BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

DIMENSIONERING VAARGEUL HOLWERD – NES

Aanvullend onderzoek

Rapport nr.	:	34573-2-MO-rev.2
Datum	:	18 augustus 2023
Versie	:	rev. 2 Eindrapport

DIMENSIONERING VAARGEUL HOLWERD – NES

Aanvullend onderzoek

Opdrachtgever	:	Ministerie van IenW (DGMo), Rijkswaterstaat en Wagenborg Passagiersdiensten B.V.
Correspondentieadres	:	Rijkswaterstaat Noord Nederland Zuidersingel 3 8911 AV Leeuwarden

Gerapporteerd door : D. ten Hove

Paraaf management :

Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev. 0	8 augustus 2023	Concept	H.L.J. Ammerlaan
Rev. 1	16 augustus 2023	Definitief	
Rev. 2	18 augustus 2023	Definitief_2	

INHOUD **PAGINA**

1 INLEIDING 1

2 DOEL VAN HET ONDERZOEK 3

3 WERKWIJZE 4

4 SITUATIEBESCHRIJVING 6
4.1 Geografische situatie en vaargeulindeling 6
4.2 Schepen 9
4.3 Dienstregeling 10
4.4 Overig verkeer 11
4.5 Stroom 12
4.6 Golven 13
4.7 Meteo 13
4.8 Positiebepaling 15
4.9 Kielspeling 15

5 DIMENSIONERING VAN DE VAARGEUL 17
5.1 Referentiediepte 17
5.2 Vaargeulbreedte 17

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 30
6.1 Conclusies 30
6.2 Aanbevelingen 31

REFERENTIES 32

APPENDIX 1 VAARSNELHEDEN OVER DE GROND EN REISTIJDEN 34

APPENDIX 2 PASSEERVAKKEN 40

APPENDIX 3 BESCHIKBARE GEULBREEDTES 51

1 INLEIDING

Wagenborg Passagiersdiensten B.V. (WPD) verzorgt o.a. de veerdienst van Holwerd naar Nes, Ameland. Momenteel is het zo dat in 40% van de overtochten meer dan 10 minuten vertraging opgelopen wordt ten opzichte van de met het Ministerie van IenW afgesproken dienstregeling. De vertragingen zijn onder andere het gevolg van ondieptes en vernauwingen in de dichtslibbende vaargeul. Verder wordt de vaargeul steeds intensiever gebruikt, onder andere, doordat er naast de reguliere veerdiensten ook een sneldienst onderhouden wordt en doordat er permanent baggervaartuigen in de geul aanwezig zijn om de vaargeul zo veel mogelijk op de gewenste breedte en diepte te houden. Er is al geruime tijd discussie over de benodigde veilige breedte/diepte van de vaarweg.

Figuur 1-1: Ontmoeting van de veerboten waarbij één van de boten de rand van de geul opzoekt om de ander te laten passeren

Recent heeft WPD door MARIN een studie uit laten voeren naar de minimaal benodigde geulbreedte [Ref 7.]. Naar aanleiding van de resultaten van de studie en de huidige morfologische situatie heeft WPD geconcludeerd dat de breedte van de geul momenteel onvoldoende is voor een vlotte en veilige uitvoering van de afgesproken dienstregeling. WPD heeft daarom in mei 2023 een verzoek ingediend bij het ministerie van IenW voor een wijziging van de afgesproken dienstregeling zodanig dat de reguliere veerboten elkaar niet meer hoeven te passeren in de geul. Tegelijkertijd is geconcludeerd dat de toegepaste methodiek, gebaseerd op PIANC richtlijnen [Ref 2.] in de eerdere studie een valide methode is, maar wel een “worst case” beeld geeft door het toepassen van de meest nadelige omgevingscondities (stroom en wind), geometrie van de geul (vaargeul met bochten), beperkte waterdiepte en kielspeling (Under Keel Clearance, UKC) op de hele geul tussen Holwerd en Nes. De verwachting is dat door het indelen van de geul in secties met ongeveer gelijke eigenschappen een differentiatie aangebracht kan worden in de PIANC-adviesbreedte voor de vaargeul, waardoor meer maatwerk mogelijk is bij het vaststellen van een aangepaste dienstregeling en deze waarschijnlijk minder beperkt hoeft te worden dan aanvankelijk voorzien. Aspecten die daarbij meegenomen kunnen worden zijn:

- Strekking van de verschillende vaarwegdelen (recht, bocht, bochtstraal);
- Gedetailleerde stroomgegevens (tij afhankelijk) op basis van het Deltares stroommodel voor de Waddenzee;
- Tij afhankelijke waterstand en daarmee variërende UKC;
- Vaarsnelheid in de verschillende vaarwegdelen.

WPD, het ministerie van IenW en Rijkswaterstaat (RWS) hebben gezamenlijk aan MARIN opdracht gegeven dit aanvullend onderzoek uit te voeren, waarbij meer differentiatie aangebracht wordt in de adviesbreedte voor de verschillende vaargeuldelen. Gevraagd is hierbij onderscheid te maken tussen enkelstrooks gebruik van de verschillende vaargeuldelen, tweestrooks gebruik van de verschillende vaargeuldelen en een tussenvorm waarbij bij een ontmoeting één van de schepen de rand van de vaargeul opzoekt en hier blijft wachten tot het tegemoetkomende schip gepasseerd is (geregelde ontmoeting). Vervolgens worden deze resultaten gebruikt voor een vergelijking tussen de benodigde (advies)breedte en de actuele beschikbare breedte in de geul bij de verschillende waterstanden. Doel is vast te stellen bij welke waterstanden er genoeg breedte en diepte beschikbaar is in de verschillende delen van de vaargeul voor enkel- dan wel tweestrooks verkeer of voor een geregelde ontmoeting.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt het doel van het onderzoek beschreven, gevolgd door een korte beschrijving van de werkwijze in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de actuele situatie en hoofdstuk 5 geeft de uitwerking naar de gewenste dimensies van de vaargeul. Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 de conclusies en aanbevelingen volgend uit de studie.

2 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van de studie is:

- het vaststellen van de minimale dimensies voor de vaargeul van Holwerd naar Nes ten behoeve van de veerdienst van WPD, waarbij gedifferentieerd wordt naar waterstanden en vaargeuldelen met vergelijkbare karakteristieken (bochtstralen, dwarsstroom, langsstroom, oriëntatie t.o.v. overheersende windrichting, vaarsnelheid);
- een vergelijking maken tussen de benodigde breedte en de daadwerkelijk beschikbare breedte voor verschillende waterstanden;
- de vergelijking uitwerken in een advies over de operationele implementatie in de dienstregeling.

De studie is een verdieping van de eerder uitgevoerde studie naar de minimaal benodigde geulbreedte [Ref 7.], gebruik makend van dezelfde methodiek gebaseerd op PIANC-richtlijnen.

3 WERKWIJZE

Een eerste schatting van de benodigde vaargeuldimensies kan gebaseerd worden op algemene richtlijnen, zoals de Richtlijnen Vaarwegen 2020 (RVW) [Ref 1.], uitgegeven door Rijkswaterstaat, en de Harbour Approach Channels, Design Guidelines [Ref 2.], uitgegeven door de PIANC. Nadeel van de eerste richtlijn is dat deze gericht is op de binnenvaart en niet gebruikt kan worden voor vaarwegen die ook bestemd zijn voor zeevaart, zoals de vaargeulen op de Waddenzee (RVW par. 1.3.1). Het nadeel van de tweede richtlijn is dat deze vooral geschikt is voor het ontwerpen van min of meer rechte vaargeulen (zonder grote koerswijzigingen) voor diepstekende zeevaart en minder geschikt is voor het ontwerpen van een sterk meanderende vaargeul en relatief kleine zeeschepen met weinig diepgang. De PIANC-richtlijnen geven wel een goede beschrijving van de methodiek die gevolgd moet worden bij het ontwerpen/dimensioneren van een vaargeul en welke aspecten daarbij in beschouwing genomen moeten worden.

In de eerdere studies ([Ref 5.], [Ref 7.]) zijn daarom de PIANC richtlijnen gevolgd voor het vaststellen van de benodigde geuldimensies, waarbij de marges die daarin gehanteerd werden voor onder andere het manoeuvreergedrag van het schip waren aangepast en waren vastgesteld op basis van de specifieke lokale situatie (wind- en tijcondities). Op die manier waren op een objectieve wijze de lokale omgevingscondities, het gedrag en de capaciteit van zowel het schip als de bemanning in het oordeel betrokken. Echter door het toepassen van de meest nadelige omgevingscondities (stroom en wind), geometrie van de geul (vaargeul met bochten), beperkte waterdiepte en kielspeling (UKC) op de hele geul tussen Holwerd en Nes is in de eerdere studies een “worst case” benadering gegeven voor de vereiste dimensies van de vaargeul. De verwachting is dat door het indelen van de geul in secties met min of meer gelijke eigenschappen een differentiatie aangebracht kan worden in de PIANC-adviesbreedte voor de vaargeul, waardoor meer maatwerk mogelijk is bij het vaststellen van de vereiste dimensies van de vaargeul.

In deze studie is in grote lijnen dezelfde opzet gevolgd als in de eerdere studies, maar dan met een onderverdeling van de vaargeul in secties en geactualiseerd aan de hand van recente stroomberekeningen en peilingen. Voor de werkzaamheden betekende dit:

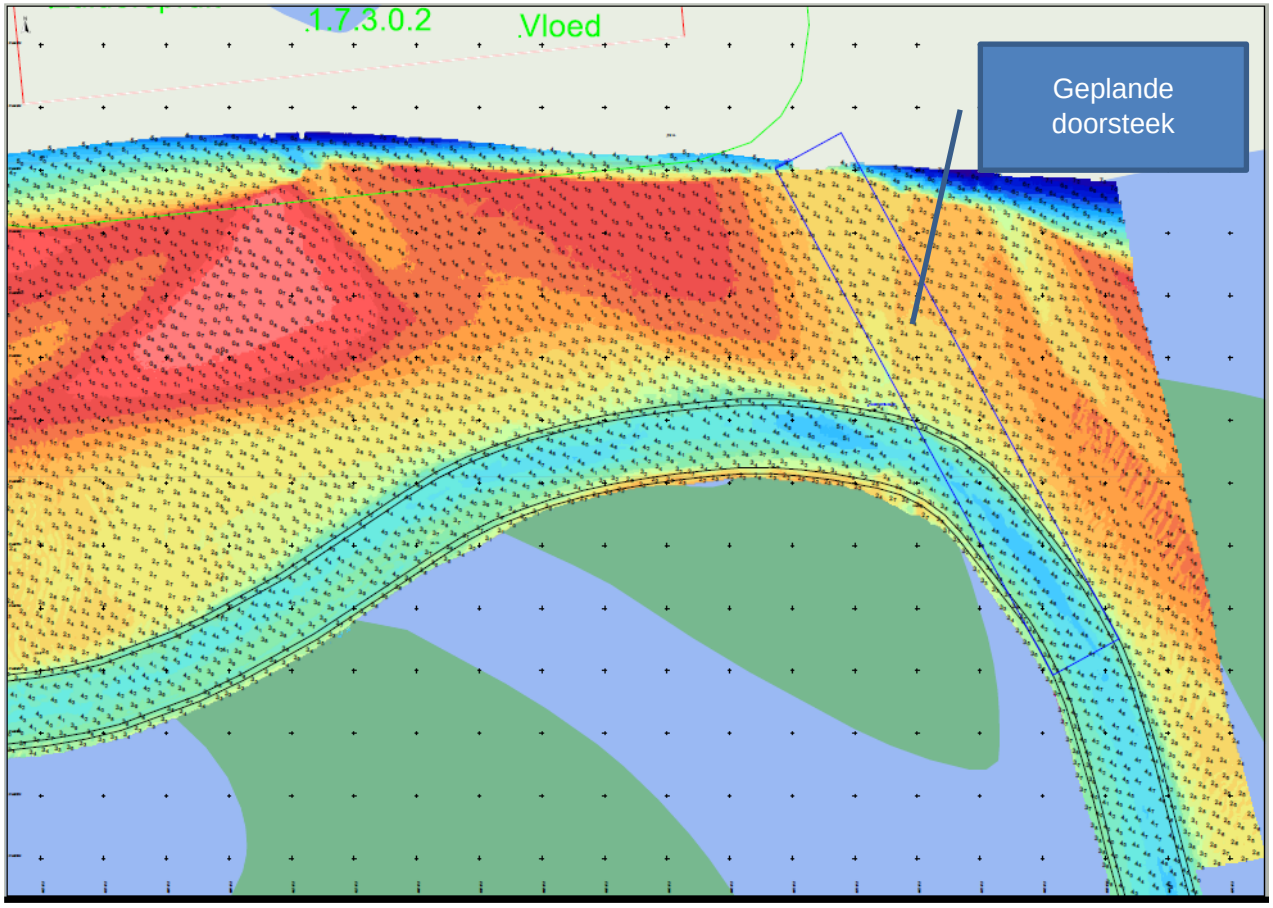
- Indelen van de vaargeul in verschillende secties met binnen de sectie min of meer gelijke karakteristieken, zoals:
  - Strekking van het vaargeuldeel (bocht of rechtstand);
  - Vaarsnelheid;
  - Dwarsstroom afhankelijk van het getij;
  - Langsstroom afhankelijk van het getij;
  - Beschikbare waterdiepte en kielspeling afhankelijk van getij.

  Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 4.1.
- Per sectie vaststellen (data verzamelen) van de karakteristieke waarden;

  Dit is verder uitgewerkt in paragraaf 4.2 en verder.
- Per sectie vaststellen van de tij afhankelijke advies breedte op basis van de PIANC-methodiek.

  Dit is verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

RWS is ondertussen ook in een vergevorderd stadium met het voorbereiden van een doorsteek vanaf boei VA9 richting de Zuiderspruit. (zie Figuur 3-1). Op verzoek van RWS zijn in deze studie ook adviesbreedtes opgesteld voor de alternatieve ligging van dit noordelijke gedeelte van de vaargeul.



Figuur 3-1: Geplande doorsteek

In de tweede stap is een vergelijking gemaakt van de benodigde (advies)breedte en de actuele beschikbare breedte in de geul bij de verschillende waterstanden. Het doel is vast te stellen bij welke waterstanden er genoeg breedte en diepte beschikbaar is in de verschillende delen van de vaargeul voor enkelstrooks verkeer, tweestrooks verkeer en/of een geregelde ontmoeting. De resultaten van de vergelijking zijn verwerkt in de tabellen met resultaten in hoofdstuk 5.

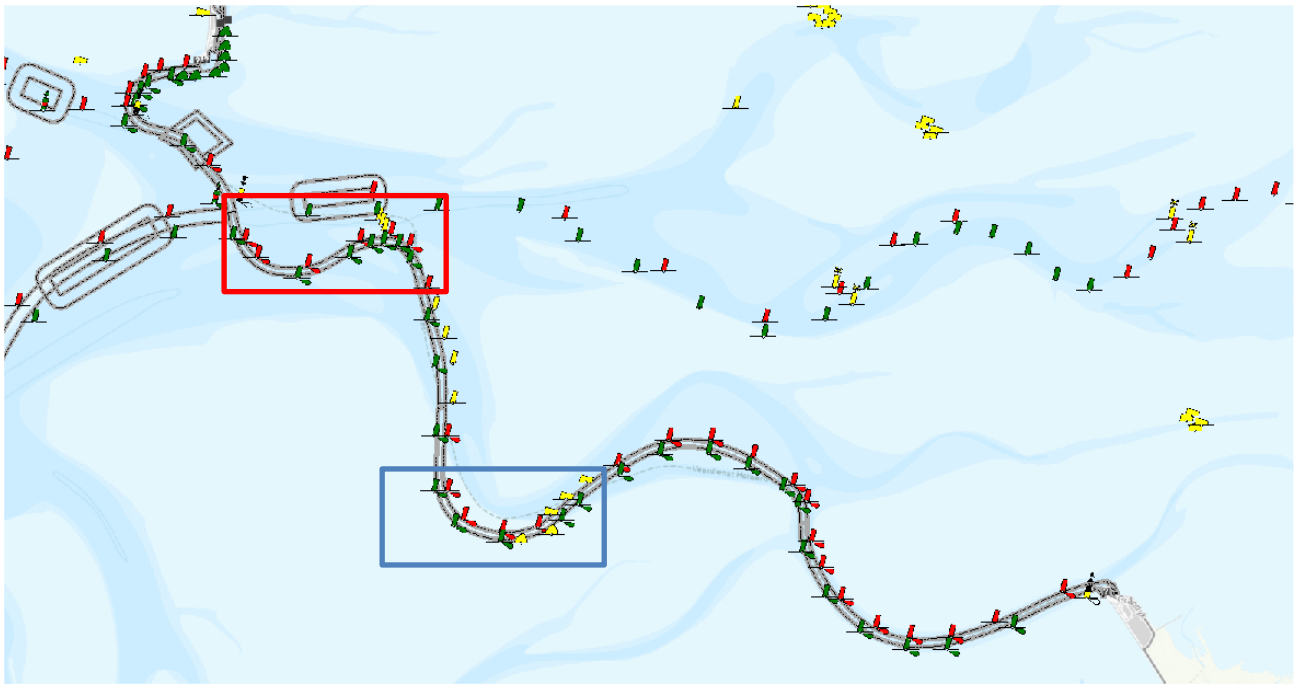
4 SITUATIEBESCHRIJVING

4.1 Geografische situatie en vaargeulindeling

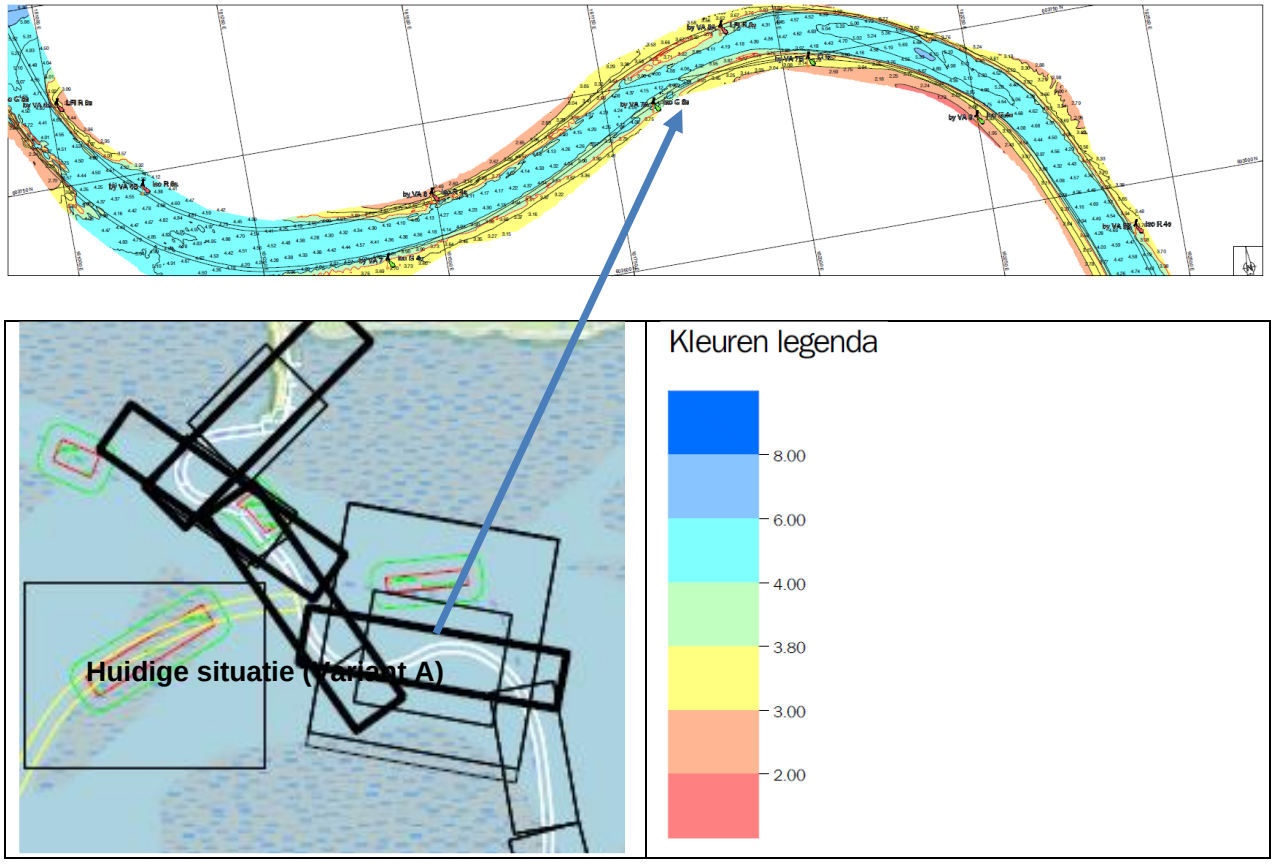
De vaarroute volgt van noord naar zuid op dit moment vanaf Nes over het eerste gedeelte van het traject tot boei VA 3 een voldoende diepe natuurlijke geul. De breedte is in het eerste deel van de geul wel beperkt. Ter hoogte van boeienpaar VA 5 – VA 6A is een versmalling tussen twee ondieptes door (ter hoogte van de linkerkant van de rode rechthoek in Figuur 4-4). Aan de rand van de geul is hier onvoldoende water beschikbaar. Tussen de boeien VA 7A, VA 7B en VA 8A is sprake van een aanzanding en versmalling (centraal in de rode rechthoek in Figuur 4-4). De bodemligging hier is weergegeven in Figuur 4-2. De versmalling is zichtbaar bij de blauwe pijl. Bij laag water wordt de versmalling en ondiepte met een lage snelheid gepasseerd om te voorkomen dat het schip aan de grond loopt. Vanaf VA 9 – VA 25 heeft de geul voldoende diepte. In dit gedeelte bevindt zich wel een krappe bocht die in de loop der tijd steeds verder naar het zuiden uitslijt en aan de noordzijde aanzandt, waardoor de geul zich hier steeds verder naar het zuiden verplaatst (blauwe rechthoek in Figuur 4-1). Vanaf boeienpaar VA 33 – VA26 wordt de geul smaller en ondieper. Het laatste stuk tot de pier bij Holwerd is wat betreft de beschikbare waterdiepte en het doorvaarbaar profiel het meest kritisch. Er is hier ook sprake van veel slik op de bodem, waardoor de vaarweerstand toeneemt en de vaarsnelheid bij laag water inzakt (maximaal 4 á 5 knopen).

