

Duurzame vaargeuldimensies Waddenzee

**Prognose morfodynamiek tot 2045 op basis van expert
judgement
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat**

2 december 2024 - Public



Contactpersoon

JELMER CLEVERINGA
Senior Advisor Coastal
Morphodynamics

T +31 (0)88 4261 440
M +31 (0)6 5073 6850
E jelmer.cleveringa@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

Inhoudsopgave

Management samenvatting	5
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding	10
1.2 Doelstelling en scope	10
1.3 Aanpak	10
1.4 Leeswijzer	11
2 Knelpunten veerverbindingen Nederlandse Waddeneilanden	13
2.1 Texel	13
2.2 Harlingen - Noordzee (deel Vlieland & Terschelling route)	14
2.3 Vlieland	15
2.4 Terschelling	16
2.5 Ameland	17
2.6 Schiermonnikoog	19
2.7 Generieke knelpunten	20
2.7.1 Beleidskeuzes & Juridische kader	20
2.7.2 Geen gevolgen van versnelde zeespiegelstijging	20
2.7.3 Impact van meer baggeren op een veerverbinding	21
2.7.4 Impact van de lengte van de veerverbinding	21
3 Oplossingsrichtingen veerverbindingen	23
3.1 Inzet andere baggertechnieken	23
3.2 Reductie baggerbezwaar door aanpassing diepte en/of breedte vaargeul	25
3.3 Scenario's Holwert-Ameland met aanpassingen diepte en/of breedte vaargeul	27
4 Synthese & advies	32
4.1 Synthese	32
4.2 Advies oplossingsrichtingen veerverbindingen	35
Referenties	39
Bijlage A. Huidige dimensies vaargeulen, havens en omvang baggerwerkzaamheden	41
Inleiding	41
Diepte en breedte van de vaargeul	41
Baggeren en het gebruik van de vaargeul	42
Juridische kader baggerwerkzaamheden	42
Informatie per veerverbinding	43

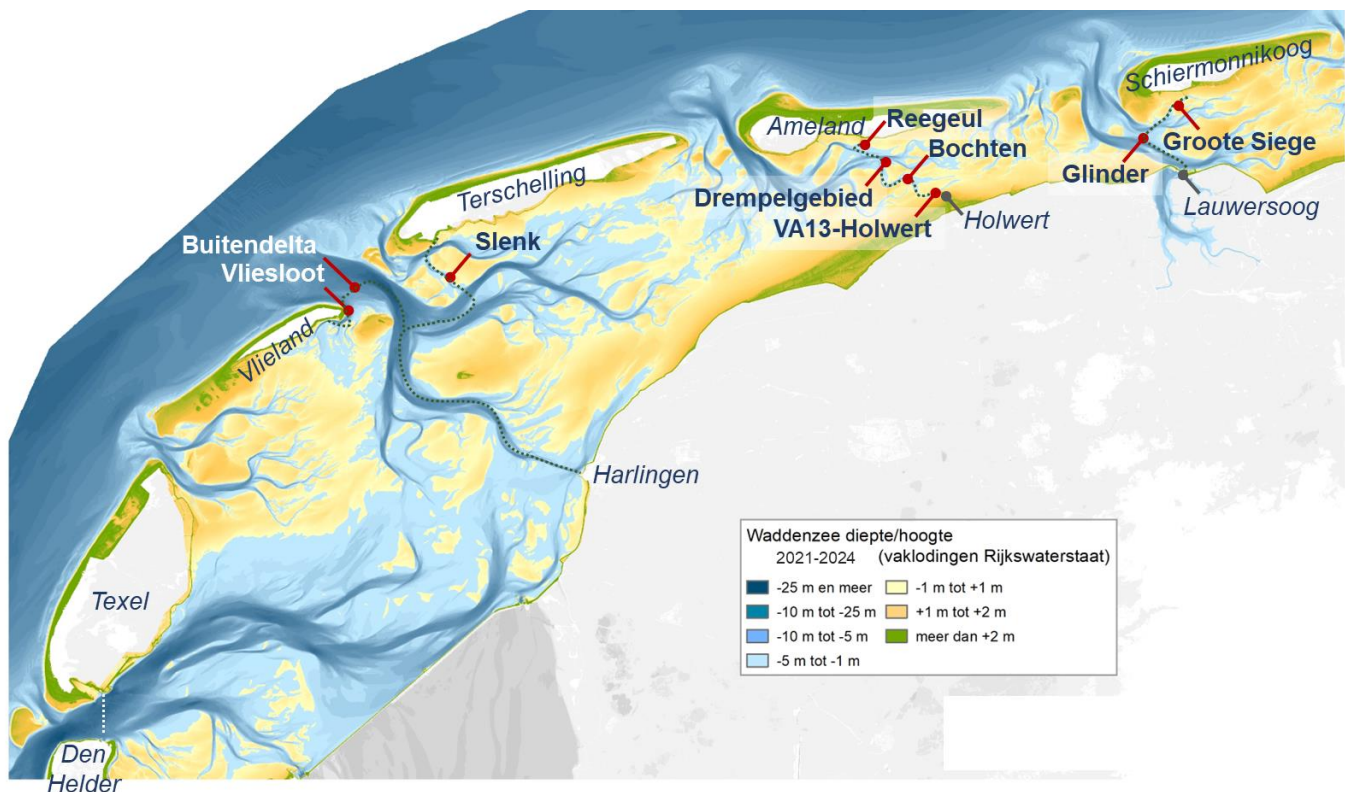
Texel	43	
Minimale diepte en breedte		43
Baggerwerkzaamheden		44
Terschelling & Vlieland	45	
Minimale diepte en breedte		45
Baggerwerkzaamheden		46
Ameland	49	
Minimale diepte en breedte		49
Baggerwerkzaamheden		50
Schiermonnikoog	52	
Minimale diepte en breedte		52
Baggerwerkzaamheden		53
Bijlage B. Morfologie van de veerverbindingen	55	
Morfologische elementen	55	
Sedimentatie in havens		55
Drempelgeul		56
Staartgeul		59
Kortsluitgeul		60
Buitendeltageul		61
Texel	63	
Terschelling & Vlieland	63	
Ameland	65	
Schiermonnikoog	66	
Bijlage C. Autonome morfologische ontwikkelingen	68	
Scenario's voor zeespiegelstijging	68	
Ontwikkelingen in kombergingsgebieden	68	
Lokale ontwikkelingen	70	
Inleiding		70
Veerverbindingen		72
Colofon	75	

Management samenvatting

Inleiding

In de komende concessieperiode voor de veerverbindingen van 2029 tot 2045 zullen de getijdegeulen in de Waddenzee veranderen vanwege de kenmerkende dynamiek van het gebied. Veranderingen van de omvang en vorm van getijdegeulen die onderdeel zijn van de veerverbindingen kunnen gevolgen hebben voor hun bruikbaarheid voor de veerboten. Om de getijdegeulen te blijven gebruiken kan baggeren noodzakelijk zijn. De doelstelling van deze studie is de beantwoording van de vraag welke vaargeuldimensies binnen de komende concessietermijn houdbaar blijven. Daarbij is gekeken naar de beleids- en beheerkaders rond vaargeulen, baggeren en verspreiden van baggerspecie en natuurwaarden en zijn de technische mogelijkheden beschouwd. Per veerverbinding zijn op basis van literatuur en expert judgement prognoses gegeven van de verwachte veranderingen en de gevolgen voor het gebruik door de veerboten en het baggeren. Daarbij zijn de huidige minimale breedte en diepte van de verbindingen, zoals vastgelegd in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) als referentie gebruikt.

Onderstaand zijn de knelpunten per route benoemd (Figuur Samenvatting). Dit zijn knelpunten op het gebied van geuldynamiek en baggervolumes. De veerroute Den Helder – Texel kent nu en in de toekomst geen knelpunten en is daarom niet toegelicht.



Figuur samenvatting. Overzichtskartaal met de verbindingen en de knelpunten.

Knelpunten veerroute Harlingen-Vlieland

Het grootste deel van deze verbinding loopt in de Waddenzee via de route van Harlingen naar de Noordzee, waar de ondieptes door baggeren op een minimale diepte van NAP -7,5 wordt gehouden. De minimale diepte voor de zeescheepvaart is groter dan de minimale diepte voor de veerverbindingen naar Vlieland en Terschelling die via deze route lopen. Zolang onderhoud van de verbinding plaatsvindt voor de zeescheepvaart, zijn er geen knelpunten op de route Harlingen-Noordzee voor de veerverbindingen.

Vanaf de Harlingen-Noordzee route naar de veerhaven op Vlieland loopt de verbinding over de buitendelta en door de Vliesloot. Baggeren is hier tot nu toe niet nodig. Toekomstige verondiepingen op de buitendelta vanwege de grote morfodynamiek van dit gebied zijn niet uitgesloten. Het gevolg voor de veerverbinding kan dan zijn dat een ruimere route over de buitendelta moet worden gevolgd. Voor de Vliesloot geldt dat verondieping en versmalling met gevolgen voor de vaargeulen kunnen optreden. Dit kan betekenen dat hier op termijn wel zal moeten worden gebaggerd.

Knelpunten veerroute Harlingen-Terschelling

Het grootste deel van deze verbinding, van Harlingen tot aan de West Meep en het Schuitengat komt overeen met de zeescheepvaartverbinding naar de Noordzee, die op een diepte van NAP -7,5 m wordt onderhouden. Het laatste deel van de veerverbinding loopt niet via de Noordzeeroute en hier treden knelpunten op. Het betreft twee routes, namelijk de huidige route via de West Meep en Slenk en de alternatieve route via het Schuitengat. De route via Slenk wordt onderhouden op minimale breedte van 120 m en minimale diepte van NAP -5 m. De omvang van de baggerwerkzaamheden in Slenk is de afgelopen jaren vergelijkbaar. Bodemveranderingen in Slenk bestaan uit uitbochten en het opschuiven van de geulingang aan de Terschellingzijde. Deze veranderingen kunnen in de toekomst leiden tot meer baggerbezwaar. De route via het Schuitengat wordt niet onderhouden, waardoor de beschikbaarheid van deze geul voor de veerverbinding afhankelijk is van de autonome veranderingen van de geul met zijn drempels. Het op diepte houden van het Schuitengat door baggeren is tot nu toe afgeraden, omdat morfodynamiek hier zeer groot is, waardoor de voorspelbaarheid van de sedimentatie en de omvang van de baggerwerkzaamheden zeer beperkt zijn. Het in- en uitvaren van het Schuitengat naar en van het Vlie is daarnaast lastig vanwege de sterke stroming en golven. Het is niet uitgesloten dat het Schuitengat door autonome ontwikkelingen wel een bruikbare en stabiele geul voor de veerverbinding gaat vormen.

Knelpunten veerroute Holwert-Ameland

De verbinding Holwert-Ameland kent het grootste baggerbezwaar van alle verbindingen, waarbij sprake is van verschillende knelpunten. Door deze knelpunten bestaat het risico dat in de komende concessieperiode meer dan de huidig toegestane volume moet worden gebaggerd. Vanaf de veersteiger Holwert naar de veersteiger bij Nes gaat het om de morfologische veranderingen in:

Het uiteinde van de vaargeul tot aan de Veersteiger Holwert
 Drie bochten met (potentiële) drempels
 De kruising met Scheepsgat-Zuiderspruit
 Het Brandgat en de Reegeul tot en met de veersteiger Ameland

(1) Het uiteinde van de vaargeul wordt zeer intensief gebaggerd, omdat de omvang van deze geul van nature sterk is afgenomen. Naar verwachting gaat dit tot 2045 niet in positieve zin veranderen, waardoor dit een permanent knelpunt blijft met kans op verslechtering. (2) In twee van de drie bochten gaat het uitbochten door, zodat de lengte van de verbinding toeneemt. Het verdere uitbochten van de eerste bocht vanaf Holwert lijkt niet meer plaats te vinden. Met het uitbochten bestaat ook kans op toenemende drempelvorming tussen de bochten en daardoor kan de lengte toenemen waarover in dit deel van de geul gebaggerd moet worden. Om de gevolgen van het uitbochten tegen te gaan, kan het verstandig zijn om bochtafsnijdingen te baggeren, vergelijkbaar met de bochtafsnijding uit 2018. De afsnijdingen ontstaan niet meer van nature. (3) De vaargeul kruist het drempelgebied Scheepsgat-Zuiderspruit en dat is een zeer complex en veranderlijk gebied met sterke (dwars)stromingen. De optredende veranderingen in de ligging van de geulen en drempels kunnen leiden tot nieuwe knelpunten en toenemende baggerinspanningen, maar kunnen ook tot gevolg hebben dat de invloed van de drempels afneemt. (4) Het laatste stukje van de verbinding naar Ameland, door het Brandgat en de Reegeul is de afgelopen tientallen jaren zeer stabiel. Ook in de toekomst worden hier geen knelpunten verwacht.

Knelpunten veerroute Lauwersoog-Schiermonnikoog

De verbinding van Lauwersoog naar de veersteiger op Schiermonnikoog kent in de huidige situatie twee locaties waar wordt gebaggerd, namelijk bij de geul Glinder en in de nabijheid van de veersteiger van Schiermonnikoog in de Grote Siege. Glinder verbindt de twee hoofdgeulen van het zeegat en naar verwachting wordt het Gat van Schiermonnikoog groter en neemt de omvang van de geul Zoutkamperlaag af. De bodemveranderingen in de omgeving van de vaargeul Glinder zijn groot en Rijkswaterstaat wil de ligging van de vaargeul Glinder aanpassen aan die ontwikkelingen. Bij de Glinder zullen in de toekomst veranderingen blijven optreden met gevolgen voor de bruikbaarheid van de veerverbinding. Hoewel de omvang van de baggerinspanningen in de Glinder voor de langere termijn niet goed voorspelbaar zijn, wordt verwacht dat hier geen groot knelpunt gaat ontstaan. De autonome veranderingen van de omvang van Grote Siege zijn sterk afhankelijk van de ontwikkelingen van de wadplaten en van concurrerende geulen. Het is niet uitgesloten dat het baggerbezwaar hier toeneemt, zowel nabij de veersteiger, als op de drempel in Grote Siege. De kans dat dit gebeurt en de omvang van de gevolgen zijn veel kleiner dan bij de vaargeul Holwert-Ameland.

Geen gevolgen van versnelde zeespiegelstijging

In grote delen van de Waddenzee is de afgelopen tientallen jaren meer zand en slib terechtgekomen dan nodig is voor het bijhouden van de zeespiegelstijging. Lokaal, bij de verbinding naar Ameland, heeft dit geleid tot een sterke afname van de omvang van de getijdegeulen en een toename van het baggervolume. Voor de toekomst wordt een versnelling

van de snelheid van zeespiegelstijging verwacht. Binnen het tijdsbestek tot en met 2045 zal de versnelde zeespiegelstijging echter niet leiden tot grotere getijdegeulen of een afname van de te baggeren volumes. De komende decennia dient nog rekening te worden gehouden met het hoger worden van de wadplaten, met name langs de vastelandskust, waardoor lokaal de omvang van geulen verder afneemt.

Oplossingsrichtingen veerverbindingen

Voor de veerverbindingen is gekeken naar de mogelijkheden om door aanpassingen in de vaargeuldimensies of het beheer de risico's voor het in stand houden te beperken. De urgentie van aanpassingen is gekoppeld aan de inschatting van de risico's per verbinding, waarvan de samenvatting is opgenomen in *Tabel 1-1*. Voor alle verbindingen geldt het overkoepelende risico dat door aanpassen of zelfs wegvallen van het vigerende juridische kader voor het baggeren en verspreiden in de Waddenzee de juridische grondslag wijzigt of vervalt (via het Beheerplan Natura 2000, onder Categorie 2: Vrijgestelde vergunningsplichtige activiteiten met specifieke voorwaarden). Onder het tabel zijn de risico's toegelicht.

Tabel 1-1 Risico's per veerverbinding op drie vlakken: morfologie, juridisch en technisch. Juridisch gezien zijn drie risico's beschouwd: 1) Baggervolume: het baggervolume neemt toe en overschrijdt waarschijnlijk het juridisch vastgelegde baggerplafond. 2) Baggerlocaties: er komen baggerlocaties bij. 3) Verspreidingslocaties: Er moet meer verspreid worden dan juridisch mag.

Verbinding	Morfologie	Juridisch*			Technisch	Samen-gevat
		Bagger-volumes	Bagger-locaties	Ver-spreidings-locaties	Uitvoering baggeren en verspreiden	
Texel	n.v.t.					Geen risico's
Harlingen-Noordzee	Zeescheepvaart, diepte NAP -7,5 m: Geen knelpunt veerboden, vanwege het baggeren voor de zeescheepvaart					
Vlieland (exclusief Harlingen-Noordzee)	Richel & Vliesloot: verondiepingen	Geen bagger-volume Vliesloot	Geen baggerlocatie Vliesloot	Geen verspreidings volume voor Vliesloot		Laag risico
Terschelling (exclusief Harlingen-Noordzee)	Slenk: bochten en verondiepingen					Laag risico
Ameland	Knelpunten overal in Vaargeul, exclusief Reegeul	Totaal vergund ruim, maar bepaalde baggerlocaties overschrijding	Ja, in de uitbochtende geul en op de drempel		Uitvoering baggerwerkzaamheden vraagt om veel baggercapaciteit	Hoog risico door combinatie van factoren
Schiermonnik-oog	Glinder & Groote Siege		Drempel Groote Siege			Gemiddeld risico

Den Helder- Texel: Deze verbinding kent geen risico's en daarom zijn geen oplossingsrichtingen beschouwd.

Harlingen-Noordzee: Dit deel van de verbinding naar Vlieland en Terschelling kent geen risico's vanwege de veerverbindingen en daarom zijn geen oplossingsrichtingen beschouwd.

Harlingen-Vlieland: Nabij Richel dient rekening te worden gehouden met het aanpassen en langer worden van de route vanwege het ontstaan van ondieptes. Indien bij de Vliesloot een dusdanige verondieping optreedt dat deze gebaggerd moet worden, dan zal voor toestemming gezorgd moeten worden voor het verspreiden van deze baggerspecie op de verspreidingslocatie Vliesloot. Voor deze route is het zinvol om een minimale breedtemaat af te

spreken. Het gebruik van minder diep stekende veerboten kan worden overwogen, maar vanwege het beperkte risico is dit niet in detail beschouwd.

Harlingen-Terschelling: De route kan iets veranderen in lengte, door veranderingen van de bochten in de verschillende geulen. Het gebruik van minder diep stekende schepen kan worden overwogen vanwege het optreden van ondieptes en baggerwerkzaamheden in Slenk (of Schuitengat), maar vanwege het beperkte risico is dit niet in detail beschouwd.

Holwert-Ameland: Voor de vaargeul Holwert-Ameland wordt verwacht dat de lengte van de route opnieuw zal toenemen door uitbochten en dat de lengte waarover gebaggerd moet worden ook gaat toenemen. Voor deze vaargeul zijn een aantal scenario's beschouwd voor aanpassingen aan de omvang van de vaargeul in relatie tot de in te zetten schepen (zie hieronder). Het vergroten van de baggercapaciteit bij uitbreiding van de knelpunten lijkt praktisch niet uitvoerbaar, omdat de inspanning die tegenwoordig wordt geleverd al fors is.

Lauwersoog-Schiermonnikoog: Door de verbinding via Glinder frequent aan te passen aan de veranderingen in dit dynamische gebied kan het baggervolume naar verwachting beperkt blijven. Het lijkt niet praktisch mogelijk om de breedte en diepte van de vaargeul in de Grote Siege te beperken, omdat deze nu al minimaal zijn.

Holwert-Ameland: Kleinere schepen en andere vaargeuldimensies

Voor de veerverbinding Holwert-Ameland zijn vijf scenario's ontwikkeld met de huidige en kleinere veerboten (voor de volledige studie zie RHDHV, 2024). Bij twee van de scenario's vindt het personen en autovervoer tegelijkertijd plaats met hetzelfde schip (net zoals nu). De andere drie scenario's betreffen gescheiden vervoer van auto's en personen. De diepgang en breedte van de schepen verschillen per scenario en daarmee nemen de minimale diepte en/of de minimale breedte van de vaargeul af. Daardoor kan de noodzaak om te baggeren afnemen, maar met de kleinere onderhoudsdimensies kan het baggeren ook lastiger worden. Bij afname van de minimale diepte moeten de sleepopperzuiger minder worden beladen, waardoor de efficiency afneemt. Bij afname van de breedte van de vaargeul kunnen de baggerschepen minder makkelijk manoeuvreren en ook dat resulteert in een afname van de efficiency. Daarnaast wordt het passeren van baggerschepen en de veerboten ingewikkelder.

De scenario's zijn vergeleken met de huidige praktijk. De grootste afname van het te baggeren volume treedt op als de geul bij scenario 5 smaller en flink ondieper wordt, omdat de omvang dan het meest lijkt op de natuurlijke situatie. Het scenario waarbij de minimale breedte van de geul wordt gereduceerd, in combinatie met een beperkte afname van de minimale diepte bij scenario 2 levert ook een relatief grote afname van het te baggervolume. Maar bij een smallere en minder diepe geul is het veel lastiger om de baggerwerkzaamheden uit te voeren, zodat de scenario's 2 en 5 ondanks de grootste afname van het baggervolume in de praktijk moeilijk onderhouden kunnen worden. Scenario 4 kent door de sterke afname van de minimale diepte duidelijke beperkingen aan de inzet van de baggertechnieken en aan de efficiency van het baggeren, waardoor dit scenario ook lastig uitvoerbaar zal zijn. Daarmee blijven de scenario's 1 en 3 over. Voor scenario 3 geldt dat de reductie van het baggervolume zeer beperkt zal zijn, omdat alleen sprake is van een beperkte afname van de minimale diepte. Scenario 1 kent naar verwachting wel een flinke reductie van het baggervolume, maar de uitvoering van de baggerwerkzaamheden wordt wel complexer. Met name de afname van de breedte beperkt de inzet van de sleepopperzuigers.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat werkt met een werkgroep aan de 'Routekaart Bereikbaarheid', binnen het Uitvoeringsprogramma Waddengebied 2021-2026 van de rijksoverheid. Het doel van de werkgroep is om te komen tot een goede en toekomstbestendige bereikbaarheid van de Waddeneilanden op de lange termijn. Voor de veerbootconcessies 2029-2044 voor de veerverbindingen naar de Waddeneilanden is het essentieel om de meedingende partijen inzicht te geven in de uitgangspunten. Een van de uitgangspunten is de betrouwbare beschikbaarheid van een vaargeul met voldoende diepgang en breedte voor de inzet van de beoogde vloot.

Het is steeds duidelijk geworden dat het onderhouden van een deel van de vaargeulen in de Waddenzee op de gewenste diepte en breedte lastiger is geworden. Enerzijds blijkt het praktisch moeilijk uitvoerbaar om de noodzakelijke baggerinspanning te leveren en anderzijds krijgen de ecologische gevolgen van het baggeren en het verspreiden van baggerspecie steeds meer aandacht en is in de Agenda Waddengebied 2050 (Rijk-regio Projectgroep Agenda voor het Waddengebied 2050, 2020) ingezet op een reductie van het baggeren. Een van de denkrichtingen om de baggerinspanning te beperken en daarmee de ecologische impact te verminderen, is het reduceren van de diepte en/of breedte van een deel van de vaargeulen. Zo'n stap zou gevolgen hebben voor de bruikbaarheid van de vaargeul voor schepen met specifieke diepgang, breedte en lengte.

1.2 Doelstelling en scope

De doelstelling van deze rapportage is om vast te stellen en vast te leggen of de vaargeulendimensies naar de Nederlandse Waddeneilanden (Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog) houdbaar blijven binnen de volgende concessiemijn van 2029 tot en met 2044. Het betreft de houdbaarheid vanuit verschillende invalshoeken:

Juridisch: De vastgelegde vaargeuldimensies, baggervolumes en de verspreidingslocaties;

Morfologisch: De veranderingen van de natuurlijke ligging van geulen en platen in de Waddenzee;

Technisch: De verschillende baggertechnieken en de praktische haalbaarheid.

In deze studie is geen gebruik gemaakt van numerieke modellen voor voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen (zie onderstaand tekstkader).

Numerieke modellen voor voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen

In deze studie is geen gebruik gemaakt van numerieke modellen voor voorspellingen van de morfologische ontwikkelingen tot 2045. De redenen om geen morfologische modellen in te zetten voor de prognoses zijn:

- Morfologische modellen op de relatief kleine ruimtelijke schaal waar de sedimentatie in vaargeulen optreedt zijn nog niet operationeel beschikbaar voor de tijdschaal van 30 jaar.*
- Het ontwikkelen en daarna toepassen van verschillende modellen voor de vaargeulen zou te tijdrovend zijn voor het beschikbare tijdspad en zou naar verwachting veel discussie opleveren over de bruikbaarheid en toepasbaarheid van de uitkomsten.*

Nota bene: deze motivatie doet niet af aan de bruikbaarheid van modelberekeningen voor het vergelijken van morfologische ontwikkelingen en voor het uitvoeren van effectanalyses.

1.3 Aanpak

De aanpak is gebaseerd op de interpretatie van bestaande informatie en gegevens, in combinatie met expert judgement. De aanpak omvat een aantal stappen:

Overzicht van de huidige situatie

Beschrijving van de veerverbindingen naar Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog.

Overzicht van de vigerende juridische ruimte (dieptes, breedtes en baggervolumes) per verbinding, inclusief bron.

Duiding van de morfologische setting van de verschillende verbindingen in relatie tot bestaande en mogelijke toekomstige knelpunten. De knelpunten omvatten zowel de vaargeuldimensies, als het daarmee samenhangende baggerwerk en ook de eventuele gevolgen voor de lengte van de vaarroutes.

Autonome morfologische ontwikkelingen

Beschouwing van de scenario's voor zeespiegelstijging

Bepaling van het effect van zeespiegelstijging en andere autonome ontwikkelingen, waarbij is gekeken naar de verwachte autonome morfologische ontwikkelingen tot 2045 op de kombergingsgebieden als geheel (zie *Figuur 1-1*) en naar de meer lokale effecten binnen de kombergingsgebieden. Dit is gedaan op basis van historische trends, gepubliceerde (model-) studies en expert judgement.

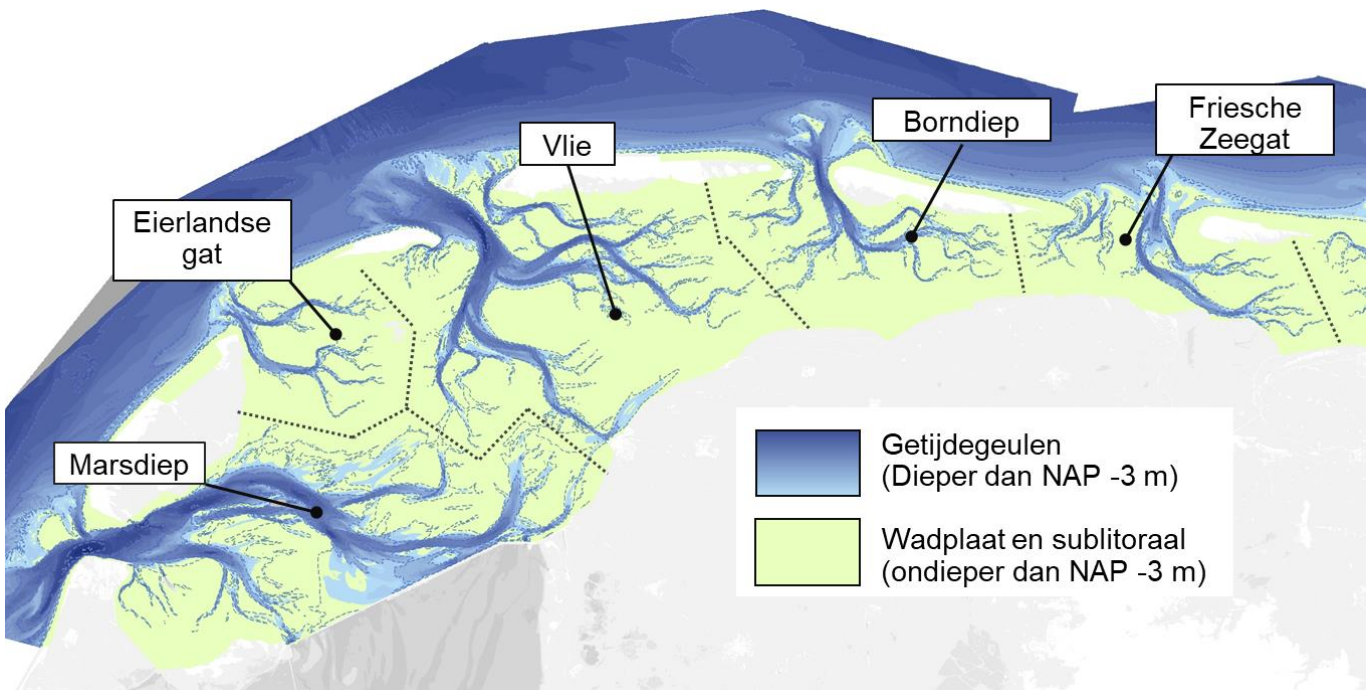
De huidige en toekomstige vaargeuldimensies zijn vergeleken met de potentiële dimensies van de vaargeulen in evenwicht (de dimensies die de geul van nature zou hebben zonder menselijke ingrepen in het gebied). Daarbij is rekening gehouden met de verwachte autonome ontwikkelingen onder invloed van zeespiegelstijging en met de verschillende factoren die bijdragen aan de onzekerheden.

Mogelijke aanpassingen in het beheer

Redenering over de technische (on)mogelijkheden voor het reduceren van het baggerbezwaar, op basis van de kennis van tegenwoordig beschikbare baggertechnieken.

Voor die locaties waar het natuurlijke doorstroomprofiel (evenwichtsprofiel) sterk afwijkt van de afgesproken breedte en diepte, is beschouwd in hoeverre aangepaste dimensies zullen resulteren in een beperking van de baggerwerkzaamheden. Hierbij is gecontroleerd in hoeverre aangepaste dimensies beperkingen opleveren voor de inzet van baggertechnieken en -schepen. Dit is gedaan door middel van een kwalitatieve benadering.

Een overzicht van de andere potentiële knelpunten en kansen voor de benutting van de vaargeulen.



