. De optimalisatie werd aangevat bij streefdieptes toegekend aan alle drempels.

De resultaten van de berekening worden weergegeven in Figuur 13. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er geen eenduidig bodemprofiel bestaat dat tegemoet komt aan de vooropgestelde toegankelijkheden. Indien geen stroomvenster bepaald, dan kan eenzelfde toegankelijkheid bekomen worden door het zwaartepunt van de verdiepingen te verplaatsen naar de meer opwaartse of afwaartse drempels. Bij deze oriënterende berekeningen werd geen voorkeur gedefinieerd voor de verdieping van de ene of andere drempel. Als uitgangspunt voor de berekening werd uitgegaan van de op heden toegepaste vaarwegdrempels bij streefdiepte en werd verondersteld dat de verdiepingskost van elke drempel gelijk was.

Figuur 13 - Diepteprofielen geoptimaliseerd voor Klantenwensen maart 2017



Scenario 1a: Opvarende tankvaart (16.5 m) Kieldrechtsluis; 100% toegankelijk met tijpoort 2h

Scenario 1b: Opvarende tankvaart (16.5 m) Kieldrechtsluis; 100% toegankelijk met tijpoort 1h en stroomvenster [-60 min;+60 min] t.o.v. SvH Deurganckdok

Scenario 2: Afvarende tankvaart (16.5 m) Kieldrechtsluis; 100% toegankelijk met tijpoort 2h

Scenario 3: Opvarende containervaart (18.0 m) Deurganckdok; 100% toegankelijk met tijpoort 1h

Scenario 4: Afvarende containervaart (18.0 m) Deurganckdok; 100% toegankelijk met tijpoort 1h

Scenario 5: Opvarende bulkvaart (17.0 m) Sloehaven; 90% toegankelijk met tijpoort 30 minuten en stroomvenster [-10 min;+20 min] t.o.v. SvH Sloehaven

7.2 Aanbevelingen

In dit onderzoek werd de toegankelijkheid van marginale schepen met aanzienlijk grotere diepgangen dan de huidige gangbare diepgangen verengt tot het verdiepen van de drempels op basis van de huidige deterministische kielspelingen. De toegankelijkheid van de Westerschelde behelst echter meer dan het halen van het vereiste kielspelingscriterium boven een drempel. De Westerschelde kent zeer vele bochten die een aanzienlijke koerswijziging vereisen zodat de schepen met grotere diepgangen dan de huidige diepgangen ook de mogelijkheid moeten hebben om deze bochten te kunnen blijven nemen in opvaart en afvaart en ook met ander verkeer op de rivier. Het verdiepen van de drempels naar het in dit rapport geoptimaliseerde diepteprofiel veronderstelt het niet verdiepen van zones buiten deze drempelzones. In (Eloot *et al.*, 2004) werd de invloed onderzocht van een gewijzigd diepteprofiel ter hoogte van boei 75a op de manoeuvreerbaarheid (bochten, stroming en schip-oever interactie). Het verondiepen van de bocht van Bath bij een gelijkblijvende maximale huidige diepgang zoals in (Eloot *et al.*, 2004) of het vergroten van de diepgang bij een gelijkblijvende huidige diepte in de bochten in dit rapport vereisen noodzakelijk bijkomend onderzoek. De aanbevelingen in 7.2.1 en 7.2.2 hebben echter enkel betrekking op het in dit rapport beschreven onderzoek.

7.2.1 Doorontwikkeling rekenmethodiek

Teneinde een economische optimalisatie van de diepteprofielen mogelijk te maken, dient de rekenmethodiek uitgebreid te worden met onderstaande functionaliteiten:

- Toepassing van een verdiepingsgewicht voor de drempels in overeenstemming met (bagger-)kost per dieptemeter.
- Definitie minimale drempeldiepte waarboven niet verondiept mag worden.

7.2.2 Waterstanden

De toegepaste tijdreeksen voor waterstanden zijn afkomstig uit numerieke berekeningen daterend uit 2013. Een actualisatie van de waterstanden op basis van de meest recente numerieke modellen is aangewezen.

8 Referenties

Eloot, K.; Vantorre, M.; Mostaert, F. (2004). Nautisch onderzoek Nauw van Bath, 771. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

GNA. (2017). Simulaties KD 165 tankers definitief.docx

MDK - afdeling KUST - Vlaamse Hydrografie. (2017). Getijtafels 2017 voor Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge, Zeebrugge, Vlissingen, Prosperpolder, Antwerpen en Wintam

Vanhoenacker, T. (2017). Email 22/05/2017 Re: Doorrekenen impact klantenwensen (Havenbedrijf Antwerpen N.V. van publiek recht, Ed.)

Vantorre, M.; Candries, M.; Verwilligen, J. (2014). Optimisation of Tidal Windows for Deep-Drafted Vessels by Means of a Probabilistic Approach Policy, *in*: (2014). *PIANC World Congress San Francisco*. pp.1–18

Verwilligen, J.; Eloot, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016a). Tijpoortberekeningen afvarende containervaart uit Deurganckdok: invloed drempeldieptes en vaarsnelheden. versie 4.0, 16_115_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Verwilligen, J.; Vantorre, M.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2014a). Vergelijking en optimalisatie toegankelijkheidstools Schelde: deelrapport 1. Validatie rekenmethodiek, 13_015. Waterbouwkundig Laboratorium/Universiteit Gent. Afdeling Maritieme Techniek: Antwerpen

Verwilligen, J.; Vantorre, M.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2014b). Vergelijking en optimalisatie toegankelijkheidstools Schelde: deelrapport 2. Inputgegevens waterstand en stroom, 13_015. Waterbouwkundig Laboratorium/Universiteit Gent: Antwerpen

Verwilligen, J.; Vos, S.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016b). Toegankelijkheidsberekening Sloehaven: impact geoptimaliseerd diepteprofiel op toegankelijkheid 16.5 m, 15_078. 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