De ligging van de geul kan door morfologische bodemveranderingen ten gevolge van het getijde binnen een week wijzigen. De lengte van de geul kan door de morfologische processen eveneens veranderen. Naast de veranderende lengte wordt door de ondieptes en vele (krappere) bochten de maximale vaart steeds verder beperkt. Het is één van de taken van RWS om hier in het onderhoud van de vaargeul rekening mee te houden.

Op dit moment wordt een vaargeul onderhouden met een bodembreedte van minimaal 50 m en maximaal 60 m op een streefdiepte van 3,80 m onder NAP. Deze streefwaarden zijn alleen met intensief baggeren te realiseren, zoals ook blijkt uit peilingen over een langere periode. Ter vergelijking is de situatie voorafgaande aan een intensieve baggercampagne (Figuur 4-2) en de situatie nadien (Figuur 4-3) opgenomen.



Figuur 4-1: Huidige vaarroute Holwerd – Nes



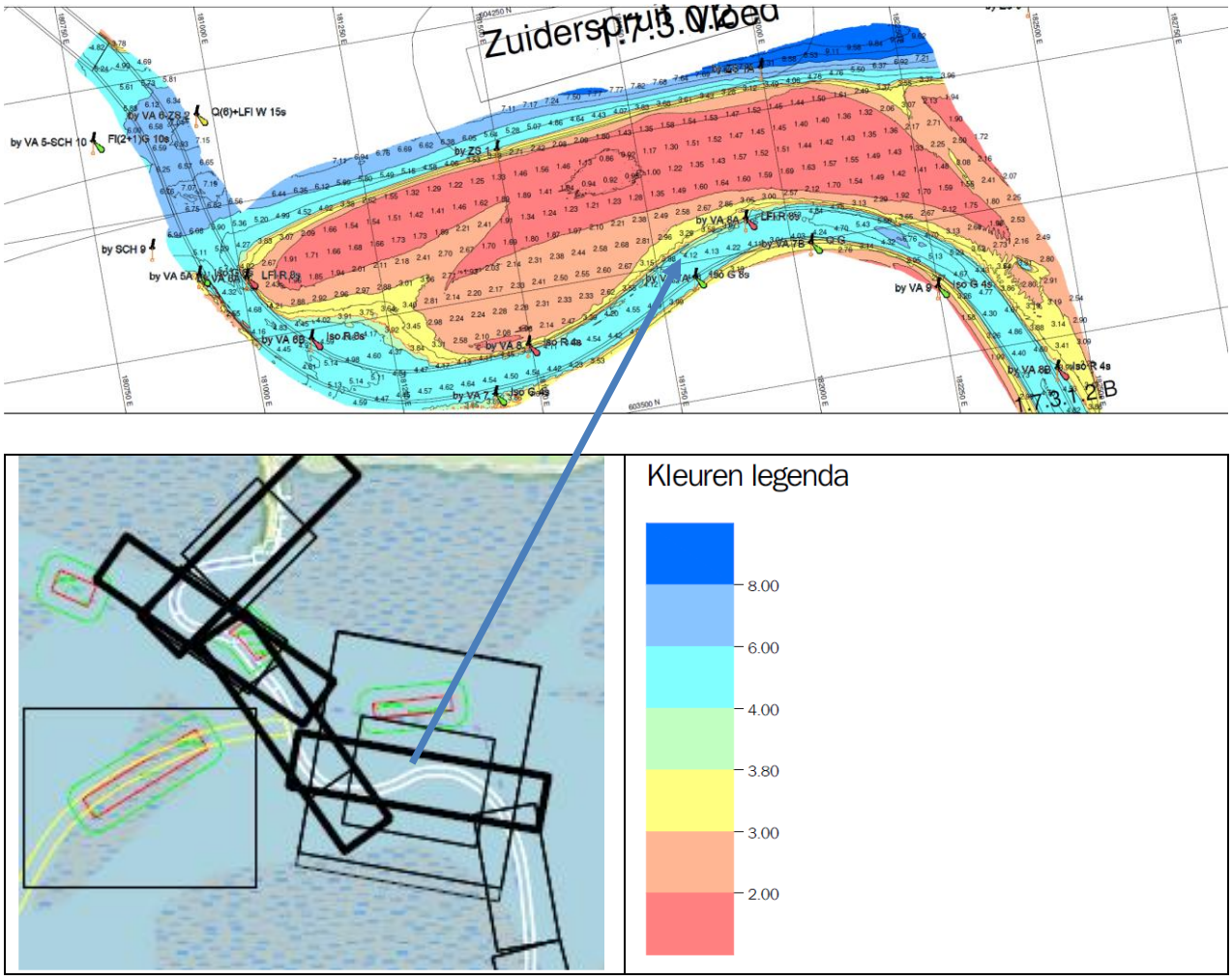
Figuur 4-2: Bodemligging t.o.v. NAP in de geul tussen VA 7 en VA 9 (peiling 14 maart 2023)

De vaargeul is voor het vaststellen van adviesbreedtes onderverdeeld in secties met een lengte variërend van 405 m tot 1690 m aan de hand van de volgende criteria:

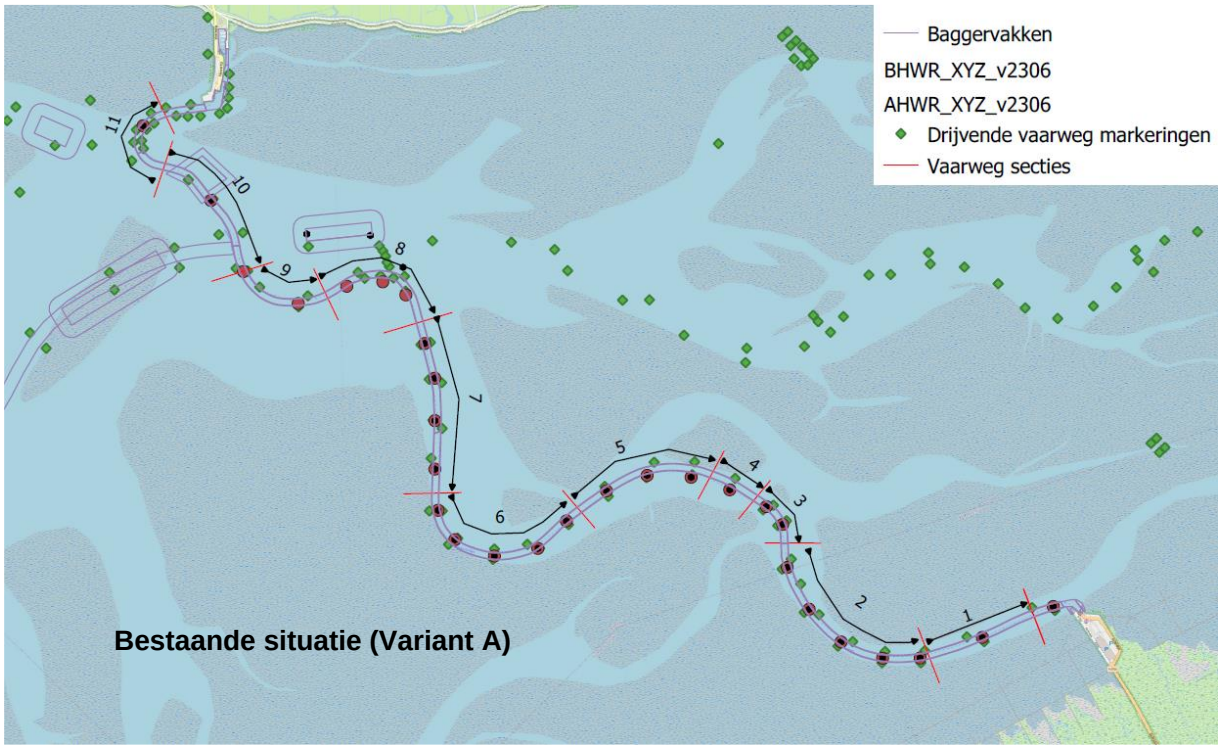
- Strekking (geometrie): het vaarwegdeel is een rechtstand of een enkele bocht;
- Koerswijziging in het vaarwegdeel;
- Het vaarwegdeel heeft een min of meer constante dwarsdoorsnede;
- Binnen het vaarwegdeel is tenminste een stroomobservatiepunt beschikbaar (zie ook §4.5).

De totale lengte van de geul is 11,2 km. De vaarwegindeling is secties is weergegeven in Figuur 4-4. De rode streepjes markeren de sectiegrenzen. De secties zijn genummerd van 1 tot en met 11. De eerste ca. 450 van de vaargeul vanaf de steiger, zowel aan de kant van Holwerd als aan de kant van Nes is buiten beschouwing gelaten. De veerboten hebben hier ook ruimte nodig om te manoeuvreren voor het aanmeren of afvaren. De PIANC-methodiek is hiervoor niet van toepassing.

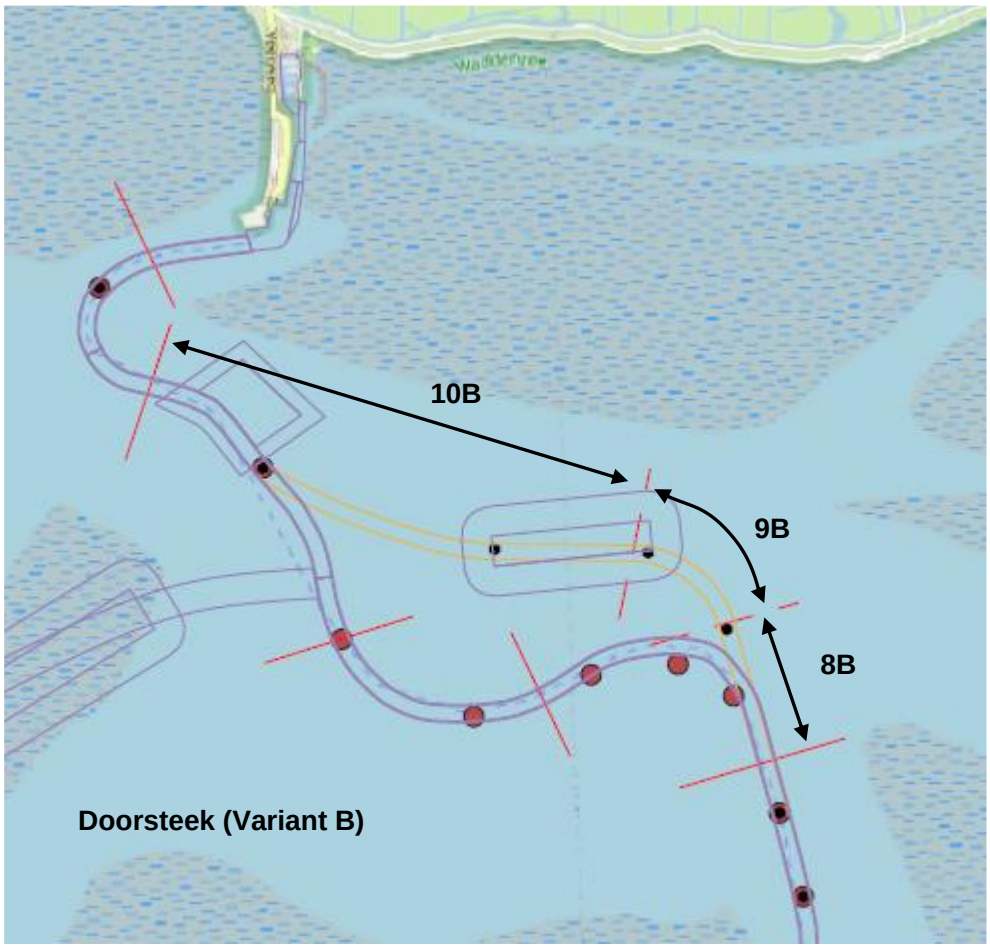
Naast de bestaande situatie (Variant A) is, zoals eerder al vermeld, ook vooruitgekeken naar de doorsteek naar de Zuiderspruit (Variant B). Hiervoor zijn de vaargeulsecties 8, 9 en 10 vervangen door secties 8B, 9B en 10B die respectievelijk de doorsteek aangeven, de overgang (bocht) van de doorsteek naar de Zuiderspruit en het vaargeuldeel in de Zuiderspruit verderop weer aansluitend in de bestaande geul. De doorsteek is een recht stuk vaargeuldeel waarin geen koerswijziging nodig is. De bocht (9B) wordt al ingezet in de doorsteek. De bochtstraal in de overgang is ongeveer 5L (L is de lengte van de veerboot). De gewijzigde ligging van de geul is met de aangepaste sectie indeling weergegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-3: Bodemligging t.o.v. NAP in de geul tussen VA 7 en VA 9 (peiling 21 maart 2023)



Figuur 4-4: Sectie indeling huidige vaarroute Holwerd – Nes (Variant A)



Figuur 4-5: Sectie indeling doorsteek vaarroute Holwerd – Nes (Variant B)

4.2 Schepen

Rederij Wagenborg maakt voor de normale dienstregeling tussen Holwerd en Nes gebruik van twee vrijwel identieke schepen, m.s. Sier (bouwjaar 1995) en m.s. Oerd (bouwjaar 2003). Dit zijn zogenaamde ‘double ended’ schepen, zodat er niet gekeerd hoeft te worden. De afmetingen van de schepen zijn gelijk, maar het maximale vermogen van de nieuwere veerboot, m.s. Oerd, is groter. Beide schepen varen onder operationele omstandigheden met ongeveer hetzelfde nominale vermogen.

De algemene kenmerken van de beide schepen zijn:

Tabel 4-1: Algemene kenmerken

Algemene kenmerken			
		MS Sier	MS Oerd
Bouwjaar		1995	2003
L_{PP}	[m]	71,20	71,20
L_{OA}	[m]	73,20	73,20
B	[m]	15,10	15,10
Tmax	[m]	1,70	1,70
Vermogen	[kW]	4 x 650	4 x 745
Dienstsnelheid	[kn]	10,8	10,8
Dienstsnelheid	[km/u]	20,0	20,0

De schepen hebben een relatief kleine diepgang (de operationele diepgang tijdens de meetvaarten was ca 1,45 m), wat over het algemeen leidt tot grote drifthoeken bij bochtvaren. De kleine diepgang maakt in combinatie met de relatief hoge opbouw de schepen extra gevoelig voor dwarswind.

De schepen worden voortgestuwd met een viertal Schottel ® Pumpjets. Dit zijn systemen die water verticaal aanzuigen en nagenoeg horizontaal wegstuwen. Bij de Sier werd hierbij een relatief hoge slijtage van de systemen ervaren. Naar aanleiding hiervan zijn voor de Oerd tijdens de bouw de inlaatroosters aangepast om de slijtage van de systemen te verminderen. Achteraf zijn deze aanpassingen ook bij de Sier doorgevoerd. De richting van de stuwkracht kan over 360° ingesteld worden. Voordelen van dit systeem is dat er geen kwetsbare delen van het voortstuwingsysteem de bodem kunnen raken en door de plaatsing van de pumpjets op de vier hoeken van het schip zou dit moeten leiden tot een goede bestuurbaarheid. Daar staat tegenover dat het voortstuwingsrendement kleiner is, vooral bij hogere vaarsnelheden, en dat de aanzuiging van schroefwater onder het kielvlak zit wat bij zeer kleine kielspeling de kans op storingen en de slijtage vergroot (door het meezuigen van zand en slib) en de manoeuvreerbaarheid negatief beïnvloedt.

Door de toepassing van pumpjets is het schip zeer goed bestuurbaar. Aan de andere kant gaat het schip, mede door de geringe diepgang, makkelijk draaien, waardoor zelfs bij kleine hoekverdraaiingen van de pumpjets het schip onmiddellijk reageert. Dit maakt het schip “zenuwachtig” en vanuit dit oogpunt juist weer moeilijker beheersbaar. Dit is zeker het geval als het schip volledig op de hand gestuurd wordt. In de normale operatie wordt het schip dan ook met de (half)automaat gestuurd, waarbij de automaat de draaisnelheid van het schip regelt. De automaat staat hierbij zodanig afgesteld dat er al bij kleine afwijkingen terug gestuurd wordt. Tijdens de metingen in 2008 was dit zichtbaar in voortdurend veranderende pumpjethoeken (Variaties van -20 graden tot +20 graden hoek). In de meetsignalen was dit zichtbaar in een voortdurende veranderende draaisnelheid met een bandbreedte van ca. 10 graden/minuut en een voortdurend veranderende drifthoek (bandbreedte van ca. 5 graden). Bij de vaststelling van de benodigde padbreedte is hiermee rekening gehouden. Alleen bij lastige passages wordt de besturing volledig op de hand overgenomen.

De pumpjet zuigt zijn schroefwater verticaal door het vlak aan. Bij zeer kleine kielspeling zal dat moeilijker gaan dan bij een conventionele schroef die vooral via de zijden van het schip aangestroomd wordt. Of het schip zich bij zeer kleine kielspeling anders gedraagt dan een schip met een conventionele schroef is echter niet duidelijk. Aangezien het schroefwater ook weer onder het schip eruit gepompt wordt, is de verwachting dat een schip met pumpjets lokaal hogere stroomsnelheden aan de bodem tot gevolg heeft dan een vergelijkbaar schip met conventionele schroeven. Dit kan de inzinking en vertrimming versterken en ook komt er dan meer sediment in suspensie. Tijdens de meetvaarten was dit effect ook duidelijk zichtbaar. Als de aanstroming slechter wordt dan loopt het rendement van de pumpjet terug, waardoor de nadelige effecten van een zeer kleine kielspeling versterkt worden. Dit pleit ervoor om bij het bepalen van de benodigde waterdiepte tenminste uit te gaan van de (gebruikelijke) minimale waterdiepte/diepgangsverhouding van 1,3 (30% kielspeling).

4.3 Dienstregeling

De rederij werkte tot voor kort in het hoogseizoen met een dienstregeling voor de gewone veerdienst met een aantal afvaarten vanaf Holwerd variërend van 7 op de woensdag (rustigste dag) tot 13 op de vrijdag (drukste dag). Een gelijk aantal vaarten is er vanaf Nes. Op vrijdag en zaterdag is er vanaf ca. 06:00 tot ca. 21:00 uur vrijwel elk uur een afvaart. De vaartijd bedraagt onder ideale omstandigheden ca. 50 minuten. Bij laag water loopt dit op tot 60 minuten of meer. Tegelijkertijd zijn er per dag ook nog 6 tot maximaal 10 afvaarten vanaf Holwerd van de sneldienst en een gelijk aantal vanaf Ameland. De sneldienst doet er ongeveer 20 minuten over. Ter illustratie: in 2022 waren er voor de gewone veerdienst 3486 geplande afvaarten vanaf Holwerd en een gelijk aantal vanaf Nes. Voor de sneldienst waren dat 2643 afvaarten vanaf Holwerd en eveneens 2643 vanaf Nes. Aanvullend op de reguliere dienstregeling worden in het hoogseizoen regelmatig extra schepen ingezet om pieken in het aanbod van passagiers weg te werken.

Bij een uurrooster (elk uur een afvaart) vertrekken beide schepen in principe tegelijkertijd vanuit Nes en Holwerd en zullen elkaar dus ergens in de geul moeten ontmoeten. De ontmoetingsplaats varieert echter sterk door verschillen in de vaarsnelheid (stroom mee, resp. tegen) en mogelijke vertragingen bij de afvaart. Vooral bij laag water, als de vaarsnelheid in de ondiepere delen van de geul richting Holwerd laag is, ontmoeten hierdoor de schepen elkaar juist in de minder brede delen van de geul zuidelijk van de Zuiderspruit. Eén van de schepen moet zich dan enige tijd in een verbreding van de geul gaande houden tot het andere schip gepasseerd is. In de verdere beschouwingen wordt deze wijze van gebruik van de geul aangeduid met: “geregelde ontmoeting”.

Ook bij ontmoetingen met andere schepen, zoals de sneldienst, in een smal gedeelte van de geul moet er voorzichtig gemanoeuvreerd worden. Hierbij is het van belang dat de schepen voldoende vaart houden om tijdens de ontmoeting de drifthoek zoveel mogelijk te kunnen beperken.

In de smalste gedeelten van de geul ontmoeten de schepen elkaar niet.

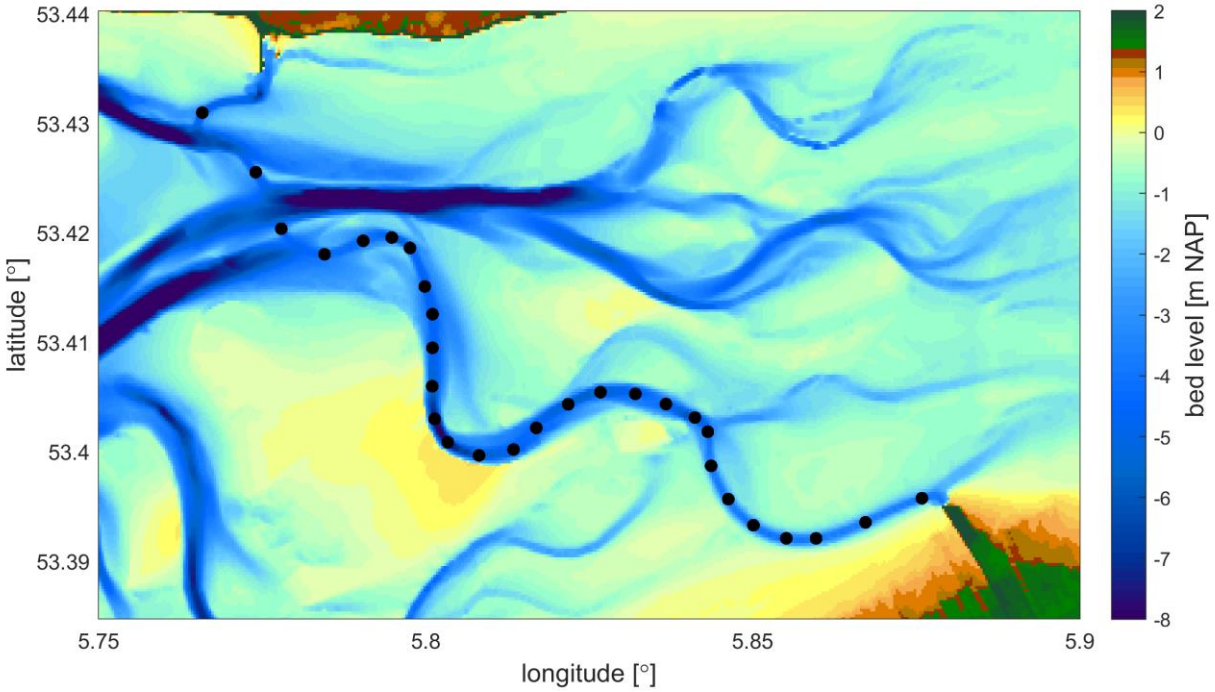
Figuur 4-6: Ontmoeting in het smalle gedeelte van de geul

4.4 Overig verkeer

Behalve door de veerboten van WPD wordt de geul ook gebruikt door andere schepen. Bijvoorbeeld ook de visserij maakt gebruik van de geul, o.a. om te bunkeren of te lossen in Holwerd. Het aantal scheepsbewegingen van deze gebruikersgroep is niet bekend. Daarnaast wordt de geul gebruikt voor ander passagiersvervoer: robbentochten en waddenexpedities (in het hoogseizoen zijn dit 3 of 4 afvaarten per dag), een watertaxi (dagelijks meerdere malen afvaarten, met name tijdens de spitstijden van 6 tot 9 en van 16 tot 18 uur). Tevens wordt de geul gebruikt door de peilboot (wekelijks) en een tonnenlegger (meerdere malen per maand, afhankelijk van het de aanzanding van de geul). Verder zijn er momenteel (juli 2023) drie baggervaartuigen aan het werk om de geul op diepte te houden. Deze zijn bij laag water weliswaar niet actief, maar zijn dan wel in de geul aanwezig. Verder zijn ze wel actief in de uren voor en na laag water wanneer er een sterke eb-/vloedstroom staat. Tenslotte varen er regelmatig schepen van KLPD/Douane en Ministerie van LNV in het gebied. Recreatievaart is zeer beperkt aanwezig in de geul (ten zuiden van Zuiderspruit/Scheepsgat). In het smalle deel van de geul is geen sprake van significante aantallen recreatievaart.