Figuur 1-1 Overzichtskartaal van de kombergingsgebieden van de Waddenzee en de Eems-Dollard.

1.4 Leeswijzer

Het 1^e hoofdstuk gaat in op de vraagstelling, doelstelling en aanpak. Hoofdstuk 2 bevat beschrijving van elke veerverbinding met de minimale dimensies, de reeds opgetreden knelpunten en de verwachte toekomstige knelpunten. Daarbij zijn ook algemene knelpunten opgenomen. Hoofdstuk 3 gaat over de mogelijkheden om de knelpunten te beperken. Tenslotte worden in hoofdstuk 4 de bevindingen uit hoofdstukken 2 en 3 gecombineerd en wordt een vertaling gemaakt naar de risico's per veerverbinding.

De opbouw van het rapport is gericht op de toegankelijkheid van de informatie. Daarom zijn enkel verdiepende beschrijvingen en analyses opgenomen in de bijlagen A, B en C.



02203927

2 Knelpunten veerverbindingen Nederlandse Waddeneilanden

Dit hoofdstuk geeft een beknopte beschrijving van de veerverbindingen naar Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland, Schiermonnikoog, met inzicht in de omvang van de vaargeul, het huidige baggerbezwaar, de knelpunten en de verwacht toekomstige ontwikkelingen. Samengevat is per veerverbinding gekeken naar de morfologische, juridische en technische risico's/knelpunten (paragraaf 2.1-2.6). Daarnaast zijn er knelpunten die van belang zijn voor alle veerverbindingen (paragraaf 2.7). Hiermee is dit hoofdstuk een samenvatting van de drie bijlagen bij dit rapport:

Bijlage A geeft een overzicht van de huidige dimensies van de vaargeulen en de veerhavens, zoals vastgelegd in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en het Nationaal Water Programma 2022-2027 (Rijksoverheid, 2022). Ook wordt een overzicht gegeven van de baggervolumes zoals vastgelegd in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en wordt getoond welke baggerinspanning de afgelopen jaren is geleverd.

Bijlage B geeft een basis overzicht van de morfologische kenmerken van de vaargeulen en havens in de Waddenzee en de bijbehorende dynamiek. Dit basisoverzicht wordt daarna toegepast op de (delen van de) verschillende veerverbindingen.

Bijlage C omvat de doorkijk naar de toekomstige ontwikkelingen, waarbij zowel de invloed van de versneld stijgende zeespiegel wordt beschouwd, op de schaal van de Waddenzee en kombergingsgebieden, als de lokale ontwikkelingen.

2.1 Texel

De veerverbinding naar Texel vertrekt vanaf de haven van Den Helder en doorkruist de diepe en brede getijde geul: het Marsdiep (*Figuur 1-2*). Deze geul is bij de oversteek naar Texel op zijn diepste punt 21 m diep. Langs de gehele veerverbinding is de bodemligging meer dan 10 m diep.

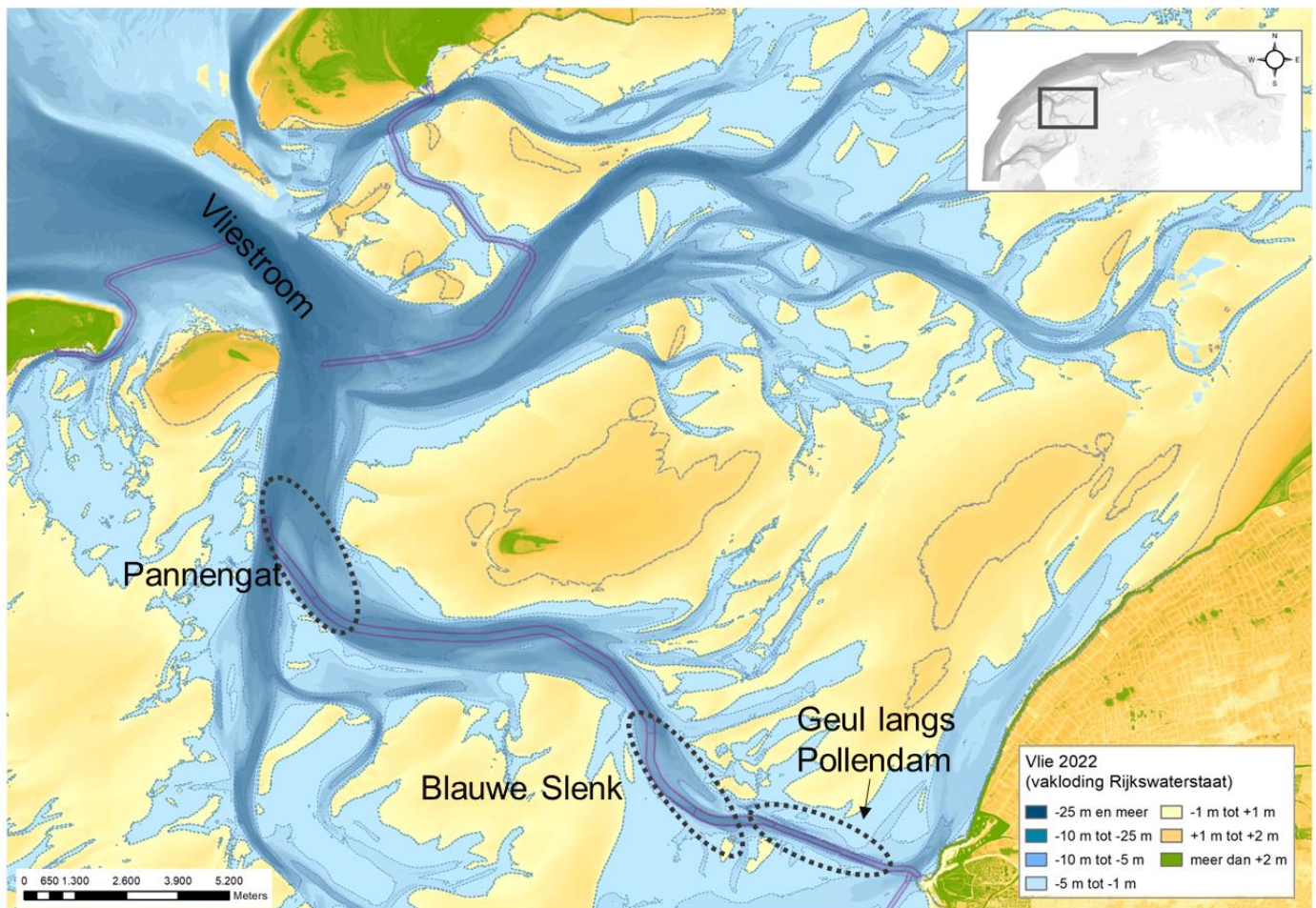
De limiterende dimensie op de veerroute naar Texel zijn is de minimale diepte van NAP -6,5 m in de havens van zowel Texel als Den Helder. Er zijn geen knelpunten wat betreft de dimensies in de vaargeul, omdat de geul van nature zeer groot en diep is in het zeeget. De volumes die worden gebaggerd in de havens zijn klein en vormen geen knelpunt. **Deze veerroute bevat dan ook geen risico's morfologisch, juridisch en technisch gezien.**



Figuur 1-2 De veerverbinding van Den Helder (Nieuwe Haven) naar de veerhaven op Texel door het Marsdiep (kaart op basis van de gegevens vaklodingen Rijkswaterstaat 2021).

2.2 Harlingen - Noordzee (deel Vlieland & Terschelling route)

De veerverbinding naar zowel Vlieland als Terschelling start bij de haven van Harlingen en volgt dan de geul langs de Pollendam (Pollengat), Blauwe Slenk en Pannengat (Figuur 1-3). Dit deel van de veerverbinding maakt gebruik van de verbinding voor zeescheepvaart van de Noordzee naar de haven van Harlingen. Vanwege de dieper stekende zeeschepen wordt deze verbinding onderhouden op NAP -7,5 m. Het baggeren dat op verschillende drempels in deze route plaatsvindt, is gericht op de minimale diepte voor de zeescheepvaart. De minimaal benodigde diepte voor de zeescheepvaart is groter dan die voor de veerverbindingen naar Vlieland en Terschelling die via deze route lopen. Zolang onderhoud van de verbinding plaatsvindt voor de zeescheepvaart, zijn er geen knelpunten op de route Harlingen-Noordzee voor de veerverbindingen. **Dit deel van de veerroute bevat daarom geen risico's morfologisch, juridisch en technisch gezien.**



Figuur 1-3 De verbinding van Harlingen naar de Noordzee, met de aftakkingen naar Vlieland en Terschelling (paarse lijnen). De gebaggerde gebieden zijn gemarkeerd (kaart op basis van de gegevens vaklodging Rijkswaterstaat 2022).

2.3 Vlieland

De veerroute naar Vlieland takt af van de route van Harlingen naar de Noordzee op de buitendelta van het Vlie. Daar loopt de route vanaf de diepe geul de Vliestroom en buigt dan af naar het westen om de plaat Richel heen naar de haven van Vlieland (Figuur 1-4). Afhankelijk van het tij (waterstand) en de golven kan de bocht krapper genomen worden om de vaartijd te beperken.

De limiterende dimensie op de veerroute naar Vlieland is de minimale diepte van NAP -5,0 m in de veerhaven op Vlieland (en NAP -4,0 m voor de sneldienst).

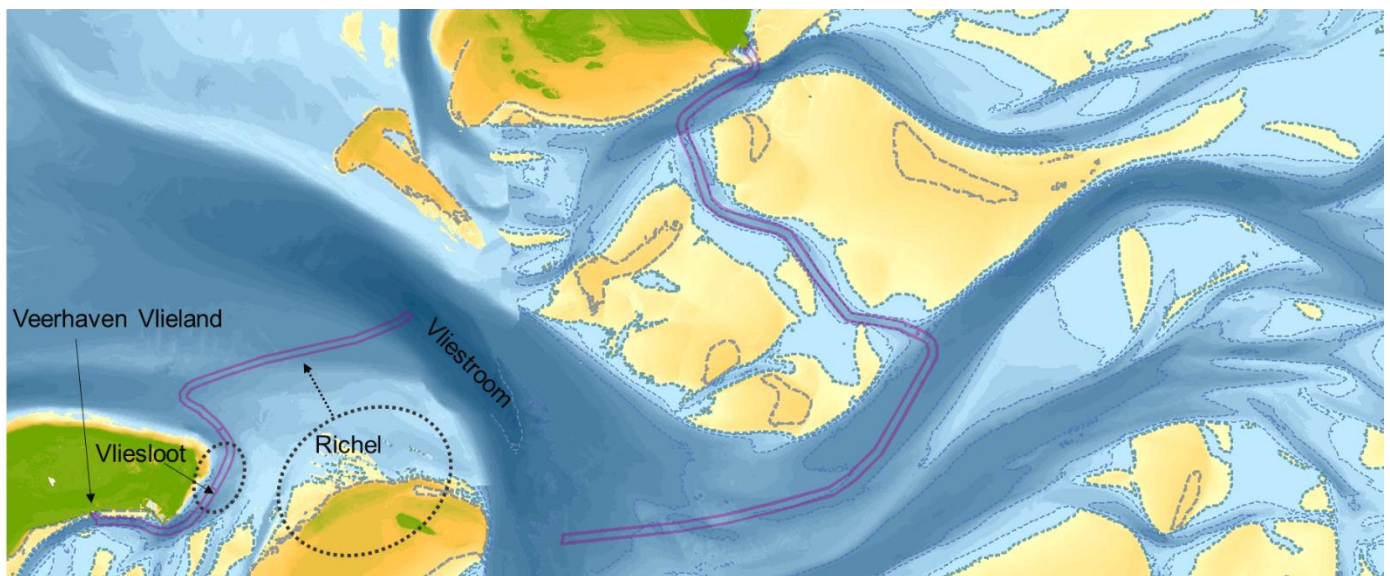
Toekomstige verondiepingen op de buitendelta vanwege de grote morfodynamiek van dit gebied zijn niet uitgesloten. Het gevolg voor de veerverbinding kan dan zijn dat een ruimere route over de buitendelta moet worden gevolgd. Voor de Vliesloot geldt dat verondieping en versmalling met gevolgen voor de vaargeul kunnen optreden. Dit kan betekenen dat hier op termijn wel zal moeten worden gebaggerd. Op dit moment is wel een locatie voor het verspreiden van baggerspecie vastgelegd in het Beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016), maar er is geen baggervolume beschreven voor de Vliesloot. Mocht verondieping en/of versmalling plaatsvinden, dan wordt aanbevolen om ruim voordat deze veranderingen leiden tot beperkingen voor de toegankelijkheid een te baggeren volume vast te stellen en vast te leggen.

Samenvatting risico's veerverbinding Vlieland:

Morfologie: Verondieping en versmalling van Vliesloot.

Juridisch: Geen baggervolume voor Vliesloot beschreven in het beheerplan. Er is wel een verspreidingslocatie vastgelegd.

Technisch: Geen risico.



Figuur 1-4 De veerverbinding vanaf de verbinding Noordzee-Harlingen naar Vlieland via de geul Vliestroom en Vliesloot.

2.4 Terschelling

De veerroute naar Terschelling kent twee opties: via de geul Vliestroom en Schuitengat of via de geul West Meep, Noord Meep en Slenk (Figuur 1-5). De afgelopen paar jaar was de geul Schuitengat alleen bevaarbaar gedurende hoogwater voor de veerdienst en tegenwoordig is dat ook met laagwater het geval. Het Schuitengat wordt niet onderhouden, maar de ligging is wel gunstiger voor de vaartijden. De geschiedenis van het onderhoud van het Schuitengat is toegelicht in Bijlage A en Bijlage B. De andere optie is de officiële vaarroute, die loopt via de geul Slenk. Slenk wordt wel onderhouden door het uitvoeren van baggerwerkzaamheden. De route via Slenk is iets langer dan die via het Schuitengat en resulteert dus in iets langere vaartijden, maar is betrouwbaarder vanwege de beschutte ligging (beschut voor golfslag vanuit de Noordzee).

Het knelpunt wat betreft de vaargeuldimensies (breedte en diepte) is de geul Slenk. Met een minimale breedte van 120 m is dit de smalste en met een minimale diepte van NAP -5 m ook de ondiepste geul op de veerroute naar Terschelling. Slenk is ook het onderdeel van de verbinding waar wordt gebaggerd. De omvang van de baggerwerkzaamheden in Slenk is de afgelopen jaren vergelijkbaar. De opgetreden veranderingen in de bodemligging van Slenk bestaat uit uitbochten en het opschuiven van de geulingang aan de Terschellingzijde. In de toekomst kunnen verdere morfologische veranderingen in Slenk leiden tot meer baggerbezwaar.

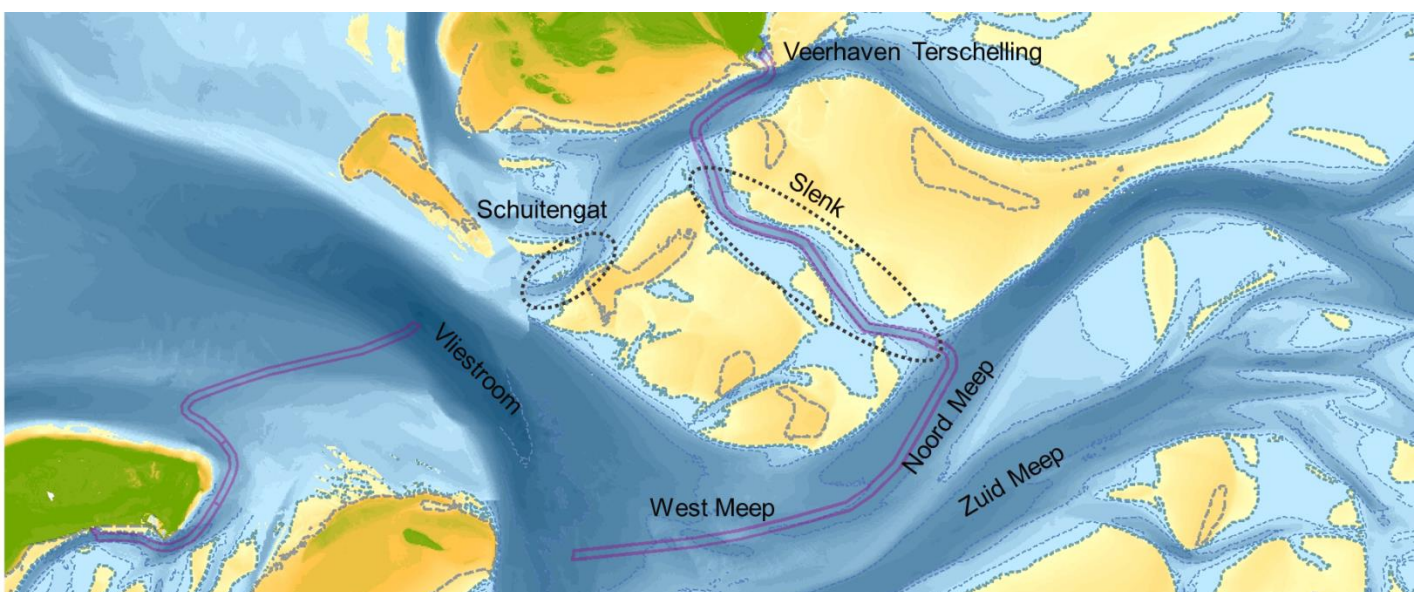
De route via het Schuitengat wordt niet onderhouden, waardoor de beschikbaarheid van deze geul voor de veerverbinding afhankelijk is van de autonome veranderingen van de geul met zijn drempels. Het op diepte houden van het Schuitengat door baggeren is tot nu toe afgeraden, omdat morfodynamiek hier zeer groot is, waardoor de voorspelbaarheid van de sedimentatie en de omvang van de baggerwerkzaamheden zeer beperkt zijn. Het in- en uitvaren van het Schuitengat naar en van het Vlie is daarnaast lastig vanwege de sterke getijstrooming in combinatie met de relatief hoge golven, zeker bij krachtige wind uit het (noord-)westen. Het is niet uitgesloten dat het Schuitengat door autonome ontwikkelingen wel een bruikbare en stabiele geul voor de veerverbinding gaat vormen in de toekomst.

Samenvatting risico's veerverbinding Terschelling:

Morfologie: De geul Slenk vormt door het uitbochten en het opschuiven van de geulingang aan de Terschellingzijde een risico.

Juridisch: Geen risico's. Op juridisch vlak zijn er geen risico's omdat het huidige baggervolume van Slenk ver onder het verwachte baggervolume uit het beheerplan valt (zie Bijlage A, Tabel 1-14).

Technisch: Geen risico's.



Figuur 1-5 De veerverbinding vanaf de verbinding Noordzee-Harlingen naar Terschelling.

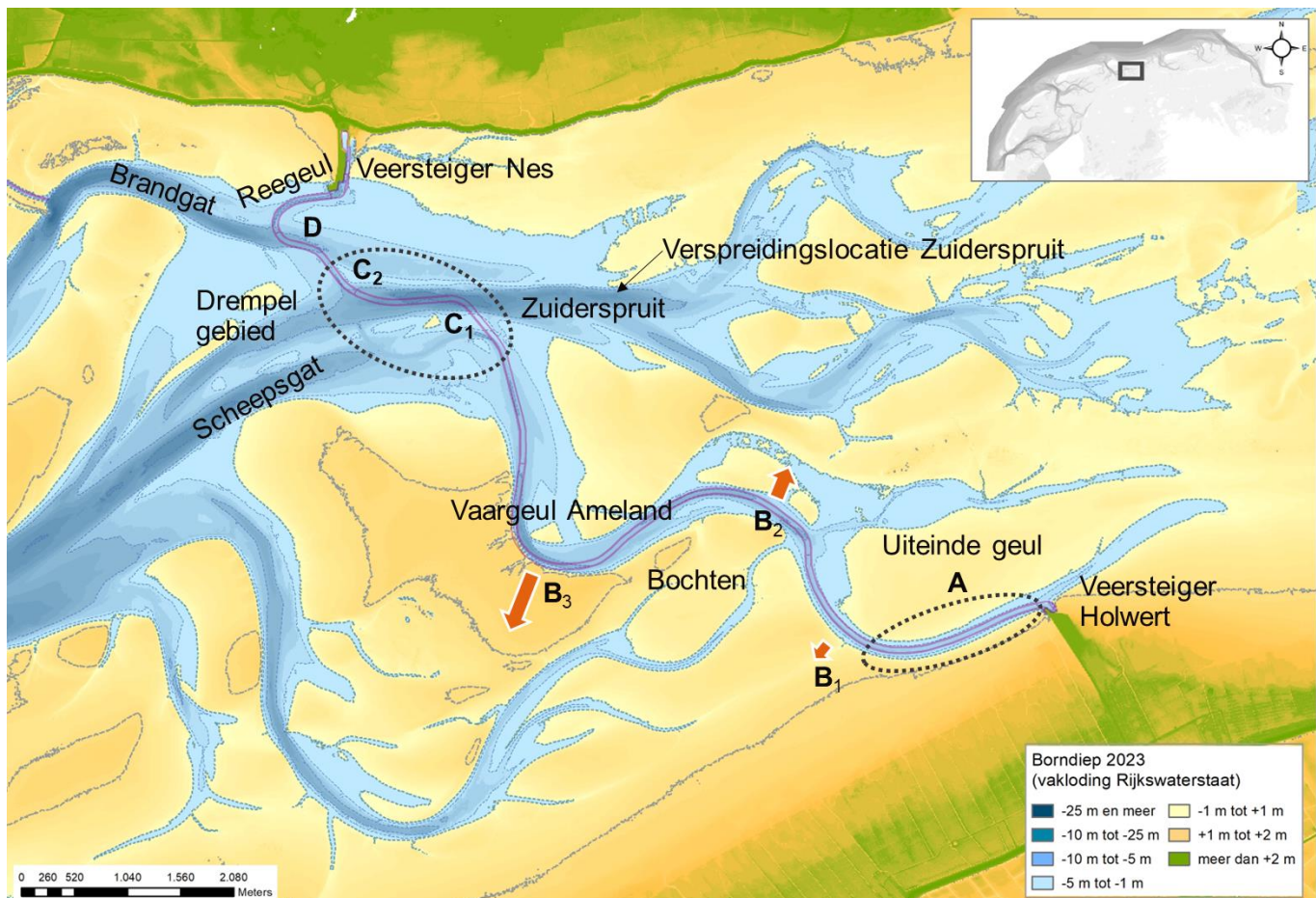
2.5 Ameland

De veerdienst naar Ameland gaat vanaf de haven van Holwert via de vaargeul Ameland, Brandgat en Reegeul naar de Waddenhaven Ameland (Figuur 1-6). De veerverbinding bevindt zich in relatief nauwe en ondiepe geulen van het waddegebied en doorkruist het Scheepsgat. De veerverbinding ligt ver van de diepe hoofdgeul Borndiep waardoor de geulen ter plaatse van de veerverbinding veel smaller en ondieper zijn.

Op de veerroute naar Ameland zijn geen specifieke limiterende dimensies per deelgebied, overal gelden dezelfde vaargeuldimensies. De minimale breedte van de vaargeul is 50 m en de minimale diepte is NAP -3,8 m. Waar de geul niet wordt gebaggerd, is de geul breder dan deze minimale waarde. Dat is belangrijk voor het gebruik van de vaargeul door de veerboten, omdat de veerboten meer breedte nodig hebben om elkaar te passeren.

Wat betreft het baggeren is sprake van verschillende knelpunten. Een zeer uitgebreide samenvatting van eerdere studies, in combinaties met nieuwe analyses en prognoses van de ontwikkelingen is opgenomen in de "Systeemanalyse morfologie inclusief verwachte ontwikkelingen tot 2100" die is uitgevoerd als onderdeel van het Vervolgonderzoek bereikbaarheid Ameland 2030 (Witteveen & Bos, 2022). Vanaf de veersteiger Holwert naar de veersteiger bij Nes gaat het om de volgende knelpunten (Figuur 1-6):

- A. Het uiteinde van de vaargeul tot aan de Veersteiger Holwert
- B. Drie bochten met (potentiële) drempels
- C. De kruising met Scheepsgat-Zuiderspruit
- D. Het Brandgat en de Reegeul tot met de veersteiger Ameland



Figuur 1-6 De veerverbinding van Holwert naar Ameland (kaart op basis van de gegevens vaklodgingen Rijkswaterstaat 2023).

Het deel A van de vaargeul nabij Holwert kent baggervolumes tussen de 900.000 en 1.100.000 m³. Hierbij hoort ook het baggerwerk bij de veersteiger Holwert, waarvan de omvang beperkt is. Vanwege de grote afstand tot de verspreidingslocaties in combinatie met de beperkte diepte en breedte over een grote lengte, is het technische gezien lastig om efficiënt te baggeren in het uiteinde van de vaargeul. De zeer kleine bandbreedte van 20 cm tussen de minimale diepte van NAP -3,8 m en de maximale te baggeren diepte van NAP -4,0 m vormt ook een technische uitdaging voor de baggeraar en beperkt de mogelijkheid om een buffer te baggeren om (snelle) sedimentatie op te vangen. Het betekent dat hier vrijwel permanent wordt gebaggerd.

In gebied B wordt op dit moment niet of vrijwel niet gebaggerd.

In het drempelgebied C liggen de baggervolumes grofweg tussen de 400.000 en de 600.000 m³, flink veel hoger dan het baggervolume dat is opgenomen in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Dit is een zeer dynamisch gebied, waar drempels verschijnen en ook weer verdwijnen. De ligging van de vaargeul wordt zo goed als mogelijk aangepast aan de ligging van de geulen en drempels, om zo goed als mogelijk gebruik te maken van de natuurlijk aanwezige dieptes en zo min mogelijk te baggeren.

Verder wordt gebaggerd bij D in de Reegeul en bij de veersteigers bij Nes (Ameland). De omvang van het baggeren op deze locaties is beperkt.

Op de knelpunten voor het baggeren is de kans aanwezig dat in de komende concessieperiode meer dan het huidige volume moet worden gebaggerd.

A. Het uiteinde van de vaargeul wordt al zeer intensief gebaggerd, omdat de omvang van deze geul van nature sterk is afgenomen. Naar verwachting gaat dit tot 2045 niet in positieve zin veranderen, waardoor dit een permanent knelpunt blijft met kans op verslechtering.

B. In twee (B₂ en B₃) van de drie bochten gaat het uitbochten door, waardoor de lengte van de vaargeul toeneemt. Het verdere uitbochten van de eerste bocht (B₁) vanaf Holwert lijkt niet meer plaats te vinden. Met het uitbochten van bochten B₁ en B₂ bestaat ook kans op toenemende drempelvorming tussen de bochten. Daardoor kan de lengte toenemen waarover in dit deel van de geul gebaggerd moet worden. Om de gevolgen van het uitbochten tegen te gaan, kan het verstandig zijn om bochtafsnijdingen te baggeren, vergelijkbaar met de bochtafsnijding uit 2018. Deze afsnijdingen ontstaan niet meer van nature.

C. De vaargeul kruist het drempelgebied Scheepsgat-Zuiderspruit en dat is een zeer complex en veranderlijk gebied met sterke (dwars)stromingen. De optredende veranderingen in de ligging van de geulen en drempels kunnen leiden tot nieuwe knelpunten en toenemende baggerinspanningen, maar kunnen ook tot gevolg hebben dat de invloed van de drempels afneemt.

D. Het laatste stukje van de verbinding naar Ameland, door het Brandgat en de Reegeul is de afgelopen tientallen jaren zeer stabiel. Ook in de toekomst worden hier geen knelpunten verwacht.

Samenvatting risico's veerverbinding Ameland:

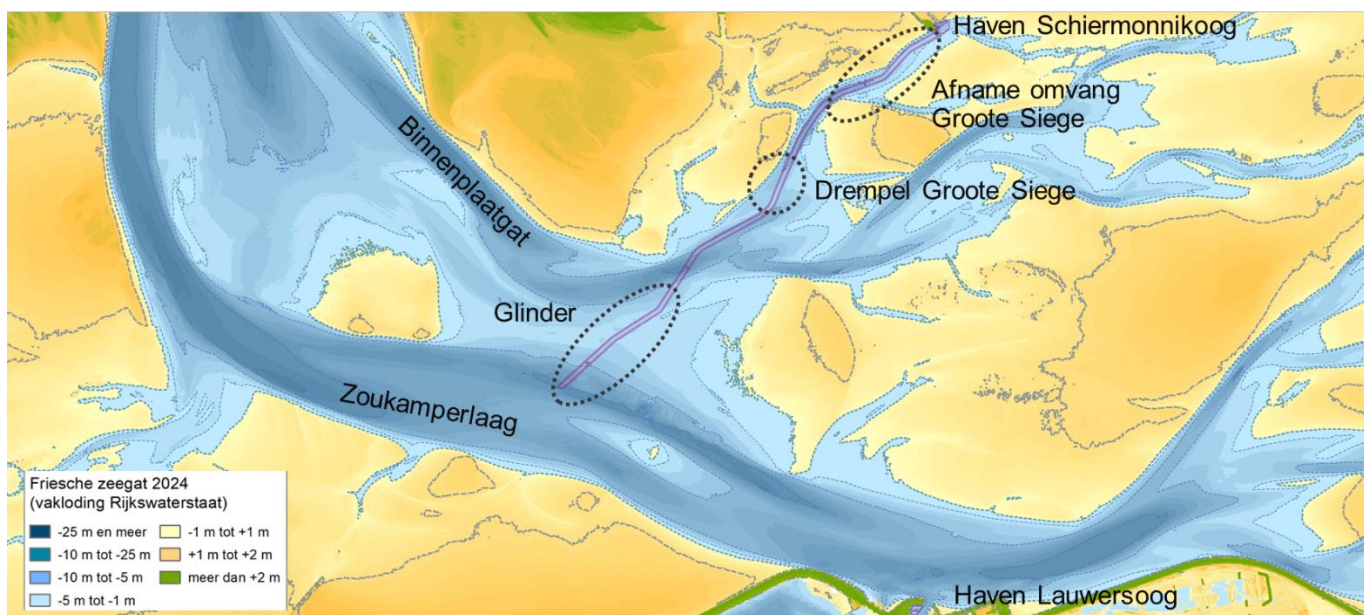
Morfologie: Overall in de vaargeul vinden morfologische veranderingen plaats, exclusief de Reegeul.