4.5 Stroom

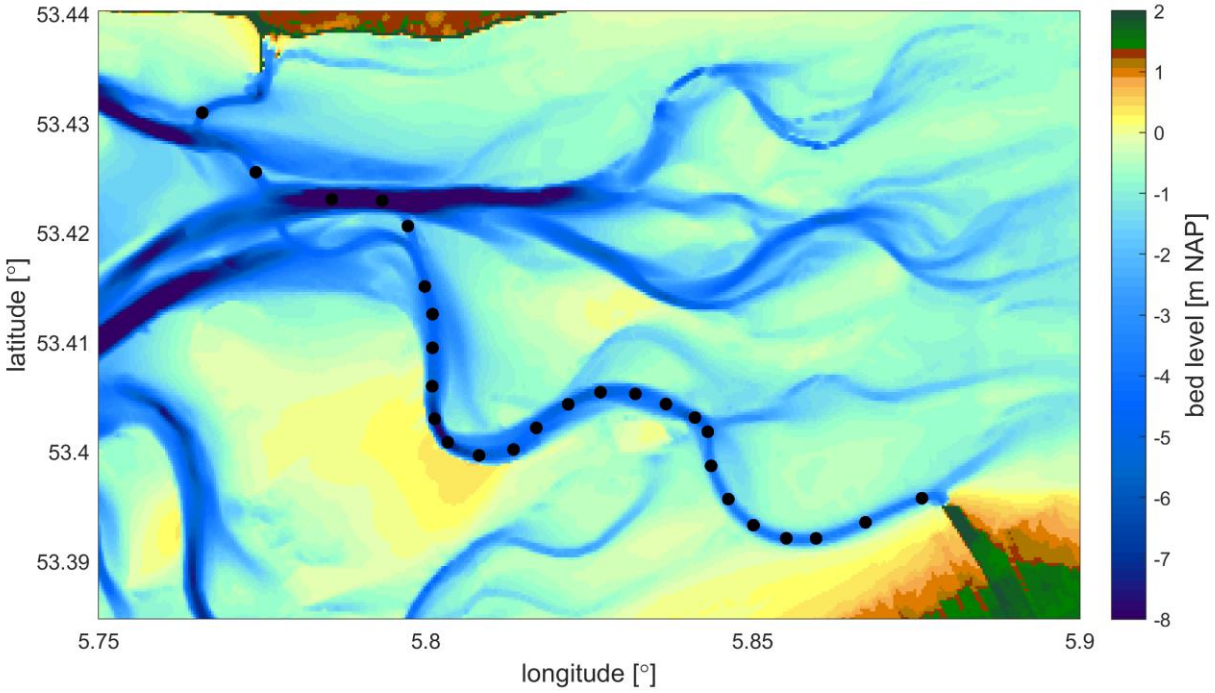
Stroomgegevens met bijbehorende waterhoogtes (tij afhankelijk) zijn aangeleverd door Deltares en gebaseerd op het stroommodel voor de Waddenzee [Ref 8.]. Het stroommodel levert een tij afhankelijk 3D stroomveld. Voor de effecten van de stroom op het schip is de stroom in de bovenste 1,5 m, de operationele diepgang van de veerboten, van belang. Ten behoeve van dit onderzoek is daarom voor 29 zogenaamde stroomobservatiepunten (Variant A) verdeeld over de vaargeullengte een dieptegemiddelde stroom bepaald over de bovenste 1,5 m van de waterkolom. Voor verdere details wordt verwezen naar de rapportage van Deltares [Ref 8.]. De stroom is berekend met een resolutie van 10 minuten voor een periode van 3 maanden, van 1-1-2019 tot en met 31-3-2019. De stroomobservatiepunten zijn als donkerblauwe punten weergegeven in Figuur 4-7. Voor variant B is de stroom bepaald op 27 punten. Deze punten zijn weergegeven in Figuur 4-8.



Figuur 4-7: Stroomobservatiepunten (Variant A)

Het Deltares stroommodel is echter onvoldoende nauwkeurig in het voorspellen van lage waterstanden richting het wantij. Dit heeft te maken met de modelschaal, waarin kleine afwaterende geulen niet zijn opgenomen, die er in werkelijkheid wel zijn. Om dit te ondervangen zijn de stroomsnelheden gekoppeld aan de meetgegevens van waterstanden in Holwerd over dezelfde periode (1-1-2019 tot en met 31-3-2019) en met dezelfde resolutie (iedere 10 minuten). Tenslotte zijn de stroomsnelheden en richtingen voor alle stroomobservatiepunten ingedeeld in waterstandklassen. De waterstandklassen hebben een breedte van 20 cm met als middelste waarde per klasse -1.8 m ten opzichte van NAP tot en met 1.8 m ten opzichte van NAP met stappen van 20 cm. In iedere klasse en voor elk stroomobservatiepunt is voor zowel de langsrichting (de richting van de raaklijn aan de as van de vaargeul in het observatiepunt) als de dwarsrichting (loodrecht op de richting van de raaklijn aan de as van de vaargeul in het observatiepunt) de minimale stroomsnelheid, de maximale stroomsnelheid, het gemiddelde, het 10% percentiel (10% van de waarden in de klasse zijn kleiner) en het 90% percentiel (10% van de waarden in de klasse zijn groter) bepaald. De langsstroom is positief in de richting van Nes en negatief in de richting van Holwerd. De dwarsstroom is positief naar rechts en negatief naar links in de richting van Nes kijkend.

Voor het bepalen van de weegfactoren voor de dwarsstroom en de langsstroom (zie hoofdstuk 5) is geen gebruik gemaakt van de uiterste waarden (het minimum of maximum) om te voorkomen dat uitschieters aanleiding zijn voor een overdimensionering van de vaargeul. In plaats daarvan is gebruik gemaakt van het maximum van de absolute waarden van de 10% en 90% percentiel waarden



Figuur 4-8: Stroomobservatiepunten (Variant B)

4.6 Golven

Bij het bevaren van zeegeulen moet rekening gehouden worden met een diepgangstoename ten gevolge van scheepsbewegingen in golven. Door het droogvallen van de platen is de omgeving waarin de veerboot vaart bij laagwater echter zeer verschillend ten opzichte van die bij hoogwater. In het bijzonder het gedeelte nabij Holwerd is in dat geval een smal kanaal. Van enige golven die voor een diepgangstoename zorgen is dan geen sprake meer. De beweging in golven is in dit geval dus niet maatgevend voor de minimaal te hanteren kielspeling en de dimensionering van de geul.

4.7 Meteo

Meteorologische factoren die de dienstregeling kunnen ontregelen zijn verlaging van de waterstand (afwaaiing), storm en ijsgang (de schepen kunnen varen bij beperkte ijsgang). De laatste twee omstandigheden kunnen de vaart gedurende een of meer dagen onmogelijk maken, terwijl de toestand van de vaargeul daar weinig invloed op heeft. Afwaaiing daarentegen zal als de geul niet diep genoeg is, de vaarten bij lage tijstanden vertragen of in het uiterste geval onmogelijk maken. Hoe dieper de geul, hoe kleiner de kans dat dit voorkomt. Door de koppeling van de gemeten waterstanden aan de stroomgegevens over een langere periode zijn eventuele effecten van op- en afwaaiing impliciet verwerkt in de stroomgegevens (paragraaf 4.5).

Naast het effect van afwaaiing op de vaartijd speelt het effect van dwarswind op het breedtebeslag van het schip een rol en heeft daarmee invloed op de benodigde geulbreedte. In 2008 zijn metingen van het manoeuvreergedrag uitgevoerd bij een wind uit het oosten met een kracht 4 – 5 Beaufort, en een wind uit het noordwesten, met een kracht 5 – 6 Beaufort. Zoals al eerder genoemd zijn, mede door de wind, de draaisnelheden tijdens de vaart (ook op de rechtere vaarweggedeelten) variabel met een bandbreedte van ca. 10 graden/minuut en een voortdurend veranderende drifthoek (bandbreedte van ca. 5 graden). Bij 6 Beaufort wind wordt de bandbreedte voor de draaisnelheid ca. 25 graden/minuut.

Dit ondanks een strakke regeling van de automaat. Verder liep tijdens de metingen in 2008 de drifthoek op tot waarden tussen 10 graden en 15 graden.

Tenslotte heeft dwarswind ook een effect op de rolhoek (slagzij) van het schip en daarmee op de diepgang tijdens het varen. De veerboten hebben door de hoge opbouw een groot dwarswindoppervlak. In combinatie met de kleine diepgang maakt het de schepen gevoelig voor dwarswind, waarbij de ervaring is dat het schip al begint te hellen bij een dwarswind van meer dan 4 Beaufort (10 minuten gemiddelde windsnelheid meer dan 8 m/s).

Het windklimaat is geanalyseerd op basis van een tijdreeks met potentiële windsnelheden en richtingen van het KNMI-meetstation in Lauwersoog (bron: https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens). Dit station is als representatief gekozen voor de vaarroute van Holwerd naar Nes. De geanalyseerde periode beslaat de periode van 1991 tot 2020. De gegevens bestaan uit uurgemiddelde potentiële wind op 10 m hoogte (voor een gestandaardiseerde voorlandruwheidslengte van 0,03 m). Voor de analyse is de uurgemiddelde potentiële wind verhoogd met ongeveer 5% om de 10 minuten gemiddelde potentiële wind op 10 meter hoogte te verkrijgen. De 10 minuten gemiddelde waarde kan gerelateerd worden aan de Beaufort schaal, maar wordt ook gebruikt om de windkracht op een schip te berekenen.

Tabel 4-2: Overschrijdingstabel van de 10 min. gemiddelde wind in Lauwersoog

Windsnelheid [m/s]		Windrichting [°N]														
		Calm / Var	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Totaal	Overschrijdings-kans
0	1	0.05	0.10	0.10	0.09	0.11	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05	0.08	0.10	0.72	100.0
1	2	0.19	0.29	0.29	0.27	0.35	0.15	0.20	0.22	0.16	0.11	0.16	0.20	0.28	2.88	99.3
2	3	0.06	0.47	0.46	0.49	0.64	0.57	0.71	0.88	0.89	0.53	0.32	0.37	0.50	6.88	96.4
3	4	0.02	0.64	0.58	0.64	0.93	1.14	1.32	1.64	1.81	1.26	0.50	0.60	0.75	11.82	89.5
4	5	0.00	0.71	0.65	0.76	1.04	1.41	1.55	2.11	2.39	1.59	0.79	0.76	0.84	14.59	77.7
5	6	0.00	0.63	0.68	0.86	1.01	1.30	1.46	2.00	2.48	1.37	0.96	0.87	0.85	14.46	63.1
6	7	0.00	0.62	0.65	0.82	0.84	0.98	1.02	1.50	2.01	1.06	1.12	0.92	0.79	12.35	48.7
7	8		0.54	0.51	0.76	0.65	0.65	0.60	1.09	1.66	1.04	1.18	0.83	0.79	10.30	36.3
8	9	0.00	0.39	0.39	0.60	0.49	0.37	0.33	0.77	1.22	0.69	1.04	0.76	0.68	7.73	26.0
9	10		0.35	0.31	0.50	0.33	0.23	0.16	0.48	0.84	0.62	0.95	0.66	0.59	6.02	18.3
10	11		0.24	0.20	0.32	0.20	0.10	0.07	0.31	0.59	0.48	0.70	0.47	0.53	4.21	12.3
11	12		0.18	0.16	0.22	0.14	0.03	0.03	0.19	0.40	0.35	0.55	0.39	0.39	3.03	8.0
12	13		0.13	0.08	0.15	0.09	0.01	0.01	0.05	0.05	0.10	0.35	0.31	0.26	1.59	5.0
13	14		0.08	0.06	0.11	0.05	0.00	0.00	0.07	0.24	0.18	0.27	0.25	0.22	1.54	3.4
14	15		0.04	0.02	0.02	0.03		0.00	0.03	0.15	0.13	0.18	0.12	0.10	0.83	1.9
15	16		0.02	0.01	0.01	0.01		0.00	0.02	0.09	0.08	0.13	0.07	0.08	0.52	1.0
16	17		0.01	0.01	0.00	0.00			0.01	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.23	0.5
17	18		0.01	0.00	0.00				0.01	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.16	0.3
18	19		0.00	0.00	0.00				0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.07	0.1
19	20								0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.1
20	21									0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.0
21	22										0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0
22	23									0.00	0.00		0.00		0.00	0.0
23	24											0.00			0.00	0.0
24	25															0.0
Totaal		0.31	5.45	5.16	6.62	6.91	6.94	7.49	11.41	15.05	9.69	9.38	7.75	7.85	100.00	

De kans op optreden (en bijbehorende overschrijding) voor de 10 minuten gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte is gegeven in Tabel 4-2. Net als voor de stroom is het bij de wind niet gebruikelijk om bij een geulontwerp uit te gaan van de uiterste waarde. Een gebruikelijke keus is om uit te gaan van de 2% overschrijdingswaarde (2% van de tijd is er sprake van een hoger 10 minuten gemiddelde). Een windsnelheid van 14 m/s wordt in 1,9% van de gevallen overschreden. Ter vergelijking 13,8 m/s is de bovengrens van 6 Beaufort. Het gedrag van het schip (drifthoek ten gevolge van dwarswind) bij 6 Beaufort wind wordt daarom als maatgevend voor de benodigde vaargeulbreedte gezien.

4.8 Positiebepaling

De vaargeul wordt gedetailleerd gemarkeerd met betonning en vaste lichtopstanden. De lichtopstanden worden toegepast vanwege de positienauwkeurigheid (ze staan op een vaste plaats). De veerboten hebben een nauwkeurige positiebepaling aan boord met behulp van GNSS - RTK. Deze informatie wordt ook gebruikt bij het automatisch track volgen. Overigens blijft het noodzakelijk dat er van beide informatiebronnen (vaarwegmarkering en ECDIS) gebruik gemaakt wordt indien men binnen de beperkte ruimte van de voortdurend veranderende geul onder alle omstandigheden adequaat moet kunnen reageren. Tenslotte is ook de ervaring en goede lokale kennis van de bemanning belangrijk om mee te wegen in de nauwkeurigheid van de positiebepaling.

4.9 Kielspeling

Voor de minimale kielspeling of UKC (under keel clearance) wordt veelal een percentage van de diepgang gebruikt. In zeegeulen is een percentage van 10% tot 30% gebruikelijk, afhankelijk van de blootstelling aan deining. In de gehanteerde definitie van UKC in de verschillende Companies UKC Policy (ISM Code) komen echter nogal wat verschillen voor, zoals of squat en andere toeslagen al in de diepgang meegerekend dienen te worden. Voor marginale situaties met diepgeladen schepen is 10% kielspeling wel gebruikelijk, maar gezien de kleine diepgang van de veerboot levert dit in absolute zin een erg kleine kielspeling op. Bovendien speelt op deze waterdiepte al bij lage vaarsnelheid dat de vertrimming en inzinking van het schip aanzienlijk wordt. Tenslotte wordt bij kleiner wordende kielspeling het vermogen dat de pumpjets kunnen leveren verder beperkt, waardoor de vaarsnelheid nog verder afneemt.

Voor de kielspeling bij laag water in de geul bij Holwerd spelen scheepsbewegingen door golven vrijwel geen rol, maar wel de squat, de werking van de pumpjets en een nog veilige vaarsnelheid (in relatie tot manoeuvreerbaarheid, squat, effecten van dwarswind en dwarsstroom). De modelproeven van VBD [Ref 3.] laten zien dat bij een waterdiepte/diepgang-verhouding van 1,3 (T = 1,65 m; h = 2,20 m) op onbeperkt breed vaarwater het schip een maximale vaarsnelheid kan hebben van ca. 5,6 knopen (10,4 km/u). Bij een geulbreedte van 53,2 m en een verticale geulwand (geen talud) reduceert dit tot ca. 4,6 knopen (8,5 km/u). De maximale squat in het midden van het schip bedraagt in deze situatie ca. 35 cm en de squat bij de boeg (combinatie van trim en inzinking tijdens het varen) bedraagt ca. 53 cm [Ref 3.], [Ref 4.]. De afmetingen van het schip in de modelproeven van VBD verschilden iets van de afmetingen van de huidige veerboten. Ook wordt de geul op een iets grotere breedte onderhouden en is er sprake van een talud. De maximale squat bij de boeg wordt voor de veerboten onder de operationele omstandigheden in de vaargeul ingeschat op 30 cm – 35 cm[1]. De eerdere meetreizen in vergelijkbare condities (bij laag water) bevestigden het voorgaande.

Voor de in dit geval te hanteren UKC is geen voorgeschreven waarde. Ter vergelijking: voor binnenvaart op krappe kanalen wordt 30% stilliggend aanvaard. Voor een binnenschip met 30% UKC stilliggend, 3,50 m diepgang en 35 cm squat blijft dan nog 70 cm over ofwel netto nog 20% van de diepgang. Voor de veerboot zou 30% UKC stilliggend bij een diepgang van 1,50 m na aftrek van 30 cm squat dynamisch (varend) nog maar 15cm overblijven. Omdat de manoeuvreerbaarheid in het algemeen afneemt bij afnemende kielspeling, de squat toeneemt en bij de veerboot ook nog eens de effectiviteit van de pumpjets afneemt met een in absolute zin kleinere kielspeling, is meer ruimte onder de kiel gewenst. PIANC [Ref 2.] adviseert een minimum waarde voor de netto UKC (de netto overblijvende marge tot de bodem) van 0,50 m. WPD heeft aangeven deze waarde ook minimaal nodig te hebben om voldoende effectiviteit en koersstabiliteit van het schip te behouden (zie ook §4.2).

[1] Hierbij is gebruik gemaakt van de Huuska/Guliev formule voor squat berekening ([[Ref 2.] – D.4.2), waarbij deze is gekalibreerd aan de hand van de VBD modelproeven

Uitgaande van een operationele diepgang van 1,50 m, een netto UKC van 0,50 m en een inzinking van 0,30 m betekent dit dat de waterdiepte minimaal 1,50 m + 0,50 m + 0,30 m = 2,30 m moet bedragen. Stilliggend is er dan een (bruto) kielspeling van 0,80 m.

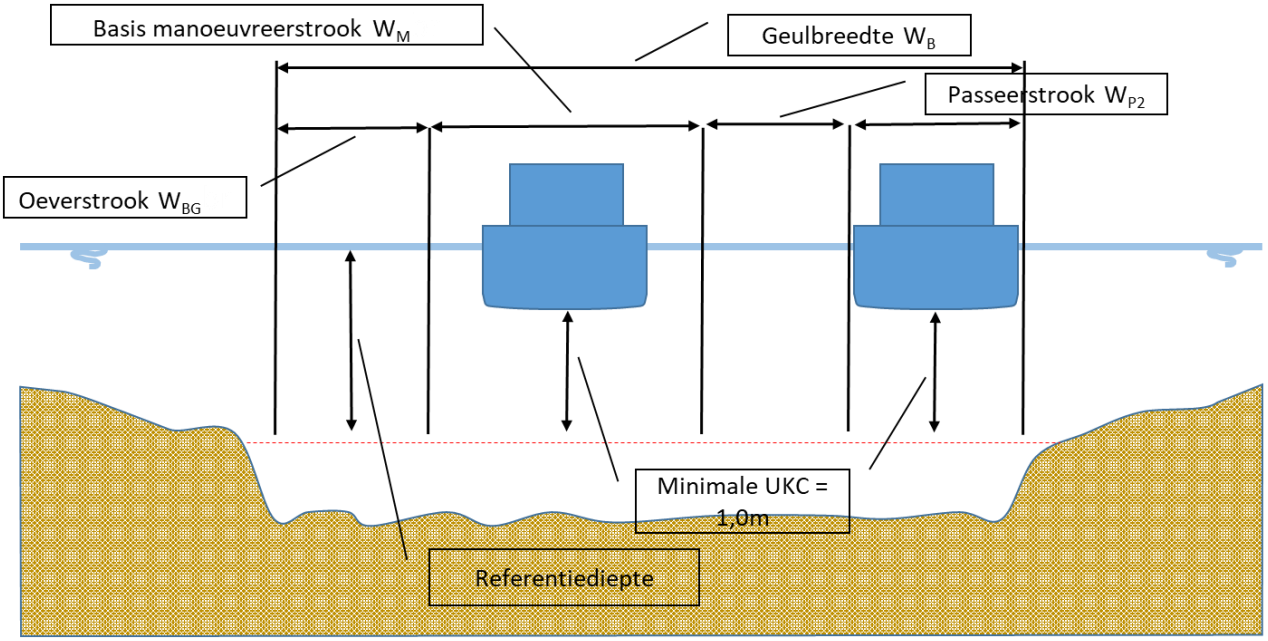
De bovenstaande bruto UKC wordt als absolute ondergrens beschouwd bij enkelstrooks gebruik (geen verkeer in tegengestelde richting) van de vaargeul. Wat in de beschouwing niet is meegenomen is onder andere de helling ten gevolge van dwarswind, bochten en/of het stutten van de draai, onzekerheid over de diepgang van het schip en extra inzinking bij ontmoeten van andere schepen. B.v. slagzij van 1,5° betekent een diepgangsvermeerdering van 0,20 m, maar ook de stilliggende diepgang kan meer zijn dan de aangenomen 1,50 m (maximaal 1,70 m). Voor een veilig gebruik van de vaarweg is het niet nodig om alle effecten te stapelen, maar is het wel belangrijk om met een extra marge rekening te houden. Voor gebruik van de vaargeul, waarbij ook verkeer in tegengestelde richting mogelijk moet zijn, wordt daarom een bruto kielspeling van 1,0 m als uitgangspunt gehanteerd.