Juridisch: Het totaal vergunde baggervolume voor de veerverbinding is ruim maar voor de locatie C (waaronder een deel B) vindt er een overschrijding plaats van het baggervolume zoals opgenomen in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Daarnaast zal in de bochten B₂ en B₃ het uitbochten doorgaan met kans op een toenemende drempelvorming. Hierdoor neemt de lengte waarover gebaggerd moet worden toe.

Technisch: In de huidige situatie vragen de baggerwerkzaamheden al veel baggercapaciteit en dit zal ook in de toekomst een uitdaging blijven. Daarnaast is de zeer kleine bandbreedte van 20 cm tussen de minimale diepte van NAP -3,8 m en de maximale te baggeren diepte van NAP -4,0 m ook een technische uitdaging voor de baggeraar.

2.6 Schiermonnikoog

De veerdienst naar Schiermonnikoog gaat vanaf de haven Lauwersoog via de geulen Zoutkamperlaag, Glinder en de Groote Siege. De Glinder is kortsluitgeul tussen de twee hoofdgeulen van het zeegat. De twee hoofdgeulen maken grote veranderingen door, waarbij het Gat van Schiermonnikoog groter is geworden en de omvang van de Zoutkamperlaag is afgenomen. De vorm en waterdiepte van de kortsluit geul Glinder is daardoor ook veranderd. Vanwege de veranderingen in de bodemhoogte van de kortsluitgeul wil Rijkswaterstaat de ligging van de vaargeul aanpassen, om mee te bewegen met die ontwikkelingen.



Figuur 1-7 De veerverbinding van Lauwersoog naar Schiermonnikoog via de geulen Zoutkamperlaag, de Glinder en Groote Siege (kaart op basis van de gegevens vaklodingen Rijkswaterstaat 2024).

De veerhavens van Lauwersoog en Schiermonnikoog kennen een minimale diepte van respectievelijk NAP -3,75 m en NAP -3,5 m. Voor de geulen Glinder en Groote Siege geldt een minimale diepte van NAP -3,5 m. De minimale bodembreedte is voor Glinder en Groote Siege 50 m¹.

In de Glinder wordt het meeste gebaggerd, tussen de 90.000 m³ en 125.000 m³ per jaar. De gebaggerde volumes in Groote Siege zijn beduidend kleiner, tussen de 23.000 m³ en 71.000 m³ per jaar. In de veerhavens worden ten slotte jaarlijks enkele duizenden kubieke meters gebaggerd.

De kortsluitgeul Glinder tussen de twee hoofdgeulen van het zeegat is van nature zeer veranderlijk. Bij Glinder zullen in de toekomst veranderingen blijven optreden met gevolgen voor de bruikbaarheid door de veerverbinding. De omvang van de baggerinspanningen in de Glinder voor de langere termijn zijn niet goed voorspelbaar, maar verwacht wordt dat hier geen grote toename van de baggerinspanning nodig zal zijn. De autonome veranderingen van de omvang van Groote Siege zijn sterk afhankelijk van de ontwikkelingen van de wadplaten en van concurrerende geulen. Het is niet uitgesloten dat het baggerbezwaar hier toeneemt, zowel nabij de veersteiger, als op de drempel in Groote Siege. De lengte waarover moet worden gebaggerd in Groote Siege zal altijd beperkt blijven in vergelijking met

¹ Voor de minimale bodembreedte van de vaargeulen is een discrepantie zichtbaar tussen de informatie uit het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en die uit het Nationaal Water Programma (Rijksoverheid, 2022). Voor de Glinder is dit 55 m op basis van het beheerplan en 50 m op basis van het Nationaal Water Programma. Voor de Groote Siege is dit 45 m op basis van het beheerplan en ook 50 m op basis van het Nationaal Water Programma. We gaan uit van de waarden uit het Nationaal Water Programma (NWP), omdat deze in de uitvoeringspraktijk worden gehanteerd. In de Reactienota op zienswijzen en adviezen bij het NWP (Rijksoverheid, 2022) is hierover opgenomen "Voor het NWP zijn de afmetingen over een paar knelpunten in het vaargeulonderhoud uit het Beheerplan N2000 Waddenzee als basis genomen en geactualiseerd naar de huidige stand van zaken"

de lengte van de vaargeul Holwert-Ameland. Dat betekent dat de omvang van het de baggerinspanning in Grootte Siege relatief beperkt al blijven. Daarbij is sprake van een kans dat een afname zal optreden van de natuurlijke omvang van Grootte Siege.

Samenvatting risico's veerverbinding Schiermonnikoog:

Morfologie: In de Ginder en de Grootte Siege vinden de meeste morfologische veranderingen plaats.

Juridisch: In de Grootte Siege ligt een drempel welke mogelijk in de toekomst tot een groter baggerbezwaar zal resulteren.

Technisch: Geen risico's.

2.7 Generieke knelpunten

2.7.1 Beleidskeuzes & Juridische kader

In de Waddenzee is een toename opgetreden in het baggeren van de vaargeulen. Voor een deel betreft deze toename de veerverbindingen in de Waddenzee. Bij de veerverbinding Holwert-Ameland heeft de grootste toename plaatsgevonden (zie onder andere het Vervolgonderzoek bereikbaarheid Ameland 2030 van Rijkswaterstaat (2023)). Het baggeren en verspreiden van de baggerspecie heeft verschillende gevolgen voor de natuurwaarden van de Waddenzee. In de Passende beoordeling (Arcadis, 2016) staat dat de gevolgen van het baggeren en verspreiden niet leiden tot significant negatieve gevolgen voor de instandhoudingsdoelstellingen die zijn vastgelegd voor het Natura-2000 gebied Waddenzee. In het Natura-2000 Beheerplan Waddenzee zijn de voorwaarden vastgelegd voor het baggeren en verspreiden, onder Categorie 2: *Vrijgestelde vergunningsplichtige activiteiten met specifieke voorwaarden* (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). In het Natura-2000 Beheerplan Waddenzee is per baggerlocatie opgenomen hoeveel baggerspecie daar wordt gebaggerd (dit is opgenomen in Bijlage A) en zijn de verspreidingslocaties opgenomen. Een knelpunt dat kan gaan optreden is dat de gebaggerde volumes in de veerverbindingen groter worden dan de volumes zoals die zijn opgenomen in het Natura-2000 Beheerplan Waddenzee en dit beperkend werkt voor de uitvoering. Ook de voorwaarden uit het Beheerplan kunnen in potentie leiden tot knelpunten voor de uitvoering.

Het juridische kader voor het baggeren en verspreiden kan veranderen, bijvoorbeeld doordat een nieuw Beheerplan wordt opgesteld en vastgesteld. Door nieuwe inzichten in de ecologische effecten van het baggeren en verspreiden, door negatieve ontwikkelingen van de beschermde waarden of jurisprudentie of veranderende inzichten in de wijze van beoordelen kan de beoordeling van de significantie van de effecten wijzigen. Een voorbeeld van een gewijzigde beoordeling van het baggeren en verspreiden betreft de beoordeling van de cumulatieve effecten in de Eems-Dollard (Dankers, 2022). Het is plausibel dat een andere beoordeling van de significantie van de effecten strenger zal zijn dan eerdere beoordelingen. Het wordt dan noodzakelijk om minder te baggeren en verspreiden, om de negatieve gevolgen te beperken. Dit levert een knelpunt op wanneer minder baggeren en verspreiden betekent dat de minimale diepte en/of breedte van de vaargeul niet kan worden gehandhaafd.

In het Uitvoeringsprogramma (2021-2026) behorende bij de Agenda voor het Waddengebied 2050 is als onderwerp "Ecosysteemgericht baggeren" opgenomen (Omgevingsberaad Waddengebied en Bestuurlijk overleg Waddengebied, 2023). Daarmee wordt beoogd om de gevolgen van het baggeren en verspreiden te reduceren en daarmee natuurherstel te bevorderen, waarbij de bereikbaarheid van de havens en de eilanden wel op orde dient te blijven. Dit is geen knelpunt, maar het onderstreept de urgentie van het reduceren van de negatieve ecologische gevolgen van het baggeren en verspreiden.

2.7.2 Geen gevolgen van versnelde zeespiegelstijging

In grote delen van de Waddenzee is de afgelopen tientallen jaren meer zand en slib terechtgekomen dan nodig is voor het bijhouden van de zeespiegelstijging. Lokaal, bij de verbinding naar Ameland, heeft dit geleid tot een afname van de omvang van de getijdegeulen. Het is een van de factoren die heeft bijgedragen aan de toename van het baggervolume bij de veerverbinding Holwert-Ameland. Voor de toekomst wordt een versnelling van de snelheid van zeespiegelstijging verwacht, waarvoor verschillende scenario's bestaan. Binnen het tijdsbestek tot en met 2045 is de omvang van de versnelde zeespiegelstijging nog relatief beperkt. Kritische snelheden voor zeespiegelstijging, waarbij een verandering gaat optreden in de trendmatige ontwikkelingen van de wadplaten en geulen, worden nog niet bereikt binnen deze periode. De versnelde zeespiegelstijging zal tot 2045 daarom niet leiden tot grotere getijdegeulen of een afname van de te baggeren volumes. De komende decennia moet nog steeds rekening worden gehouden met het

hoger worden van de wadplaten, met name langs de vastelandskust, waardoor lokaal de omvang van geulen verder afneemt.

2.7.3 Impact van meer baggeren op een veerverbinding

De onderhoudsinspanningen in opdracht van Rijkswaterstaat voor de vaargeulen en havens van de veerverbinding zijn gericht op het op orde houden van de minimale diepte en breedte, zoals is vastgelegd in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en het Nationaal Water Programma (Rijksoverheid, 2022). Dat de omvang van de gebaggerde geul geheel op orde is wanneer de geul de minimale breedte en diepte nergens onderschrijdt, betekent niet dat de veerboot geen enkele hinder ondervindt. Een niet gebaggerde geul met van nature veel ruimere dimensies is namelijk (veel) beter te bevaren dan een geul die precies voldoet aan de gestelde profieleisen. Daarbij komt dat de kans op het optreden van onderschrijdingen van de minimale diepte en breedte, bijvoorbeeld wanneer na een storm veel morfologische veranderingen optreden, toeneemt bij grotere baggerlengte en meer knelpunten.

2.7.4 Impact van de lengte van de veerverbinding

Tenslotte is de lengte van de vaargeul van invloed op de veerverbinding. Aan de lengte van de veerverbindingen worden in het vastgestelde beleid voor de Waddenzee geen eisen gesteld. Het beleid is dat de vaargeul optimaal moet kunnen meebewegen met de natuurlijke morfologische veranderingen in de ligging van de geulen. De situatie bij de vaargeul van Holwert naar Ameland heeft laten zien dat dit kan betekenen dat de geul steeds verder uitbocht, waardoor de lengte van de verbinding toeneemt. Door de toename van de lengte van de vaargeul neemt de duur van de overtocht toe, wat gevolgen kan hebben voor de dienstregeling.



3 Oplossingsrichtingen veerverbindingen

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar oplossingsrichtingen voor de knelpunten beschreven in Hoofdstuk 0. Eigenlijk zijn het twee vraagstukken die hier worden beschouwd:

1. Kan de beschikbaarheid van de veerverbinding veranderen door het baggeren, bijvoorbeeld door de inzet van andere baggertechnieken? (paragraaf 3.1)
Kan het baggerbezwaar worden beperkt door aanpassingen aan de vaargeul? (Zie paragraaf 3.2 voor de inzichten in het algemeen en 3.3 specifiek voor Ameland)

3.1 Inzet andere baggertechnieken

Voor het uitvoeren van de baggerwerkzaamheden zijn verschillende baggertechnieken beschikbaar en aan de verschillende baggertechnieken zijn verspreidingstechnieken gekoppeld. Een overzicht van de bagger- en verspreidingstechnieken is onder te vinden in *Tabel 1-1*. De verschillende baggertechnieken zijn niet overal toepasbaar en kunnen elkaar ook niet zondermeer vervangen. Zo dient voor de succesvolle inzet van waterinjectiebaggeren (WID) sprake te zijn van een (kleine) helling in de bodem, zodat het van de bodem opgewerkte fijne sediment afstroomt naar dieper water. Hieruit is ook op te maken dat de succesvolle inzet van WID -en alleen kan plaatsvinden als de bodem slibrijk is.

Tabel 1-1 Overzicht van baggermethoden en verspreidingsmethoden.

Baggermethoden	Verspreidingsmethoden
Sleephopperzuiger	Onderlossen
	Op stroom ter plaatse van baggeren
	Op stroom na transport
	Aan wal brengen
Agitatie met Waterinjectiebaggeren (WID)*	Op stroom ter plaatse van baggeren: bagger stroomt weg als hoge dichtheidsstroming
Agitatie met AirSet*	Op stroom ter plaatse van baggeren
Opwoelen met ploegboot	Op stroom ter plaatse van baggeren
Kraanschip	Onderlossen
	Aan de wal

**In het voorwaarden kader van het Beheerplan staat in algemene bewoordingen over agiteren (los van de techniek): "Het opwoelen en 'op stroom zetten' voor verspreiding van baggerspecie (agiteren, ploegen) binnen of in de omgeving van het werkgebied is toegestaan, maar mag niet leiden tot transport van het opgewoelde sediment naar aangrenzende baggerlocaties". Over Waterinjectiebaggeren (WID) en Agitatie met AirSet staat tevens dat de haalbaarheid hiervan wordt verkend voor het onderhoud in havens, als onderdeel van innovatietrajecten.*

Welke bagger- en verspreidingstechniek of combinatie van technieken worden ingezet voor het op diepte houden van de vaargeulen is afhankelijk van:

1. De lokale omstandigheden in de baggervakken (waterdiepte, sedimentsamenstelling);
2. Van de afstanden tussen de baggervakken en de verspreidingslocaties;
3. De beschikbaarheid van baggerschepen bij de uitvoerende aannemer.

Ten aanzien van punt 1 geldt bijvoorbeeld dat voor de inzet van een sleephopperzuiger voor het baggeren en verspreiden voldoende waterdiepte nodig is, meer dan voor de andere baggertechnieken. De sleepkop van de sleephopperzuiger hangt namelijk onder het schip en de diepgang van het schip neemt toe naarmate er meer baggerspecie wordt geladen. De beschikbare waterdiepte is mede afhankelijk van het getij. Tijdens laagwater is de waterdiepte beperkt en dat kan betekenen dat een sleephopperzuiger dan minder bagger kan laden. Punt 2 is heel bepalend voor de efficiency waarmee een sleephopperzuiger of kraanschip kan werken. Want als het schip aan het

varen is naar of terug van de verspreidingslocaties, dan wordt er niet gebaggerd. Bij grotere afstand tussen de bagger- en de verspreidingslocatie kan hetzelfde schip minder baggeren per week. Tenslotte geldt voor punt 3 dat het voor de uitvoerende aannemer lang niet altijd mogelijk zal zijn om ander of extra materieel te regelen.

Overeenkomst is leidend, niet de baggertechniek

De inspanningen van de vaarwegbeheerder en de baggeraar zijn gericht op de beschikbaarheid van de vaargeul en op het beperken van de omvang van de baggerwerkzaamheden. Welke combinatie van bagger- en verspreidingstechnieken daarvoor wordt ingezet, wordt meestal bepaald door de uitvoerende aannemer, binnen de randvoorwaarden in de overeenkomst tussen de aannemer en Rijkswaterstaat en binnen de randvoorwaarden van het Natura 2000 beheerplan. De inzet van een andere baggertechniek zal in principe geen gevolgen hebben voor de dimensies van de vaargeul, wanneer voor het uitvoeren van de baggerwerkzaamheden dezelfde criteria worden gehanteerd waar de baggeraar aan dient te voldoen. Oftewel, in principe is de overeenkomst leidend voor de vaargeuldiepte en -breedte.

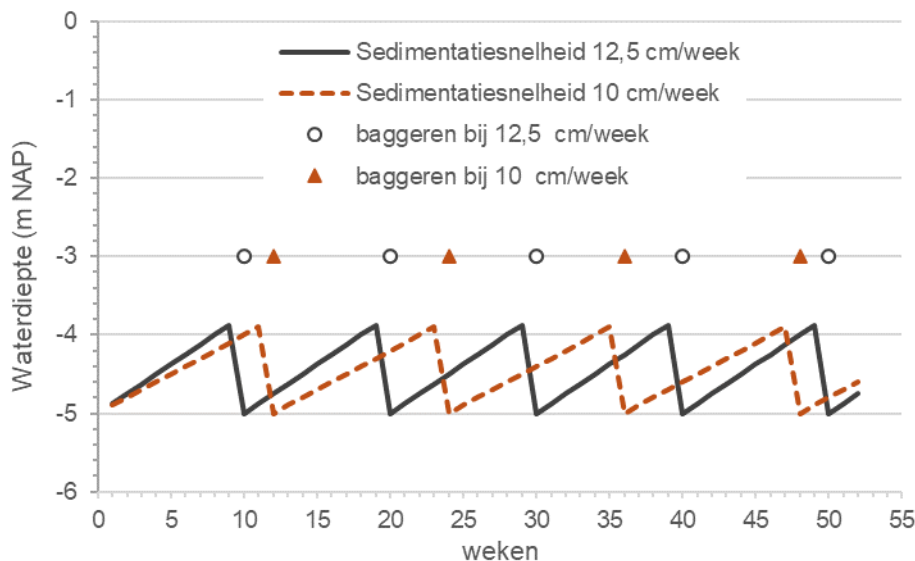
Verandering van baggertechniek in relatie tot het baggervolume

Het is belangrijk om eerst af te spreken wat wordt verstaan onder het baggervolume. Met het baggervolume wordt al het zand en slib bedoeld, dat op de baggerlocatie in beweging wordt gebracht, ongeacht de ingezette baggertechniek. Het maakt daarbij dus ook niet uit of het zand en slib lokaal in beweging wordt gebracht en dan door de stroming wordt verplaatst, of dat het op een verspreidingslocatie wordt verspreid.

Bij gelijke dimensies en beschikbaarheid van de vaargeul neemt het baggervolume af, wanneer de sedimentatiesnelheid op de baggerlocatie afneemt. Dit is het makkelijkst te illustreren met een fictief rekenvoorbeeld, van een vaargeul met een minimale waterdiepte van NAP -4 m en een maximale baggerdiepte van NAP-5 m, waar de sedimentatiesnelheid 12,5 cm per week bedraagt. Na het leveren van een baggerinspanning wordt de geul op een diepte van NAP -5 m gebracht en daarna wordt de vaargeul iedere week 12,5 cm ondieper. Dat gaat 8 weken door, totdat de vaargeul de minimale diepte van NAP -4 m heeft bereikt. Op dat moment wordt er opnieuw gebaggerd. Dit gebeurt echter niet gelijk in de praktijk dus in dit rekenvoorbeeld gaan we ervan uit dat in week 9 een overschrijding van de minimale diepte plaatsvindt (er moet gebaggerd worden) en in week 10 het baggerwerk. Bij elke keer dat er wordt gebaggerd, gaat het om 10.000 m³. Na één jaar (52 weken) is er dan 5 keer gebaggerd om de geul op diepte te houden, zodat het totale baggerbezwaar 50.000 m³ per jaar is. De ontwikkeling van de waterdiepte van de geul en het baggeren gedurende het jaar staat in *Figuur 1-8*. In deze grafiek is ook de ontwikkeling van de waterdiepte weergegeven bij een lagere sedimentatiesnelheid van 10 cm/week. Het duurt dan 10 weken voordat de geul van de gebaggerde diepte van NAP -5 m een diepte van NAP -4 bereikt. En dat betekent dat gedurende het jaar vier keer wordt gebaggerd, in plaats van vijf keer bij de situatie met een sedimentatiesnelheid van 12,5 cm. Het gebaggerde volume gedurende het jaar bedraagt daarmee 40.000 m³. De reductie van de sedimentatiesnelheid met 1/5 resulteert dus in een reductie van de het baggervolume van 1/5.

De werkelijkheid is natuurlijk beduidend complexer dan het getoonde voorbeeld, zo is bijvoorbeeld nooit sprake van een sedimentatiesnelheid die altijd dezelfde waarde heeft. En ook het baggeren vindt nooit precies plaats op het moment dat de minimale waarde bereikt wordt. Maar dat doet niet af aan de betekenis van het voorbeeld: door de sedimentatiesnelheid in de vaargeul te beperken wordt het baggervolume gereduceerd. Het streven is daarom om de baggertechnieken zo in te zetten dat de sedimentatiesnelheid wordt beperkt.

De bekendste methode om de sedimentatiesnelheid te beperken is om de afstand tussen de bagger- en de verspreidingslocatie te vergroten. Wanneer bij een andere baggertechniek de baggerspecie verder wordt verspreid van de baggerlocatie, bijvoorbeeld doordat de baggerspecie naar een verder weg gelegen verspreidingslocatie wordt gebracht, dan kan de aanvoer van zand en slib naar de baggerlocatie afnemen. Het gevolg daarvan is dat de sedimentatie afneemt, waardoor het baggerbezwaar afneemt. Hier staat nadrukkelijk dat dit 'kan' gebeuren, want het is geen zekerheid dat dit voor de specifieke locatie zo werkt. De aanname hierbij is dat tenminste een deel van de aanvoer van zand en slib op de baggerlocatie bestaat uit het zand en slib dat wordt verspreid, oftewel uit 'retourtransport' van de verspreidingslocatie naar de baggerlocatie.



Figuur 1-8 Grafiek met fictief voorbeeld van de geuldiepte in de tijd bij verschillende sedimentatiesnelheden, waarbij wordt gebaggerd tot NAP -5 m wanneer de minimale diepte van NAP -4 m wordt bereikt.

Verandering van baggertechniek in relatie tot het verspreidingsvolume

Ook hier wordt begonnen met een afspraak over de terminologie. Het verspreidingsvolume dat hier wordt bedoeld is het volume dat van de baggerlocatie naar de verspreidingslocatie wordt gebracht. Het zand en slib dat ter plaatse van het baggeren op stroom wordt gezet, geagiteerd of opgewoeld hoort hier niet bij. Door de inzet van een baggertechniek waarbij het zand en slib op stroom wordt gezet in plaats van een techniek waarbij wordt gevaren van de baggerlocatie naar de verspreidingslocatie kan het verspreidingsvolume worden gereduceerd. Het is plausibel dat hierdoor wel de sedimentatiesnelheid op de baggerlocatie verandert, omdat waarschijnlijk meer zand en slib terugkeert naar de baggerlocatie.

Samenvattend: Het is best complex

De vraag die aan het begin van Hoofdstuk 3 is gesteld is "Kan de beschikbaarheid van de veerverbinding veranderen door het baggeren, bijvoorbeeld door de inzet van andere baggertechnieken?" is, gegeven de bovenstaande alinea's best lastig te beantwoorden. Een verandering van de (combinatie van) baggertechnieken kan leiden tot andere sedimentatiesnelheden en daarmee tot een andere baggeropgave. Maar dit hoeft geen gevolgen te hebben voor de beschikbaarheid van de vaargeul, omdat de frequentie van de baggerwerkzaamheden of het aantal schepen dat wordt ingezet kan worden aangepast op deze veranderingen. In hoeverre dit gebeurt is in sterke mate afhankelijk van de afspraken tussen de opdrachtgever van de baggerwerkzaamheden (Rijkswaterstaat) en de uitvoerende aannemer.

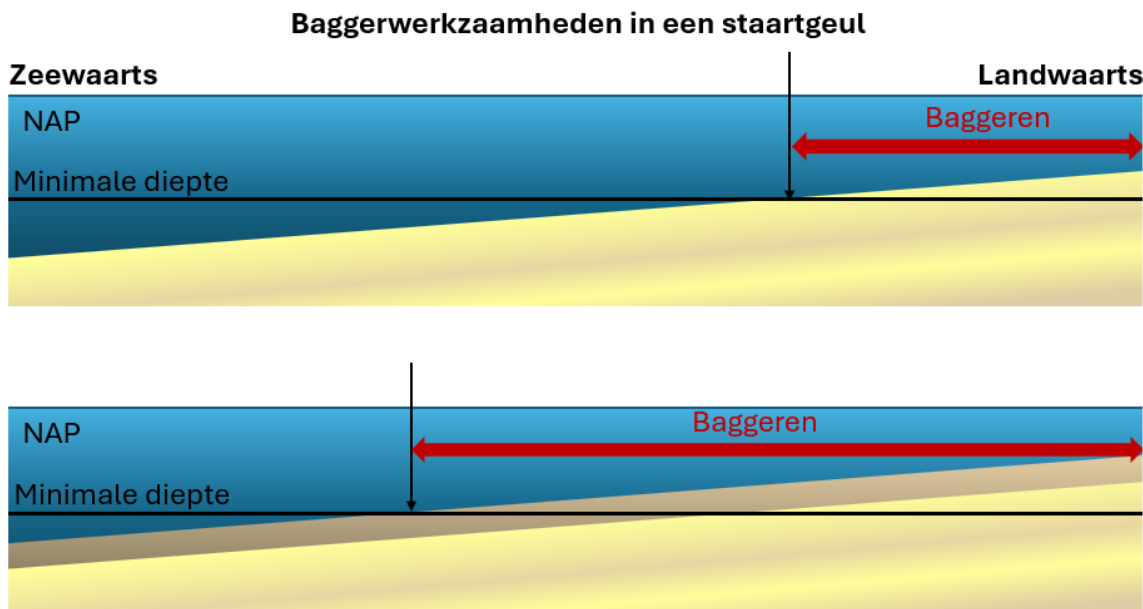
3.2 Reductie baggerbezwaar door aanpassing diepte en/of breedte vaargeul

Een kleinere vaargeul vraagt om minder baggeronderhoud dan een grote vaargeul op dezelfde locatie. Maar het baggeren van een minder diep en/of minder brede vaargeul kan wel lastiger worden. In deze paragraaf worden deze punten beschouwd.

Baggervolume i.r.t. afname interventiediepte en/of breedte

In de bijlage B is toegelicht dat vooral bij staartgeulen (ondiepe landwaartse uiteinden van geulen) de omvang van de baggerwerkzaamheden sterk gecorreleerd is met de afwijking van de omvang van de vaargeul ten opzichte van het natuurlijke doorstroomprofiel. Daarbij is ook geconstateerd dat naarmate de omvang van het doorstroomprofiel verder afneemt, dit over een steeds grotere lengte van de geul zal leiden tot een overschrijding van de minimale diepte en/of breedte (Figuur 1-9). Dat betekent weer dat over een steeds grotere lengte van de geul moet worden gebaggerd en het te baggeren volume toeneemt. Dit betekent ook dat het reduceren van de minimale diepte en/of breedte van de

vaargeul als gevolg heeft dat het te baggeren volume afneemt. Immers, bij een reductie van de minimale diepte en/of breedte neemt het verschil met het natuurlijke doorstroomprofiel af.



Figuur 1-9 Baggerwerkzaamheden in staartgeulen (dwarsdoorsneden). Bij een afname in de bodemdiepte neemt de lengte waarop baggerwerkzaamheden plaats moeten vinden in zeewaartse richting toe.

Inzet van baggerschepen bij afname interventiediepte

Een afname van de minimale diepte betekent dat de inzet van sleephopperzuigers voor het baggeren, waarbij de baggerspecie in de beun wordt opgeslagen, lastiger wordt. Een sleephopperzuiger heeft namelijk een sleepkop waarmee de baggerspecie wordt opgezogen en die sleepkop sleept net iets dieper over de bodem dan de diepgang van het schip. De sleephopperzuiger vaart dan al baggerend door de geul. Naarmate de beun van het schip wordt gevuld met baggerspecie komt het schip steeds dieper te liggen. De waterdiepte waarbij sleephopperzuigers kunnen werken is afhankelijk van hun diepgang. Dit bedraagt voor de kleinste sleephopperzuigers tussen de 2,6 en 3,5 m diepte². Bij een kleinere interventiediepte kunnen alleen de allerkleinste sleephopperzuigers worden ingezet, die per baggercyclus minder baggerspecie kunnen nemen. Daarnaast kan bij interventiedieptes die kleiner zijn dan de waterdiepte tijdens laagwater het baggeren met de sleephopperzuiger slechts gedurende een deel van de getijdencyclus plaatsvinden.

Voor een deel van de andere baggertechnieken geldt dat er geen beperkingen zijn voor waterdiepte waarbij de techniek wordt ingezet (kraanschip), of dat de beperkingen kleiner zijn dan bij de inzet van de sleephopperzuiger, omdat de diepgang van de schepen beperkt is (WID en ploegen). Ook de inzet van sleephopperzuigers voor het direct op stroom zetten van de baggerspecie, waarbij de baggerspecie niet in de beun wordt geborgen, kent minder restrictie voor de waterdiepte.

Inzet van baggerschepen bij afname minimale breedte

Voor het reduceren van de minimale breedte geldt dat de beperkingen hieraan niet volgen uit de baggertechnieken, maar uit manoeuvreerbaarheid en de nautische veiligheid. Zeker voor de sleephopperzuigers, die over het algemeen een lengte van rond de 70 m hebben, moet de geul voldoende breed zijn om te kunnen manoeuvreren bij de getijdestroming. En bij een minder brede geul neemt de afstand af tussen de veerboten en baggerschepen en eventueel andere scheepvaart. Indien de onderlinge afstand te klein wordt om dit veilig te doen, dan kan het zijn dat het baggerwerk tijdelijk moet worden gestaakt tijdens het passeren van de veerboot (de veerboten hebben altijd

² Op basis van gegevens van Dredgepoint.org voor de schepen Pieter Hubert, Ameland en Zeeland die nu of in het verleden in de vaargeul Holwert-Ameland zijn ingezet.

voorrang in de vaargeulen). Een reductie tot een breedte die beter past bij het natuurlijke evenwichtsprofiel zal leiden tot minder baggervolumes, maar betekent ook dat de efficiëntie van het baggerwerk kan afnemen. Dit kan tot gevolgen hebben dat de baggerwerkzaamheden moeten worden aangepast om deze veilig uit te kunnen voeren. De duur van de werkzaamheden kan hierdoor toenemen waardoor meer verstoring optreedt door de aanwezigheid van het baggerschip.

Ook dit is best complex

Aan het begin van Hoofdstuk 3 is de vraag gesteld “*Kan het baggerbezwaar worden beperkt door aanpassingen aan de vaargeul*”. Het korte antwoord is “Ja”, maar wel gevolgd door een “Maar”, want een kleinere interventiediepte en/of een minder brede vaargeul betekent dat de productiecapaciteit af zal nemen. Het betekent ook dat baggertechnieken aangepast moeten worden op de dan geldende dimensies en omstandigheden.

Het is niet mogelijk om zonder uitgebreide studies kwantitatieve beschouwingen op te stellen over de omvang van de reductie van de baggerwerkzaamheden. Hiervoor dient ten minste de specifieke relatie tussen de baggerinspanning en de omvang van de geul bekend te zijn, zoals die voor de betreffende locatie geldt. Deze relatie is afgeleid voor de vaargeul Holwert-Ameland, voor de staartgeul nabij de veerdam Holwert. Daarbij geldt dat deze relaties relatief grote bandbreedtes hebben, zodat de bandbreedte rond de voorspelling ook groot is. Dat betekent dat het ook niet mogelijk is om zonder verdere analyses uitspraken te doen over de maximale omvang van de vaargeul (in termen van interventie en maximale diepte en breedte) bij een specifiek baggervolume.

3.3 Scenario's Holwert-Ameland met aanpassingen diepte en/of breedte vaargeul

Voor veerverbinding via de vaargeul Holwert-Ameland is door RHDHV een bureaustudie uitgevoerd naar de bestaande schepen in de Nederlandse en Duitse Waddenzegebied en de mogelijkheden om met combinaties van deze schepen het vervoer van passagiers, auto's en vracht te organiseren. Hiervoor zijn vijf scenario's ontwikkeld waarbij voor twee van de scenario's geldt dat het personen en autovervoer tegelijkertijd plaats vindt met hetzelfde schip (net zoals nu) en voor drie scenario's sprake is van gescheiden vervoer van auto's en personen. De dimensies van de in te zetten schepen verschillen per scenario. Voor een beschrijving van de scenario's wordt verwezen naar het rapport “*Verkenkend onderzoek naar de inzet van kleinere schepen op de veerverbinding Holwert-Ameland; Mogelijkheden en implicaties van de inzet van kleinere schepen vanuit een technisch-nautisch perspectief*”, met kenmerk BK1677-RHD-XX-XX-RP-X-0001 (RHDHV, 2024).

Voor elk van de scenario's is op basis van de maximale omvang van de schepen in het betreffende scenario vastgesteld wat de minimale diepte is waarbij het schip onder vrijwel alle omstandigheden van de geul gebruik kan maken. In combinatie met de maximale breedte en lengte van het grootste schip in betreffende scenario is ook berekend welk minimale breedte aanwezig dient te zijn in de verschillende delen van de vaargeul. Bij de berekeningen van de breedte is ook rekening gehouden met de aanwezigheid van bochten, dwarsstroom en het passeren van schepen. Voor de analyse van de impact op het baggerbezwaar in het voorliggende rapport is alleen gekeken naar de berekende omvang van de vaargeul nabij de veerwegsteiger, waarbij de aanname is dat de schepen elkaar daar niet passeren (enkelstrooksgebruik) voor dit rechte stuk van de vaargeul waar de dwarsstroming beperkt is. RHDHV (2024) heeft de vaargeul in 11 segmenten opgedeeld en voor elk segment per scenario de diepte en breedte berekend. Een uitwerking van de impact op het baggeren op dat detailniveau is niet alleen te bewerkelijken en moeilijk navolgbaar, maar het zou ook nog eens een schijn van nauwkeurigheid opleveren die niet overeenkomt met de beperkte nauwkeurigheid waar feitelijk sprake van is. Het overzicht van de gevolgen van de scenario's is opgenomen in *Tabel 1-2* en de toelichting op de beoordeling staat per scenario onder de tabel.

Tabel 1-2 Huidige praktijk en vijf scenario's voor de toepassing van schepen met andere kenmerken in kolommen regels A-D (overgenomen uit RHDHV, 2024). De andere regels zijn berekend en beredeneerd op basis van de kenmerken van de scenario's.

Scenario	Huidige praktijk	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
A. Personen-en autovervoer	Niet gescheiden	Niet gescheiden	Niet gescheiden	Gescheiden	Gescheiden	Gescheiden
B. Diepgang maatgevende schip	1,5 m	1,25 m	1,45 m	1,32 m	1,01 m	1,01 m
C. Minimale diepte	NAP -3,80 m	NAP -3,23 m	NAP -3,49 m	NAP -3,32 m	NAP -2,91 m	NAP -2,91 m
Diepteverschil t.o.v. huidig	0 m	0,57 m (-15%)	0,31 m (-8%)	0,48 m (-13%)	0,89 m (-23%)	0,89 m (-23%)
D. Minimale breedte	45,3 m (50 m ¹)	36 m	31,5 m	45,3 m	45,3 m	36 m
Breedteverschil t.o.v. huidig	0 m	-9,3 m (-21%)	-13,8 m (-30%)	0 m (0%)	0 m (0%)	-9,3 m (-21%)
Doorstroomoppervlak (breedte x diepte)	172 m	116 m	110 m	150 m	132 m	105 m
Afname doorstroomoppervlak		33%	36%	13%	23%	39%
Baggervolume	Huidig	Grote afname	Grote afname	Minst grote afname	Niet zo grote afname	Grootste afname
Baggertechnieken:						
Sleephopperzuiger baggeren & verspreiden	Toepasbaar	Minder toepasbaar	Beperkt toepasbaar	Iets minder toepasbaar	Beperkt toepasbaar	Zeer beperkt toepasbaar
Sleephopperzuiger op stroom	Toepasbaar	Minder toepasbaar	Minder toepasbaar	Iets minder toepasbaar	Minder toepasbaar	Minder toepasbaar
Ploegen	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar
Agiteren	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar	Toepasbaar
Afname efficiency baggercyclus vanwege:						
Passeren	Huidig	Iets frequenter	Frequenter	Iets frequenter	Frequenter	Frequenter
Getij	Huidig	Beperkte afname	Kleine afname	Beperkte afname	Grote afname	Grote afname

¹De breedte van 50 m is de minimale breedte zoals die nu wordt gebaggerd. Berekeningen met dezelfde uitgangspunten als voor de scenario's leveren voor de huidige schepen een minimale breedte van 45,3 m. Dit komt overeen met de berekende breedte bij scenario's 4 en 5.

Scenario 1

Bij scenario 1 wordt gevaren met schepen die iets minder diep steken en smaller zijn dan de huidige schepen. Hierdoor kan de minimale diepte van de vaargeul afnemen met 0,57 m en de breedte met 9 m. Omdat de omvang van de gebaggerde vaargeul zo beter aansluit bij de natuurlijke omvang van de geul, zal het baggerbezwaar afnemen. Het zal wel iets lastiger worden om met de sleephopperzuiger een cyclus van baggeren en verspreiden uit te voeren, omdat de kleinere waterdiepte het werken met de sleephopperzuiger beperkt. Ook maakt de smallere geul het manoeuvreren met de sleephopperzuiger lastiger. Het baggeren zal ook iets vaker worden beperkt doordat tijdens laagwater de waterstanden te laag zijn voor het baggeren. Daarnaast zal het passeren van de veerboten iets vaker leiden tot minder efficiënt baggeren, omdat de minder brede geul daar te weinig ruimte voor biedt en er vaker boten passeren ten opzichte van de huidige situatie.

Scenario 2

In scenario 2 wordt in vergelijking met de huidige situatie met andere schepen gevaren, die smaller zijn en iets minder diep steken. De dimensies van de vaargeul worden hierdoor ook anders, namelijk smaller en maar iets ondieper dan in de huidige situatie. Deze afname resulteert echter in de grootste afname van de doorstroomoppervlakte (breedte x diepte) van alle scenario's. Naar verwachting is ook de afname van het baggerbezwaar het grootst voor dit scenario, omdat de omvang van de geul het meest aansluit bij de natuurlijke omvang van de geul. Omdat de afname van de diepte beperkt is, is naar verwachting de impact op de inzet van de verschillende baggertechnieken ook beperkt, net als de afname van de efficiency van het baggeren door laagwater. De smalle vaargeul beperkt echter de inzet van de sleephopperzuigers, die hier niet goed kunnen manoeuvreren. Daarnaast zal het passeren van de baggerschepen en veerboten in de smalle vaargeul wel impact hebben en leiden tot een grotere afname van de efficiency. Dit effect is nog groter omdat vanwege de kleinere capaciteit van de schepen voor voertuigen er vaker gevaren moet worden dan in de huidige dienstregeling.

Scenario 3

Scenario 3 is het eerste van de scenario's waarbij het personenvervoer en het vervoer van auto's en vracht wordt gescheiden. De minimale diepte wordt daarbij bepaald door de schepen voor het personenvervoer, omdat die volgens een vast rooster varen, terwijl de grotere schepen rekeningen houden met de waterstand voor hun afvaarten. De grote schepen zijn wel bepalend voor de minimale breedte van de geul. Bij scenario 3 levert de combinatie van in te zetten schepen een reductie van de minimale diepte, namelijk 0,48 m. Ten opzichte van de huidige breedte zijn er geen veranderingen. Dit levert de kleinste afname van de berekende doorstroomoppervlakte en naar verwachting is sprake van een beperkte afname van het baggerbezwaar. De afname van het baggerbezwaar is voor scenario 3 het kleinst van alle scenario's. De impact op de in te zetten baggertechnieken is beperkt, het zal iets lastiger zijn om met een sleephopperzuiger te baggeren en verspreiden met dezelfde efficiency, vanwege de afname van de diepte. Er zal sprake zijn van een beperkte impact op de efficiency van het baggeren doordat de frequentie van het passeren iets zal toenemen, maar dat wel gebeurt in een brede geul.

Scenario 4

In scenario 4 wordt gescheiden gevaren. Vanwege de inzet van kleinere schepen voor het vervoer van personen is de afname van de benodigde diepte groot, namelijk 0,89 m. De breedte neemt niet af. De afname van de doorstroomoppervlakte ten opzichte van de huidige situatie is daarom beperkt voor dit scenario en daarom is naar verwachting ook geen sprake van een grote afname van het baggeren. Doordat de diepte sterk afneemt wordt de inzet van sleephopperzuigers in scenario 4 wel duidelijk beperkt in vergelijking met de andere scenario's. Bij laagwater zal bij dit scenario het baggeren heel lastig zijn. Omdat ook frequenter moet worden gepasseerd, doordat het aantal scheepsbewegingen zal moeten toenemen voor gelijkblijvend personenvervoer, heeft dat een impact op de efficiency.

Scenario 5

In het vijfde scenario wordt zowel voor het vervoer van personen als het vervoer van auto's gebruik gemaakt van kleinere schepen, zodat de diepte en breedte van de geul flink in omvang afnemen. De afname in de breedte en diepte resulteert naar verwachting in de grootste afname van de baggervolumes van alle scenario's. De afname in de diepte betekent wel dat het baggeren met de sleephopperzuiger lastiger wordt en dat bij lage waterstanden de efficiency van de baggercyclus onder druk staat. Vanwege de grote afname van de breedte van de geul is het manoeuvreren met de sleephopperzuigers ook lastiger, waardoor de efficiency verder afneemt. Omdat de vaargeul smaller wordt en er meer schepen moeten passeren zal dat ook leiden tot een minder efficiënte baggercyclus.

Samenvatting van de verschillen tussen de scenario's

Om de bovenstaande beschreven effecten inzichtelijk te maken, is *Tabel 1-3* opgenomen, waarin de onderlinge relatieve verschillen tussen de scenario's zijn weergegeven met een cijfer voor de onderdelen 1) baggervolume, 2) baggertechnieken en 3) efficiency van de baggercyclus. De lage cijfers geven aan dat de ontwikkelingen het meest gewenst zijn en de hoge cijfers geven aan dat gevolgen minder gewenst zijn. Scenario's 2 en 5 resulteren in de grootste afname van het baggervolume. Vanwege de grote afname in de diepte in combinatie met een afname van de breedte bij scenario 5 wordt de inzet van de sleephopperzuigers voor de baggerwerkzaamheden in scenario 5 lastig. Bij scenario 2 is het de grote afname van de breedte die de inzet van de sleephopperzuigers beperkt. Zowel scenario 2 als scenario 5 is daardoor in de praktijk lastig op diepte te houden. Ook scenario 1 resulteert in een flinke afname van het baggervolume, waarbij de gevolgen voor de inzet van de verschillende baggertechnieken kleiner zijn dan bij scenario 2. Scenario's 3 en 4 resulteren niet in een grote afname van de baggervolumes. Daarbij is scenario 3 beter uitvoerbaar, omdat de impact op de baggertechnieken en de baggercyclus beduidend kleiner is dan bij scenario 4.

Tabel 1-3 Vergelijking van de huidige praktijk en vijf scenario's voor de toepassing van schepen met andere kenmerken in kolommen regels A-D (overgenomen uit RHDHV, 2024).

Scenario	Huidige praktijk	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5
Minimale diepte	NAP -3,80 m	NAP -3,23 m	NAP -3,49 m	NAP -3,32 m	NAP -2,91 m	NAP -2,91 m
Minimale breedte	45,3 m (50 m ¹)	36 m	31,5 m	45,3 m	45,3 m	36 m
Afname doorstroomoppervlak		33%	36%	13%	23%	39%
Baggervolume	Huidig	3. Grote afname	2. Grote afname	5. Minst grote afname	4. Niet zo grote afname	1. Grootste afname
Baggertechnieken	Huidig	2. Minder toepasbaar	4. Grootste beperking	1. Iets minder toepasbaar	3. Grote beperking	4. Grootste beperking
Afname efficiency baggercyclus	Huidig	1. Beperkte afname	2. Grotere afname	2. Grotere afname	3. Grote afname	4. Grootste afname

Een aanvullende opmerking over de efficiency van het baggerwerk is op zijn plek. In de huidige praktijk is de zeer kleine bandbreedte van 20 cm tussen de minimale diepte van NAP -3,8 m en de maximale te baggeren diepte van NAP -4,0 m een technische uitdaging voor de baggeraar. De zeer kleine bandbreedte beperkt de mogelijkheid om een buffer te baggeren om (snelle) sedimentatie op te vangen. De afname van de efficiency van de baggercyclus bij de scenario's wordt minder groot wanneer deze bandbreedte wordt vergroot, bijvoorbeeld door ook bij een afname van de minimale diepte wel de maximale te baggeren diepte van NAP -4,0 m te handhaven. Het baggervolume neemt hierdoor niet toe.

Nota bene: deze vergelijking van de scenario's voor de inzet van aanpassingen aan de vaargeul Holwert-Ameland door de inzet van kleinere schepen is een eerste ruwe benadering. Daarbij is gekeken naar één deel van de vaargeul en zijn er geen berekeningen uitgevoerd aan de sedimentatie in de vaargeul. Bij een keuze voor een van deze scenario's of een ander scenario voor aanpassingen aan de vaargeul, verdient het de aanbeveling om nader en meer gedetailleerd onderzoek uit te voeren naar de gevolgen voor de sedimentatie en het baggerbezwaar.



4 Synthese & advies

4.1 Synthese

Op basis van literatuur en expert judgement zijn de verwachte veranderingen en de gevolgen voor het gebruik door de veerboten en het baggeren per veerverbinding in beeld gebracht. Daarbij zijn de huidige minimale breedte en diepte van de verbindingen, zoals vastgelegd in het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) als referentie gebruikt. De resultaten hiervan zijn samengevat in *Tabel 1-4* en worden hieronder toegelicht.

Geen knelpunten waar veerroutes Vlieland en Terschelling samengaan met de verbinding naar de Noordzee

De route van Harlingen naar de Noordzee wordt door baggeren op een minimale diepte van NAP -7,5 gehouden. De minimale diepte voor de zeescheepvaart is groter dan de minimale diepte voor de veerverbindingen naar Vlieland en Terschelling die via deze route lopen. Zolang onderhoud van de verbinding plaatsvindt voor de zeescheepvaart, zijn er geen knelpunten op de route Harlingen-Noordzee voor de veerverbindingen.

Knelpunten veerroute Harlingen-Vlieland

Baggeren op deze route is tot nu toe niet nodig, maar toekomstige verondiepingen op de buitendelta en versmalling en/of verondieping in de Vliesloot zijn niet uitgesloten. Het gevolg voor de veerverbinding kan dan zijn dat een ruimere route over de buitendelta moet worden gevolgd en dat in de Vliesloot moeten worden gebaggerd.

Knelpunten veerroute Harlingen-Terschelling

De veerverbinding vanaf de Noordzeeroute betreft twee routes, via de West Meep en Slenk en via het Schuitengat. De route via Slenk wordt onderhouden op een minimale breedte van 120 m en een minimale diepte van NAP -5 m. De omvang van de baggerwerkzaamheden in Slenk is de afgelopen jaren vergelijkbaar. Door het uitbochten en het opschuiven van de geulingang aan de Terschellingzijde kan in de toekomst meer baggerbezwaar optreden. De route via het Schuitengat wordt niet onderhouden, zodat de beschikbaarheid afhankelijk is van de autonome veranderingen van de geul met zijn drempels. Het is niet uitgesloten dat het Schuitengat door autonome ontwikkelingen een bruikbare en stabiele geul voor de veerverbinding gaat vormen, maar de nautische condities zullen lastig blijven.

Knelpunten veerroute Holwert-Ameland

De verbinding Holwert-Ameland kent verschillende knelpunten en het grootste baggerbezwaar van alle verbindingen. Vanaf de veersteiger Holwert naar de veersteiger bij Nes gaat het om de morfologische veranderingen in:

(1) **Het uiteinde van de vaargeul tot aan de Veersteiger Holwert.** Het uiteinde van de vaargeul wordt zeer intensief gebaggerd, omdat de omvang van deze geul van nature sterk is afgenomen. Naar verwachting gaat dit tot 2045 niet in positieve zin veranderen, waardoor dit een permanent knelpunt blijft met kans op verslechtering.

(2) **Drie bochten met (potentiële) drempels.** In twee van de drie bochten gaat het uitbochten door, zodat de lengte van de verbinding toeneemt. Het verdere uitbochten van de eerste bocht vanaf Holwert lijkt niet meer plaats te vinden. Met het uitbochten bestaat ook kans op toenemende drempelvorming tussen de bochten en daardoor kan de lengte toenemen waarover in dit deel van de geul gebaggerd moet worden. Om de gevolgen van het uitbochten tegen te gaan, kan het verstandig zijn om bochtafsnijdingen te baggeren, vergelijkbaar met de bochtafsnijding uit 2018. De afsnijdingen ontstaan niet meer van nature.

(3) **De kruising met Scheepsgat-Zuiderspruit.** De vaargeul kruist het drempelgebied Scheepsgat-Zuiderspruit en dat is een zeer complex en veranderlijk gebied met sterke (dwars)stromingen. De optredende veranderingen in de ligging van de geulen en drempels kunnen leiden tot nieuwe knelpunten en toenemende baggerinspanningen, maar kunnen ook tot gevolg hebben dat de invloed van de drempels afneemt.

(4) **Het Brandgat en de Reegeul tot en met de veersteiger Ameland.** Het laatste stukje van de verbinding naar Ameland, door het Brandgat en de Reegeul is de afgelopen tientallen jaren zeer stabiel. Ook in de toekomst worden hier geen knelpunten verwacht.

Door deze knelpunten bestaat het risico dat in de komende concessie-termijn van 2029 tot 2044 meer dan de huidige toegestane volume moet worden gebaggerd.

Tabel 1-4 Overzicht van de knelpunten per veerverbinding.

	Minimale diepte t.o.v. NAP	Minimale breedte	Bestaande baggerlocaties	Verwachte toename te baggeren locaties	Verwachte toename bagger-volume	Knelpunt verspreiding baggerspecie	Verwachte ontwikkeling vaarroute, vaarafstand
Vlieland (zonder deel Harlingen-Noordzee)	-5 m Veerhaven Vlieland	Niet vastgelegd <i>Advies is om deze wel vast te leggen</i>	Veerhavens Harlingen & Vlieland	Mogelijk op verbinding Vlie – Zuider Stortmelk en drempel Vliesloot	Mogelijk	Voor nieuwe drempels geen baggervolume opgenomen in beheerplan <i>Advies is deze op te nemen</i>	Route buitendelta kan veranderen: kleine toename vaarafstand
Terschelling (zonder deel Harlingen-Noordzee)	-5 m Slenk	120 m	Veerhavens Harlingen & West-Terschelling en Slenk	Nee	Mogelijk in Slenk		Bij positieve ontwikkelingen Schuitengat eventueel in gebruik nemen i.p.v. Slenk
Ameland	-3,8 m Gehele route	50 m		Ja:	Ja:	Nee, bij blijven aanpassen locatie Zuiderspruit aan morfologische veranderingen	
1. Uiteinde van vaargeul tot Veersteiger Holwert			Veel	Nee	Toename		
2. Drie bochten met (potentiële) drempels				Bochten & drempels	Toename		Toename
3. De kruising met Scheepsgat-Zuiderspruit			Veel	Variatie	Variatie		Variatie
4. Brandgat en Reegeul en veersteiger Ameland			Beperkt	Nee	Nee		
Schiermonnikoog	-3,5 m Groote Siege	50 m	Glinder, Groote Siege & Veerhavens	Ja, drempel Groote Siege	Ja, Glinder en drempel Groote Siege	Nee	Zeer beperkte toename door verleggen Glinder

Knelpunten veerroute Lauwersoog-Schiermonnikoog

In de huidige situatie wordt gebaggerd bij de kortsluitgeul Glinder en in de nabijheid van de veersteiger van Schiermonnikoog in de Grootte Siege. De veranderingen in de bodemhoogte bij Glinder zijn en blijven groot, zodat het noodzakelijk is en blijft om de ligging van de gebaggerde vaargeul Glinder aan te passen. Bij de Glinder zullen in de toekomst veranderingen blijven optreden met gevolgen voor de bruikbaarheid van de veerverbinding. Verwacht wordt dat bij Glinder geen groot knelpunt gaat ontstaan voor de omvang van de baggerinspanningen, ondanks de beperkte voorspelbaarheid voor de lange termijn. De autonome veranderingen van de omvang van Grootte Siege zijn sterk afhankelijk van de ontwikkelingen van de wadplaten en van concurrerende geulen. Het is niet uitgesloten dat het baggerbezwaar hier toeneemt, maar de kans dat dit gebeurt en de omvang van de gevolgen zijn veel kleiner dan bij de vaargeul Holwert-Ameland.

Geen gevolgen van versnelde zeespiegelstijging

In grote delen van de Waddenzee is de afgelopen tientallen jaren meer zand en slib terechtgekomen dan nodig is voor het bijhouden van de zeespiegelstijging. Lokaal, bij de verbinding naar Ameland, heeft dit geleid tot een sterke afname van de omvang van de getijdegeulen en een toename van het baggervolume. Voor de toekomst wordt een versnelling van de snelheid van zeespiegelstijging verwacht. Binnen het tijdsbestek tot en met 2045 zal de versnelde zeespiegelstijging echter niet leiden tot grotere getijdegeulen of een afname van de te baggeren volumes. De komende decennia moet nog steeds rekening worden gehouden met het hoger worden van de wadplaten, met name langs de vastelandskust. Daardoor zal lokaal de omvang van geulen verder afnemen, met gevolgen voor de veerverbindingen.

4.2 Advies oplossingsrichtingen veerverbindingen

Algemeen

Voor de veerverbindingen is gekeken naar de mogelijkheden om door aanpassingen in de vaargeuldimensies of het beheer de risico's voor het in stand houden te beperken. Voor alle verbindingen geldt het overkoepelende risico dat door aanpassen of zelfs wegvallen van het vigerende juridische kader voor het baggeren en verspreiden in de Waddenzee de juridische grondslag wijzigt of vervalt (via het Beheerplan Natura 2000, onder Categorie 2: Vrijgestelde vergunningsplichtige activiteiten met specifieke voorwaarden).

Per verbinding

De urgentie van aanpassingen is gekoppeld aan de inschatting van de risico's per verbinding, waarvan de samenvatting is opgenomen in *Tabel 1-1*. Onder het tabel zijn de risico's toegelicht.

Den Helder-Texel: Deze verbinding kent geen risico's en daarom zijn geen oplossingsrichtingen beschouwd.

Harlingen-Noordzee: Dit deel van de veerverbinding naar Vlieland en Terschelling kent geen risico's vanwege de zeescheepvaartverbinding die grotere vaargeuldimensies nodig heeft. Daarom zijn geen oplossingsrichtingen beschouwd.

Harlingen-Vlieland: Nabij de zandplaat Richel dient rekening te worden gehouden met het aanpassen en langer worden van de route vanwege het ontstaan van ondieptes. Indien bij de Vliesloot een dussdanige verondieping optreedt dat deze gebaggerd moet worden, dan zal voor toestemming gezorgd moeten worden voor het verspreiden van deze baggerspecie op de verspreidingslocatie Vliesloot. Voor deze route is het zinvol om een minimale breedtemaat af te spreken. Het gebruik van minder diep stekende veerboten kan worden overwogen, maar vanwege het beperkte risico van deze veerverbinding is dit niet in detail beschouwd.

Harlingen-Terschelling: De route kan iets veranderen in lengte, door veranderingen van de bochten in de verschillende geulen. Het gebruik van minder diep stekende schepen kan worden overwogen vanwege het optreden van ondieptes en baggerwerkzaamheden in Slenk (of Schuitengat), maar vanwege het beperkte risico is dit niet in detail beschouwd.

Holwert-Ameland: Voor de vaargeul Holwert-Ameland wordt verwacht dat de lengte van de route opnieuw zal toenemen door uitbochten en dat de lengte waarover gebaggerd moet worden ook gaat toenemen. Voor deze vaargeul zijn een aantal scenario's beschouwd voor aanpassingen aan de omvang van de vaargeul in relatie tot de in te zetten schepen (zie hieronder). Het vergroten van de baggercapaciteit bij uitbreiding van de knelpunten lijkt praktisch niet uitvoerbaar, omdat de inspanning die tegenwoordig wordt geleverd al fors is.

Lauwersoog-Schiermonnikoog: Door de verbinding via Glinder frequent aan te passen aan de veranderingen in dit dynamische gebied kan het baggervolume naar verwachting beperkt blijven. Het lijkt niet praktisch mogelijk om de breedte en diepte van de vaargeul in de Grote Siege te beperken, omdat deze nu al minimaal zijn.

Tabel 1-5 Risico's per veerverbinding op drie vlakken: morfologie, juridisch en technisch. Juridisch gezien zijn drie risico's beschouwd: 1) Baggervolume: het baggervolume neemt toe en overschrijdt waarschijnlijk de volumes die zijn vastgelegd in het Natura 2000 beheerplan. 2) Baggerlocaties: er komen baggerlocaties bij. 3) Verspreidingslocaties: Er moet meer verspreid worden dan is vastgelegd in het Natura 2000 beheerplan.

Verbinding	Morfologie	Juridisch*			Technisch	Samen-gevat
		Bagger-volumes	Bagger-locaties	Ver-spreidings-locaties	Uitvoering baggeren en verspreiden	
Texel	n.v.t.					Geen risico's
Harlingen-Noordzee	Zeescheepvaart, diepte NAP -7,5 m: Geen knelpunt veerboten, vanwege het baggeren voor de zeescheepvaart					
Vlieland (exclusief Harlingen-Noordzee)	Richel & Vliesloot: verondiepingen	Geen bagger-volume Vliesloot	Geen baggerlocatie Vliesloot	Geen volume voor "Vliesloot"		Laag risico
Terschelling (exclusief Harlingen-Noordzee)	Slenk: bochten en verondiepingen					Laag risico
Ameland	Knelpunten overal in Vaargeul, exclusief Reegeul	Totaal vergund ruim, per verspreidings-locatie overschrijding	Ja, in de uitbochtende geul en op de drempel		Uitvoering baggerwerkzaamheden vraagt om veel baggercapaciteit	Hoog risico door combinatie van factoren
Schiermonnikoog	Glinder & Grote Siege		Drempel Grote Siege			Gemiddeld risico

Holwert-Ameland: Andere inzet schepen en andere vaargeuldimensies

Voor de veerverbinding via de vaargeul Holwert-Ameland zijn vijf scenario's ontwikkeld met veerboten met verschillende dimensies. Voor de scenario's waarbij de maatgevende dimensies van de in te zetten schepen kleiner zijn, nemen de minimale diepte en/of de minimale breedte van de vaargeul af, zoals is weergegeven in Tabel 1-6. De noodzaak om te baggeren neemt waarschijnlijk af bij een kleinere vaargeul, maar het kan wel lastiger worden om te baggeren. Bij afname van de minimale diepte moeten de sleehopperzuigers minder worden beladen, waardoor de efficiency afneemt. Bij afname van de breedte van de vaargeul kunnen de baggerschepen minder makkelijk manoeuvreren en ook dat resulteert in een afname van de efficiency.

De scenario's zijn vergeleken met de huidige praktijk. De grootste afname van het te baggeren volume treedt op als de geul bij scenario 5 smaller en flink ondieper wordt, omdat de omvang dan het meest lijkt op de natuurlijke situatie. Het scenario waarbij de minimale breedte van de geul wordt gereduceerd, in combinatie met een beperkte afname van de minimale diepte bij scenario 2 levert ook een relatief grote afname van het te baggervolume. Maar bij een smallere en minder diepe geul is het veel lastiger om de baggerwerkzaamheden uit te voeren, zodat de scenario's 2 en 5 ondanks de grootste afname van het baggervolume in de praktijk moeilijk onderhouden kunnen worden. Scenario 4 kent door de sterke afname van de minimale diepte duidelijke beperkingen aan de inzet van de baggertechnieken en aan de efficiency van het baggeren, waardoor dit scenario ook lastig uitvoerbaar zal zijn. Daarmee blijven de scenario's 1 en 3 over. Voor scenario 3 geldt dat de reductie van het baggervolume zeer beperkt zal zijn, omdat alleen sprake is van een beperkte afname van de minimale diepte. Scenario 1 kent naar verwachting wel een flinke reductie van het

bagervolume, maar de uitvoering van de baggerwerkzaamheden wordt wel complexer. Met name de afname van de breedte beperkt de inzet van de sleepopperzuigers.