Opgemerkt moet worden dat de bovenstaande UKC waarden specifiek vastgesteld zijn voor de veerboten m.s. Oerd en m.s. Sier en niet 1-op-1 door vertaald kunnen worden naar andere vaargeulen en veerdiensten op de Wadden (bijv. Harlingen-Terschelling).

5 DIMENSIONERING VAN DE VAARGEUL

5.1 Referentiediepte

Zoals eerder beschreven moet de waterdiepte minimaal 2,30 m (enkelstrooks gebruik), dan wel 2,50 m (verkeer in twee richtingen) bedragen. Stilliggend is er dan een (bruto) kielspeling van 0,80 m, respectievelijk van 1,0 m. Uitgangspunt is dat de adviesbreedte bij iedere waterstand tenminste op deze waterdiepte beschikbaar moet zijn. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 5-1 voor twee richtingen verkeer, waarbij één van de schepen aan de rand van de geul wacht (geregelde ontmoeting). De advies geulbreedte (W_B) moet tenminste beschikbaar zijn op het niveau van de referentiediepte. Om praktische redenen (stapgrootte en resolutie in de beschikbare dieptelijnen) wordt dit vervolgens vergeleken met de werkelijk beschikbare breedte op een niveau dat 10 cm lager ligt dan de referentiediepte (rode stippellijn).



Figuur 5-1: Referentiediepte bij variabele waterstand

5.2 Vaargeulbreedte

Voor het vaststellen van de benodigde vaargeulbreedte wordt de methodiek van de PIANC richtlijnen [Ref 2.] gevolgd. De benodigde vaargeulbreedte wordt door PIANC opgebouwd uit een basis vaarbaanbreedte (W_M). Deze is opgebouwd uit een basis manoeuvreerbreedte (W_{BM}) die karakteristiek is voor het schip en een aantal toeslagen afhankelijk van de lokale omstandigheden. Voor het schip worden de huidige veerboten m.s. Oerd en m.s. Sier als maatgevend beschouwd. De basis manoeuvreerbreedte en de toeslagen worden zoveel mogelijk gebaseerd op de resultaten van de observaties, de stroomberekeningen en peilgegevens. Voor een belangrijk deel is dit al verwerkt in de situatiebeschrijving in het voorgaande hoofdstuk.

De basis manoeuvreerbreedte kan afgeleid worden uit de vaarbaan van de eerste serie metingen, die onder milde omstandigheden zijn uitgevoerd. We zagen hier zelfs op de relatief rechte vaarweggedeelten een constante variërende drifthoek met een maximum van ca. 5 graden. Omgerekend komt dit voor dit schip neer op een extra padbreedte van 0,5B, met B de breedte van het schip. De totale basis manoeuvreerbreedte (W_{BM}) bedraagt daarmee 1,5B.

De toeslagen die meegenomen moeten worden zijn [Ref 2.]:

a. Vaarsnelheid:

Voor de vaarsnelheid is verondersteld dat er zoveel mogelijk met het volle vermogen gevaren wordt. Een schatting van de vaarsnelheid door het water is voor iedere sectie en waterstand gebaseerd op een berekening van de kritische snelheid aan de hand van de methode Schijf [Ref 9.]. Uit observaties is bekend dat dit een goede benadering geeft van de haalbare vaarsnelheid. Berekende vaarsnelheden zijn vergeleken en waar nodig bijgesteld aan de hand van eerdere metingen [Ref 5.]. Als de kritische snelheid hoger is dan de maximum dienstsnelheid (10,8 kn) , dan is de maximum dienstsnelheid als vaarsnelheid door het water gebruikt. De resulterende vaarsnelheden door het water staan voor alle waterstanden en secties in de tabellen 5-1 (Variant A) en 5-2 (Variant B).

Een bandbreedte voor de vaarsnelheid over de grond is berekend door gebruik te maken van het minimum en maximum van de langsstroom per sectie en waterstand . De vaarsnelheden over de grond zijn in combinatie met de lengte van de secties omgerekend naar een schatting van de reistijd bij de verschillende waterstanden. De vaarsnelheden over de grond en de reistijden staan in Appendix A. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit de reistijd betreft voor het beschouwde deel van de vaargeul. De eerste ca. 450m van de vaargeul vanaf de steiger, zowel aan de kant van Holwerd als aan de kant van Nes is buiten beschouwing gelaten. De werkelijke totale reistijd zal hierdoor ca. 10 minuten langer zijn (5 minuten aan beide zijden).

De maximum vaarsnelheid van het schip door het water is 10,8 kn. Dit levert geen breedte toeslag op [Ref 2.].

Tabel 5-1: Vaarsnelheid door het water (Variant A)

Sectie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Waterstand [m t.o.v. NAP]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]
-1.8	2.9	4.7	6.5	5.1	7.0	9.3	6.1	5.1	10.8	10.8	6.0
-1.6	3.3	5.1	6.8	5.4	7.3	9.5	6.4	5.4	10.8	10.8	6.2
-1.4	3.7	5.4	7.1	5.7	7.5	9.7	6.6	5.7	10.8	10.8	6.5
-1.2	4.1	5.7	7.3	6.0	7.8	9.8	6.9	6.0	10.8	10.8	6.8
-1	4.5	6.0	7.6	6.3	8.0	10.0	7.2	6.3	10.8	10.8	7.0
-0.8	4.8	6.2	7.8	6.6	8.2	10.2	7.4	6.6	10.8	10.8	7.3
-0.6	5.1	6.5	8.1	6.9	8.4	10.4	7.7	6.8	10.8	10.8	7.5
-0.4	5.4	6.8	8.3	7.1	8.6	10.6	7.9	7.1	10.8	10.8	7.7
-0.2	5.7	7.0	8.5	7.4	8.9	10.7	8.1	7.4	10.8	10.8	8.0
0	6.0	7.3	8.8	7.6	9.1	10.8	8.3	7.6	10.8	10.8	8.2
0.2	6.3	7.5	9.0	7.9	9.3	10.8	8.6	7.8	10.8	10.8	8.4
0.4	6.5	7.7	9.2	8.1	9.4	10.8	8.8	8.1	10.8	10.8	8.6
0.6	6.8	8.0	9.4	8.3	9.6	10.8	9.0	8.3	10.8	10.8	8.8
0.8	7.0	8.2	9.6	8.5	9.8	10.8	9.2	8.5	10.8	10.8	9.0
1	7.3	8.4	9.8	8.7	10.0	10.8	9.4	8.7	10.8	10.8	9.2
1.2	7.5	8.6	10.0	9.0	10.2	10.8	9.6	8.9	10.8	10.8	9.4
1.4	7.7	8.8	10.2	9.2	10.4	10.8	9.8	9.1	10.8	10.8	9.6
1.6	8.0	9.0	10.4	9.4	10.5	10.8	9.9	9.3	10.8	10.8	9.8
1.8	8.2	9.2	10.5	9.5	10.7	10.8	10.1	9.5	10.8	10.8	10.0

Tabel 5-2: Vaarsnelheid door het water (Variant B)

Sectie	1	2	3	4	5	6	7	8B	9B	10B	11
Waterstand [m t.o.v. NAP]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]	[kn]
-1.8	2.9	4.7	6.5	5.1	7.0	9.3	6.1	5.1	4.2	10.8	6.0
-1.6	3.3	5.1	6.8	5.4	7.3	9.5	6.4	5.4	4.6	10.8	6.2
-1.4	3.7	5.4	7.1	5.7	7.5	9.7	6.6	5.7	5.0	10.8	6.5
-1.2	4.1	5.7	7.3	6.0	7.8	9.8	6.9	6.0	5.3	10.8	6.8
-1	4.5	6.0	7.6	6.3	8.0	10.0	7.2	6.3	5.7	10.8	7.0
-0.8	4.8	6.2	7.8	6.6	8.2	10.2	7.4	6.6	6.0	10.8	7.3
-0.6	5.1	6.5	8.1	6.9	8.4	10.4	7.7	6.8	6.3	10.8	7.5
-0.4	5.4	6.8	8.3	7.1	8.6	10.6	7.9	7.1	6.6	10.8	7.7
-0.2	5.7	7.0	8.5	7.4	8.9	10.7	8.1	7.4	6.9	10.8	8.0
0	6.0	7.3	8.8	7.6	9.1	10.8	8.3	7.6	7.2	10.8	8.2
0.2	6.3	7.5	9.0	7.9	9.3	10.8	8.6	7.8	7.5	10.8	8.4
0.4	6.5	7.7	9.2	8.1	9.4	10.8	8.8	8.1	7.8	10.8	8.6
0.6	6.8	8.0	9.4	8.3	9.6	10.8	9.0	8.3	8.0	10.8	8.8
0.8	7.0	8.2	9.6	8.5	9.8	10.8	9.2	8.5	8.3	10.8	9.0
1	7.3	8.4	9.8	8.7	10.0	10.8	9.4	8.7	8.6	10.8	9.2
1.2	7.5	8.6	10.0	9.0	10.2	10.8	9.6	8.9	8.8	10.8	9.4
1.4	7.7	8.8	10.2	9.2	10.4	10.8	9.8	9.1	9.0	10.8	9.6
1.6	8.0	9.0	10.4	9.4	10.5	10.8	9.9	9.3	9.3	10.8	9.8
1.8	8.2	9.2	10.5	9.5	10.7	10.8	10.1	9.5	9.5	10.8	10.0

b. *Wind:*

Onder representatieve windomstandigheden (NW, Beaufort 6) tijdens de eerdere metingen liepen de drifthoeken om de wind te compenseren op tot 15 graden. Boven op de variatie die al in de basis manoeuvreerbreedte verwerkt is, betekent dit een extra breedtebeslag van 0,8B ten gevolge van wind;

c. *Dwarsstroom:*

In het smalle gedeelte van de geul tussen boei VA33 en Holwerd moet rekening gehouden worden met een dwarsstroomcomponent van 0,3 m/s (0,6 kn). Bij laag water is de vaarsnelheid in dit gedeelte van de geul slechts 4 kn. Bij deze vaarsnelheid is een opstuurhoek van iets meer dan 4 graden nodig om de dwarsstroom te compenseren. Bij de koerswijzigingen in het noordelijke deel van de route moet met veel hogere dwarsstroomcomponenten rekening gehouden worden, tot orde grootte 0,5 m/s(1 kn). De grootte van de toeslag is afhankelijk van de dwarsstroomcomponent en de vaarsnelheid en varieert van geen toeslag tot maximaal een toeslag van 0,6B. Dit is significant lager dan in eerdere studies gebruikt werd voor de hele geul;

d. *Langsstroom:*

De maximale langstroom is ca. 1,49 m/s (ca. 3 kn). Afhankelijk van de grootte van de langstroom wordt een toeslag toegepast van 0,0B bij een langstroom kleiner dan 1,5 kn, 0,1B bij een langstroom tussen 1,5 kn en 3 kn bij een vaarsnelheid door het water van meer dan 8kn en 0,2B bij een langstroom tussen 1,5 kn en 3 kn bij een vaarsnelheid door het water van minder dan 8 kn;

e. *Golven;*

In de maatgevende omstandigheden bij laagwater hebben golven geen significante invloed. Voor golven is in dat geval geen toeslag nodig;

f. *Navigatiehulpmiddelen:*

De navigatiehulpmiddelen, zowel de vaarwegmarkering als de instrumentatie aan boord, maar ook de lokale kennis van de schippers en kapiteins zijn goed. Volgens de PIANC-richtlijnen levert dit een toeslag van 0,1B;

g. *Bodem:*

Bij een waterdiepte/diepgang verhouding van meer dan 1,5 is de toeslag 0,0B Bij een kleinere waterdiepte/diepgang verhouding is de toeslag bij een bodem bestaande uit zand en slib 0,1B;

h. *Diepte:*

De toeslag is afhankelijk van de actuele beschikbare diepte in de sectie bij de betreffende waterstand. Hierbij is gebruik gemaakt van de gepeilde diepte in het midden van de geul.

Afhankelijk van de waterdiepte/diepgangsverhouding is geen toeslag, dan wel een toeslag van 0,2B van toepassing. De toeslag van 0,2B is alleen van toepassing bij de lagere waterstanden in de secties 1 en 4. In de overige combinaties is er altijd voldoende waterdiepte beschikbaar;

i. *Gevaarlijke lading:*

Niet van toepassing;

j. *Bochttoeslag:*

De toeslagen gelden voor rechte geulen. In bochten komt daar nog een extra padbreedte bij voor het bochtvaren. Gezien het meanderende karakter van de vaargeul en de sterk wisselende condities met betrekking tot stroom en wind wordt deze toeslag op vrijwel alle secties toegepast, met uitzondering van sectie 1. De toeslag is opgebouwd uit een vaste toeslag van 0,4B vermeerderd met een factor afhankelijk van de bochtstraal en de lengte van het schip. De totale bochttoeslag varieert van 0,41B (sectie 7) tot 0,56B (sectie 11).

Opgemerkt wordt dat, door het toepassen van een vaste basistoeslag van 0,4B, de bochtstraal en de lengte van de bocht slechts beperkt effect hebben op de totale bochttoeslag. De differentiatie in bochttoeslag in vergelijking met de eerdere studies ([Ref 5.], [Ref 7.]), waarbij een vaste gemiddelde toeslag van 0,5B was toegepast op de hele geul, blijft daardoor beperkt. De verwachting is dat een verdere differentiatie mogelijk is. Aanbevolen wordt om hier voor toekomstige toepassingen (andere geulen, andere schepen) nader onderzoek naar te doen.

Tabel 5-3: Toeslagen vaarbaanbreedte

Basis vaarbaanbreedte (W_M)	Toeslag [B]
Basis manoeuvreerbreedte, W_{BM}	1,5
Vaarsnelheid	0
Wind	0,8
Dwarsstroom	Variabel, afhankelijk van de dwarsstroom
Langsstroom	Variabel, afhankelijk van de langstroom
Golven	0
Navigatiehulpmiddelen	0,1
Bodem	0,1
Waterdiepte/diepgang verhouding	Variabel, afhankelijk van de actuele waterdiepte
Gevaarlijke lading	0
Bochttoeslag	Variabel, afhankelijk van de bochtstraal

De basis vaarbaanbreedte (W_M) is opgebouwd uit de som van de toeslagen (Tabel 5-3) vermenigvuldigd met de scheepsbreedte (B). Omdat de waterdiepte, de langstroom en de dwarsstroom afhankelijk zijn van de waterstand en ook per sectie kunnen verschillen, ontstaat er een duidelijke differentiatie naar vaargeuldeel en waterstand.

De rand van de plaat in de buitenbochten van de geul is door de uitschuring van het water erg steil. Bij laag water levert dit een steile begrenzing van de vaargeul. Geadviseerd wordt om in dat geval tenminste een strook van 0,3B naar beide zijden vrij te houden (W_{BR} en W_{BG}; de oeverstrook). Doel hiervan is om zoveel mogelijk de nadelige effecten van oeverzuiging te minimaliseren, maar ook om de sterke toename van de weerstand van het schip in de smalle geul zoveel mogelijk te beperken.

Opgemerkt moet worden dat PIANC voor de oeverstrook drie brede klassen hanteert met grote verschillen in de toe te passen toeslagen. Net als bij de bochttoeslag moet hier opgemerkt worden dat de verwachting is dat binnen de klassen een verdere differentiatie mogelijk is, maar dat hiervoor wel eerst aanvullend onderzoek noodzakelijk is.

De gewenste geulbreedte, uitgaande van de aanname van gebruik als enkelstrooks vaarweg, wordt:

$W_{B,\ enkelstrooks} = W_M + W_{BR} + W_{BG}$ (zie Figuur 5-2)

Voor een optimaal en veilig gebruik in twee richtingen zou de vaargeul gedimensioneerd moeten worden als tweestrooksvaarweg. De PIANC-richtlijnen zouden in dit geval voor tweestrooksverkeer uitkomen op een adviesbreedte van:

$W_{B,\ 2\ richtingen} = 2*W_M + W_{P1} + W_{BR} + W_{BG}$ (zie Figuur 5-3).

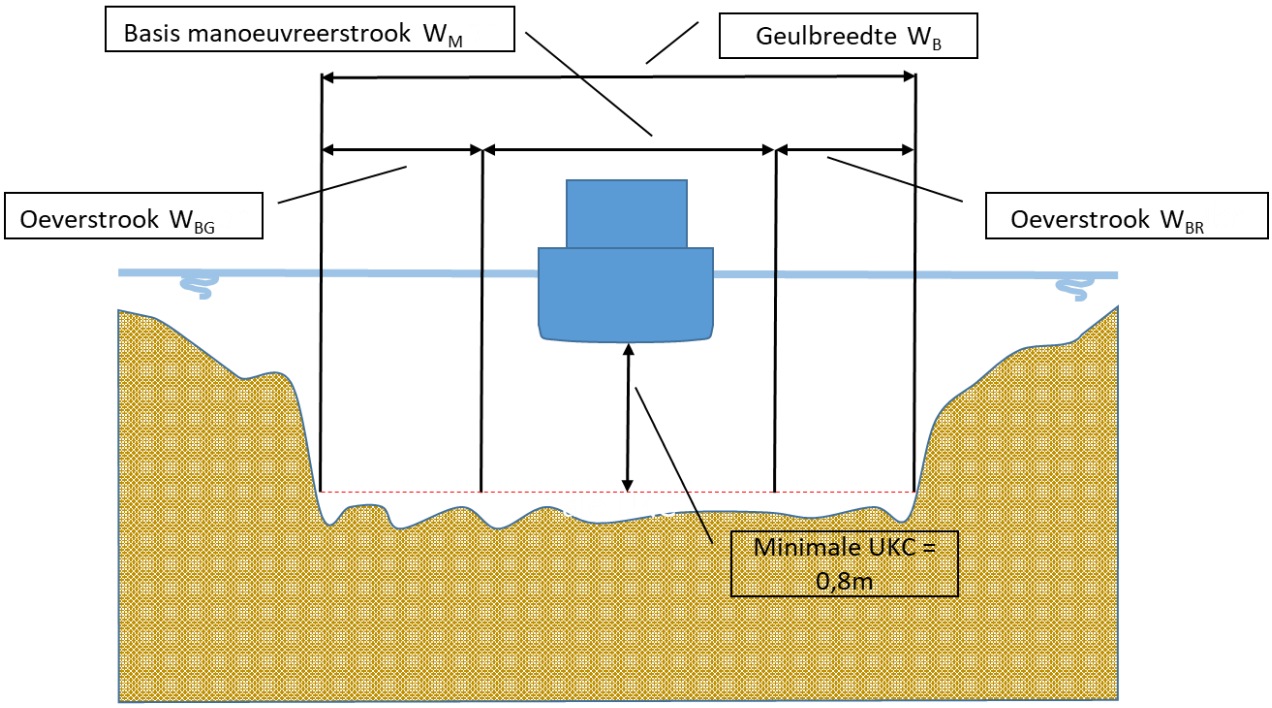
W_{p1} is hierbij een extra toeslag voor een veilige passeerafstand (zie ook Figuur 5-3). Omdat de geul niet erg intensief gebruikt wordt, wordt deze toeslag weggelaten.