Tabel 1-6 *Vergelijking van de huidige praktijk en vijf scenario's voor de toepassing van schepen met andere dimensies (scenario's uit RHDHV, 2024).*

Scenario	Minimale diepte	Minimale breedte	Bagervolume	Baggertechnieken & -efficiency
Huidige praktijk	NAP -3,80 m	45,3m (50 m)	Huidig	Huidig
Scenario 1	NAP -3,23 m	36 m	Grote afname	Enige beperkingen
Scenario 2	NAP -3,49 m	31,5 m	Grootste afname	Grote beperkingen
Scenario 3	NAP -3,32 m	45,3 m	Minst grote afname	Enige beperkingen
Scenario 4	NAP -2,91 m	45,3 m	Middelgrote afname	Grote beperkingen
Scenario 5	NAP -2,91 m	36 m	Grootste afname	Grootste beperkingen



Referenties

- Alonso, A. C., Smits, B., & Vroom, J. (2021). *Stijging Baggerhoeveelheden Vaargeul Boontjes; Data analyse op basis van morfologische ontwikkeling en baggerwerkzaamheden. Deltaresrapport met kenmerk 11206799-007-ZKS-0001.*
- Arcadis. (2015). *Probleemanalyse MKBA Westgat, Gemeente De Marne. Arcadis rapport Projectnummer : C03031.000648.*
- Arcadis. (2016). *Baggeren en verspreiden in de Waddenzee; Passende beoordeling. Arcadis rapport 078815656.*
- Arcadis. (2024). *Ecosysteemgericht baggeren. Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen.*
- Brils, F., & Posthuma, A. (2023). *Jaarrapportage Baggerwerkzaamheden Waddenzee 2022. Rijkswaterstaat Noord Nederland, district West, verslag.*
- Cleveringa, J. (2024). *Ecosysteemgericht baggeren. Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen. Rapport 2024-02, Waddenacademie, Leeuwarden.*
- Cleveringa, J., & Grasmeyer, B. (2010). *Meegroeivermogen en gebruiksruimte in de getijbekkens Vlie en Marsdiep; Grootschalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee. Alkyon Rapport A2062R3r5.*
- Dankers, P. (2022). *Samenvatting effecten baggeren en verspreiden; samenvatting behorende bij Cumulatieve effecten baggeren en verspreiden op habitatype H1130 in het Eems estuarium - Deel 1: Abiotische effecten - Deel 2: Biotische effecten. Rapport Deltares RHDHV met kenmerk.*
- Deltares. (2013). *Kenmerkende waarden Kustwateren en Grote Rivieren.*
- Deltares. (2024). *Knelpuntenanalyse Harlingen - Noordzee. Conceptueel model en handelingsperspectief voor knelpunten in de vaargeul Harlingen - Noordzee.*
- Deltares/Arcadis. (2024). *Knelpuntenanalyse Glinder en Groote Siege. Conceptueel model en handelingsperspectief voor knelpunten in de vaargeul Lauwersoog-Schiermonnikoog.*
- Elschot, K., Puijenbroek, M., Lagendijk, G., van der Wal, J. T., & Sonneveld, C. (2020). *Lange-termijnontwikkeling van kwelders in de Waddenzee (1960-2018). (WOT-technical report; No. 182), (Wageningen Marine Research rapport; No. C023/20). WOT Natuur & Milieu.*
- Lodder, Q., Huismans, Y., Elias, E., de Looff, H., & Wang, Z. B. (2022). *Future sediment exchange between the Dutch Wadden Sea and North Sea Coast - Insights based on ASMITA modelling. Ocean & Coastal Management Volume 219.*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2012). *Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte.*
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Periode 2016-2022.*
- Mulder, P., & Posthuma, A. (2024). *Jaarrapportage baggerwerkzaamheden Waddenzee 2023.*
- Omgevingsberaad Waddengebied en Bestuurlijk overleg Waddengebied. (2023). *Uitvoeringsprogramma waddengebied 2021-2026 - Agenda voor het Waddengebied 2050; Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050.*
- Oost, A. P., Ens, B. J., Brinkman, A. G., Dijkema, K. S., Eysink, W. D., Beukema, J. J., . . . J, V. J. (1998). *Integrale bodemdalingstudie Waddenzee, Nederlandse Aardolie Maatschappij, rapport.*
- RHDHV. (2024). *Verkennd onderzoek naar de inzet van kleinere schepen op de veerverbinding Holwert-Ameland; Mogelijkheden en implicaties van de inzet van kleinere schepen vanuit een technisch-nautisch perspectief.*
- Rijk-regio Projectgroep Agenda voor het Waddengebied 2050. (2020). *Agenda voor het Waddengebied 2050; Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050.*
- Rijksoverheid. (2022). *Nationaal Water Programma 2022-2027. Het nationale waterbeleid en de uitvoering in de rijkswateren.*
- Rijksoverheid. (2022). *Reactienota op zienswijzen en adviezen. Nationaal Water Programma 2022-2027. Ministerie van van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.*
- Rijkswaterstaat. (2023). *Vervolgonderzoek bereikbaarheid Ameland 2030.*

- Van der Vegt, H., & Cleveringa, J. (2022). *Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee. Deltares rapport met kenmerk 11208040-009-ZKS-0003.*
- VROM. (2006). *Ontwikkeling van de wadden voor natuur en mens. Aangepast deel 3: kabinetstandpunt pkb Derde Nota Waddenzee.*
- Wang, Z. B., & van der Spek, A. J. (2021). *Meegroeivermogen en kritische zeespiegelstijgingssnelheid voor verdrinking in de Nederlandse Waddenzee. Deltaresrapport 11206346-002-BGS-0002.*
- Witteveen & Bos. (2022). *3-jaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee 2017- 2019 (inclusief 2020 en 2021). Rapport met kenmerk 127568/22-011.340 .*
- Witteveen & Bos. (2022). *Systeemanalyse morfologie inclusief verwachte ontwikkelingen tot 2100. Rapport met kenmerk 126248/22-007.365. .*
- Witteveen+Bos. (2023). *Vervolgonderzoek Bereikbaarheid Ameland 2030. Deelrapportage effectenbeoordeling morfologie.*

Bijlage A. Huidige dimensies vaargeulen, havens en omvang baggerwerkzaamheden

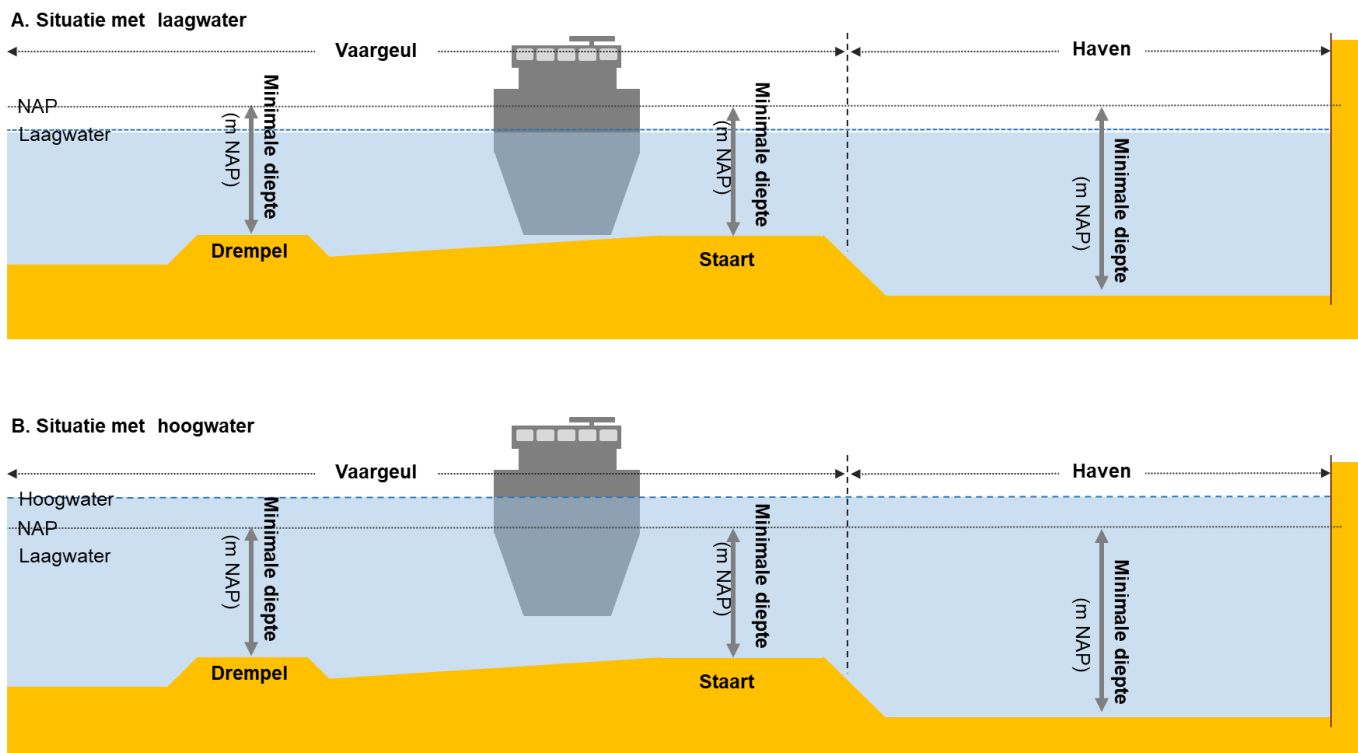
Inleiding

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de vigerende ruimte (dieptes, breedtes en baggervolumes) per verbinding, inclusief bron en een beknopte geschiedenis.

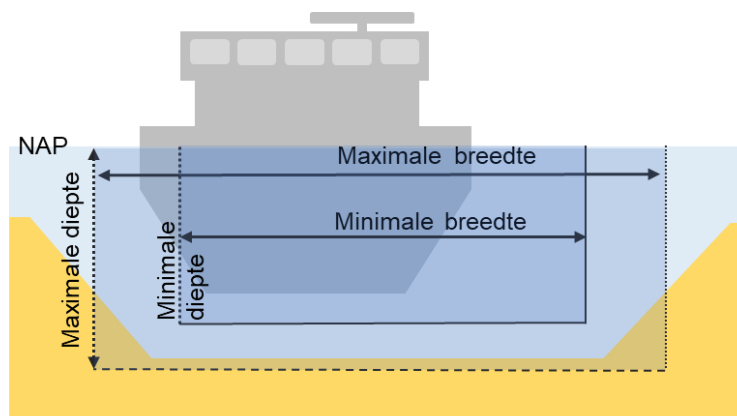
Diepte en breedte van de vaargeul

De omvang van de vaargeul voor wat betreft minimale dieptes en breedtes is gerelateerd aan het gebruik van bepaalde type (veer)boten. De afmetingen zijn ten tijde van de (VROM, 2006) gekoppeld aan de schepen die er toen voeren. Verruiming van de maximale maatvoeringen werden (voor de veerverbindingen) niet meer toegestaan. De minimale diepte is, in combinatie met de laagwaterstanden maatgevend voor de diepgang van de schepen (*Figuur 1-10*). De minimale breedte van de vaargeul is maatgevend voor de breedte van de schepen en of er in geulen gepasseerd moet kunnen worden (*Figuur 1-11*). In het getijdgebied van de Waddenzee treden de maatgevende condities in termen van breedte en diepte van de vaargeulen op tijdens laagwater. De tijdens laagwater beschikbare minimale diepte in de vaargeul en haven is altijd kleiner dan de minimale diepte ten opzichte van NAP (zie het bovenste paneel van *Figuur 1-10*).

Het niveau van laagwater verschilt in de Waddenzee. Het niveau neemt af van west naar oost. Bij springtij is de laagwaterstand in Den Helder NAP -0,89 m en bij Schiermonnikoog NAP -1,38 m (slotgemiddelde waarden voor de toestand begin 2011 (Deltares, 2013)). De beschikbare waterdiepte bij dezelfde NAP hoogte is dus bijna een halve meter minder bij Schiermonnikoog dan bij Den Helder.



Figuur 1-10 Conceptueel figuur van de minimale baggerdiepte in de lengterichting van de vaargeul tot en met de haven, voor de situatie met laagwater (boven) en met hoogwater (onder).



Figuur 1-11 Conceptueel figuur van de maximale en minimale breedte en de maximale en minimale diepte.

Baggeren en het gebruik van de vaargeul

Op sommige plekken in de geulen en havens resulteert de sedimentatie van zand en slib erin dat deze plekken ondieper worden. De sedimentatie betekent dat de beschikbare diepte van de vaargeul afneemt en de bruikbaarheid van de vaargeul verminderd. Om de minimale diepte op peil te houden moet onderhoudsbaggerwerk plaatsvinden op die plekken. De omvang van dat baggerwerk, die wordt uitgedrukt in het volume baggerspecie dat wordt verplaatst, is afhankelijk van de oppervlakte waarover het baggeren noodzakelijk is en hoe vaak er per jaar moet worden gebaggerd. Hoe vaak moet worden gebaggerd is afhankelijk van de snelheid van de sedimentatie en de overdiepte die aanwezig is. De overdiepte is het verschil tussen de maximale diepte en de minimale diepte op de baggerlocatie (Figuur 1-11). Het baggeren wordt zo uitgevoerd dat het geen beperkingen oplevert voor het gebruik van de vaargeulen en havens. Daarnaast hebben de veerboten te allen tijde voorrang op de baggerschepen, maar ze moeten wel hun snelheid aanpassen voor het veilig passeren van de baggerschepen.

Beperkingen in de beschikbare waterdiepte en/of breedte kunnen optreden doordat het niet lukt het baggerwerk voldoende snel uit te voeren over het hele gebied waar onderhoud dient plaats te vinden. In principe treedt dit niet op, omdat de onderhoudscontracten met de uitvoerende aannemers erop zijn gericht om dit te voorkomen. Incidenteel kunnen knelpunten optreden omdat heel snelle sedimentatie is opgetreden in een grote delen van één of meerdere vaargeulen. Dit kan optreden nadat door een storm snelle en grootschalige herverdeling van zand en slib in de Waddenzee heeft plaatsgevonden. Na zo'n event met veel sedimentatie moet op veel plekken tegelijkertijd baggeronderhoud worden uitgevoerd. De kans op het optreden van beperkingen door de sedimentatie van zand en slib is groter in gebieden waar veel wordt gebaggerd.

Juridische kader baggerwerkzaamheden

De baggerwerkzaamheden in de Waddenzee zijn vrijgesteld van vergunningplicht voor de Omgevingswet (oorspronkelijk Natuurbeschermingswet) onder de voorwaarden die zijn opgenomen in het Beheerplan Waddenzee (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De specifieke voorwaarden hebben als doel om te voorkomen dat significante negatieve effecten op de Natura 2000-doelstellingen optreden.

In het beheerplan Waddenzee is voor alle baggerlocaties in de Waddenzee het *verwachte volume* opgenomen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Deze verwachte baggervolumes zijn bepaald door uit te gaan van het gemiddelde van de 'afgelopen' vijf jaar (ten opzichte van de publicatie van het beheerplan in 2016), tenzij sprake is van een duidelijke trend en/of afwijkende omstandigheden waardoor dat gemiddelde niet representatief is. In de beheerplantekst wordt ook gesproken over *geschatte maximale hoeveelheden*. In de Waddenzee zijn geen situaties bekend waar de overschrijdingen van de verwachte baggervolumes (Alonso, Smits, & Vroom, 2021), of het optreden van situaties die strijdig zijn met het voorwaardenkader (Witteveen & Bos, 2022), tot gevolg hebben gehad dat de baggerwerkzaamheden geen doorgang konden vinden. Het is echter niet uit te sluiten dat het baggerwerk in de toekomst beperkt of gestaakt dient te worden waardoor een vaargeul niet meer aan de minimale diepte zal voldoen. De kans dat dit optreedt is het grootst op die plekken waar grote volumes worden gebaggerd.

Informatie per veerverbinding

Per veerverbinding is een paragraaf opgenomen, waarin vier tabellen worden gepresenteerd:

1. De eerste tabel inzicht in de minimale en maximale diepte en breedte van de vaargeulen.
2. De tweede tabel geeft het overzicht van de minimale en maximale diepte van de havens.
3. De derde tabel geeft een overzicht van de kenmerken van de baggerwerkzaamheden vanwege het beheerplan van de havens en de geulen, inclusief de verwachte baggervolumes.
4. In de vierde tabel zijn de historische baggervolumes opgenomen met ter vergelijking ook de verwachte volumes uit het beheerplan. De historische baggervolumes komen uit Brils & Posthuma (2023) en Mulder & Posthuma (2024).

Kanttekeningen gemeten baggervolumes

Voor de gemeten baggervolumes zijn er wel een paar kanttekeningen. Ze moeten worden geïnterpreteerd als indicatief, omdat ze sterk onderhevig zijn aan de wijze van baggeren, soort gebaggerd sediment en de wijze van registreren. Agiteren heeft in verleden bijvoorbeeld geleid tot een sterke toename van de baggervolumes. Het baggeren van slib kan leiden tot de inname van veel water en dus weinig sediment. Sinds november 2021 is er een nieuw contract voor de baggerwerkzaamheden in de Waddenzee met een andere aannemerscombinatie. Dergelijke overgangen hebben vaak gevolgen voor de ingezette baggertechnieken. In dit geval wordt op het traject naar Schiermonnikoog meer geploegd en nauwelijks nog een sleepopper ingezet. Dit kan gevolgen hebben voor de gerapporteerde baggervolumes, omdat voor ploegen wordt uitgegaan van een gekalibreerd volume dat wordt verplaatst per uur. Daarnaast worden de beunvolumes met ingang van het contract in november 2021 gecorrigeerd voor water, wat naar verwachting heeft geleid tot een reductie van 10-30% ten opzichte van de daarvoor gerapporteerde volumes.

Texel

Minimale diepte en breedte

De minimum vaargeuldimensies van de vaargeul van Texel naar Den Helder zijn een breedte van 100 m en een diepte van NAP -6 m (*Tabel 1-7*). Deze breedte en diepte is al van nature zeer ruim aanwezig in het Marsdiep, waardoor baggerwerkzaamheden niet nodig zijn in deze vaargeul.

Tabel 1-7 Afmetingen het vaarwater van Texel naar Den Helder. De getallen komen uit het Nationaal Water Programma 2022-2027 (Rijksoverheid, 2022).

Vaarwater	Minimum bodembreedte	Maximum bodembreedte	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Den Helder – Texel	100 m	n.v.t.	-6 m	n.v.t.

De baggerdiepte in beide veerhavens verschilt per baggervak zoals zichtbaar in *Tabel 1-8*. De maximale dieptes (baggerdieptes) liggen tussen NAP -6,30 en -8,00 m. De vakindeling voor de haven van Texel (havenkom) wordt momenteel opnieuw bekeken. Mogelijk leidt dit tot kleine veranderingen.

Tabel 1-8 Dieptes van havens waar Rijkswaterstaat baggeractiviteiten laat uitvoeren (Arcadis, 2016): Den Helder en Texel. De delen van de veerhavens waarbij minimumdiepte NAP 0 m is aangegeven, hoeven niet te worden gebaggerd, maar mogen dat wel indien dat voor het onderhoud van deze veerhavens nodig is.

Havens	Vak	Deel	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Den Helder	A	Veerhaven	-6,50	-7,20
	B	Veerhaven	0,00	-7,20

Texel	A	Veerhaven	-4,00	-7,00
	B	Veerhaven	-6,00	-6,30
	C	Veerhaven	-6,50	-7,00
	D	Veerhaven	-7,00	-8,00
	E	Veerhaven	0,00	-7,50

Baggerwerkzaamheden

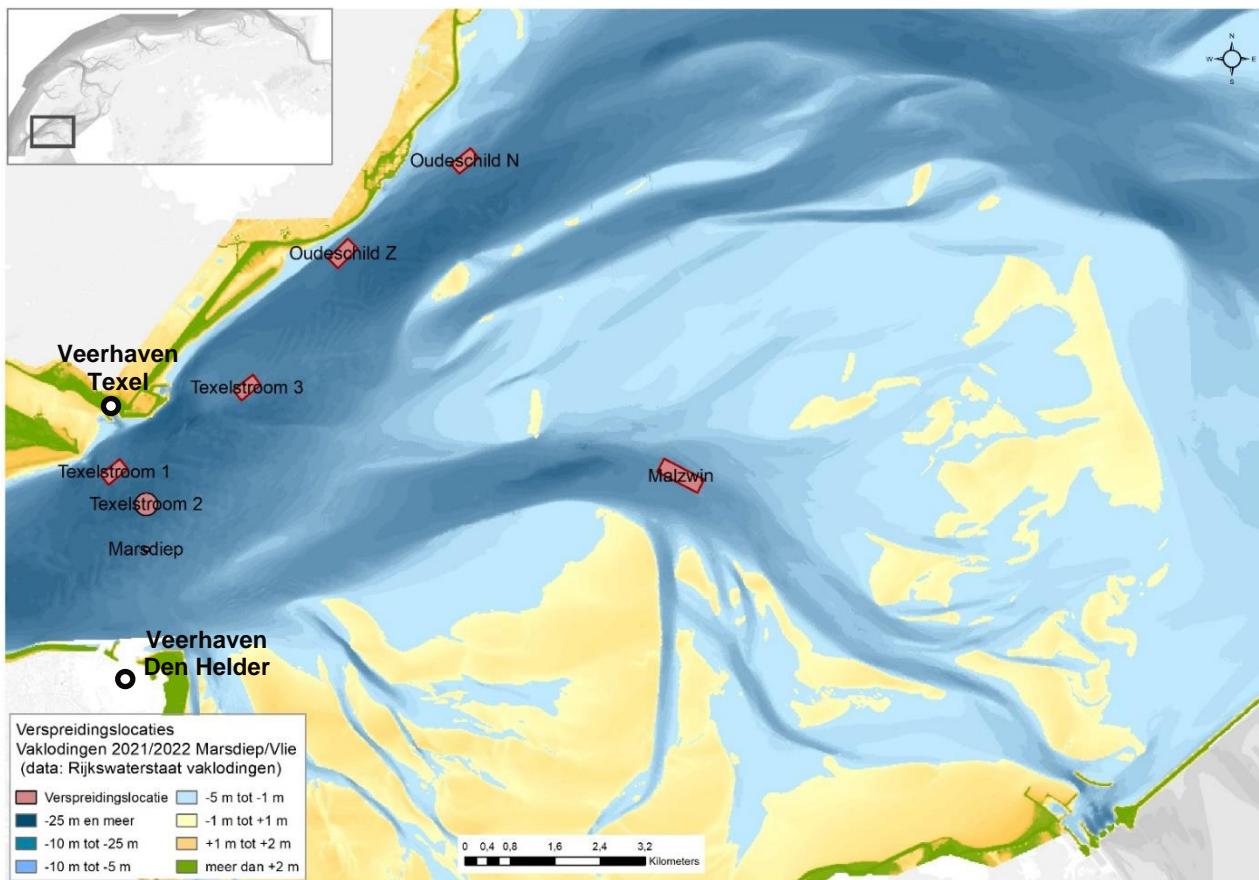
Voor de veerverbinding van Den Helder naar Texel wordt gebaggerd in de veerhavens van Texel en Den Helder (zie Tabel 1-9). De daadwerkelijke baggervolumes van 2018 t/m 2023 zijn opgenomen in Tabel 1-9. Deze fluctueren grofweg tussen de 1.000 en de 15.000 m³ per jaar. In 2020 is er niet gebaggerd in de haven van Texel. De verspreidingslocaties van het baggermateriaal uit de havens is Texelstroom 1, 2 en 3, zichtbaar in Figuur 1-12. Volgens het beheerplan is de baggerfrequentie voor beide havens vier weken per jaar. De verwachte omvang van de baggerwerkzaamheden is in de veerhaven van Texel het grootste (6000 m³ per jaar op basis van het beheerplan). In beide gevallen is het daadwerkelijk gebaggerde volume gemiddeld over de periode van 2018 tot en met 2023 lager dan de verwachte volumes.

Tabel 1-9 De huidige dimensies van de baggerwerkzaamheden voor de vaargeul van Den Helder naar Texel inclusief de havens (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Het getoonde baggervolume is het verwachte baggervolume.

Baggerlocatie	Verspreidingslocatie	Frequentie	Volume 1000 m ³ /jaar	Soort Specie	Beheer
Havens					
Veerhaven Den Helder (inclusief toegangseul)	Binnen/ omgeving werkgebied, Texelstroom -2	4 weken per jaar	1	Zanderig slib	RWS
Veerhaven Texel (inclusief toegangseul)	Binnen/ omgeving werkgebied, Texelstroom -1, en -3	4 weken per jaar	6	Zanderig slib	RWS

Tabel 1-10 Historische baggervolumes op de veerroute van Den Helder naar Texel per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun (Brils & Posthuma, 2023) (Mulder & Posthuma, 2024). Tussen haakjes staat het volume dat door middel van ploegen op stroom is gezet. Bij de jaren waar dit niet staat aangegeven is deze informatie niet beschikbaar.

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting beheerplan
Veerhaven Den Helder	315	0	0	0 (238)	0 (0)	0 (88)	1.000
Veerhaven Texel	9.397	14.737	0	6.180 (475)	0 (1.083)	0 (3.496)	6.000



Figuur 1-12 De verspreidingslocaties voor baggermateriaal in het kombergingsgebied Marsdiep (Cleveringa, Ecosysteemgericht baggeren. Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen. Rapport 2024-02, Waddenacademie, Leeuwarden., 2024).

De knelpunten van de veerroute naar Texel

De limiterende dimensies op de veerroute naar Texel zijn de dieptes in de havens van zowel Texel als Den Helder. De baggervolumes zijn het grootst voor de haven van Texel. Er zijn geen knelpunten wat betreft de dimensies in de vaargeul.

Terschelling & Vlieland

Minimale diepte en breedte

De afmetingen van de vaargeulen van Harlingen naar Terschelling en Vlieland staan in *Tabel 1-11*. Voor de meeste vaargeulen geldt een minimumdiepte van -7,5 m en een minimum breedte van 200 m. Voor de vaargeulen Pollendam, West/Noord Meep en Slenk is een smallere minimumbreedte aan de bodem vereist, zo'n 120 à 125 m. Daarnaast is de minimale diepte van Noord/West Meep en Slenk ook een stuk ondieper, met een minimale diepte van -5 m. Van nature blijven de geulen West/Noord Meep en de Vliestroom op beduidend grotere dieptes, waardoor baggerwerkzaamheden niet nodig zijn. Het grootste knelpunt wat betreft de vaargeuldimensies is de geul Slenk.

Tabel 1-11 Afmetingen van de vaargeulen van Harlingen naar Terschelling en Vlieland: dimensies bodembreedte en diepte. Wanneer een baggerdiepte is aangegeven in de laatste kolom betekent het dat het een knelpunt is in de vaarroute. De getallen

komen uit het Natura 2000-beheerplan Waddenzee 2016-2022 en het Nationaal Water Programma 2022-2027 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) (Rijksoverheid, 2022).

Vaargeul	Minimum bodembreedte	Maximum bodembreedte	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Pollendam	125 m	140 m	-7,5 m	-8 m
Blauwe Slenk	200 m	220 m	-7,5 m	-8 m
Pannengat	200 m	220 m	-7,5 m	-8 m
Vliestroom	200 m	220 m	-7,5 m	Geen knelpunt
West Meep/Noord Meep	120 m	130 m	-5 m	Geen knelpunt
Slenk vanaf 1 april 2010	120 m	130 m	-5 m	-5,5 m

De haven van Vlieland omvat twee verschillende baggervakken, één vak bevat het veerdienstgedeelte en één vak het sneldienstgedeelte (Tabel 1-12). Het veerdienstgedeelte wordt een meter dieper gebaggerd dan het sneldienstgedeelte omdat de veerdienst met dieperliggende schepen wordt uitgevoerd. Binnen de haven van Harlingen zijn de baggerdieptes ook variabel (NAP -2,80 tot -8,00 m). De dieptes per baggervak zijn niet specifiek bekend voor de haven van Harlingen. Voor de haven van Terschelling wordt maar één baggerdiepte aangehouden van -5,00 m, die overeenkomt met de minimale diepte in Slenk. De minimale diepte is niet opgegeven voor de haven van Harlingen.

Tabel 1-12 Dieptes van havens waar Rijkswaterstaat baggeractiviteiten laat uitvoeren: Harlingen, Terschelling en Vlieland. De informatie van Vlieland komt uit (Arcadis, 2016) en de informatie van Harlingen en Terschelling komt uit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

Havens	Vak	Deel	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Harlingen	-	-	-	Variabel van -2,80 tot -8,00
Terschelling	-	-	-	-5,00
Vlieland	1	Veerdienstgedeelte	-5,00	-5,25
	2	Sneldienstgedeelte	-4,00	-4,25

Baggerwerkzaamheden

In de haven van Harlingen worden omvangrijke baggerwerkzaamheden uitgevoerd, hiervoor is uitgegaan van 1.400.000 m³ per jaar in het beheerplan. De daadwerkelijke baggervolumes van 2019 t/m 2023 liggen daarentegen wel iets lager, rond de 1.100.000 m³ per jaar (Tabel 1-13 en Tabel 1-14). Van de werkzaamheden in de haven Harlingen is slechts een zeer klein deel direct bestemd voor de veerverbinding van Harlingen naar Terschelling & Vlieland. De veerhaven ligt zeer dicht bij de havenmonding en de benodigde minimale diepte is, uitgaande van de minimale diepte van NAP -5 m (diepte Slenk), beperkt in vergelijking met de maximale onderhoudsdiepte in de haven.

De verwachte baggerwerkzaamheden voor de veerdam van Vlieland en de gemeentehaven van Terschelling zijn 1.000 m³ en 20.000 m³ per jaar. De daadwerkelijke baggervolumes liggen een stuk lager, zie (Tabel 1-14).

Zolang de vaarroute vanuit Harlingen naar de Noordzee op de afgesproken diepte voor de zeescheepvaart wordt gehouden, is de veerverbinding naar Terschelling en Vlieland gegarandeerd voor de geul langs Pollendam, Blauwe Slenk en Pannengat. Dit komt omdat voor de vaarroute naar de Noordzee deze geulen een minimale diepte van NAP -7,5 m hebben, die beduidend dieper is dan wat benodigde is voor de veerverbinding.