Bij een min of meer gelijktijdige afvaart in Holwerd en Nes moeten de schepen elkaar ergens ontmoeten. Bij laag water wanneer de snelheid in het smalle gedeelte bij Holwerd beperkt is tot 4 kn over de grond, zal deze ontmoeting altijd in de delen van de geul zuidelijk van de Zuiderspruit plaatsvinden. Uit de

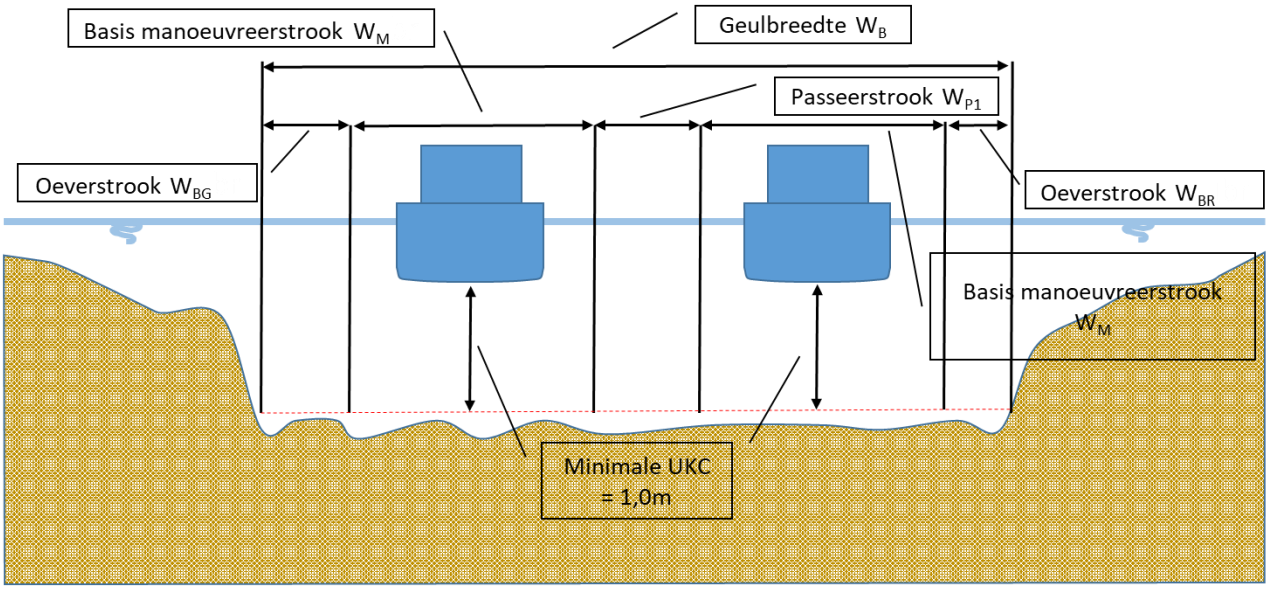
eerdere metingen was zichtbaar dat met uitzondering van hoog water de snelheid over de grond in het smalle gedeelte altijd lager is dan in de bredere diepere delen van de route. Zelfs bij hogere waterstanden is de kans dus groot dat de schepen elkaar pas ontmoeten in het gedeelte zuidelijk van de Zuiderspruit. Wanneer de geul onvoldoende breedte heeft, dan zal één van de schepen in een iets breder deel van de geul gaande moeten houden en wachten tot het andere schip gepasseerd is. Eerder is deze wijze van gebruik van de geul aangeduid met: “geregelde ontmoeting”. De benodigde vaargeulbreedte wordt dan:

$$W_{B,\ \text{geregelde ontmoeting}} = W_M + W_{P2} + W_{BG} + B \text{ (zie Figuur 5-4)}$$

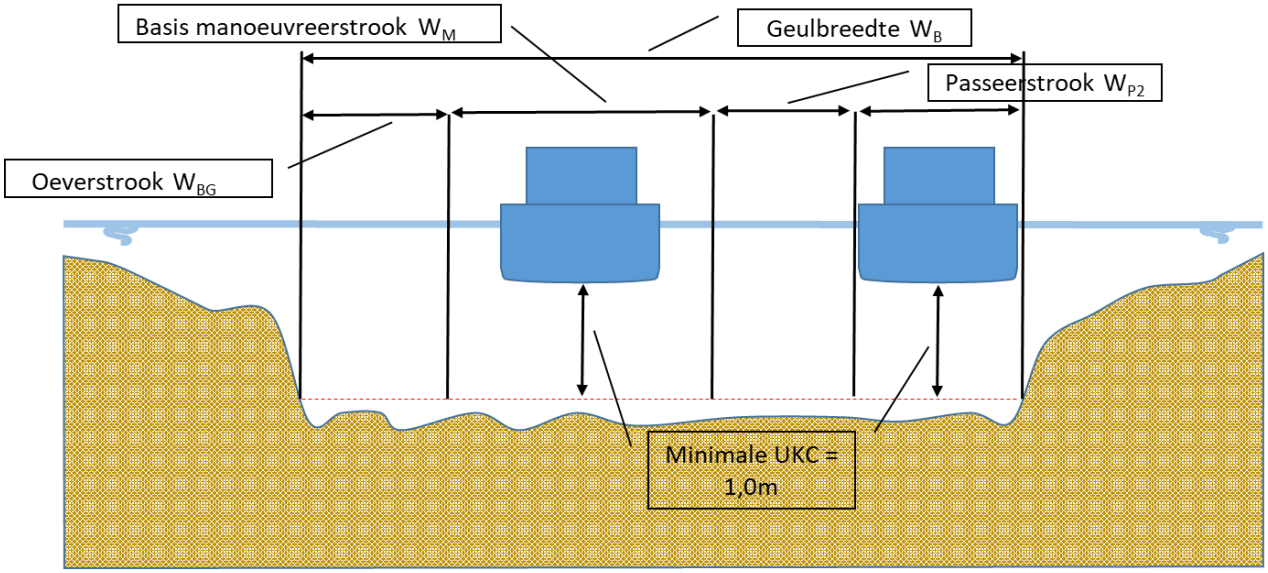
In dit geval wordt wel rekening gehouden met een veilige passeerafstand (W_{P2}). Aangenomen wordt dat de schippers en kapiteins van elkaar weten wat er verwacht mag worden en er duidelijke passeerafspraken worden gemaakt. De passeerafstand wordt daarom beperkt tot 0,3B, vergelijkbaar met de oeverstrook.



Figuur 5-2: Elementaire componenten van de gewenste geulbreedte (enkelstrooks)



Figuur 5-3: Elementaire componenten van de gewenste geulbreedte (tweestrooks)



Figuur 5-4: Elementaire componenten van de gewenste geulbreedte (geregelde ontmoeting)

De resultaten voor de adviesbreedtes in de verschillende secties bij de verschillende waterstanden en de drie varianten voor het gebruik van de geul staan in de tabellen 5-4 tot en met 5-9. Tevens is een vergelijking gemaakt van de adviesbreedte en de actuele beschikbare breedte in de vaargeulsecties bij de verschillende waterstanden met als uiteindelijk doel vast te stellen bij welke waterstanden er genoeg breedte en diepte beschikbaar is in de verschillende delen van de vaargeul voor enkelstrooks verkeer, tweestrooks verkeer of een geregelde ontmoeting. Hiertoe is in iedere sectie bij de verschillende waterstanden de kleinst beschikbare breedte bepaald[2] (zie Appendix C) en vergeleken met de adviesbreedte. Als de beschikbare breedte groter is dan de adviesbreedte is de betreffende cel in de tabellen 5-4 tot en met 5-9 groen gekleurd. Is de adviesbreedte groter dan de beschikbare breedte dan is de cel roodgekleurd. We zien tevens dat er bij lage waterstanden in delen van de geul onvoldoende breedte beschikbaar is zelfs voor gebruik als enkelstrooks vaarweg (in één richting tegelijkertijd varend). Dit is in lijn met de verwachting, omdat de geul maar tot -3,80 m NAP onderhouden wordt. Met de eis dat de breedte op een waterdiepte van 2,30 m beschikbaar moet zijn, zou bij een waterstand van -1,8 m NAP de geul tot -4,10 m onderhouden moeten worden.

Voor doorsteek (Variant B) zijn nog geen peilgegevens beschikbaar. De adviesbreedte is in dit geval vergeleken met de vigerende uitgangspunten voor het onderhoud van de geul: een breedte van 60 m op -3,80 m NAP en een talud van 1:5. Secties 8B en 9B zijn vergeleken met deze uitgangspunten. Voor het gedeelte in de Zuiderspruit (sectie 10B) is verondersteld dat er altijd voldoende breedte beschikbaar is.

Door te vergelijken met de kleinst beschikbare breedte in een sectie wordt een enigszins vertekend beeld geschetst als de kleinst beschikbare breedte maar op één plek over een korte afstand in de sectie voorkomt. Meestal zijn er in een sectie langere stukken beschikbaar die wel voldoende breedte hebben. Dit is vooral belangrijk bij het aanwijzen van de gedeelten in de geul waar wel voldoende breedte beschikbaar is voor de geregelde ontmoeting. Om hier beter zicht op te krijgen is ook onderzocht of er in de geul stukken beschikbaar zijn met voldoende lengte (tenminste 300 m) en voldoende breedte voor een geregelde ontmoeting. Deze vaarwegdelen hoeven niet noodzakelijk binnen één sectie te liggen, Ter illustratie is in Figuur 5-5 met een groen lijn in de geul aangeven welke delen van de vaargeul (alleen oostelijk deel van de geul) bij een waterstand van -1,6 m NAP voldoende breedte hebben voor een geregelde ontmoeting. In eerste instantie is dat alleen het gedeelte tussen de boeien VA25 en

[2] Gebaseerd op VRA Gecombineerd grid 22 mei 2023 – 29 juni 2023 MB 1m met dieptelijnen gebaseerd op 1x1 m raster. De peilingen worden gecorrigeerd voor de aanwezigheid van slib. Voor het peilen van de nautische bodem wordt een dichtheid van 1200 kg/m^3 aangehouden.

VA29 en tussen VA13 en VA19. Bij hogere waterstanden worden de vaargeuldelen waar ontmoeten mogelijk is steeds langer en sluiten ook op elkaar aan. Bij -0,8 m NAP is het deel tussen de boeien VA11 en VA31 (sectie 4, sectie 5, sectie 6 en sectie 7 aaneengesloten) breed genoeg voor een geregelde ontmoeting (Figuur 5-6). Voor alle waterstanden van -1,6 m NAP tot en met 0,2 m NAP zijn de figuren met vaarweglengtes met voldoende breedte voor een geregelde ontmoeting opgenomen in Appendix 1. Vanaf 0,2 m NAP is de hele vaargeul breed genoeg.

Tenslotte is het is wel belangrijk op te merken dat deze analyse gebaseerd is op peilgegevens die een momentopname bieden van de geul. Het blijft noodzakelijk de peilgegevens regelmatig te actualiseren en de analyse van beschikbare breedte te herhalen.

Tabel 5-4: Gewenste geulbreedte voor enkelstrooks gebruik (Variant A)

Gewenste geulbreedte op 2,3m waterdiepte ten behoeve van enkelstrooks gebruik [m]											
Waterstand t.o.v. NAP [m]	**Sectie 1**	**Sectie 2**	**Sectie 3**	**Sectie 4**	**Sectie 5**	**Sectie 6**	**Sectie 7**	**Sectie 8**	**Sectie 9**	**Sectie 10**	**Sectie 11**
-1.8	49.8	55.1	55.7	59.2	59.6	56.8	54.5	67.6	57.3	51.9	53.7
-1.6	49.8	55.1	55.7	54.7	59.6	56.8	54.5	67.6	57.3	54.9	53.7
-1.4	45.3	52.1	60.2	54.7	59.6	56.8	54.5	67.6	57.3	54.9	53.7
-1.2	45.3	52.1	60.2	54.7	59.6	56.8	59.0	67.6	61.9	54.9	53.7
-1.0	45.3	52.1	60.2	54.7	59.6	56.8	59.0	67.6	61.9	54.9	53.7
-0.8	45.3	52.1	60.2	54.7	56.6	56.8	59.0	67.6	61.9	54.9	58.3
-0.6	45.3	52.1	57.2	54.7	56.6	56.8	59.0	67.6	61.9	54.9	58.3
-0.4	45.3	52.1	57.2	54.7	56.6	56.8	59.0	67.6	61.9	54.9	58.3
-0.2	45.3	55.1	57.2	54.7	56.6	56.8	56.0	67.6	61.9	54.9	58.3
0.0	45.3	55.1	57.2	54.7	56.6	56.8	60.5	67.6	61.9	54.9	56.7
0.2	45.3	52.1	57.2	54.7	56.6	56.8	60.5	64.5	61.9	54.9	56.7
0.4	45.3	56.6	57.2	53.2	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	56.7
0.6	45.3	56.6	55.7	51.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	62.8
0.8	45.3	55.1	55.7	51.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	56.7
1.0	45.3	55.1	55.7	51.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	56.7
1.2	45.3	55.1	55.7	51.7	55.0	55.3	54.5	61.5	61.9	54.9	56.7
1.4	45.3	55.1	55.7	54.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	56.7
1.6	45.3	61.2	55.7	54.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	56.7
1.8	45.3	61.2	61.7	54.7	55.0	55.3	60.5	61.5	61.9	54.9	62.8

Tabel 5-5: Gewenste geulbreedte voor enkelstrooks gebruik (Variant B)

Gewenste geulbreedte op 2,3m waterdiepte ten behoeve van enkelstrooks gebruik [m]			
Waterstand t.o.v. NAP [m]	Sectie 8B	Sectie 9B	Sectie 10B
-1.8	49.8	62.3	60.7
-1.6	48.3	62.3	60.7
-1.4	48.3	57.8	60.7
-1.2	48.3	60.8	62.2
-1.0	52.9	60.8	62.2
-0.8	52.9	60.8	62.2
-0.6	52.9	60.8	62.2
-0.4	52.9	60.8	62.2
-0.2	57.4	60.8	62.2
0.0	57.4	60.8	62.2
0.2	57.4	60.8	62.2
0.4	54.4	60.8	62.2
0.6	54.4	57.8	62.2
0.8	54.4	54.8	60.7
1.0	54.4	54.8	60.7
1.2	54.4	53.3	60.7
1.4	54.4	56.3	60.7
1.6	54.4	53.3	60.7
1.8	54.4	56.3	60.7

Tabel 5-6: Gewenste geulbreedte voor tweestrooks gebruik (Variant A)

Waterstand t.o.v. NAP [m]	Sectie 1	Sectie 2	Sectie 3	Sectie 4	Sectie 5	Sectie 6	Sectie 7	Sectie 8	Sectie 9	Sectie 10	Sectie 11
-1.8	90.6	101.2	102.2	109.4	110.1	104.6	99.9	126.1	105.6	94.7	98.4
-1.6	90.6	101.2	102.2	100.3	110.1	104.6	99.9	126.1	105.6	100.8	98.4
-1.4	81.5	95.2	111.3	100.3	110.1	104.6	99.9	126.1	105.6	100.8	98.4
-1.2	81.5	95.2	111.3	100.3	110.1	104.6	109.0	126.1	114.7	100.8	98.4
-1.0	81.5	95.2	111.3	100.3	110.1	104.6	109.0	126.1	114.7	100.8	98.4
-0.8	81.5	95.2	111.3	100.3	104.0	104.6	109.0	126.1	114.7	100.8	107.4
-0.6	81.5	95.2	105.3	100.3	104.0	104.6	109.0	126.1	114.7	100.8	107.4
-0.4	81.5	95.2	105.3	100.3	104.0	104.6	109.0	126.1	114.7	100.8	107.4
-0.2	81.5	101.2	105.3	100.3	104.0	104.6	103.0	126.1	114.7	100.8	107.4
0.0	81.5	101.2	105.3	100.3	104.0	104.6	112.0	126.1	114.7	100.8	104.4
0.2	81.5	95.2	105.3	100.3	104.0	104.6	112.0	120.0	114.7	100.8	104.4
0.4	81.5	104.2	105.3	97.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	104.4
0.6	81.5	104.2	102.2	94.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	116.5
0.8	81.5	101.2	102.2	94.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	104.4
1.0	81.5	101.2	102.2	94.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	104.4
1.2	81.5	101.2	102.2	94.3	101.0	101.6	99.9	114.0	114.7	100.8	104.4
1.4	81.5	101.2	102.2	100.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	104.4
1.6	81.5	113.3	102.2	100.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	104.4
1.8	81.5	113.3	114.3	100.3	101.0	101.6	112.0	114.0	114.7	100.8	116.5

Tabel 5-7: Gewenste geulbreedte voor tweestrooks gebruik (Variant B)

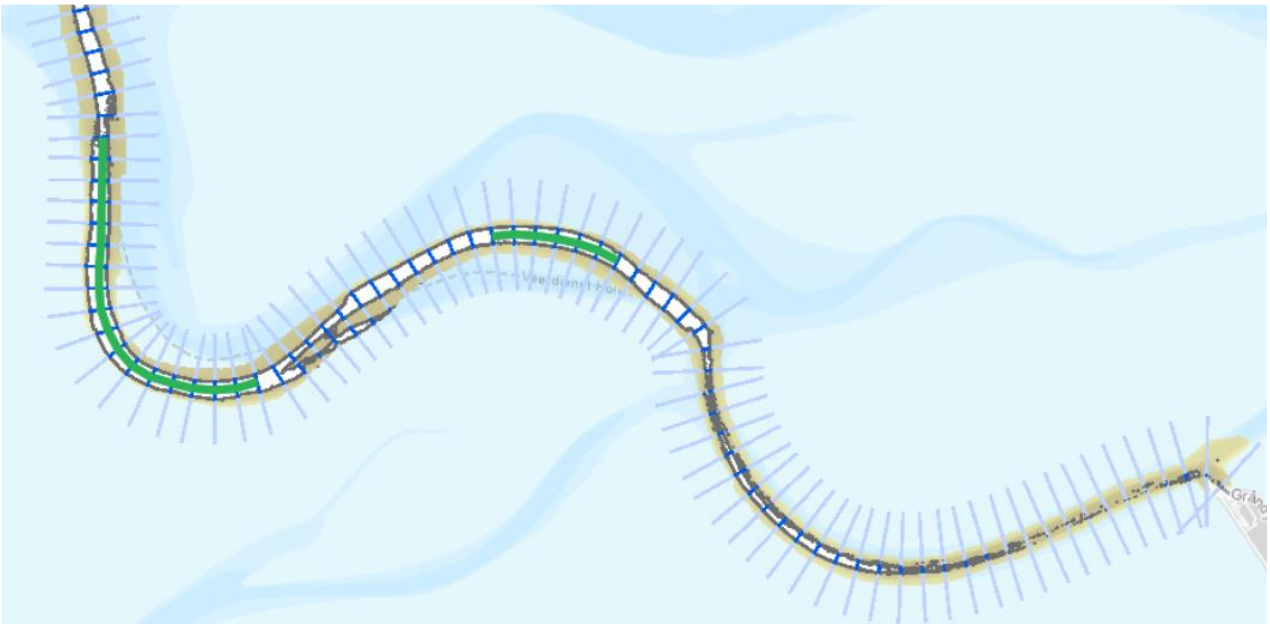
Gewenste geulbreedte op 2,5m waterdiepte ten behoeve van tweestrooks gebruik [m]			
Waterstand t.o.v. NAP [m]	Sectie 8B	Sectie 9B	Sectie 10B
-1.8	87.6	115.6	112.3
-1.6	87.6	115.6	112.3
-1.4	87.6	106.6	112.3
-1.2	87.6	112.6	115.4
-1.0	96.6	112.6	115.4
-0.8	96.6	112.6	115.4
-0.6	96.6	112.6	115.4
-0.4	96.6	112.6	115.4
-0.2	105.7	112.6	115.4
0.0	105.7	112.6	115.4
0.2	105.7	112.6	115.4
0.4	99.7	112.6	115.4
0.6	99.7	106.6	115.4
0.8	99.7	100.5	112.3
1.0	99.7	100.5	112.3
1.2	99.7	97.5	112.3
1.4	99.7	103.5	112.3
1.6	99.7	97.5	112.3
1.8	99.7	103.5	112.3

Tabel 5-8: Gewenste geulbreedte voor een geregelde ontmoeting gebruik (Variant A)

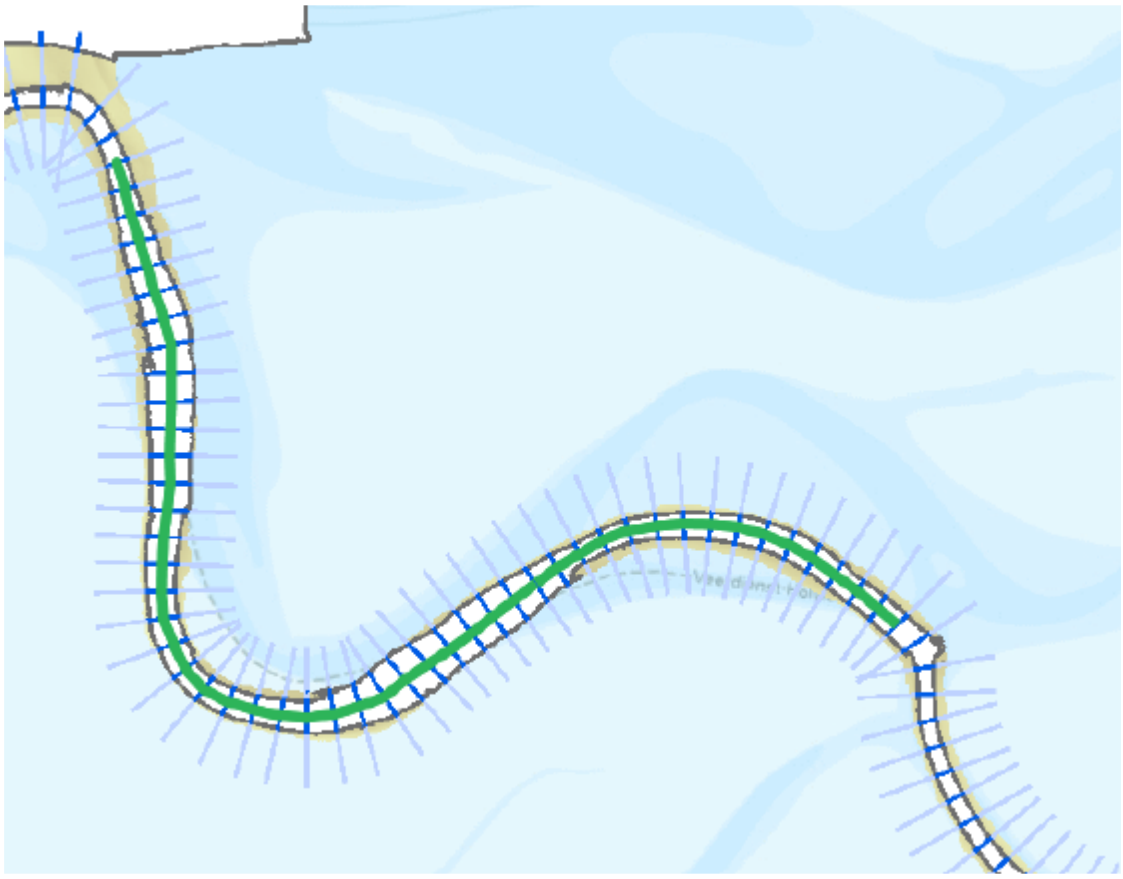
Gewenste geulbreedte op 2,5m waterdiepte ten behoeve van stilliggend passeren [m]											
Waterstand t.o.v. NAP [m]	Sectie 1	Sectie 2	Sectie 3	Sectie 4	Sectie 5	Sectie 6	Sectie 7	Sectie 8	Sectie 9	Sectie 10	Sectie 11
-1.8	64.9	70.2	70.8	74.3	74.7	71.9	69.6	82.7	72.4	67.0	68.8
-1.6	64.9	70.2	70.8	69.8	74.7	71.9	69.6	82.7	72.4	70.0	68.8
-1.4	60.4	67.2	75.3	69.8	74.7	71.9	69.6	82.7	72.4	70.0	68.8
-1.2	60.4	67.2	75.3	69.8	74.7	71.9	74.1	82.7	77.0	70.0	68.8
-1.0	60.4	67.2	75.3	69.8	74.7	71.9	74.1	82.7	77.0	70.0	68.8
-0.8	60.4	67.2	75.3	69.8	71.7	71.9	74.1	82.7	77.0	70.0	73.4
-0.6	60.4	67.2	72.3	69.8	71.7	71.9	74.1	82.7	77.0	70.0	73.4
-0.4	60.4	67.2	72.3	69.8	71.7	71.9	74.1	82.7	77.0	70.0	73.4
-0.2	60.4	70.2	72.3	69.8	71.7	71.9	71.1	82.7	77.0	70.0	73.4
0.0	60.4	70.2	72.3	69.8	71.7	71.9	75.6	82.7	77.0	70.0	71.8
0.2	60.4	67.2	72.3	69.8	71.7	71.9	75.6	79.6	77.0	70.0	71.8
0.4	60.4	71.7	72.3	68.3	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	71.8
0.6	60.4	71.7	70.8	66.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	77.9
0.8	60.4	70.2	70.8	66.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	71.8
1.0	60.4	70.2	70.8	66.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	71.8
1.2	60.4	70.2	70.8	66.8	70.1	70.4	69.6	76.6	77.0	70.0	71.8
1.4	60.4	70.2	70.8	69.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	71.8
1.6	60.4	76.3	70.8	69.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	71.8
1.8	60.4	76.3	76.8	69.8	70.1	70.4	75.6	76.6	77.0	70.0	77.9

Tabel 5-9: Gewenste geulbreedte voor een geregelde ontmoeting gebruik (Variant B)

Gewenste geulbreedte op 2,5m waterdiepte ten behoeve van stilliggend passeren [m]			
Waterstand t.o.v. NAP [m]	**Sectie 8B**	**Sectie 9B**	**Sectie 10B**
-1.8	63.4	77.4	75.8
-1.6	63.4	77.4	75.8
-1.4	63.4	72.9	75.8
-1.2	63.4	75.9	77.3
-1.0	68.0	75.9	77.3
-0.8	68.0	75.9	77.3
-0.6	68.0	75.9	77.3
-0.4	68.0	75.9	77.3
-0.2	72.5	75.9	77.3
0.0	72.5	75.9	77.3
0.2	72.5	75.9	77.3
0.4	69.5	75.9	77.3
0.6	69.5	72.9	77.3
0.8	69.5	69.9	75.8
1.0	69.5	69.9	75.8
1.2	69.5	68.4	75.8
1.4	69.5	71.4	75.8
1.6	69.5	68.4	75.8
1.8	69.5	71.4	75.8



Figuur 5-5: Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -1,6 m NAP (oostelijk deel van de geul)



Figuur 5-6: Vaarweglengte waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -0,8 m NAP (midden deel van de geul)

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

De methodiek uit de PIANC Richtlijnen [Ref. 2] is gevolgd om een advies te geven voor de benodigde minimale breedte voor de geul in de route van Holwerd naar Nes bij verschillende waterstanden. De marges die hierin gehanteerd worden zijn specifiek voor deze situatie bepaald aan de hand van meetvaarten en observaties onder operationele omstandigheden, gedetailleerde stroomberekeningen en actuele peilingen.