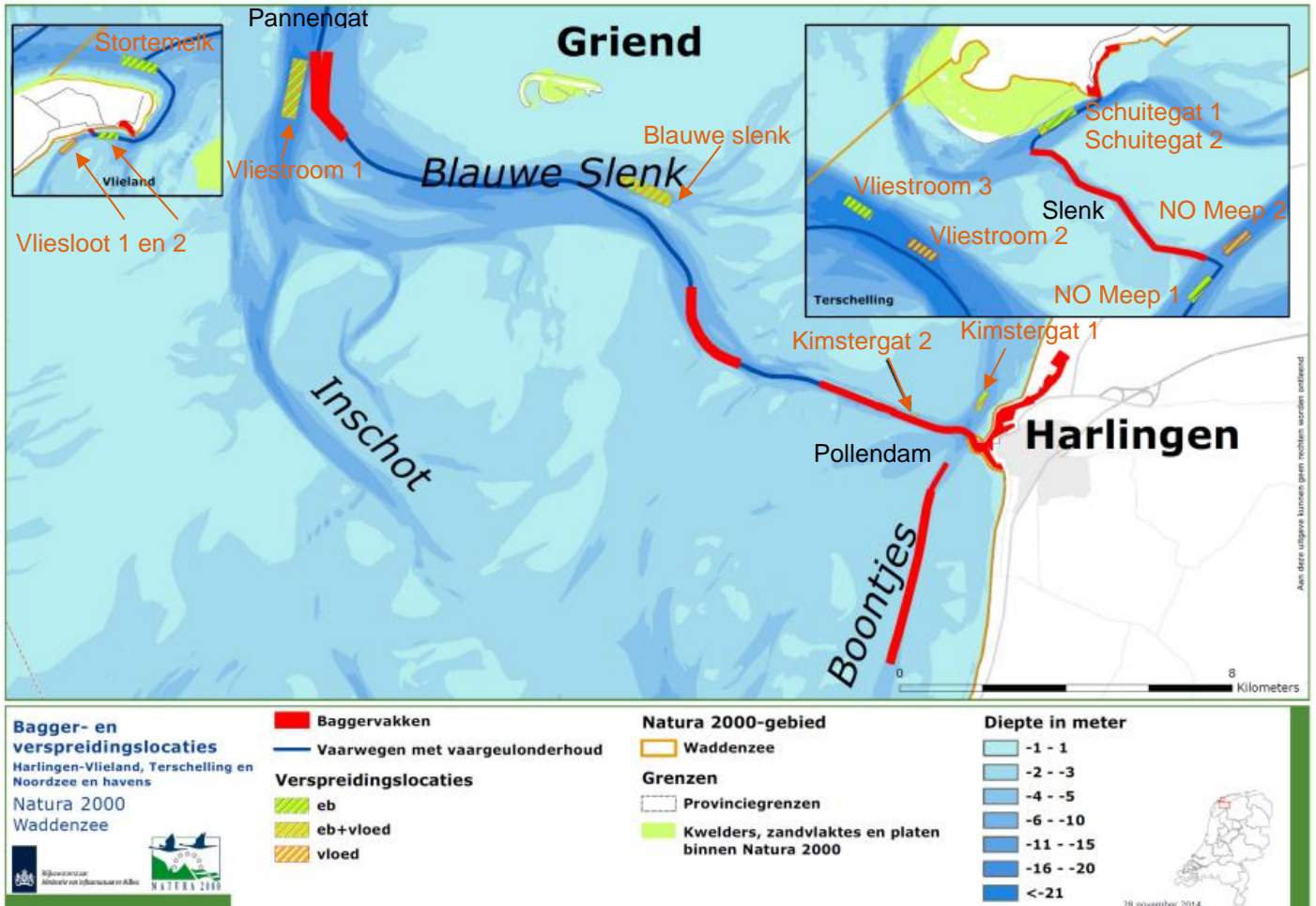
Tabel 1-13 De huidige dimensies van de baggerwerkzaamheden voor de vaargeul van Harlingen naar Vlieland en Terschelling inclusief de havens (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Het getoonde baggervolume is het verwachte baggervolume.

Baggerlocatie	Verspreidingslocatie	Frequentie	Volume 1000 m ³ /jaar	Soort Specie	Beheer
Havens					
Veerdam Vlieland	Binnen/ omgeving werkgebied, Vliesloot-1, en -2	2 weken per jaar	1	Zanderig slib	RWS
Gemeentehaven Terschelling (voormalige Rijkshaven)	Binnen/ omgeving werkgebied, Schuitengat	3 weken per jaar	20	Zanderig slib	Gemeente Terschelling
Haven van Harlingen	Kimstergat, Pollendam	Heel jaar	1400	-	Gemeente Harlingen
Vaargeulen					
Vaargeul langs Pollendam	Binnen/ omgeving werkgebied Kimstergat-1, en -2, Blauwe Slenk	6 maanden per jaar	65	Zanderig slib	RWS
Blauwe Slenk (drempel BS 18/BS 20)	Binnen/ omgeving werkgebied Kimstergat-1, en -2, Blauwe Slenk	Gehele jaar	400	Zand	RWS
Pannengat (drempel BS 2/BS 6)	Binnen/ omgeving werkgebied, Vliestroom-1	Gehele jaar	25	Zand	RWS
Schuitengat*	Binnen/ omgeving werkgebied, Schuitengat-2, Vliestroom-2 en-3*	P.m.*	P.m.*	Zand*	RWS*
Slenk (evt. inclusief klein deel Meep)	Binnen/ omgeving werkgebied, Schuitengat -2, NO Meep -1, en -2	Gehele jaar	320	Zand	RWS

*Wordt sinds 1992 niet meer gebruikt, zal alleen weer in gebruik worden genomen als deze van nature zou voldoen aan de minimale eisen.

De vaargeulen waarin baggerwerkzaamheden plaatsvinden zijn Pollendam, Blauwe Slenk, Pannengat en Slenk (zie *Figuur 1-13* voor de bagger- en verspreidingslocaties). Slenk en Blauwe Slenk zijn de geulen waarin het meeste baggerwerk nodig is, deze baggerwerkzaamheden vinden dan ook het hele jaar plaats. Voor de Blauwe Slenk is er wel een kanttekening. De grote baggervolumes zijn namelijk gekoppeld aan de grotere diepte waarop de geul onderhouden wordt, wat nodig is voor de vaarroute naar de Noordzee (zoals bovenstaand benoemd).

Schuitengat, de oude veerroute naar Terschelling (zie voor locatie *Figuur 1-5*), wordt sinds 1992 niet meer gebaggerd. Het Schuitengat wordt enkel nog gebruikt als de omstandigheden (waterstanden, golven) dit veilig toestaan. Sinds 1992 is de vaargeul Slenk de nieuwe officiële veerroute naar Terschelling. Vanwege nautische complexiteit bij het invaren is er geen wens om het Schuitengat in de toekomst weer in gebruik te nemen in plaats van Slenk.



Figuur 1-13 Bagger- en verspreidingslocaties voor het kombergingsgebied Vlie (Vlieland-Terschelling) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De naamgeving van de verspreidingsvakken is in het oranje aangegeven.

Tabel 1-14 Historische baggervolumes op de veerroute van Harlingen naar Terschelling en Vlieland per baggerlocatie van 2018 t/m 2023 in m³ in de beun (Brils & Posthuma, 2023) (Mulder & Posthuma, 2024). Tussen haakjes staat het volume dat door middel van ploegen op stroom is gezet. Bij de jaren waar dit niet staat aangegeven is deze informatie niet beschikbaar.

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting beheerplan
Veerdam Vlieland		-	-	-	-	-	1.000
Gemeentehaven Terschelling (voormalige Rijkshaven)	3.370	-	2.075	1.500 (0)	2.853 (0)	550 (200)	20.000
Haven van Harlingen	-	1.151.464	1.161.274	1.031.414	1.014.302	734.595	1.400.000
Vaargeul langs Pollendam	68.880	80.088	123.995	6.160 (2.025)	66.165 (3.925)	109.523 (6.462)	65.000
Blauwe Slenk	525.117	456.529	417.376	257.316 (6.575)	468.611 (0)	356.706 (954)	400.000

Pannengat	-	-	-	-	1.582	3.377	25.000
				(0)	(0)	(342)	
Slenk	347.982	311.492	172.310	112.610	194.253	139.668	320.000
				(6.213)	(13.475)	(6.505)	

De knelpunten van de veerroute naar Terschelling & Vlieland

Het grootste knelpunt wat betreft de baggervolumes is de geul Blauwe Slenk. Deze baggervolumes zijn echter zo hoog omdat een relatief diepe geuldiepte van NAP -7,5 m wordt onderhouden voor de vaarroute naar de Noordzee. Het knelpunt wat betreft de vaargeuldimensies (breedte en diepte) is de geul Slenk; de smalste en ondiepste geul op de veerroutes naar Terschelling en Vlieland.

Ameland

Minimale diepte en breedte

De afmetingen van de vaargeul van Holwert naar Ameland staan in Tabel 1-15. Voor de gehele verbinding zijn vaargeuldimensies hetzelfde. De minimum en maximum bodembreedte is 50 en 60m. De minimale diepte en baggerdiepte is NAP -3,8 en -4,0 m.

In de praktijk is het verschil van 20 cm tussen de minimale en de maximale diepte niet werkbaar voor de baggeraar. Het beperkte verschil levert twee problemen op. In de eerste plaats betekent het zeer kleine diepteverschil, dat de baggeraar heel gericht moet baggeren om, niet meer dan 20 cm weg te halen. En dat betekent ook dat minder efficiënt doorgewerkt kan worden. In de tweede plaats is op deze wijze slechts een heel beperkte overdiepte aanwezig, zodat de optredende sedimentatie al heel snel reden is om opnieuw te gaan baggeren. Zeker wanneer onder stormachtige condities veel zand en slib wordt getransporteerd, zal de geul al snel niet meer voldoen aan de minimale eisen. Bij een grotere overdiepte, die ontstaat bij een grotere maximale diepte kan dus efficiënter worden gebaggerd en hoeft minder vaak te worden gebaggerd. Dit betekent overigens niet dat daardoor de baggervolumes kleiner of groter worden. De totstandkoming van het kleine verschil tussen de minimale en de maximale diepte is ontstaan na de aanpassing van minimale diepte van NAP -3,5 m naar -3,8 m rond 2010/2011. De maximale diepte is toen niet aangepast.

Opties om te gaan naar een werkbare baggerdiepte die de baggeraar moet overbruggen is het teruggaan naar een minimale diepte van NAP -3,5 m (mits dat kan vanwege de betrouwbaarheid van de verbinding) of de maximale baggerdiepte aanpassen naar -4,30 m NAP.

Tabel 1-15 Afmetingen van de vaargeul van Holwert naar Ameland: dimensies bodembreedte en diepte. Wanneer een baggerdiepte is aangegeven in de laatste kolom betekent het dat het een knelpunt is in de vaarroute. De getallen komen uit het Natura 2000-beheerplan Waddenzee 2016-2022 en het Nationaalwaterprogramma 2022-2027 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) (Rijksoverheid, 2022).

Vaargeul	Minimum bodembreedte	Maximum bodembreedte	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Veerbootroute naar Ameland	50 m	60 m	-3,8 m	-4,0 m
Reegeul	50 m	60 m	-3,8 m	-4,0 m

De minimale dieptes in de havens zijn variabel. Bij Holwert varieert de baggerdiepte tussen NAP -3,00 en -4,00 m en bij Nes is deze NAP -4,00 m. In Tabel 1-16 is per baggervak de minimale diepte en baggerdiepte (maximale diepte) aangegeven van de havens.

Tabel 1-16 Dieptes van havens waar Rijkswaterstaat baggeractiviteiten laat uitvoeren (Arcadis, 2016): Holwert en Nes (Ameland).

Havens	Vak	Deel	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Holvert	1	Veerdienstgedeelte	-3,50*	-4,00
	2	Westkant	-2,50	-3,00
	3	Oostkant	-2,50	-3,00
Nes (Ameland)	1	Veerdienstgedeelte	-3,50	-4,00

*In de praktijk wordt dit gedeelte gehandhaafd op NAP -3,8 m, net als de aangrenzende vaargeul.

Baggerwerkzaamheden

De verbinding naar Ameland is de vaargeul met het meeste baggeronderhoud, en dat treedt op in verschillende delen van de verbinding. De grootste volumes treden op in het begin van de geul, van Holwert tot VA13 (Figuur 1-14). De historische baggervolumes van deze vaargeul liggen tussen de 900.000 en 1.100.000 m³ (Tabel 1-18). Het beheerplan is uitgegaan van een maximaal baggervolume van 2.000.000 m³ per jaar (Tabel 1-17). Het drempelgebied van de geulen Scheepsgat-Zuiderspruit, dat in Tabel 1-18 is aangeduid met Veerbootroute Ameland (VA4-VA13) is het andere gebied waar grote volumes worden gebaggerd. De baggervolumes liggen grofweg tussen de 400.000 en de 600.000 m³ (Tabel 1-18). Volgens het beheerplan zijn de te baggeren volumes hier een stuk kleiner (4.000 m³) en zou het baggerwerk ook niet frequent plaats hoeven te vinden (één keer per jaar) op plekken waar drempels van nature voorkomen (tussen boei VA4-V6, Figuur 1-14). Tenslotte wordt de Reegeul, dicht bij de haven van Ameland gebaggerd, waarbij de baggervolumes kleiner zijn dan de verwachte volumes (45.000 m³) met een frequentie van 2 maanden per jaar. Zie Figuur 1-14 voor een compleet overzicht van de bagger- en verspreidingslocaties.

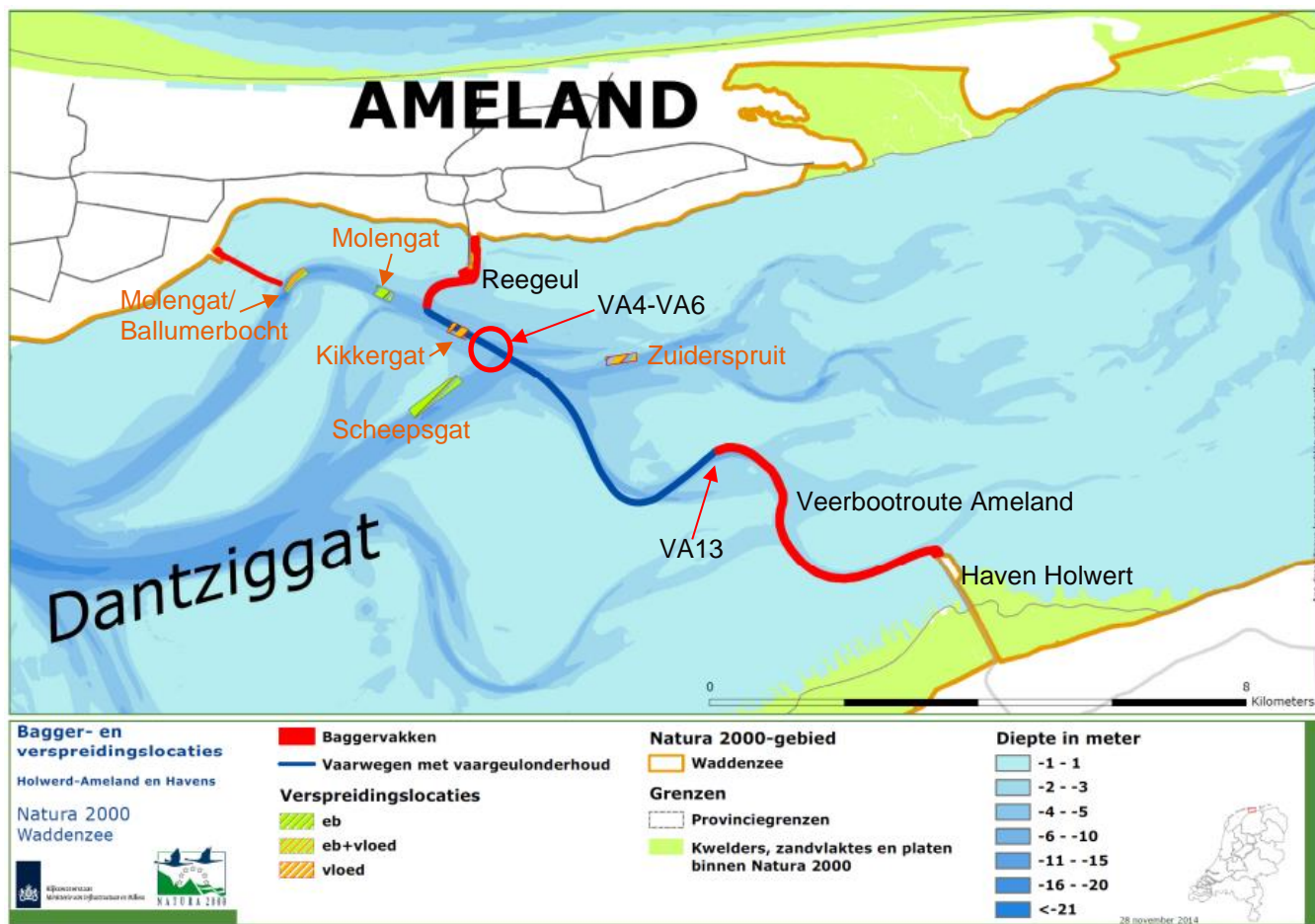
De veerhavens Holwert en Nes (Ameland) worden ook regelmatig gebaggerd. De verwachte baggervolumes volgens het beheerplan zijn 40.000 m³ en 20.000 m³ voor de havens en dat komt ruwweg overeen met het gemiddelde baggervolume van 2018 t/m 2023 (Tabel 1-18).

Tabel 1-17 De huidige dimensies van de baggerwerkzaamheden voor de vaargeul van Holwert naar Ameland inclusief de havens (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Het getoonde baggervolume is het verwachte baggervolume.

Baggerlocatie	Verspreidingslocatie	Frequentie	Volume 1000 m ³ /jaar	Soort Specie	Beheer
Havens					
Veerdam Holwert	Binnen/ omgeving werkgebied, Scheepsgat, Zuiderspruit	2 maanden per jaar	40	Slib	RWS
Veerdam Nes	Binnen/ omgeving werkgebied, Kikkertgat, Molengat	2 maanden per jaar	20	Slikgig zand	RWS
Vaargeulen					
Veerbootroute Ameland	Binnen/ omgeving werkgebied, Scheepsgat, Zuiderspruit	Gehele jaar	2000	Slib	RWS
Veerbootroute Ameland (o.a. drempel VA4/VA6)	Binnen/ omgeving werkgebied, Scheepsgat, Zuiderspruit	Per 1 jaar	4	Zand	RWS

Reegeul	Binnen/ omgeving werkgebied, Kikkertgat Reegeul-1*, en – 2*	1 maand per jaar	45	Zanderig slib	RWS
---------	---	---------------------	----	---------------	-----

*De locaties van de verspreidingsvakken Reegeul-1 en Reegeul-2 waren voor deze studie niet te achterhalen en staan niet afgebeeld in Figuur 1-14.



Figuur 1-14 Bagger- en verspreidingslocaties voor het kombergingsgebied Zeegat Ameland (Terschelling-Ameland) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De naamgeving van de verspreidingsvakken is in het oranje aangegeven.

Tabel 1-18 Historische baggervolumes op de veerroute van Holwert naar Ameland per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun (Brils & Posthuma, 2023) (Mulder & Posthuma, 2024). Tussen haakjes staat het volume dat door middel van ploegen op stroom is gezet. Bij de jaren waar dit niet staat aangegeven is deze informatie niet beschikbaar.

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting beheerplan
Veerdam Holwert	45.867	38.430	64.097	31.476 (700)	21.495 (22.783)	28.780 (33.050)	40.000
Veerdam Nes	25.840	20.290	39.269	28.974 (38)	5.470 (7.758)	15.875 (22.542)	20.000
Veerbootroute Ameland (Holwert – VA13)	1.055.800	1.132.357	1.133.670	945.837 (1.150)	839.425 (39.704)	1.246.251 (5.050)	2.000.000

Veerbootroute Ameland (VA4-VA13)	541.196	470.064	646.363	393.538 (1.100)	376.899 (39.171)	368.519 (2.396)	4.000
Reegeul	18.638	11.400	13.615	19.380 (0)	10.089 (2.809)	11.467 (4.087)	45.000

De knelpunten van de veerroute naar Ameland

Op de veerroute naar Ameland zijn geen specifieke limiterende dimensies: overal gelden namelijk dezelfde vaargeuldimensies. Als gekeken wordt naar de knelpunten wat betreft het baggeren dan is de vaargeul Ameland van Holwert tot VA13 het grootste knelpunt.

Schiermonnikoog

Minimale diepte en breedte

De afmetingen van de vaargeul van Lauwersoog naar Schiermonnikoog staan in Tabel 1-19. Voor zowel de geul Glinder als de Grootte Siege geldt een minimale diepte van NAP -3,5 m en een baggerdiepte van NAP -4 m. De maximale bodembreedte is voor de Glinder 60 m en voor de Grootte Siege 50 m. Voor de minimale bodembreedte van de vaargeulen is een discrepantie zichtbaar tussen de informatie uit het beheerplan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en die uit het Nationaal Water Programma (Rijksoverheid, 2022). Voor de Glinder is dit 55 m op basis van het beheerplan en 50 m op basis van het Nationaal Water Programma. Voor de Grootte Siege is dit 45 m op basis van het beheerplan en ook 50 m op basis van het Nationaal Water Programma. De variabele breedte van 45 en 55 meter is niet plausibel vanwege de nautische eisen die aan de vaargeulen worden gesteld. Vandaar dat wordt uitgegaan van de minimum breedte van 50m.

Tabel 1-19 Afmetingen van de vaargeul van Lauwersoog naar Schiermonnikoog: dimensies bodembreedte en diepte. Wanneer een baggerdiepte is aangegeven in de laatste kolom betekent het dat het een knelpunt is in de vaarroute. De getallen komen uit het Natura 2000-beheerplan Waddenzee 2016-2022 en het Nationaal Water Programma 2022-2027 (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) (Rijksoverheid, 2022).

Vaargeul	Minimum bodembreedte	Maximum bodembreedte	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Glinder	55 m / 50 m*	60 m	-3,5 m	-4 m
Grootte Siege	45 m / 50 m*	50 m	-3,5 m	-4 m

*In (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) is een bodembreedte van 55/45 m (Glinder/Grootte Siege) gerapporteerd en in (Rijksoverheid, 2022) 50 m.

In Tabel 1-20 zijn de minimale dieptes en baggerdieptes per havendeel benoemd. Voor de veerhaven van Lauwersoog en Schiermonnikoog is dit NAP -4,00 m.

Tabel 1-20 Dieptes van havens waar Rijkswaterstaat baggeractiviteiten laat uitvoeren (Arcadis, 2016): Lauwersoog en Schiermonnikoog. Enkel de informatie van de vissershaven van Lauwersoog komt uit (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016).

Havens	Vak	Deel	Minimale diepte [NAP m]	Maximale diepte [NAP m]
Lauwersoog		Veerhaven	-3,75	-4,00
Schiermonnikoog	1	Veerdienstgedeelte	-3,50	-4,00

Baggerwerkzaamheden

Voor de instandhouding van de veerverbinding van Lauwersoog naar Schiermonnikoog worden baggerwerkzaamheden uitgevoerd in de havens van Lauwersoog en Schiermonnikoog en in twee geulen, de Glinder en Grootte Siege (zie *Figuur 1-15* voor de bagger- en verspreidingslocaties). De vaargeulen Glinder en Grootte Siege worden het gehele jaar door op diepte gehouden. Het baggermateriaal uit deze geulen bestaat voornamelijk uit zand. De verwachte jaarlijkse baggervolumes uit de geulen zijn 125.000 en 65.000 m³ (*Tabel 1-21*). Deze volumes komen redelijk goed overeenkomen met de historische baggervolumes zoals in *Tabel 1-22* gepresenteerd. In de veerhavens worden kleinere volumes gebaggerd, waarvan de historische volumes gemiddeld lager zijn dan de verwachte volumes van 9.000 m³ voor Lauwersoog en 15.000 m³ voor Schiermonnikoog. Het materiaal uit de havens bestaat voornamelijk uit slib.

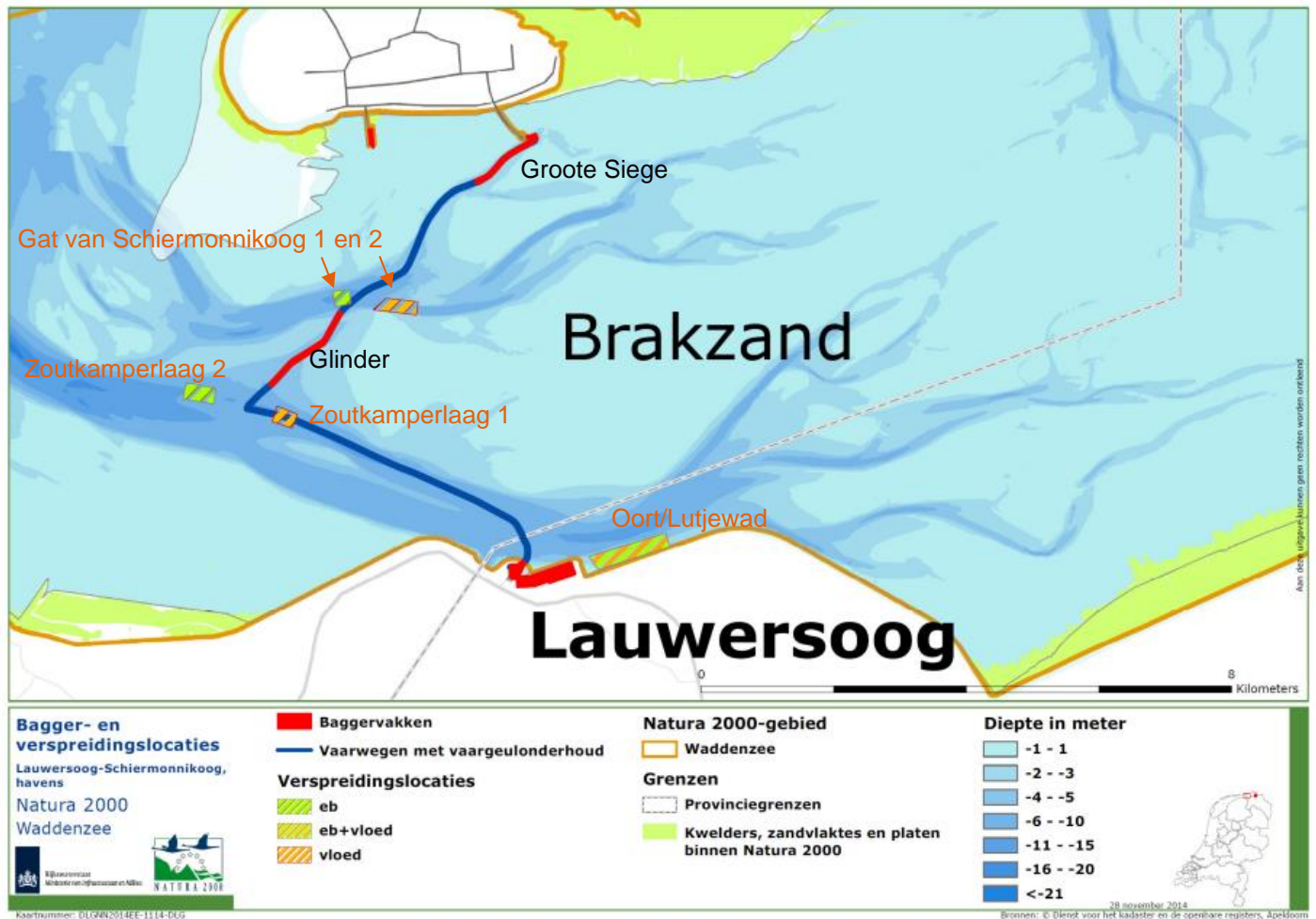
Tabel 1-21 De huidige dimensies van de baggerwerkzaamheden voor de vaargeul van Lauwersoog naar Schiermonnikoog inclusief de havens (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Het getoonde baggervolume is het verwachte baggervolume.

Baggerlocatie	Verspreidingslocatie	Frequentie	Volume 1000 m ³ /jaar	Soort Specie	Beheer
Havens					
Veerhaven Lauwersoog	Binnen/ omgeving werkgebied, Oort/ Lutjewad2	1 maand per jaar	9	Slib	RWS
Veerdam Schiermonnikoog	Binnen/ omgeving werkgebied, Gat van Schiermonnikoog-1, en -2	2 maanden per jaar	15	Slib	RWS
Vaargeulen					
Glinder	Binnen/ omgeving werkgebied, Zoutkamperlaag -1 en -2, Gat van Schiermonnikoog-1, en -2	Gehele jaar	125	Zand	RWS
Grootte Siege	Binnen/ omgeving werkgebied Gat van Schiermonnikoog-1, en -2, Gr. Siege- 1, -2, -3 en -4	Gehele jaar	65	Zand	RWS

**De locaties van de verspreidingsvakken Grootte Siege-1, -2 en -3 waren voor deze studie niet te achterhalen en staan niet afgebeeld in *Figuur 1-15*.*

Tabel 1-22 Historische baggervolumes op de veerroute van Lauwersoog naar Schiermonnikoog per baggerlocatie van 2018 t/m 2022 in m³ in de beun. Tussen haakjes zijn de geploegde volumes weergegeven (Brils & Posthuma, 2023) (Mulder & Posthuma, 2024). Tussen haakjes staat het volume dat door middel van ploegen op stroom is gezet. Bij de jaren waar dit niet staat aangegeven is deze informatie niet beschikbaar.

Locatie	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Verwachting beheerplan
Veerhaven Lauwersoog	10.040	4.836	2.085	2.363 (425)	0 (7.571)	0 (6.942)	9.000
Haven Schiermonnikoog	20.410	4.612	-	7.237 (850)	4.102 (7.792)	0 (7.437)	15.000
Glinder	117.089	155.975	91.876	74.681 (11.563)	28.516 (110.287)	54.470 (49.234)	125.000
Grootte Siege	71.181	60.660	52.288	22.869 (0)	16.340 (43.637)	45.355 (19.583)	65.000



Figuur 1-15 Bagger- en verspreidingslocaties voor de kombergingsgebieden Friese Zeegat (Lauwersoog-Schiermonnikoog) (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). De naamgeving van de verspreidingsvakken is in het oranje aangegeven.