Minimale dimensies voor de benodigde vaargeulbreedte zijn vastgesteld, waarbij gedifferentieerd is naar waterstand, vaargeuldelen met vergelijkbare karakteristieken en naar gebruik van de geul. De breedtes gelden per waterstand op een waterdiepte van 2,30 m voor enkelstrooks gebruik van de geul en op een waterdiepte van 2,50 m bij tweestrooks gebruik en “geregeld ontmoeten”.

Er is een vergelijking gemaakt tussen de benodigde breedte en de daadwerkelijk beschikbare breedte bij de verschillende waterstanden voor een drietal varianten bij gebruik van de geul. Voor enkelstrooks gebruik varieert de adviesbreedte van 45,3 m tot 67,6 m in de verschillende delen van de geul. De adviesbreedte is voor enkelstrooks gebruik niet altijd beschikbaar. Bij de lage waterstanden is er onvoldoende breedte beschikbaar. Rijkswaterstaat onderhoudt volgens het beheerplan een geul met een minimale breedte van 50 m. Er mag maximaal 60 m breed gebaggerd worden (op -3.80 m NAP).

Voor gebruik als tweestrooks vaargeul is er vanaf een waterstand hoger dan 1,0 m NAP in de hele vaargeul voldoende ruimte beschikbaar. Bij lagere waterstanden is het op gedeeltes van de vaarweg mogelijk om elkaar te ontmoeten.

Als tussenoplossing is er in grote delen van de vaargeul ook bij lagere waterstanden voldoende ruimte beschikbaar om elkaar op afspraak te ontmoeten, waarbij één van de schepen zich aan de rand van de geul gaande houdt en wacht tot het andere schip gepasseerd is (geregelde ontmoeting). Vanaf -1,2 m NAP is dat mogelijk in de geul tussen de boeien VA11 en VA31. Vanaf 0,0m NAP kan dit in de hele geul.

In de berekende adviesbreedtes levert de windinvloed (0,8B = 12 m) de grootste bijdrage. Dit is gebaseerd op metingen tijdens representatieve windomstandigheden tot 6 Beaufort. Dit betekent wel dat er op dagen zonder wind of weinig (dwars) wind meer “ruimte” is met betrekking tot het gebruik van de geul.

Op dit moment, augustus 2023, wordt er tijdelijk gevaren met een dienstregeling gebaseerd op een vijf kwartier rooster en waarbij bij waterstanden van -1,0 m NAP en hoger met twee schepen gevaren wordt die elkaar op afspraak ontmoeten in de bredere delen van de geul. De resultaten van dit onderzoek ondersteunen deze dienstregeling en laten zien dat dit nog verruimd kan worden naar lagere waterstanden.

De analyse met betrekking tot veilige vaargeuldimensies is gedaan voor de huidige schepen van WPD, m.s. Oerd en m.s. Sier. Voor andere schepen, met andere breedtes, voortstuwing en/of manoeuvreerkarakteristieken zal weer een andere benodigde geulbreedte volgen. De huidige studie doet geen uitspraken over de benodigde breedte voor de sneldienst, of voor dit schip op een andere route.

6.2 Aanbevelingen

Bij de huidige analyse is gebruik gemaakt van een GIS viewer die een duidelijk beeld gaf van de beschikbare breedte in de verschillende delen van de geul, afhankelijk van de waterstand. De GIS viewer biedt echter een momentopname, Aanbevolen wordt de peilgegevens regelmatig te actualiseren en de analyse van beschikbare breedte te herhalen.

Aanbevolen wordt te onderzoeken op welke wijze de informatie van beschikbare breedte optimaal geïntegreerd kan worden met de elektronische navigatiekaart (ENC), waarbij de kapiteins de mogelijkheid krijgen aan boord zelf te beoordelen waar voldoende ruimte beschikbaar is aan de hand van actuele peilgegevens. N.B. ondertussen gebeurt dit al aan boord. Op de ENC kan de waterstand worden ingevoerd, waarbij de diepte contouren mee veranderen. De dieptegegevens worden wekelijks vernieuwd via het ENC portal van RWS.

De analyse met betrekking tot veilige vaargeuldimensies is gedaan voor de huidige schepen van WPD, m.s. Oerd en m.s. Sier. Voor andere schepen, met andere breedtes, voortstuwing en/of manoeuvreerkarakteristieken zal weer een andere benodigde geulbreedte volgen. De huidige studie doet geen uitspraken over de benodigde breedte voor de sneldienst, of voor dit schip op een andere route. Aanbevolen wordt de analyse ook uit te voeren voor een gezamenlijk gebruik van de vaargeul door de m.s. Oerd en m.s. Sier in combinatie met de sneldienst.

De berekeningen voor de vaargeulbreedtes zijn afhankelijk van de actuele situatie van de ligging van de geul, bochtstralen, optredende langs- en dwarsstroming etc. Dit blijft constant aan verandering onderhevig, en is daarom ook een moment opname, net als de aanwezige geulbreedtes. Aanbevolen wordt de berekeningen regelmatig te actualiseren.

In de berekeningen is rekening gehouden met een gemiddelde diepgang van de veerboten van 1,50 m. De marge die toegepast is voor, onder andere, afwijkingen in de diepgang, (0,20 m extra) is klein. Aanbevolen wordt daarom de werkelijke diepgang van het schip goed te monitoren.

Door het toepassen van een vaste toeslag van 0,4B in de bochten hebben de bochtstraal en de lengte van de bocht slechts beperkt effect op de totale bochttoeslag. De differentiatie in bochttoeslag in vergelijking met de eerdere studies blijft daardoor beperkt. De verwachting is dat een verdere differentiatie mogelijk is. Aanbevolen wordt om hier voor toekomstige toepassingen (ander geulen, andere schepen) nader onderzoek naar te doen.

PIANC hanteert voor de oeverstrook drie ruime indelingsklassen met grote verschillen in de toe te passen toeslagen. Net als bij de bochttoeslag is de verwachting dat binnen de klassen een verdere differentiatie mogelijk is. Aanbevolen wordt om hier voor toekomstige toepassingen nader onderzoek naar te doen.

REFERENTIES

[Ref 1.] Richtlijnen Vaarwegen 2020, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 31 juli 2020.

[Ref 2.] Harbour Approach Channels Design Guidelines, Final Report of the Joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA, PIANC Report no 121, 2014.

[Ref 3.] Model Tests with the “Ameland Ferry”, VBD Duisburg, Report No. 1324, juni 1992.

[Ref 4.] Model Tests with two Ferries, VBD Duisburg, Report No. 1565, September 2000.

[Ref 5.] Dimensionering Vaargeul Holwerd – Nes, MARIN rapport nr. 22334.600/2, 28 november 2008.

[Ref 6.] Verkenning vaarweg Holwerd – Nes, nautische aspecten geuldimensionering, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer, 11 september 2007.

[Ref 7.] Dimensionering Vaargeul Holwerd – Nes, rapport nr. 34573-1-MO-rev.0, 25 april 2023.

[Ref 8.] Van Weerdenburg, R., Vroom, J., Jeuken, C. & Grasmeijer, B., Knelpuntanalyse hoogwaterroute Holwerd-Ameland – Morfologische ontwikkeling en varianten voor minder baggerbezwaar en betere bevaarbaarheid. Deltares rapport 11209267-004-ZKS-0004, 2023.

[Ref 9.] Schijf, J.B., Protection of embankments and bed in inland and maritime waters, and in overflows of weirs, PIANC 17th congress 1949, Lisbon, 1949.

APPENDICES

APPENDIX 1 VAARSNELHEDEN OVER DE GROND EN REISTIJDEN

Tabel A-1: Vaarsnelheid over de grond richting Nes (Variant A)

Sectie	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]
-1.6	4.0	4.5	5.5	6.5	6.7	8.2	5.2	7.5	7.0	9.2	8.8	11.3	5.3	8.4	4.0	8.7	9.9	12.2	10.0	12.6	6.0	6.9
-1.4	3.6	4.9	4.7	6.8	6.1	8.5	4.5	7.9	6.4	9.5	8.2	11.6	5.1	8.9	4.0	9.1	9.7	12.3	10.0	12.7	6.0	7.3
-1.2	3.5	5.3	4.6	7.1	6.0	8.7	4.4	8.3	6.3	9.8	8.1	11.8	5.3	9.2	4.4	9.3	9.6	12.3	9.9	12.7	6.1	7.6
-1	3.7	5.6	4.8	7.3	6.0	9.0	4.5	8.6	6.3	10.0	8.1	12.0	5.5	9.5	4.7	9.5	9.6	12.2	9.9	12.6	6.2	7.9
-0.8	3.7	5.9	5.0	7.6	6.1	9.2	4.5	8.8	6.3	10.3	8.2	12.2	5.7	9.8	4.9	9.6	9.6	12.1	9.9	12.6	6.2	8.2
-0.6	3.9	6.2	5.1	7.8	6.3	9.4	4.7	9.1	6.4	10.5	8.4	12.4	6.0	10.1	5.2	9.6	9.6	12.0	10.0	12.4	6.3	8.4
-0.4	3.8	6.4	5.1	8.0	6.3	9.6	4.8	9.2	6.5	10.6	8.6	12.5	6.4	10.3	5.5	9.6	9.6	11.9	10.0	12.3	6.4	8.7
-0.2	4.0	6.5	5.3	8.2	6.5	9.7	5.1	9.4	6.7	10.8	8.9	12.6	6.7	10.3	5.7	9.4	9.6	11.8	10.0	12.0	6.7	8.9
0	4.3	6.6	5.6	8.3	6.7	9.8	5.4	9.4	7.0	10.8	9.0	12.4	7.0	10.4	5.9	9.4	9.6	11.6	9.9	11.9	7.1	9.2
0.2	4.7	6.7	5.9	8.5	7.0	10.0	5.6	9.4	7.2	10.9	9.1	12.2	7.2	10.4	6.1	9.4	9.5	11.6	9.8	11.6	7.4	9.4
0.4	5.2	6.8	6.3	8.5	7.3	10.0	5.9	9.4	7.5	10.8	9.2	11.9	7.5	10.3	6.3	9.5	9.5	11.6	9.8	11.5	7.7	9.6
0.6	5.6	7.0	6.7	8.6	7.6	10.1	6.2	9.4	7.8	10.7	9.3	11.7	7.8	10.3	6.6	9.5	9.5	11.6	9.9	11.3	8.0	9.8
0.8	5.9	7.3	7.0	8.8	8.0	10.3	6.7	9.6	8.2	10.7	9.4	11.6	8.2	10.4	6.8	9.6	9.5	11.5	9.9	11.3	8.3	10.1
1	6.2	7.6	7.4	8.9	8.4	10.5	7.0	9.7	8.5	10.9	9.6	11.5	8.5	10.6	7.0	9.7	9.5	11.5	9.8	11.3	8.5	10.2
1.2	6.5	7.9	7.7	9.1	8.7	10.6	7.3	9.9	8.8	11.0	9.7	11.4	8.8	10.7	7.3	9.9	9.5	11.5	9.9	11.3	8.7	10.4
1.4	6.8	8.1	8.0	9.3	9.0	10.7	7.6	10.0	9.1	11.2	9.8	11.4	9.0	10.8	7.5	10.0	9.5	11.4	9.9	11.3	9.0	10.6
1.6	6.9	8.3	8.3	9.5	9.5	10.9	8.1	10.2	9.4	11.3	10.1	11.4	9.3	10.9	7.8	10.2	9.6	11.3	10.0	11.2	9.2	10.7
1.8	7.0	8.3	8.6	9.5	9.9	11.0	8.6	10.2	9.7	11.2	10.2	11.3	9.6	10.9	8.2	10.2	9.6	11.2	10.1	11.2	9.5	10.8

Tabel A-2: Vaarsnelheid over de grond richting Holwerd (Variant A)

Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]
-1.6	2.1	2.6	3.6	4.6	5.4	6.9	3.3	5.6	5.4	7.6	7.7	10.2	4.3	7.5	2.1	6.8	9.4	11.7	9.0	11.6	5.6	6.5
-1.4	2.5	3.9	3.9	6.1	5.7	8.1	3.5	6.9	5.6	8.7	7.7	11.1	4.4	8.2	2.4	7.4	9.3	11.9	8.9	11.6	5.7	7.0
-1.2	2.9	4.7	4.3	6.8	6.0	8.7	3.8	7.7	5.8	9.3	7.9	11.6	4.6	8.6	2.7	7.7	9.3	12.0	8.9	11.7	5.9	7.4
-1	3.3	5.2	4.6	7.1	6.2	9.1	4.1	8.2	6.0	9.7	8.0	11.9	4.8	8.8	3.1	8.0	9.4	12.0	9.0	11.7	6.1	7.8
-0.8	3.7	5.9	4.9	7.5	6.5	9.5	4.4	8.7	6.2	10.2	8.2	12.2	5.0	9.1	3.6	8.3	9.5	12.0	9.0	11.7	6.3	8.3
-0.6	4.1	6.4	5.2	7.9	6.8	9.9	4.7	9.1	6.4	10.5	8.4	12.4	5.2	9.3	4.1	8.5	9.6	12.0	9.2	11.6	6.6	8.7
-0.4	4.5	7.1	5.5	8.4	7.0	10.3	5.0	9.4	6.7	10.8	8.6	12.5	5.5	9.4	4.6	8.7	9.7	12.0	9.3	11.6	6.7	9.0
-0.2	4.9	7.4	5.9	8.7	7.3	10.6	5.3	9.7	6.9	11.0	8.9	12.6	5.9	9.6	5.3	9.0	9.8	12.0	9.6	11.6	7.0	9.2
0	5.4	7.7	6.3	9.0	7.7	10.8	5.9	9.9	7.3	11.1	9.2	12.6	6.3	9.7	5.8	9.3	10.0	12.0	9.7	11.7	7.2	9.3
0.2	5.9	7.9	6.6	9.1	8.0	10.9	6.3	10.1	7.6	11.3	9.4	12.5	6.7	9.9	6.2	9.5	10.0	12.1	10.0	11.8	7.4	9.4
0.4	6.3	7.9	7.0	9.1	8.4	11.0	6.8	10.3	8.1	11.4	9.7	12.4	7.2	10.0	6.7	9.8	10.0	12.1	10.1	11.8	7.6	9.5
0.6	6.5	8.0	7.3	9.3	8.7	11.2	7.2	10.4	8.5	11.5	9.9	12.3	7.6	10.2	7.0	10.0	10.0	12.1	10.3	11.7	7.8	9.6
0.8	6.8	8.1	7.6	9.4	8.9	11.2	7.5	10.4	8.9	11.5	10.0	12.2	7.9	10.2	7.4	10.2	10.1	12.1	10.3	11.7	8.0	9.7
1	7.0	8.4	7.9	9.4	9.1	11.2	7.8	10.5	9.1	11.5	10.1	12.0	8.2	10.3	7.7	10.4	10.1	12.1	10.3	11.8	8.2	9.9
1.2	7.2	8.6	8.1	9.5	9.4	11.3	8.0	10.6	9.4	11.6	10.2	11.9	8.4	10.4	7.9	10.6	10.1	12.1	10.3	11.7	8.4	10.1
1.4	7.4	8.7	8.3	9.7	9.6	11.3	8.3	10.7	9.6	11.7	10.2	11.8	8.7	10.5	8.2	10.7	10.2	12.1	10.3	11.7	8.6	10.2
1.6	7.7	9.1	8.6	9.7	9.9	11.2	8.5	10.6	9.8	11.7	10.2	11.5	9.0	10.6	8.5	10.8	10.3	12.0	10.4	11.6	8.8	10.3
1.8	8.1	9.3	8.9	9.9	10.1	11.2	8.9	10.5	10.2	11.8	10.3	11.4	9.3	10.7	8.8	10.9	10.4	12.0	10.4	11.5	9.2	10.5

Tabel A-3: Vaarsnelheid over de grond richting Nes (Variant B)

Sectie	1		2		3		4		5		6		7		8B		9B		10B		11	
Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]
-1.6	4.0	4.6	5.4	6.6	6.6	8.2	5.1	7.6	6.9	9.2	8.7	11.4	5.2	8.6	4.8	8.7	3.1	6.5	9.8	12.3	6.0	6.9
-1.4	3.4	5.0	4.5	6.8	6.0	8.5	4.5	8.0	6.3	9.6	8.2	11.7	5.0	9.0	5.2	9.2	2.9	7.3	9.5	12.5	6.0	7.3
-1.2	3.5	5.3	4.6	7.1	6.0	8.8	4.4	8.3	6.2	9.8	8.1	11.9	5.2	9.4	5.7	9.4	3.1	7.8	9.5	12.6	6.1	7.6
-1	3.7	5.6	4.8	7.4	6.0	9.0	4.4	8.6	6.3	10.1	8.1	12.1	5.5	9.7	6.0	9.6	3.4	8.4	9.5	12.6	6.2	7.9
-0.8	3.7	5.9	5.0	7.6	6.1	9.2	4.5	8.9	6.3	10.3	8.2	12.3	5.7	9.9	6.4	9.6	3.7	8.8	9.4	12.7	6.2	8.2
-0.6	3.9	6.2	5.1	7.8	6.3	9.4	4.7	9.1	6.4	10.5	8.3	12.4	6.0	10.2	6.6	9.5	3.9	9.3	9.4	12.8	6.3	8.4
-0.4	3.8	6.4	5.1	8.0	6.3	9.6	4.8	9.3	6.5	10.6	8.6	12.5	6.3	10.3	6.9	9.3	4.2	9.7	9.4	12.8	6.4	8.7
-0.2	4.0	6.5	5.3	8.2	6.5	9.7	5.1	9.4	6.7	10.8	8.9	12.6	6.7	10.3	7.1	9.1	4.5	9.8	9.4	12.6	6.7	8.9
0	4.3	6.6	5.6	8.3	6.7	9.9	5.4	9.4	7.0	10.8	9.0	12.4	7.0	10.4	7.3	8.9	4.7	9.9	9.4	12.5	7.1	9.2
0.2	4.7	6.7	5.9	8.5	7.0	10.0	5.6	9.4	7.2	10.9	9.1	12.2	7.2	10.4	7.5	8.8	5.0	9.9	9.3	12.3	7.4	9.4
0.4	5.2	6.8	6.3	8.5	7.3	10.0	5.9	9.4	7.5	10.8	9.2	11.9	7.5	10.3	7.8	8.8	5.2	10.0	9.2	12.2	7.7	9.6
0.6	5.6	7.0	6.7	8.6	7.6	10.1	6.2	9.4	7.8	10.7	9.3	11.7	7.8	10.3	7.9	9.0	5.4	9.9	9.2	12.1	8.0	9.8
0.8	5.9	7.3	7.0	8.8	8.0	10.3	6.7	9.6	8.2	10.7	9.4	11.6	8.2	10.4	8.2	9.2	5.8	10.0	9.2	12.0	8.3	10.1
1	6.2	7.6	7.4	8.9	8.4	10.5	7.0	9.7	8.5	10.9	9.6	11.5	8.5	10.6	8.4	9.4	6.0	10.0	9.2	11.9	8.5	10.2
1.2	6.5	7.9	7.7	9.1	8.7	10.6	7.3	9.9	8.8	11.0	9.7	11.4	8.8	10.7	8.5	9.5	6.3	10.2	9.3	11.8	8.7	10.4
1.4	6.8	8.1	8.0	9.3	9.0	10.7	7.6	10.0	9.1	11.2	9.8	11.4	9.0	10.8	8.8	9.7	6.7	10.4	9.3	11.8	9.0	10.6
1.6	6.9	8.3	8.3	9.5	9.5	10.9	8.1	10.2	9.4	11.3	10.1	11.4	9.3	10.9	9.0	9.8	7.2	10.6	9.5	11.7	9.2	10.7
1.8	7.0	8.3	8.6	9.5	9.9	11.0	8.6	10.2	9.7	11.2	10.2	11.3	9.6	10.9	9.2	9.8	7.7	10.3	9.5	11.4	9.5	10.8

Tabel A-4: Vaarsnelheid over de grond richting Holwerd (Variant B)

Sectie	1		2		3		4		5		6		7		8B		9B		10B		11	
Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]	Min [kn]	Max [kn]
-1.6	2.1	2.7	3.5	4.8	5.4	7.0	3.2	5.7	5.4	7.7	7.6	10.3	4.1	7.6	2.1	6.0	2.7	6.1	9.3	11.8	5.6	6.5
-1.4	2.5	4.1	3.9	6.2	5.6	8.1	3.5	7.0	5.5	8.7	7.6	11.1	4.2	8.2	2.3	6.2	2.7	7.0	9.1	12.1	5.7	7.0
-1.2	2.9	4.7	4.2	6.8	5.9	8.7	3.8	7.7	5.7	9.3	7.8	11.6	4.4	8.6	2.6	6.4	2.8	7.6	9.0	12.1	5.9	7.4
-1	3.3	5.2	4.6	7.1	6.2	9.1	4.0	8.2	5.9	9.7	7.9	12.0	4.7	8.8	3.0	6.6	3.0	8.0	9.0	12.1	6.1	7.8
-0.8	3.7	5.9	4.9	7.5	6.5	9.5	4.3	8.7	6.2	10.2	8.1	12.2	4.9	9.1	3.5	6.8	3.2	8.4	8.9	12.2	6.3	8.3
-0.6	4.0	6.4	5.2	7.9	6.7	9.9	4.7	9.1	6.4	10.5	8.3	12.4	5.2	9.3	4.2	7.1	3.3	8.8	8.8	12.2	6.6	8.7
-0.4	4.5	7.1	5.5	8.4	7.0	10.3	5.0	9.4	6.7	10.8	8.6	12.5	5.5	9.4	4.9	7.4	3.6	9.1	8.8	12.2	6.7	9.0
-0.2	4.9	7.4	5.9	8.7	7.3	10.6	5.3	9.7	6.9	11.0	8.9	12.6	5.9	9.6	5.6	7.6	4.1	9.4	9.0	12.2	7.0	9.2
0	5.4	7.7	6.3	9.0	7.7	10.8	5.8	9.9	7.3	11.1	9.2	12.6	6.2	9.7	6.3	7.9	4.6	9.7	9.1	12.2	7.2	9.3
0.2	5.9	7.9	6.6	9.1	8.0	10.9	6.3	10.1	7.6	11.3	9.4	12.5	6.7	9.9	6.9	8.2	5.1	10.0	9.3	12.3	7.4	9.4
0.4	6.3	7.9	7.0	9.1	8.4	11.0	6.8	10.3	8.1	11.4	9.7	12.4	7.2	10.0	7.3	8.4	5.6	10.3	9.4	12.4	7.6	9.5
0.6	6.5	8.0	7.3	9.3	8.7	11.2	7.2	10.4	8.5	11.5	9.9	12.3	7.6	10.2	7.6	8.7	6.2	10.6	9.5	12.4	7.8	9.6
0.8	6.8	8.1	7.6	9.4	8.9	11.2	7.5	10.4	8.9	11.5	10.0	12.2	7.9	10.2	7.8	8.8	6.6	10.8	9.6	12.4	8.0	9.7
1	7.0	8.4	7.9	9.4	9.1	11.2	7.8	10.5	9.1	11.5	10.1	12.0	8.2	10.3	8.1	9.0	7.1	11.1	9.7	12.4	8.2	9.9
1.2	7.2	8.6	8.1	9.5	9.4	11.3	8.0	10.6	9.4	11.6	10.2	11.9	8.4	10.4	8.3	9.3	7.4	11.3	9.8	12.3	8.4	10.0
1.4	7.4	8.7	8.3	9.7	9.6	11.3	8.3	10.7	9.6	11.7	10.2	11.8	8.7	10.5	8.6	9.5	7.7	11.4	9.8	12.3	8.6	10.2
1.6	7.7	9.1	8.6	9.7	9.9	11.2	8.5	10.6	9.8	11.7	10.2	11.5	9.0	10.6	8.8	9.6	8.0	11.4	9.9	12.1	8.8	10.3
1.8	8.1	9.3	8.9	9.9	10.1	11.2	8.9	10.5	10.2	11.8	10.3	11.4	9.3	10.7	9.2	9.8	8.7	11.3	10.2	12.1	9.2	10.5

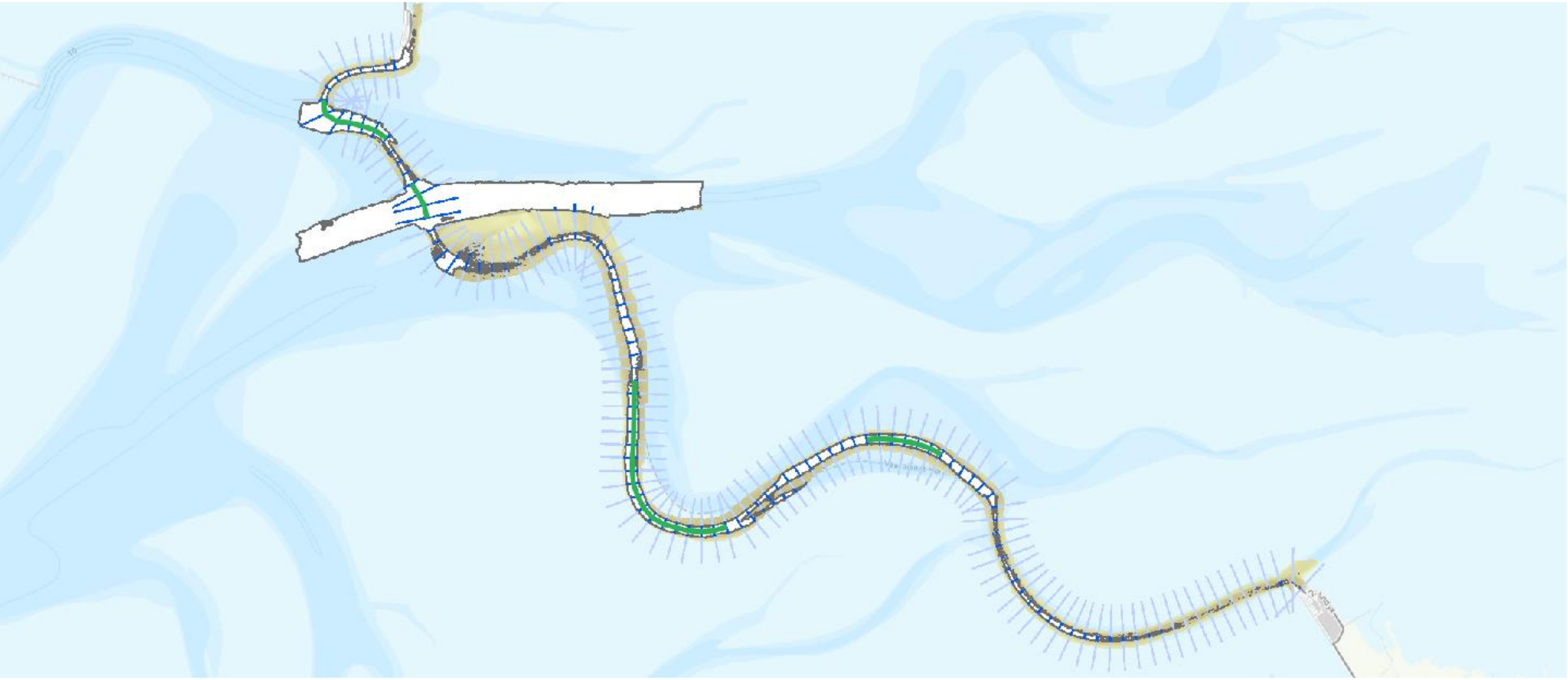
Tabel A-5: Reistijd (Variant A)

Vaarrichting	Richting Nes		Richting Holwerd	
Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [min]	Max [min]	Min [min]	Max [min]
-1.6	44	60	57	87
-1.4	42	64	48	80
-1.2	41	64	44	74
-1	40	62	42	70
-0.8	39	61	40	65
-0.6	38	59	39	61
-0.4	37	58	37	58
-0.2	37	56	37	54
0	37	54	36	51
0.2	37	52	35	49
0.4	37	50	35	46
0.6	37	48	35	45
0.8	36	46	35	43
1	36	45	34	42
1.2	35	43	34	41
1.4	35	42	34	40
1.6	35	41	34	40
1.8	35	40	34	38

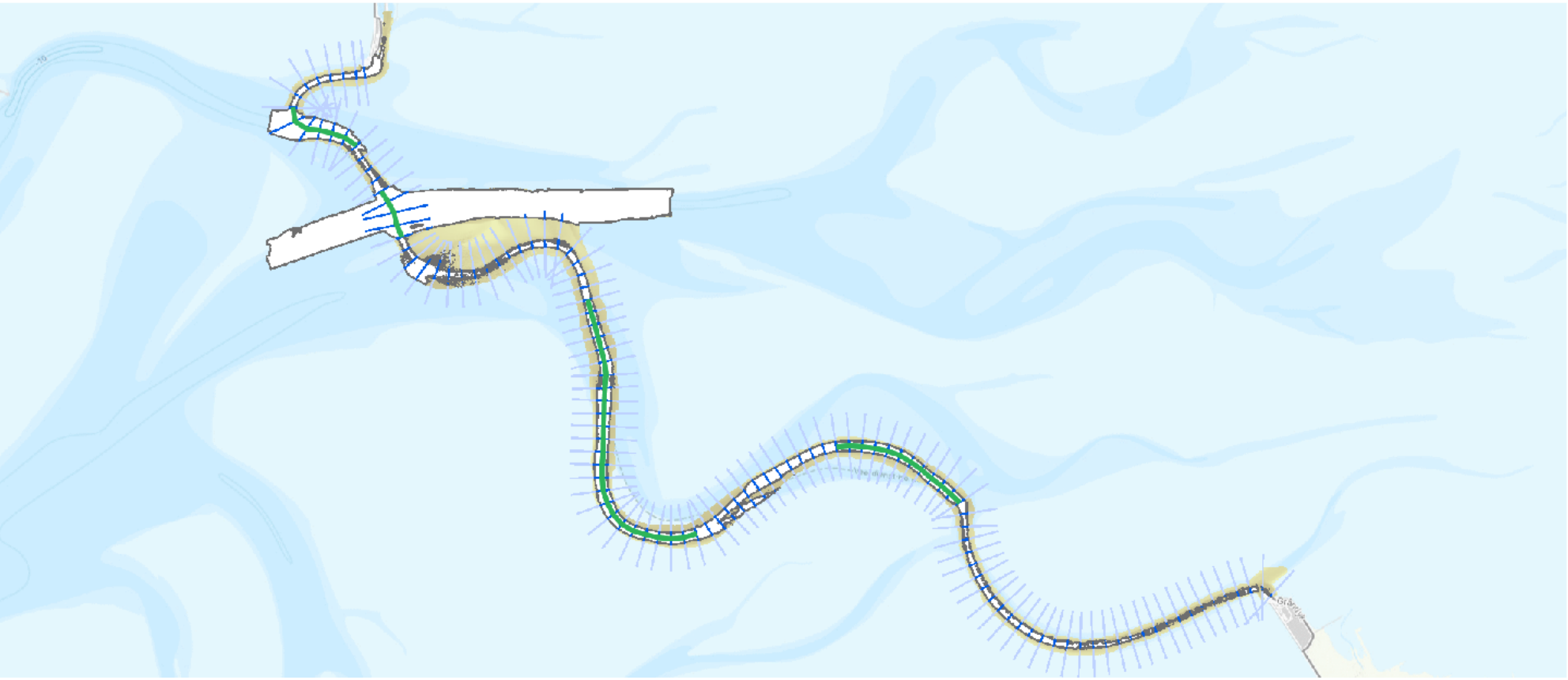
Tabel A-6: Reistijd (Variant B)

Vaarrichting	Richting Nes		Richting Holwerd	
Waterstand [m t.o.v. NAP]	Min [min]	Max [min]	Min [min]	Max [min]
-1.6	43	59	55	83
-1.4	41	64	46	78
-1.2	40	63	43	72
-1	38	61	41	68
-0.8	37	59	39	64
-0.6	37	58	37	60
-0.4	36	57	36	57
-0.2	36	54	35	53
0	35	52	35	50
0.2	35	50	34	48
0.4	35	48	34	45
0.6	35	46	33	43
0.8	35	44	33	42
1	34	43	33	41
1.2	34	42	33	40
1.4	33	41	33	39
1.6	33	39	32	38
1.8	33	38	32	37

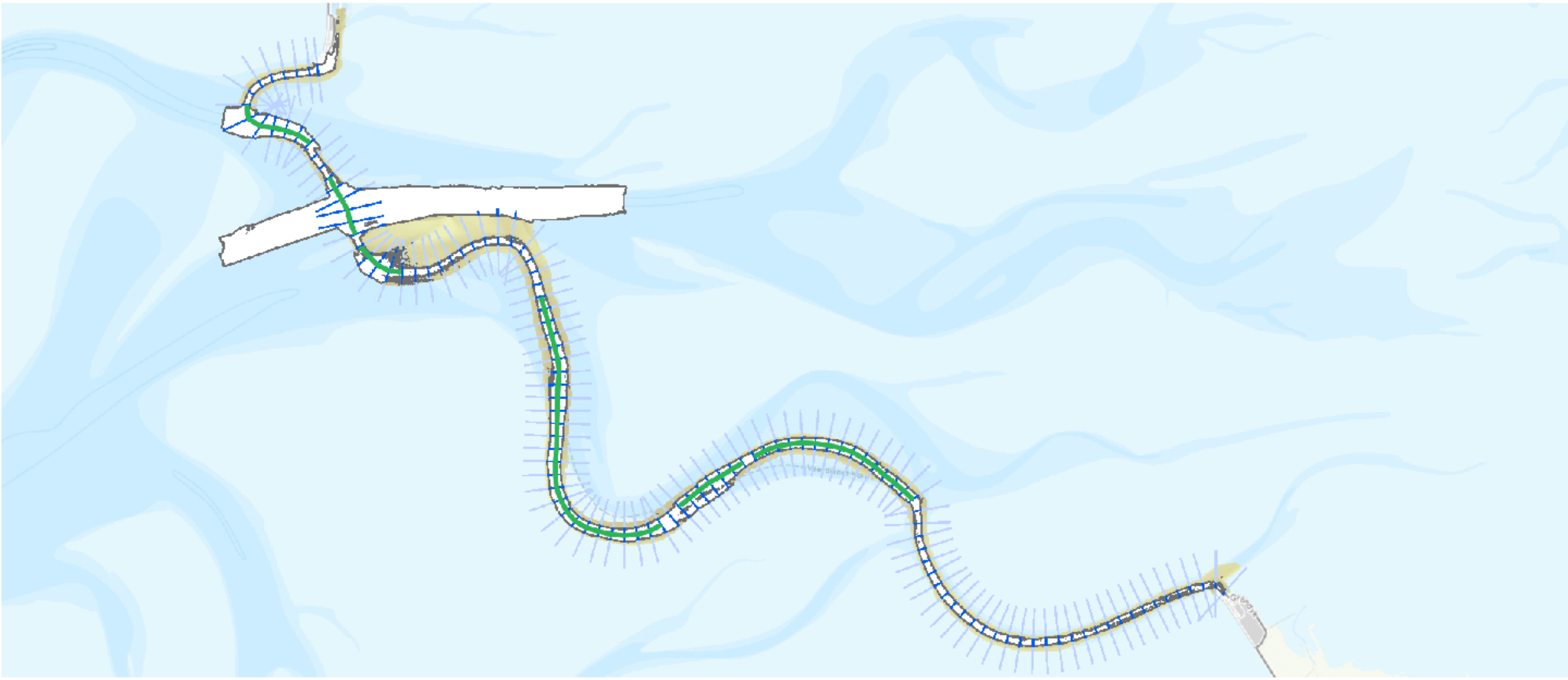
APPENDIX 2 PASSEERVAKKEN



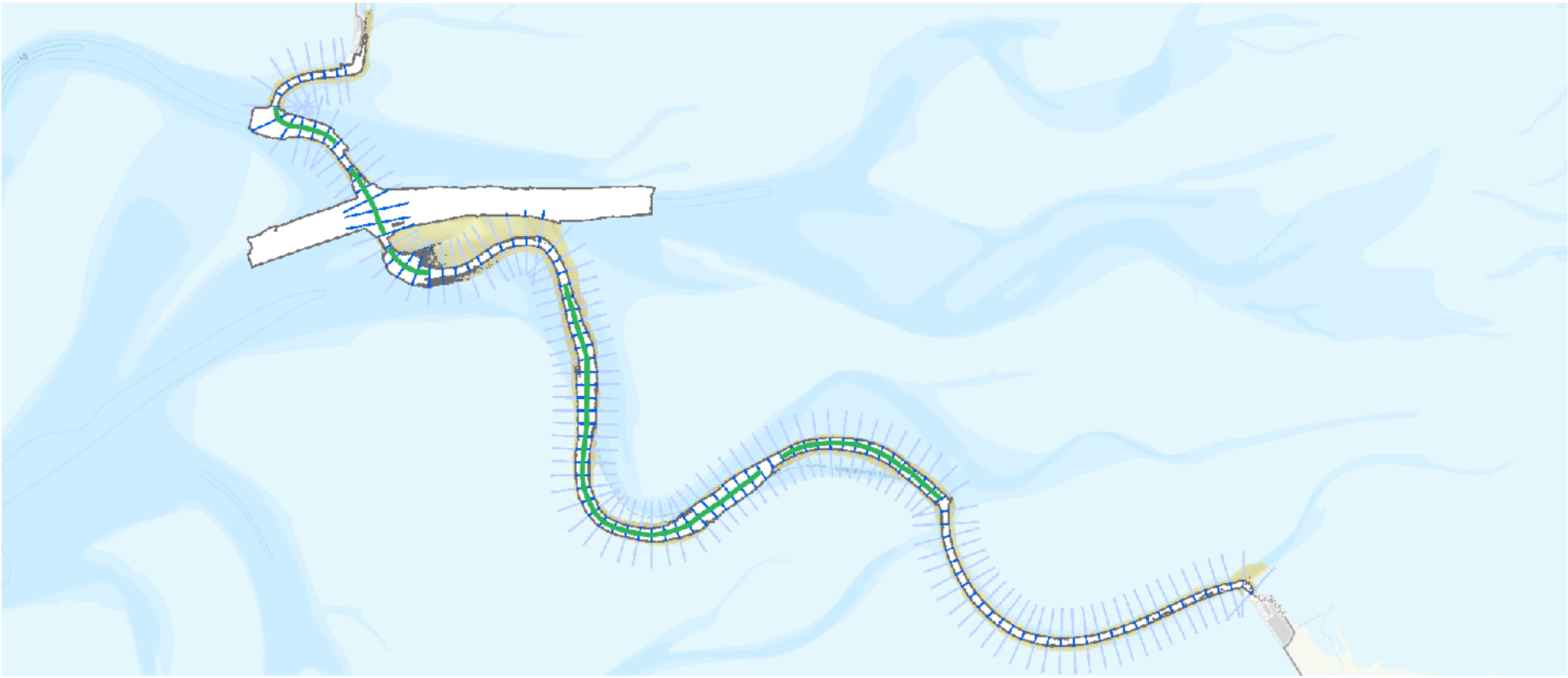
Figuur B-1 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -1,6m NAP



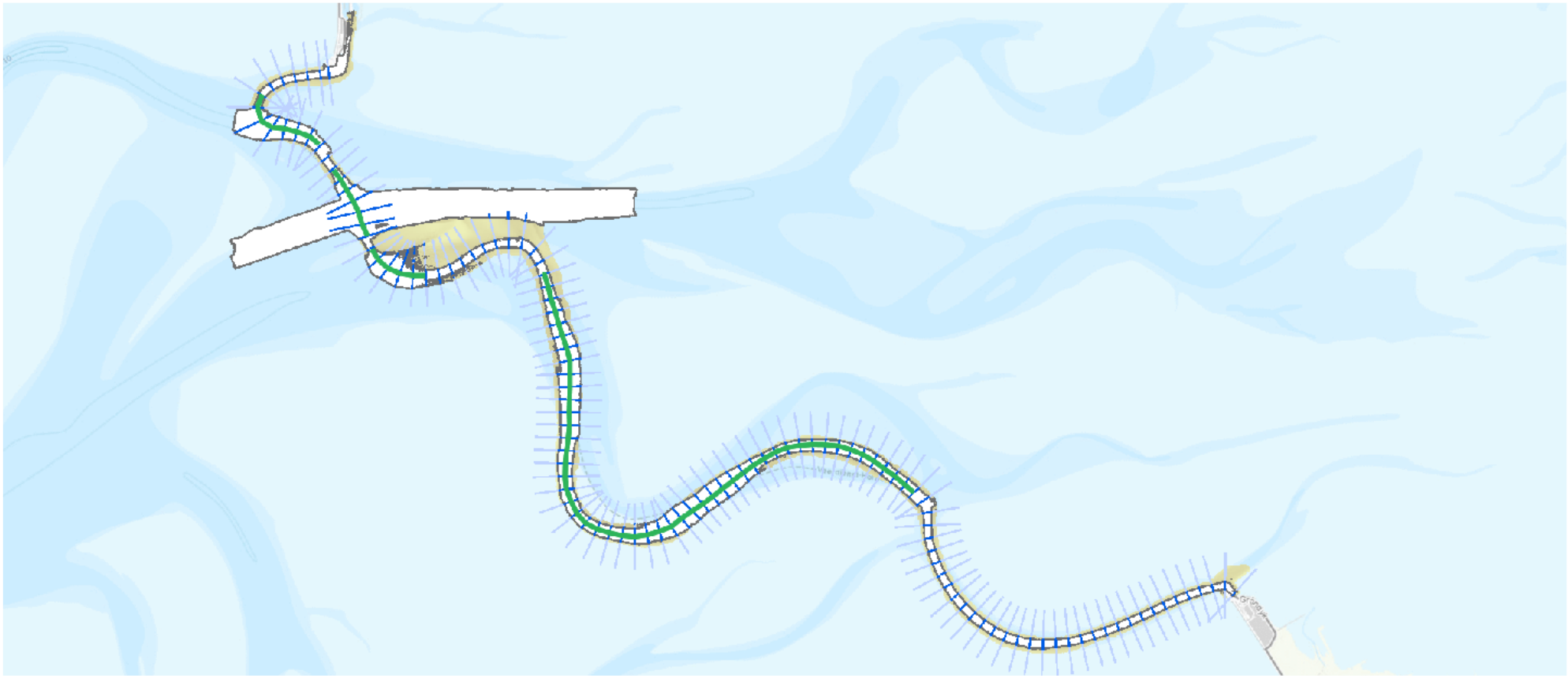
Figuur B-2 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -1,4m NAP