De knelpunten van de veerroute naar Schiermonnikoog

De knelpunten wat betreft de vaargeuldimensies bevinden zich in de Glinder en de Grootte Siege. Het knelpunten wat betreft de baggerwerkzaamheden bevindt zich in de Glinder.

Bijlage B. Morfologie van de veerverbindingen

De verschillen in de ligging van de veerverbinding in de geulen van de Waddenzee zijn zeer groot. De veerverbinding naar Texel gaat dwars over een van de grootste geulen van de hele Waddenzee, terwijl bij Holwert de veerverbinding naar Ameland door een klein geultje gaat. De verschillen tussen deze twee geulen zijn verklaarbaar vanuit hun ligging in het kombergingsgebied, waarbij de verbinding naar Texel naast het zeegat ligt, terwijl het geultje bij Holwert vlak bij het wantij ligt. De getijdegeulen in de Waddenzee vertakken vanuit het grote zeegat, bij de verbinding met de Noordzee en worden naarmate ze dichter bij de ‘achterkant’ (landwaartse grens en wantijen) van het kombergingsgebied komen steeds kleiner. In de veerverbinding van Harlingen naar Vlieland is het verschil in de omvang van de geulen van land naar de Noordzee nadrukkelijk zichtbaar, omdat deze verbinding van de ‘achterkant’ van het kombergingsgebied naar de Noordzee loopt.

Binnen dit hoofdstuk is de duiding van de morfologische setting in relatie tot bestaande en mogelijke toekomstige knelpunten gegeven per veerverbinding. De knelpunten omvatten zowel de vaargeuldimensies, als het daarmee samenhangende baggerwerk en ook de eventuele gevolgen voor de lengte van de vaarroutes. In de eerste paragraaf zijn de morfologische elementen beschreven die nodig zijn om de morfologische setting te begrijpen per veerverbinding. De focus ligt op de elementen die resulteren in een baggerbezwaar.

Morfologische elementen

Voor het beschrijven van de processen waardoor vaargeulen en havens ondieper worden, is het handig om een classificatie te gebruiken. De classificatie is gebaseerd op de belangrijkste processen die leiden tot sedimentatie in de betreffende gebieden. Deze indeling is voor de vaargeulen geïntroduceerd in Van der Vegt & Cleveringa (2022). In het voorliggende rapport zijn havens hieraan toegevoegd.

- Havens
- Drempelgeul
- Staartgeul
- Kortsluitgeul
- Buitendeltageul

Sedimentatie in havens

Havens zijn afgeschermd van de Waddenzee door havendammen. Bij vloed stroomt water met sediment de haven in. De stroomsnelheden zijn hoger bij de haveningang en nemen af naarmate je verder in het havenbekken komt. Daarnaast zijn in de haven zijn de invloeden van golven beperkt, door de afschermdende werking van de havendammen. Het sediment dat met de vloedstroming de haven in is gestroomd kan daardoor geleidelijk bezinken, de bodem bereiken en daar sedimenteren. Vanwege het verschil in de optredende stroomsnelheden nabij de havenmond en verder de haven in, in combinatie met de hogere valsnelheden van grovere en lagere snelheden van fijnere deeltjes, zullen zanddeeltjes met name bij de havenmond worden afgezet en komen slibdeeltjes verder weg in het havenbekken tot bezinking. Het (fijne) sediment dat tijdens vloed niet op de bodem is afgezet zal tijdens afgaand water met de ebstroming mee de haven uit worden getransporteerd.

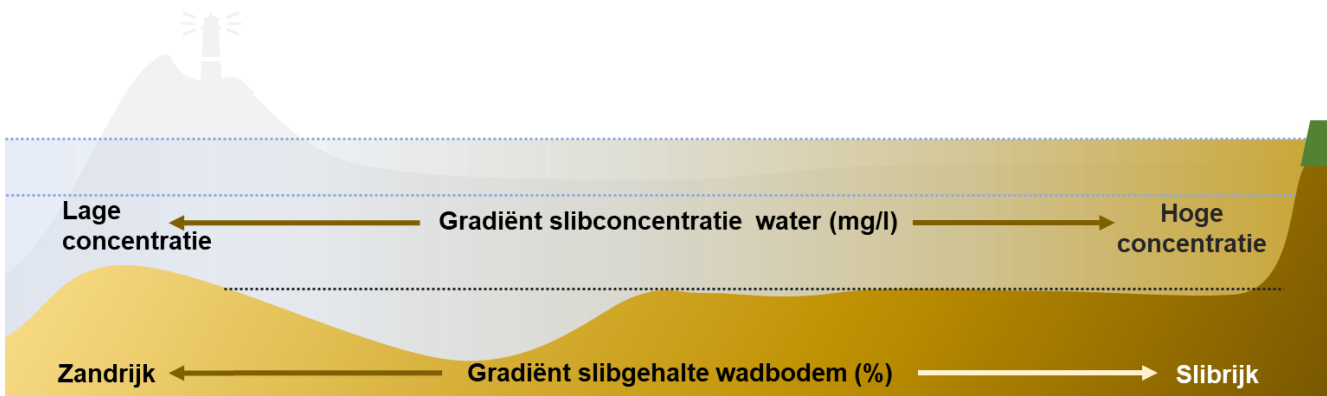
Welke elementen bepalen het baggerbezwaar in de havens?

Havens fungeren dus als invangbekkens voor sediment. De hoeveelheid sediment die per getij wordt ingevangen is een functie van de concentratie van het sediment in het binnenstromende water, de valsnelheid van het sediment (hoe groot is de korrel?) en het watervolume dat per getij naar binnen en naar buiten stroomt. Dat watervolume wordt bepaald door de hoog- en laagwaterstanden en de oppervlakte van de haven (en de helling van de wanden van de haven). Naast deze variabelen zijn ook de omvang van de haveningang van belang voor de sedimentatie evenals de aanwezigheid van een zoetwaterafvoer (spui, gemaal) in de haven.

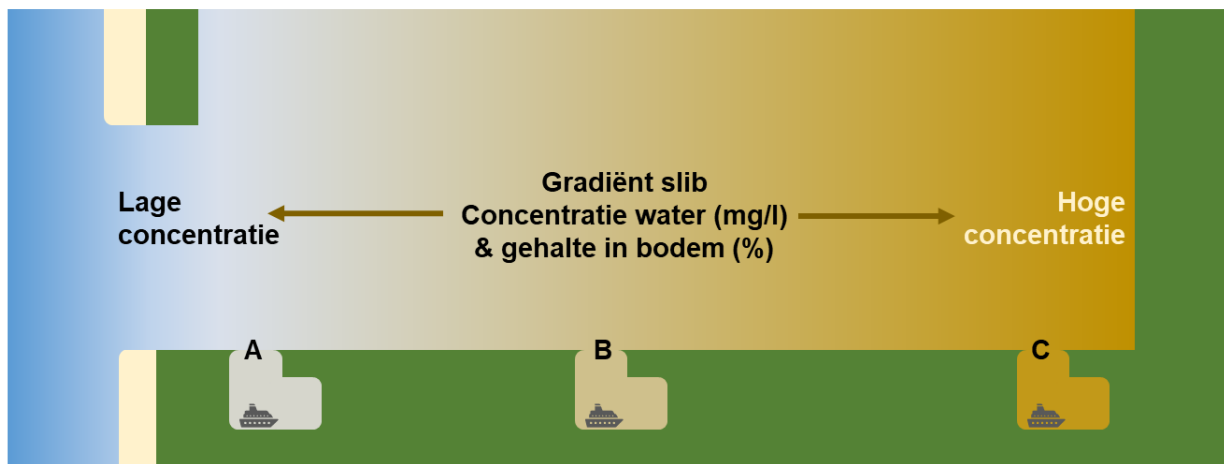
Voor de totale omvang van de sedimentatie in een haven per jaar is de omvang van de haven sterk bepalend. Voor de gemiddelde sedimentatiesnelheid in elk havenbekken is de sedimentconcentratie in de Waddenzee buiten de betreffende haven van groot belang. Bij een hogere sedimentconcentratie zal sprake zijn van hogere sedimentatiesnelheden in de haven (*Figuur 1-17*). De concentratie van slib in de waterkolom kent in elk kombergingsgebied van de Wadden een sterke gradiënt, met lage concentraties nabij het zeegat en hoge concentraties aan de landwaartse zijde (*Figuur 1-16* en *Figuur 1-17*). Voor de concentratie zand in de waterkolom nabij

de havenmond zijn de lokale stroomsnelheden in de Waddenzee bij de haven van belang. Zand zal in het algemeen in hogere concentraties aanwezig zijn daar waar een haven aan een grotere geul grenst.

Verder spelen de golven buiten het havenbekken een rol bij de concentraties van zand en slib in de waterkolom. De sedimentconcentraties in de Waddenzee variëren in de tijd, met gemiddeld hogere concentraties van slib in de waterkolom in herfst, winter en het vroege voorjaar en lagere concentraties in de rest van het jaar. Tijdens stormen worden ook tijdelijk (zeer) hoge concentraties bereikt. De verwachting is dat de sedimentatiesnelheden in havens in de periodes met hoger concentraties in de herfst, winter en het vroege voorjaar en na een storm hoger zijn dan in de rest van het jaar.



Figuur 1-16 Schematische dwarsdoorsnede van een kombergingsgebied met de twee gradiënten, in de concentratie slib in de waterkolom en in het slibgehalte van de bodem (Cleveringa, Ecosysteemgericht baggeren. Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen. Rapport 2024-02, Waddenacademie, Leeuwarden., 2024).



Figuur 1-17 Schematisch bovenaanzicht van een kombergingsgebied met havens op drie verschillende locaties (A, B en C) ten opzichte van de gradiënt in het slib (Cleveringa, Ecosysteemgericht baggeren. Fase 2: Literatuuronderzoek t.b.v. beantwoording kennisvragen. Rapport 2024-02, Waddenacademie, Leeuwarden., 2024).

Drempelgeul

Drempelgeulen bevinden zich op locaties waar lokale ondieptes aanwezig zijn als onderdeel van vloed-, dan wel ebscharen, of als gevolg van combinaties van eb- en vloedscharen. De geulen in de Waddenzee worden gekenmerkt door morfologische elementen die typisch zijn voor getijdengeulen, waaronder eb- en vloedscharen (Figuur 1-18). Eb- en vloedscharen bestaan uit geulen die uitlopen in een kenmerkende ondiepte of drempel. Of sprake is van een ebschaar, dan wel een vloedschaar is afhankelijk van de oriëntatie: een verondieping die met de vloedstroom mee is gericht, dus van het zeegat naar de rand van het kombergingsgebied, wordt een vloedschaar genoemd. De ondiepe delen van de eb- en vloedscharen kunnen op een dusdanige wijze in de geul liggen dat deze ook in de vaarroute leiden tot een ondiepte. In Figuur 1-18 is dan ook een gebaggerde drempel zichtbaar in de ebschaar. De drempelhoogtes tussen de eb- en vloedschaar zijn vaak niet gelijk aan elkaar.

Drempelgeulen en het effect op baggerwerkzaamheden

De lokale ondieptes op de drempels vormen relatief kleine delen van de geulen. De sedimentatie kan snel plaatsvinden, waardoor frequent gebaggerd dient te worden. Het sediment is overwegend zandig. Vaak volgt de vaargeul een (meander)bocht, die veelal onderdeel uitmaakt van een ebschaar. De situatie rond deze drempels is zeer dynamisch, waardoor sprake kan zijn van een snelle afname van de waterdiepte. Hierdoor kan 'opeens' sprake zijn van de noodzaak tot baggeren. Ook de omgekeerde ontwikkeling is mogelijk, waardoor de baggervolumes in een kort tijdsbestek afnemen.

In de diepe geulen nabij het zeegat zijn de ondieptes die optreden als gevolg van eb- en vloedscharen zelden een probleem voor de scheepvaart. Dat komt doordat de ondieptes daar nog onder de minimale diepte liggen, of omdat er andere delen van de geul zijn met voldoende diepte zodat om de ondiepe delen heen kan worden gevaren. In de ondiepere delen van de Waddenzee is de kans veel groter dat een drempelgeul een niet te vermijden obstakel vormt, hetgeen baggeren noodzakelijk maakt.

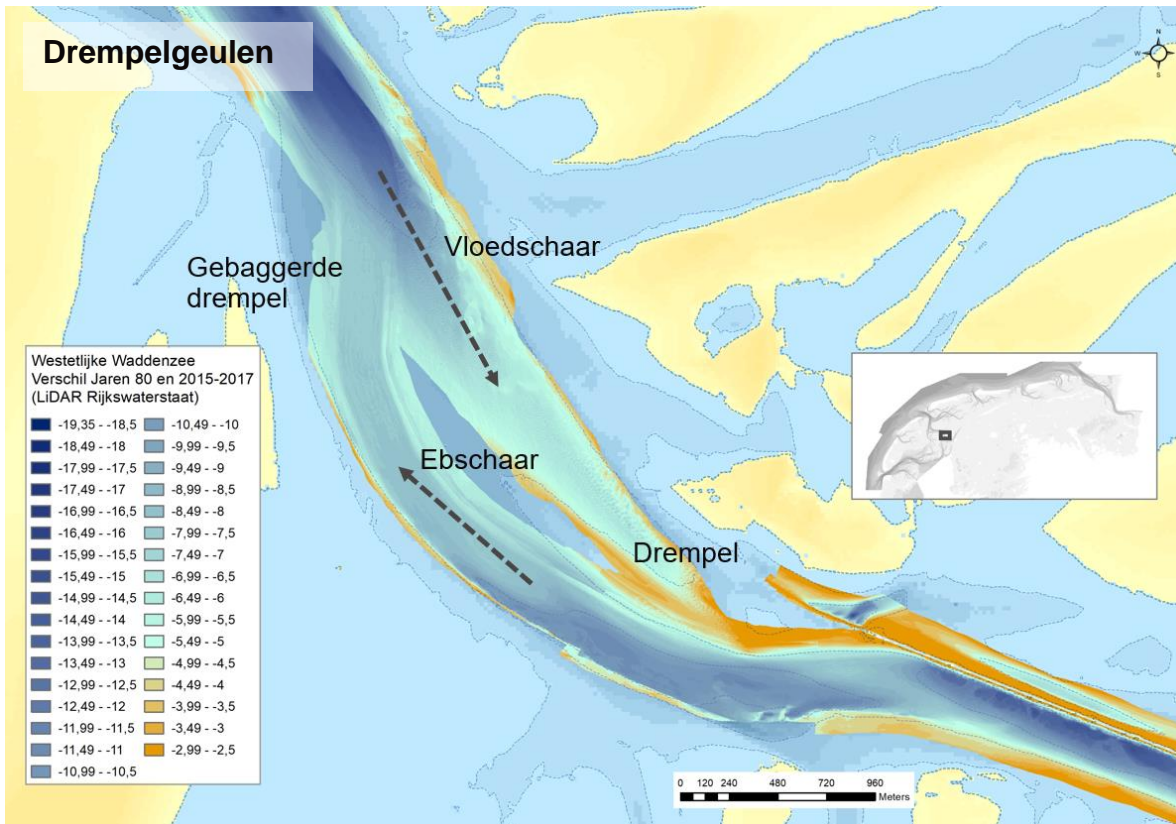
De veranderingen van de drempelgebieden met de eb- en vloedscharen, die afhankelijk van het betreffende gebied plaatsvinden op tijdschalen van maanden tot jaren, of zelfs tientallen jaren, leiden tot structurele veranderingen in de locaties en dieptes van drempels. Daarmee zijn deze veranderingen de reden voor structurele toe- en afnames van de baggervolumes op de drempels. De transporten die ieder getij plaatsvinden leiden tot de aanzanding op de gebaggerde drempels, waardoor na verloop van tijd de drempel opnieuw gebaggerd moet worden om deze op de gewenste diepte te brengen.

Complexiteit door (meander)bochten en kruispunten

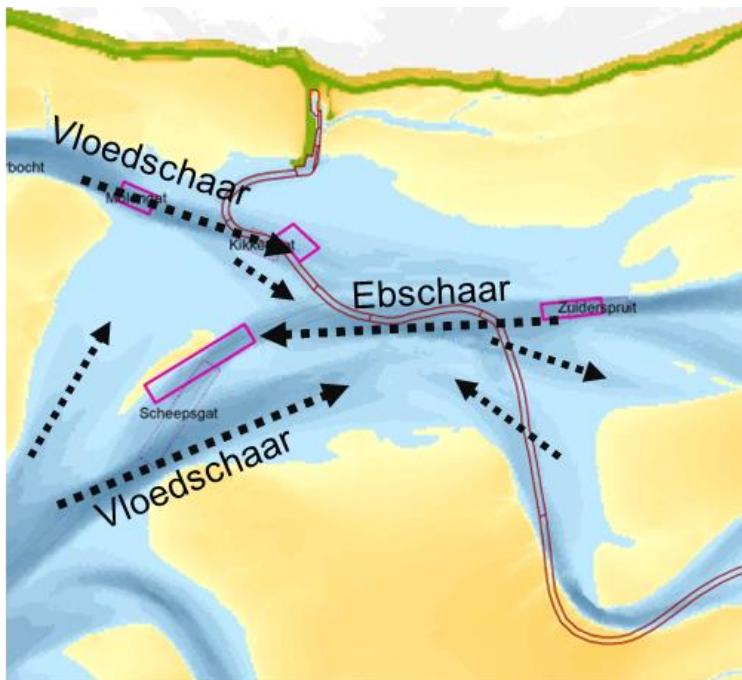
Bochten in de geulen hebben op zichzelf geen gevolgen voor de breedte en diepte van de geul³, maar gaan vaak samen met een vloedschaar (en iets minder vaak met een ebschaar), waardoor sprake is van een complex diepteverloop in de geul.

De complexiteit van de bodemligging kan bijzonder groot zijn, zeker bij 'kruispunten' van drempelgeulen. Zulke kruispunten treden op rondom geulcomplexen, waar meerdere eb-vloedscharen samenkomen (*Figuur 1-19* geeft hiervan een voorbeeld). Bij dit soort 'kruispunten' is sprake van verschillende eb- en vloedscharen met drempels, waarbij de drempels in elkaar over gaan.

³ In natuurlijke meanderbochten in riviersystemen zijn de dwarsprofielen van nature asymmetrisch, met een ondiepe binnenbocht en een diepe buitenbocht en dit kan de bevaarbaarheid van zo'n meander bocht beperken in de ondiepe binnenbocht. Bochten in getijdegeulen hebben soms een vergelijkbaar profiel, maar niet altijd en overal. Bij drempelgeulen treden de beperkingen voor de bevaarbaarheid niet op in de geulbocht.



Figuur 1-18 Voorbeelden van typerende morfologische elementen in de Waddenzee: drempelgeulen gevormd door eb- en vloedscharen. Locatie: Blauwe Slenk in de vaarverbinding van Harlingen naar Vlieland/Terschelling.



Figuur 1-19 Voorbeeld van een kruispunt met meerdere eb- en vloedscharen, in de vaargeul naar Ameland (Van der Vegt & Cleveringa, 2022).

Staartgeul

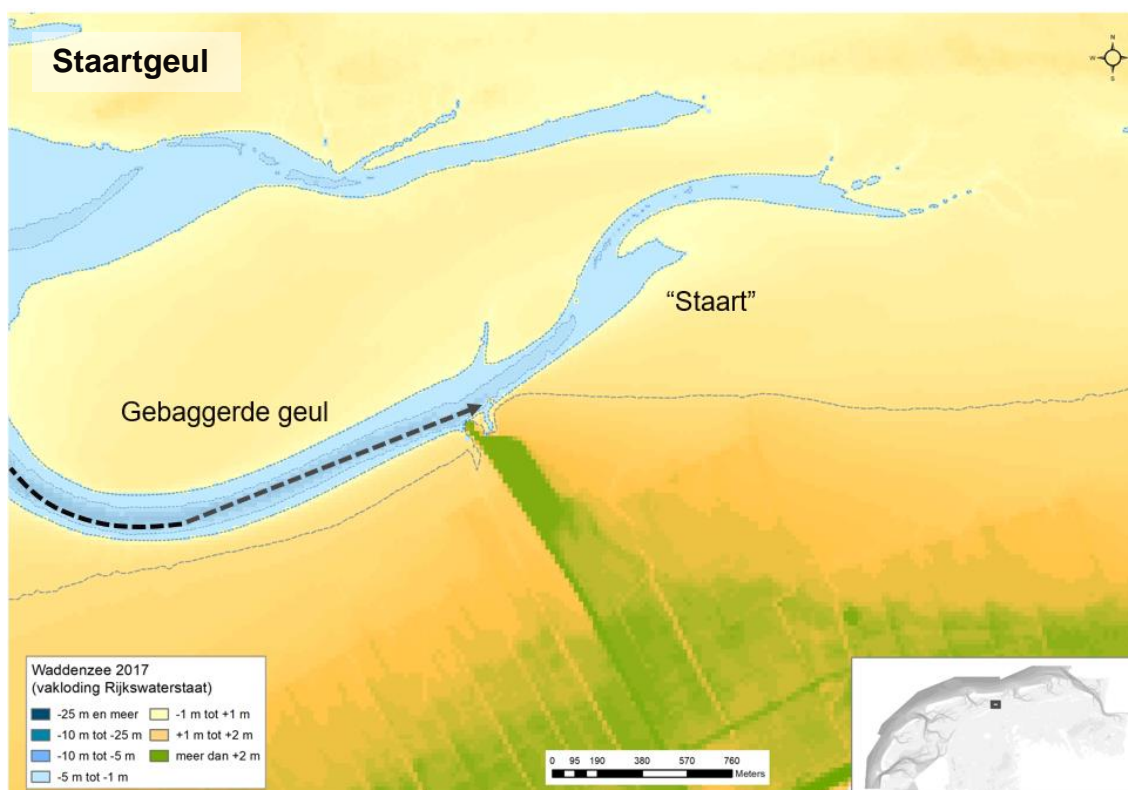
Deze klasse betreft de ondiepe landwaartse uiteinden van geulen (*Figuur 1-20*). De ondiepte treedt op vanaf de landwaartse zijde. Het optreden van een dergelijke ondiepte is het gevolg van de geleidelijke afname van de omvang van de geul. Geulstaarten kunnen een bochtvorm hebben, maar er zijn ook relatief rechte geulstaarten.

Staartgeulen en het effect op baggerwerkzaamheden

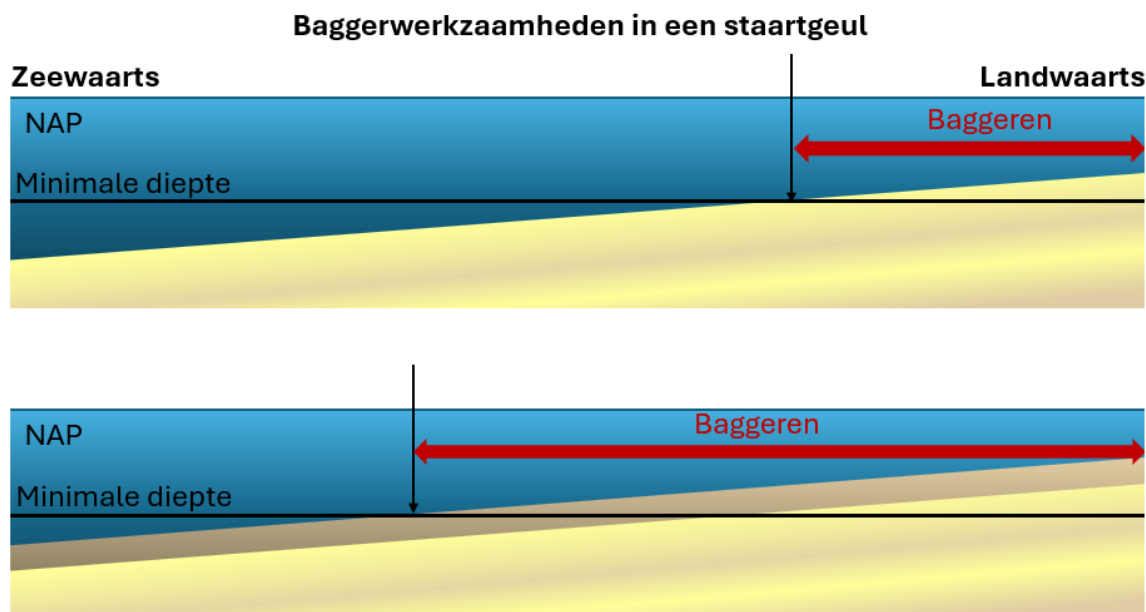
In staartgeulen waar baggerwerkzaamheden plaatsvinden neemt de bodemdiepte in de loop van de tijd af. Naarmate de diepte van de staartgeul afneemt, breidt het gebied waar gebaggerd moet worden in zeevaartse richting uit (zie *Figuur 1-21* voor een conceptuele weergave).

De samenstelling van de baggerspecie uit staartgeulen is over het algemeen slibrijk. De sedimentatieprocessen in staartgeulen komen namelijk deels overeen met de processen zoals die voor de havens zijn beschreven (paragraaf 'Sedimentatie in havens'). De stroomsnelheden in de gebaggerde staartgeulen zijn lager dan in de niet-gebaggerde geulen, omdat een groter doorstroomoppervlakte is gecreëerd dan nodig is om het watervolume te accommoderen dat iedere getij door de geulen heen en weer stroomt. Vanwege de daaruit voortvloeiende reductie in stroomsnelheden kan sediment op de bodem worden afgezet en vanwege de lage stroomsnelheden wordt het sediment daarna ook niet meer geërodeerd.

Het belangrijke verschil tussen een haven en een staartgeul is dat het water, waarmee het sediment wordt aangevoerd, bij een haven altijd via de havenmond naar binnen stroomt, terwijl bij een staartgeul water aanstroomt via de geul én via de aangrenzende gebieden. De aangrenzende gebieden kunnen (slibrijke) wadplaten zijn, of ondiepe delen. Het betekent dat de aanvoer van sediment naar een staartgeul, bijvoorbeeld tijdens een storm, veel groter kan zijn dan bij een haven.



Figuur 1-20 Voorbeeld van een typerend morfologisch elementen in de Waddenzee: staartgeulen. Locatie: geul bij de haven Holwert.



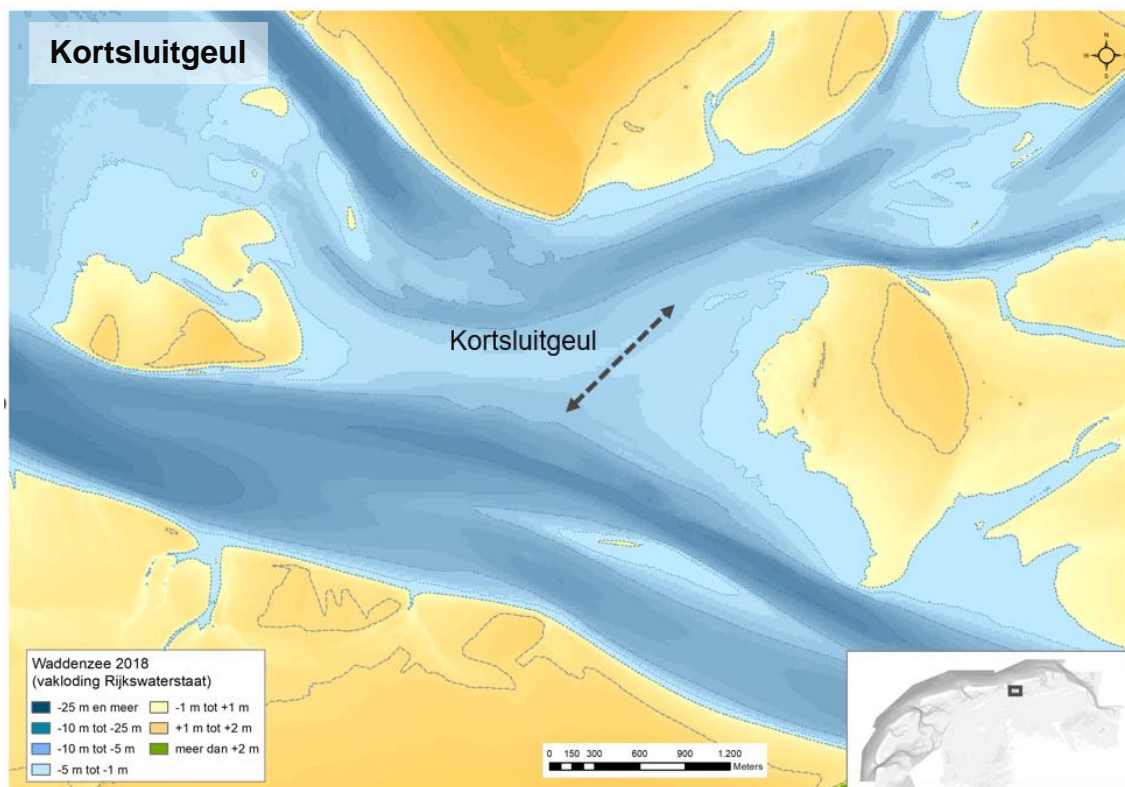
Figuur 1-21 Baggerwerkzaamheden in staartgeulen (dwarsdoorsneden). Bij een afname in de bodemdiepte neemt de lengte waarop baggerwerkzaamheden plaats moeten vinden in zeewaartse richting toe.

Kortsluitgeul

Een kortsluitgeul is een verbinding (kortsluiting) tussen twee hoofdgeulen van het kombergingsgebied (*Figuur 1-22*). Deze kortsluitgeul is een ondiepere geul tussen de twee hoofdgeulen. Hoe ondieper de kortsluitgeul hoe instabieler de ligging. Daarnaast heeft een kortsluitgeul geen eb- of vloeddominantie zoals bij de eb- en vloedscharen. Voor kortsluitgeulen zijn de processen die zorgen voor de sedimentatie gekoppeld aan de lokale omstandigheden en die verschillen per gebied.

Kortsluitgeulen en het effect op baggerwerkzaamheden

Kortsluitgeulen zijn relatief ondieper ten opzichte van de aangrenzende hoofdgeulen. Wanneer de kortsluitgeul onderdeel is van de vaarroute moet deze geul, afhankelijk van diepte, gebaggerd worden. De situatie is zeer gebiedsafhankelijk. Sommige kortsluitgeulen zijn namelijk relatief stabiel en anderen juist niet.