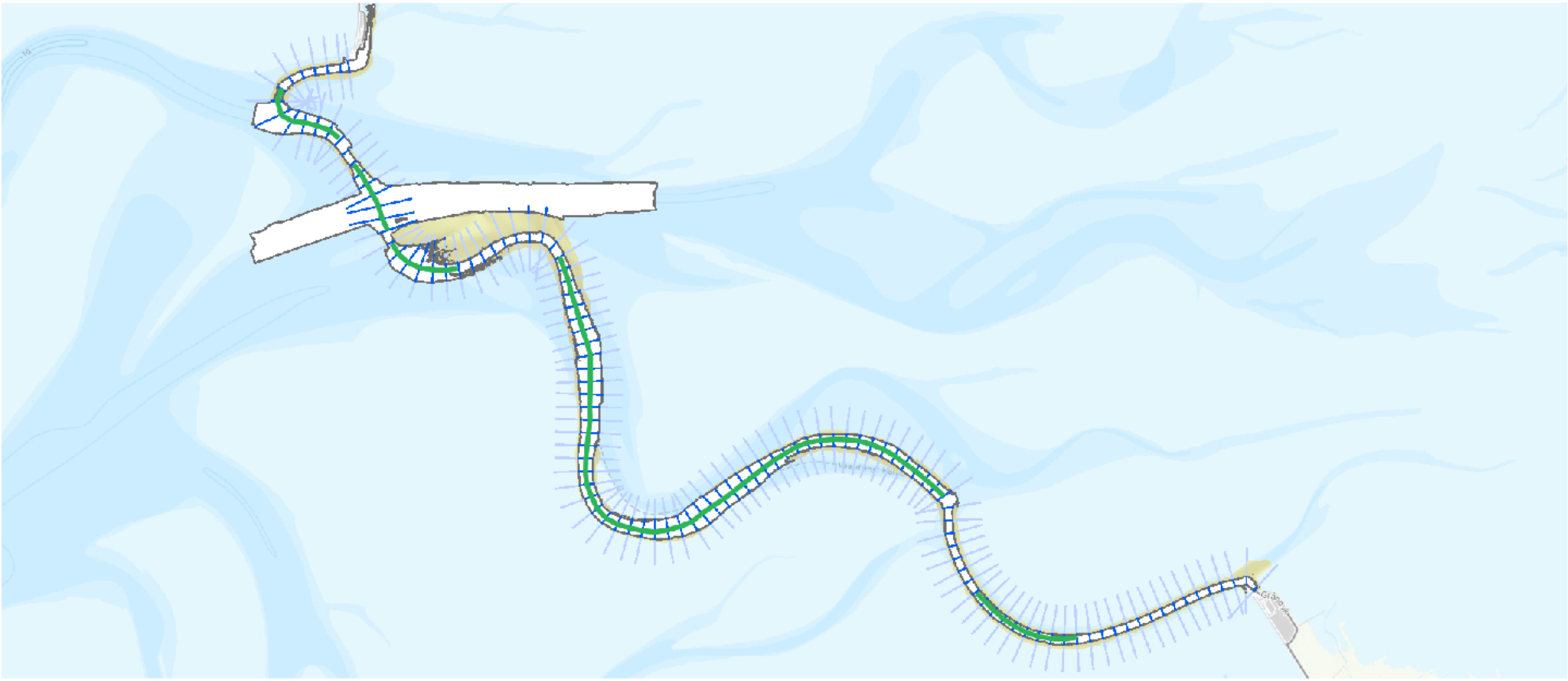
Figuur B-3 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -1,2m NAP



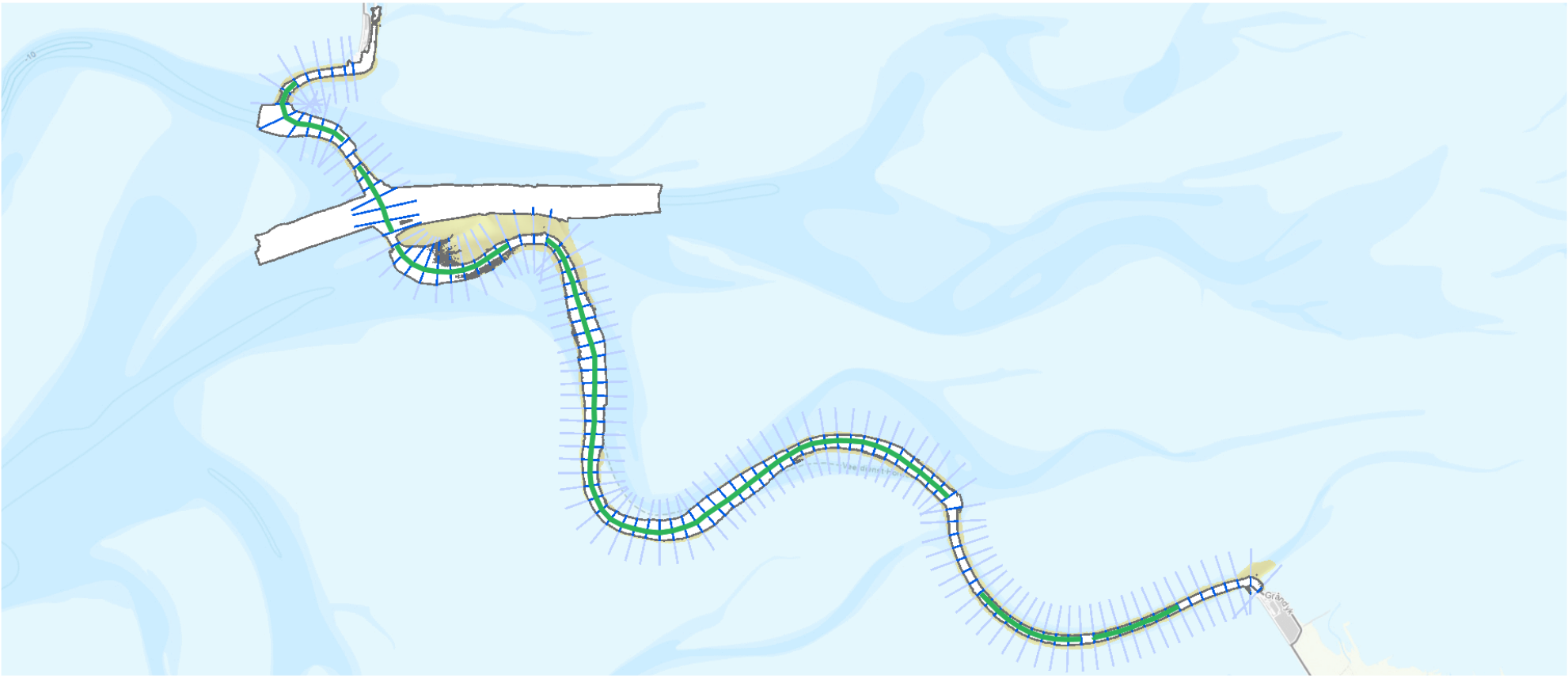
Figuur B-4 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -1,0m NAP



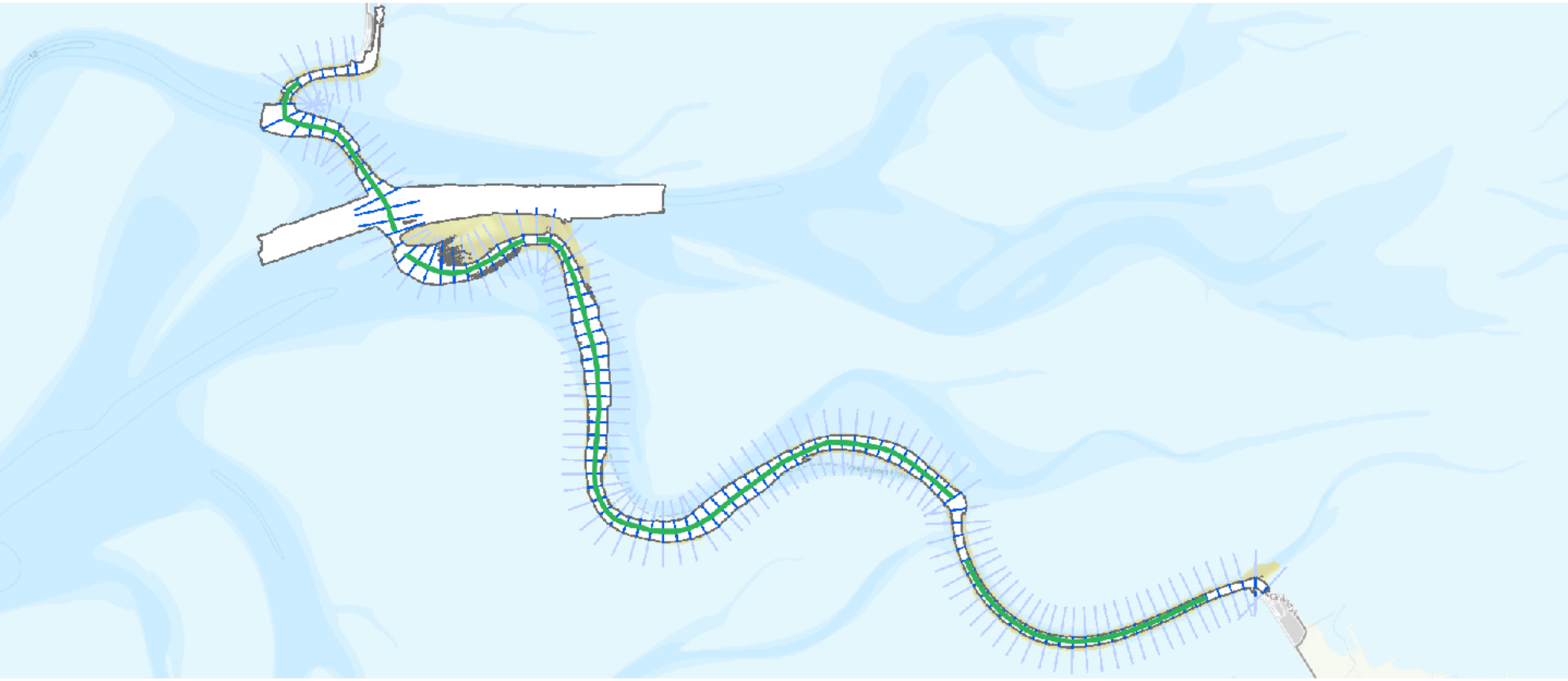
Figuur B 5 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -0,8m NAP



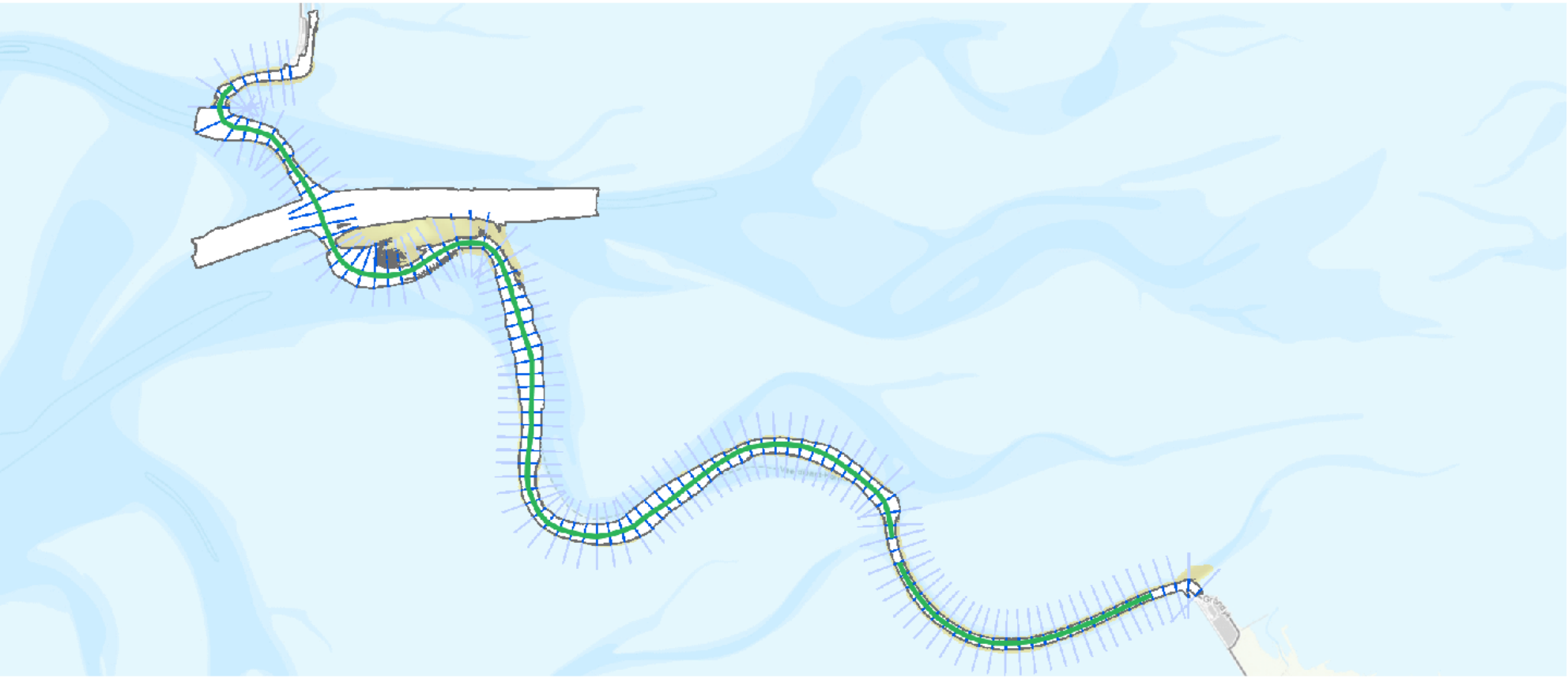
Figuur B-6 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -0,6m NAP



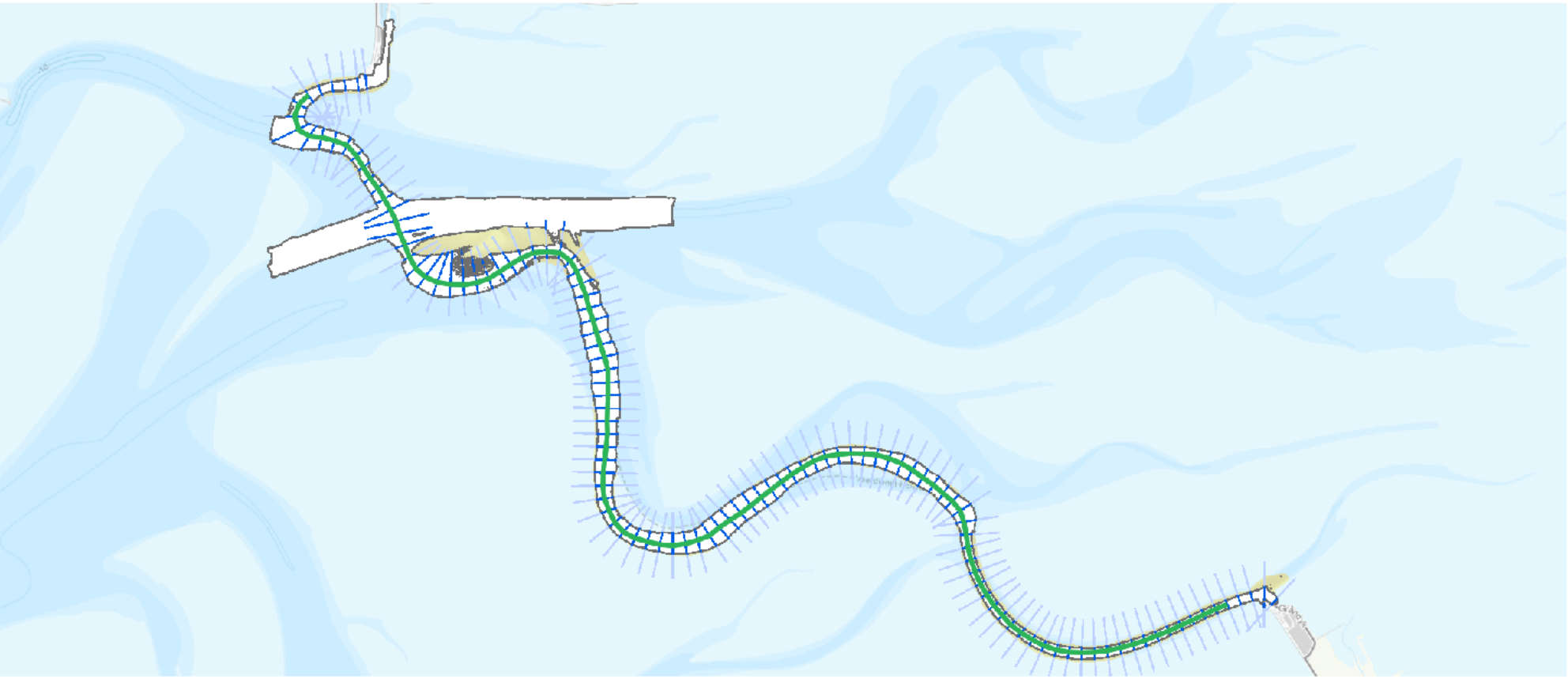
Figuur B-7 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -0,4m NAP



Figuur B-8 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van -0,2m NAP



Figuur B-9 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van 0,0m NAP



Figuur B-10 Vaarweglengtes waar gepasseerd kan worden bij een waterstand van 0,2m NAP

APPENDIX 3 BESCHIKBARE GEULBREEDTES

Beschikbare geulbreedte op 2,3m waterdiepte [m]											
Waterstand t.o.v. NAP [m]	**Sectie 1**	**Sectie 2**	**Sectie 3**	**Sectie 4**	**Sectie 5**	**Sectie 6**	**Sectie 7**	**Sectie 8**	**Sectie 9**	**Sectie 10**	**Sectie 11**
-1.8	0.0	6.1	18.9	58.9	63.7	33.8	35.6	8.7	5.2	27.5	37.7
-1.6	0.8	23.8	36.4	73.5	66.3	48.7	77.0	19.8	10.2	34.1	42.8
-1.4	20.2	31.3	49.6	86.2	69.3	68.3	94.6	48.5	45.4	53.7	50.3
-1.2	35.5	53.2	58.9	93.2	74.2	90.1	105.0	52.8	50.6	57.6	53.8
-1.0	55.2	60.1	60.3	98.8	77.5	98.9	113.9	56.6	52.6	60.3	58.1
-0.8	57.2	61.4	62.2	107.7	86.4	100.7	119.6	61.4	61.6	62.7	61.9
-0.6	58.8	64.1	64.0	113.6	90.0	101.4	125.3	68.4	65.6	67.5	66.0
-0.4	60.6	67.1	67.9	119.5	96.2	103.3	131.4	74.6	72.5	75.5	72.4
-0.2	63.9	69.4	77.9	129.0	110.7	110.2	140.4	77.8	77.6	96.4	86.1
0.0	65.5	73.8	85.0	141.4	123.6	113.3	147.1	86.0	88.0	98.0	101.0
0.2	69.5	75.7	117.8	142.7	132.9	114.0	150.0	90.7	127.8	107.1	107.2
0.4	80.6	89.6	122.2	146.3	140.2	114.4	151.2	124.7	142.9	113.4	112.5
0.6	97.7	99.0	122.2	148.4	140.8	115.0	152.4	137.7	235.3	119.0	121.0
0.8	106.4	107.0	122.2	151.9	140.8	116.0	154.5	175.5	288.4	119.0	129.3
1.0	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	117.1	156.3	187.9	295.7	119.0	129.3
1.2	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	127.3	158.4	187.9	307.6	119.0	129.3
1.4	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	128.6	159.9	187.9	307.6	119.0	129.3
1.6	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	128.6	159.9	187.9	307.6	119.0	129.3
1.8	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	128.6	159.9	187.9	307.6	119.0	129.3

Figuur C- 1 Kleinste beschikbare breedte in een sectie op een waterdiepte van 2,3m. Een cel is grijs gemarkeerd als er onvoldoende peilgegevens beschikbaar zijn om de beschikbare breedte vast te stellen. De geul zal dan breder zijn dan de vermelde waarde.

Beschikbare geulbreedte op 2,5m waterdiepte [m]											
Waterstand t.o.v. NAP [m]	**Sectie 1**	**Sectie 2**	**Sectie 3**	**Sectie 4**	**Sectie 5**	**Sectie 6**	**Sectie 7**	**Sectie 8**	**Sectie 9**	**Sectie 10**	**Sectie 11**
-1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.6	0.0	6.1	18.9	58.9	63.7	33.8	35.6	8.7	5.2	27.5	37.7
-1.4	0.8	23.8	36.4	73.5	66.3	48.7	77.0	19.8	10.2	34.1	42.8
-1.2	20.2	31.3	49.6	86.2	69.3	68.3	94.6	48.5	45.4	53.7	50.3
-1.0	35.5	53.2	58.9	93.2	74.2	90.1	105.0	52.8	50.6	57.6	53.8
-0.8	55.2	60.1	60.3	98.8	77.5	98.9	113.9	56.6	52.6	60.3	58.1
-0.6	57.2	61.4	62.2	107.7	86.4	100.7	119.6	61.4	61.6	62.7	61.9
-0.4	58.8	64.1	64.0	113.6	90.0	101.4	125.3	68.4	65.6	67.5	66.0
-0.2	60.6	67.1	67.9	119.5	96.2	103.3	131.4	74.6	72.5	75.5	72.4
0.0	63.9	69.4	77.9	129.0	110.7	110.2	140.4	77.8	77.6	96.4	86.1
0.2	65.5	73.8	85.0	141.4	123.6	113.3	147.1	86.0	88.0	98.0	101.0
0.4	69.5	75.7	117.8	142.7	132.9	114.0	150.0	90.7	127.8	107.1	107.2
0.6	80.6	89.6	122.2	146.3	140.2	114.4	151.2	124.7	142.9	113.4	112.5
0.8	97.7	99.0	122.2	148.4	140.8	115.0	152.4	137.7	235.3	119.0	121.0
1.0	106.4	107.0	122.2	151.9	140.8	116.0	154.5	175.5	288.4	119.0	129.3
1.2	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	117.1	156.3	187.9	295.7	119.0	129.3
1.4	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	127.3	158.4	187.9	307.6	119.0	129.3
1.6	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	128.6	159.9	187.9	307.6	119.0	129.3
1.8	109.5	110.3	122.2	151.9	140.8	128.6	159.9	187.9	307.6	119.0	129.3

Figuur C- 2 Kleinste beschikbare breedte in een sectie op een waterdiepte van 2,5m. Een cel is grijs gemarkeerd als er onvoldoende peilgegevens beschikbaar zijn om de beschikbare breedte vast te stellen. De geul zal dan breder zijn dan de vermelde waarde.

M A R I N
P.O. Box 28

6700 AA Wageningen
The Netherlands

T +31 317 49 39 11
E info@marin.nl

I www.marin.nl