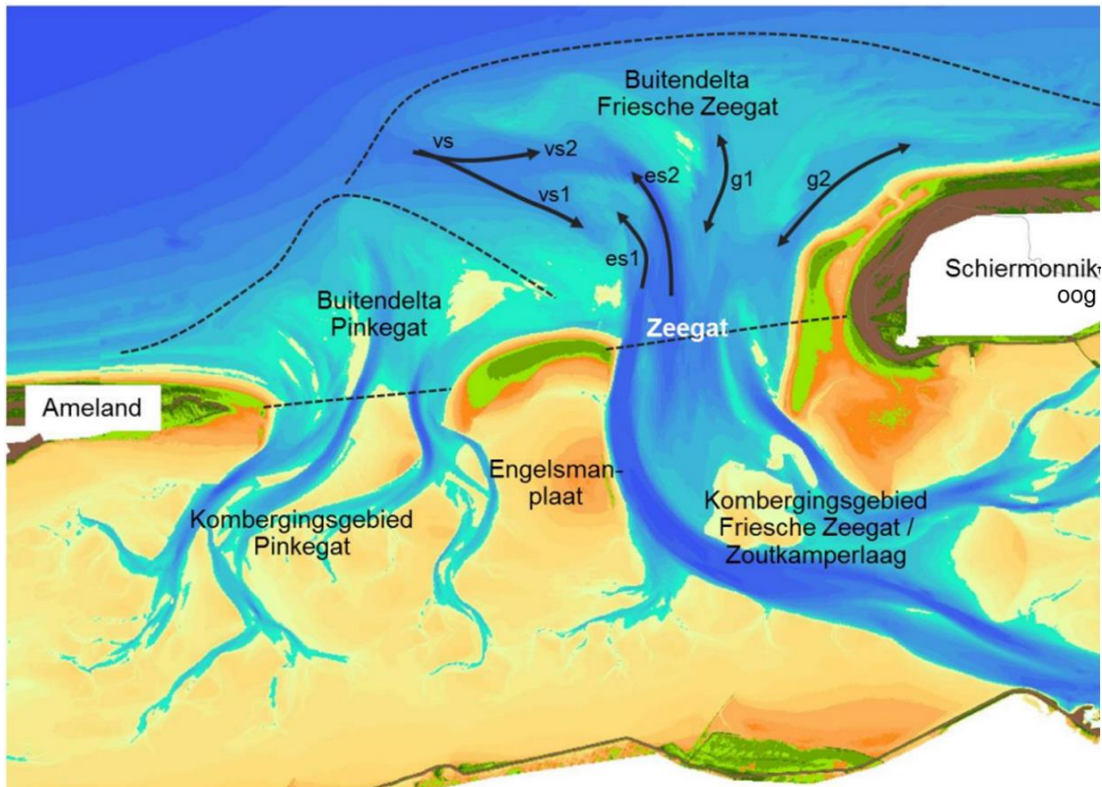
Figuur 1-22 Voorbeeld van een typerend morfologisch elementen in de Waddenzee: Kortsluitgeul. Locatie: Glinder op de vaarroute naar Schiermonnikoog.

Buitendeltageul

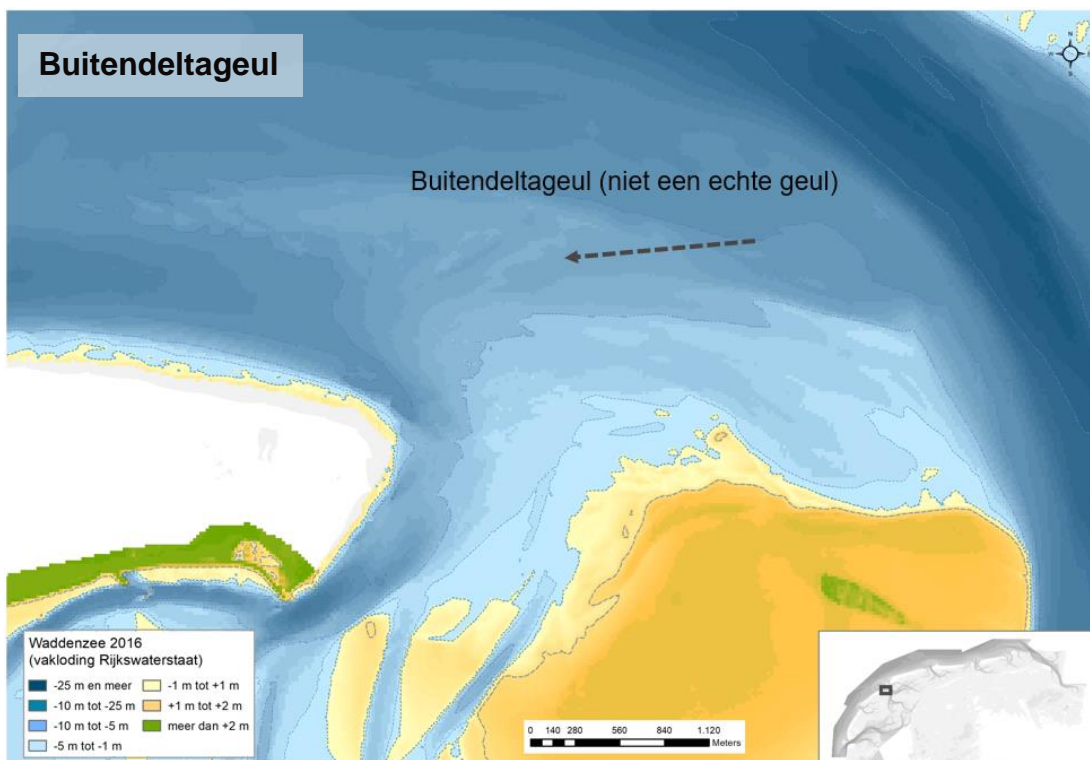
Een buitendelta is een ondiepte met geulen, zeewaarts van het zeegat tussen twee Waddeneilanden. De buitendelta's vormen een eigenstandige morfologische eenheid zoals zichtbaar in Figuur 1-23 (buitendelta van het Pinkegat en het Friesche Zeegat, zwarte stippellijnen). Op de buitendelta vertakken de geulen uit het zeegat in meerdere geulen. Een deel van die geul heeft een duidelijke ebdominantie, met aan hun zeewaartse uiteinde een drempel (es in Figuur 1-23). Van de Noordzee steken vloedgedomineerde geulen de buitendelta in en verondiepen daar (vs in Figuur 1-23). Ook zijn er geulen zonder duidelijke eb of vloed dominantie, met drempels aan beide uiteinden (g in Figuur 1-23). Doorlopende geulen van de Noordzee over de buitendelta naar de grote geul of geulen in het zeegat zijn nergens aanwezig, want er zijn altijd drempels aanwezig aan de uiteinden van de eb- en vloed scharen, op alle buitendelta's van de Waddenzee. De geulen en ondieptes op de buitendelta's zijn over het algemeen dynamischer dan de geulen en ondieptes in de Waddenzee.

Buitendeltageulen en het effect op baggerwerkzaamheden

De morfodynamiek op de buitendelta's kan tot gevolg hebben dat daar ondieptes optreden die een knelpunt vormen voor de scheepvaart (zie vaarroute naar Vlieland door buitendeltageul in Figuur 1-24). Het optreden van hogere golven op de buitendelta's dan in de Waddenzee levert extra complicaties op voor de scheepvaart (Arcadis, 2015). De knelpunten in de geulen van buitendelta's leveren soms vragen op over het baggeren daarvan. Beleidsmatig is vastgelegd dat de vaargeulen op de buitendelta niet worden gebaggerd (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012). Deze dynamiek op de buitendelta's kan daardoor resulteren in langere vaarroutes doordat geulen op de buitendelta verplaatsen.



Figuur 1-23 Kaart van het Friesche Zeegat met de verschillende geulen: vs: vloedchaar; es: ebschaar; g: kortsluitgeul zonder morfologische eb of vloed voorkeur (op basis van de vaklodingen van Rijkswaterstaat, situatie Westgat 2012, overgenomen uit Arcadis (2015)). De buitendelta's van het Friese Zeegat en het Pinkegat zijn omlijnt met een stippellijn.



Figuur 1-24 Voorbeeld van een typerend morfologisch element in de Waddenzee: Buitendeltageul. Locatie: bij de veerhaven van Vlieland. Verplaatsing van deze geul kan zorgen voor langere vaartijden.

Texel

De veerverbinding van Den Helder naar Texel bevat in de vaargeul geen morfologische elementen die zorgen voor een vergroot baggerbezwaar (Figuur 1-25). De verbinding doorkruist namelijk de hoofdgeul, het Marsdiep, welke van nature zeer breed en diep is. De sedimentatie vindt daarom enkel in de havens van Texel en Den Helder plaats.



Figuur 1-25 De veerverbinding van Den Helder (Nieuwe Haven) naar de veerhaven op Texel door het Marsdiep (kaart op basis van de gegevens vakloedingen Rijkswaterstaat 2021).

Terschelling & Vlieland

De vaarroute van Harlingen naar Vlieland bevat meerdere morfologische elementen die zorgen voor een baggerbezwaar (Figuur 1-26). Zo zijn meerdere drempels aanwezig, waaronder in de geulen het Pannengat en Blauwe Slenk. Deze drempels zorgen voor een constant baggerbezwaar binnen de vaarverbinding. De drempels in de geul West Meep daarentegen liggen een stuk dieper en zijn daardoor geen knelpunt binnen de vaarroute.

Pannengat

Volgens Deltares (2024) zal de vertakking van het Pannengat naar de Blauwe Slenk waarschijnlijk geleidelijk de rol van hoofdgeul overnemen. Dit zou op de lange termijn een goede ontwikkeling kunnen zijn voor de diepte en dus de bevaarbaarheid van de geul. Op korte termijn blijven baggerwerkzaamheden noodzakelijk. Daarnaast zorgt deze ontwikkeling voor veel dynamiek in de drempelgeulen- en banken in het Pannengat wat kan leiden tot een toename in het baggerbezwaar (Deltares, 2024).

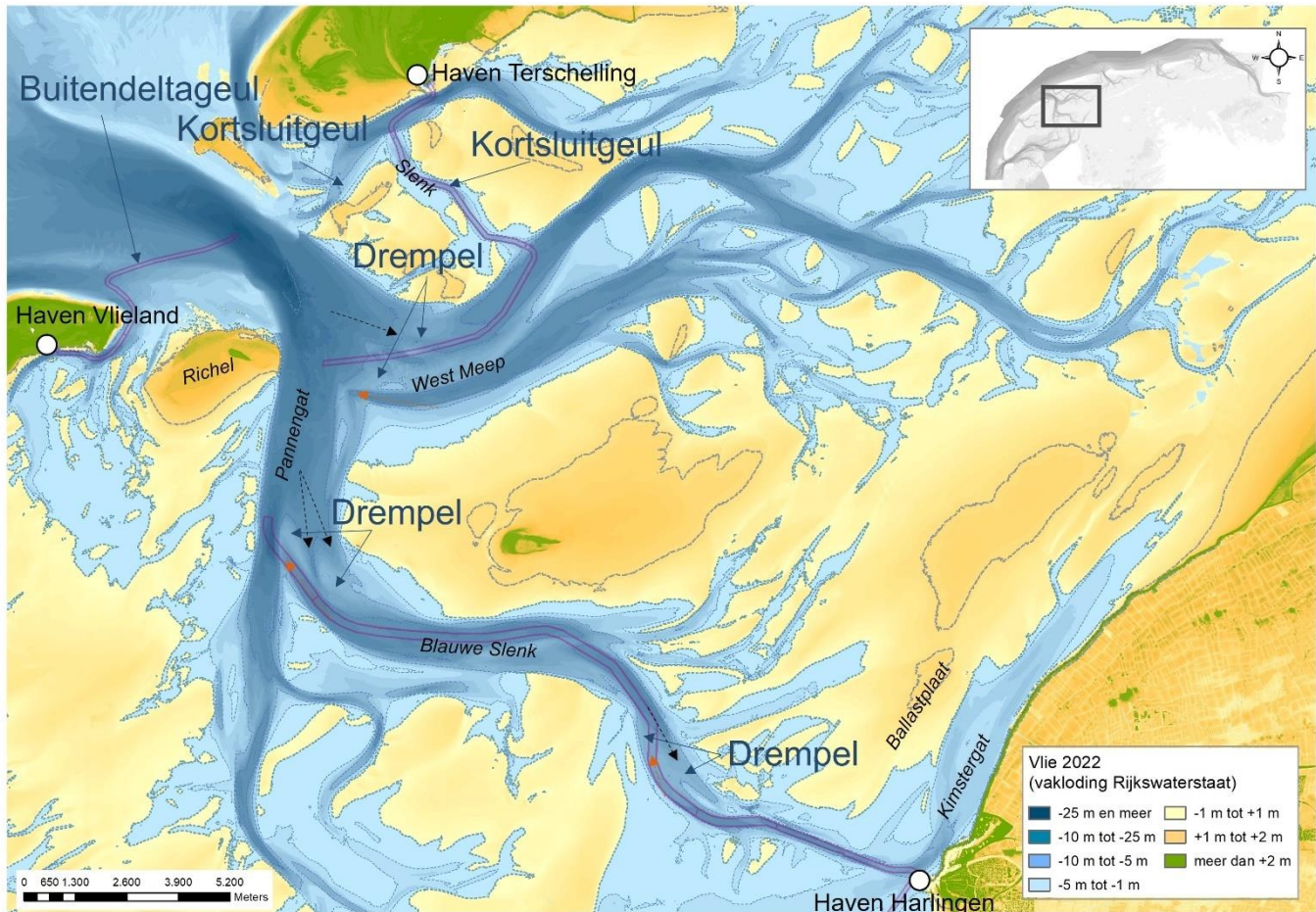
Blauwe Slenk

Voor het zuidelijke deel van de Blauwe Slenk is de verwachting dat, door verdere uitbochtiging van de aanwezige ebschaar, de vloedschaar op termijn mogelijk een goed alternatief is om tijdelijk het baggerbezwaar te beperken (Deltares, 2024). Dit zal echter in beginsel aanzienlijke baggerinspanningen vergen en daarnaast zal op lange termijn een nieuwe eb- en vloedschaar ontstaan. Ook is aan de noordelijke zijde van de Blauwe Slenk een morfologische ontwikkeling zichtbaar die kan leiden tot een tweede drempelgebied. Op korte termijn kan dit leiden tot een flinke toename in het baggerbezwaar. Het zou kunnen dat het materiaal dat verspreid wordt op de verspreidingslocatie 'Blauwe Slenk' hieraan bijdraagt (Figuur 1-13).

Buitendeltageul

De veerroute naar Vlieland gaat door een buitendeltageul. Deze geul is morfologisch instabiel, met andere woorden, deze verplaatst zich door de natuurlijk aanwezige dynamiek. De verwachting is dat deze buitendeltageul meer richting het noordwesten zal verplaatsten doordat de plaat Richel zeewaarts uitgroeit. Deze migratie resulteert in een langere

vaarroute naar de haven van Vlieland. Het baggerbezwaar neemt echter niet toe omdat niet gebaggerd mag worden op de buitendelta. De uitgroei is over een periode van 30 jaar is lastig te voorspellen.



Figuur 1-26 De morfologische elementen in de veerverbinding van Harlingen naar Vlieland en Terschelling.

Schuitengat en Slenk

De veerroute naar Terschelling bevat twee kortsluitgeulen, het Schuitengat welke niet meer onderhouden wordt en de Slenk. Dit is de bottleneck van de veerroute naar Terschelling. Het Schuitengat wordt al sinds 1992 niet meer onderhouden omdat het baggerbezwaar te groot werd, het nautisch gezien een uitdagende route is in verband met golfslag en omdat de geul morfologisch erg onvoorspelbaar bleek. Het Schuitengat ligt namelijk zeer dicht bij de buitendelta waardoor bij bepaalde omstandigheden binnenkomende golven zorgen voor flinke sedimentatie. De Slenk is een stuk stabiel en daardoor een geschiktere vaarroute, ondanks dat de vaartijden iets langer zijn. Enkel het noordelijke gedeelte van Slenk wordt van nature richting het oosten gedrukt waardoor aan die zijde voornamelijk baggerinspanningen nodig zijn. De zuidkant van de Slenk is over het algemeen stabiel.

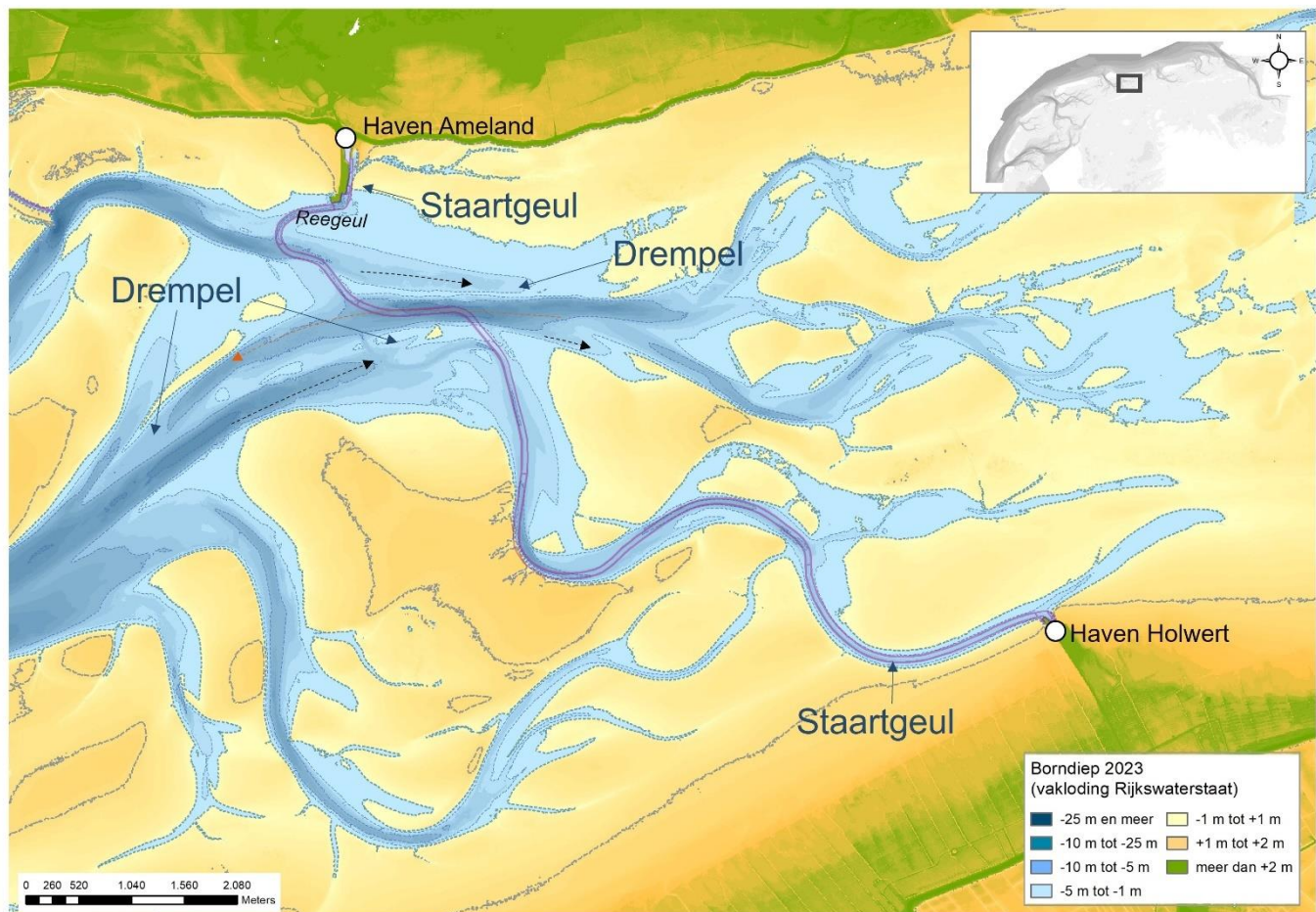
Havens

Sedimentatie vindt daarnaast ook in de havens van Harlingen, Terschelling en Vlieland plaats. De sedimentatie in de havens van Vlieland en Terschelling is zeer beperkt, waarschijnlijk mede vanwege hun ligging relatief dicht bij het zeegat. Harlingen is veruit de grootste haven en kent daarom het grootste baggerbezwaar. Daarnaast ligt de haven van Harlingen ver van het zeegat af waardoor slibconcentraties van nature hoger zijn rondom de haven. Hierdoor ligt de sedimentatiesnelheid hoog in de haven. Daarnaast is het verspreiden vanuit de haven van Harlingen een knelpunt vanwege de afname van de omvang van de geul Kimstergat (zie Figuur 1-13) waardoor de transportcapaciteit op de verspreidingslocatie afneemt. Het Kimstergat wordt steeds smaller door uitbouw van de Ballastplaat. Hierdoor nemen de geuldieptes lokaal toe maar neemt het totale geulvolume netto wel af. Het geulvolume is lineair afgenomen in de afgelopen dertig jaar en de verwachting is dat deze trend doorzet (Deltares, 2024). Het verspreiden van het baggermateriaal in het Kimstergat is niet de primaire oorzaak. Dit is namelijk onderdeel van grotere morfologische

veranderingen als gevolg van het afsluiten van de Zuiderzee met de Afsluitdijk. De verwachting is dat het Kimstergat geleidelijk verdwijnt en hierdoor de baggervolumes aan het einde van de geul langs de Pollendam zullen toenemen (Deltares, 2024). Echter is het baggeren van de veerhaven slechts een beperkt deel van de totale baggerinspanning van de gehele haven. De veerhaven ligt voor in het havenbekken, vlak bij de haveningang. Hierdoor worden de morfologische veranderingen van het Kimstergat en bij de Pollendam niet als een probleem gezien voor het onderhoud van de veerhaven, zeker niet binnen de concessietermijn.

Ameland

De veerroute van Holwert naar de haven van Ameland (Nes) bevat meerdere staartgeulen die zorgen voor een groot baggerbezwaar op de route (Figuur 1-27). Één staartgeul ligt bij de haven van Holwert en de ander bij de haven van Ameland (Reegeul). De staartgeul Reegeul is een relatief stabiele geul. De veerdam bij Ameland stuurt het afgaande water van het wad ten oosten van de veerdam via de Reegeul en draagt daarmee bij aan de instandhouding van de Reegeul. De staartgeul bij Holwert gaat over in een meanderende geul richting Ameland.



Figuur 1-27 De morfologische elementen in de veerverbinding van Holwert naar Ameland.

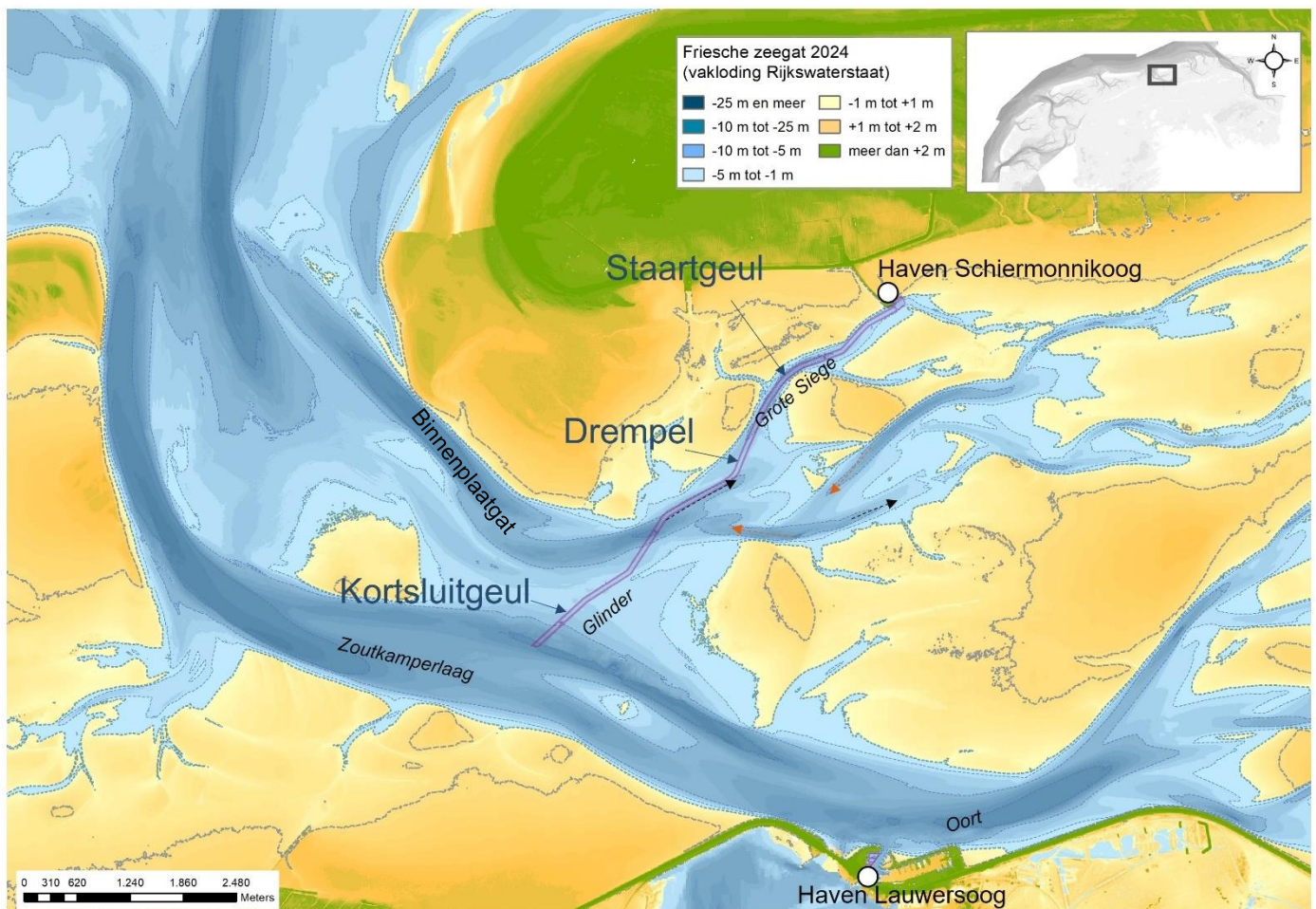
De vaargeulen worden sinds enkele decennia steeds langer en ondieper als gevolg van natuurlijke morfologische ontwikkelingen. Met name de meanderende vaargeul richting Howert wordt steeds langer wat ten koste gaat van de vaartijden. Om die reden is onderzoek gedaan naar alternatieven om Ameland te bereiken (Witteveen+Bos, 2023). Zo is gekeken naar andere locaties voor de haven (in plaats van bij Holwert bij Ferwert) en naar versmalling van de vaargeul en/of kleinere schepen. Parallel aan het voorliggende ondrzoek is een onderzoek uitgevoerd naar mogelijke kleinere schepen die minder diep liggen en/of smaller zijn (RHDHV, 2024). Dat maakt eventueel ook een stap mogelijk

naar aangepaste vaargeuldimensies. In paragraaf 3.3 wordt hier verder op ingegaan. Wat betekenen deze mogelijke kleinere vaargeuldimensies voor het baggerbezwaar van de toekomst?

Daarnaast bevat de veerroute een complex kruispunt aan vloed- en ebscharen. Hierdoor is er een complex netwerk aan drempels aanwezig welke zorgen voor een baggerbezwaar. Door dit complexe netwerk aan drempels is het onvoorspelbaar waar de drempels in de toekomst komen te liggen. Sedimentatie vindt daarnaast ook in de havens van Holwert en Ameland plaats. De veerhaven van Holwert bevat het grootste baggerbezwaar.

Schiermonnikoog

De vaarroute vanaf Lauwersoog naar de veerhaven op Schiermonnikoog loopt vanuit de haven door de hoofdgeul Zoutkamperlaag naar het westnoordwesten (Figuur 1-28). Daarna maakt de route een scherpe bocht naar het noordoosten en wordt via Glinder de oversteek gemaakt naar het Gat van Schiermonnikoog. Glinder vormt daarmee de verbinding (kortsluiting) tussen de twee hoofdgeulen van het kombergingsgebied. De sedimentatie bij kortsluitgeul de Glinder bestaat voornamelijk uit zand. Naast de Glinder bevat de route een baggerbezwaar in de startgeul richting de haven van Schiermonnikoog (Grote Siege). De sedimentatie en daarmee de omvang van de baggerwerkzaamheden is onvoorspelbaar in Grote Siege.



Figuur 1-28 De morfologische elementen in de veerverbinding van Lauwersoog naar Schiermonnikoog.

Op de vaarroute zijn langzaam morfologische veranderingen zichtbaar. Zo wordt de geul Zoutkamperlaag steeds ondieper en groeit juist de geul Binnenplaatgat (*Figuur 1-28*). Het zwaartepunt van de stroming verplaatst zo steeds meer naar het noorden binnen het bekken. Bij verzanding van de Zoutkamperlaag moet uiteindelijk een nieuwe vaarroute gekozen worden voor de route naar de Noordzee (welke nu dus via de Zoutkamperlaag gaat). De route zal dan via de Glinder en het Binnenplaatgat moeten lopen. Dit zal waarschijnlijk gevolgen hebben voor het baggerbezwaar (Deltares/Arcadis, 2024).

Bijlage C. Autonome morfologische ontwikkelingen

In deze bijlage worden de autonome morfologische ontwikkelingen toegelicht. Hierbij wordt gekeken naar het effect van zeespiegelstijging op de morfologische ontwikkelingen en op de morfologische trends per kombergingsgebied. Hiervoor zijn eerst de scenario's voor zeespiegelstijging toegelicht (eerste paragraaf). De effecten op de kombergingsgebieden als geheel worden beschouwd in de tweede paragraaf en de meer lokale effecten in de derde paragraaf. Tenslotte worden de huidige en toekomstige vaargeuldimensies in relatie tot de dimensies van geulen in evenwicht beschouwd. Wat betekent dit voor het baggerbezwaar van de toekomst?

Scenario's voor zeespiegelstijging

De actuele scenario's voor zeespiegelstijging waar in Nederland rekening mee wordt gehouden, zijn onderdeel van de klimaatscenario's die door het KNMI worden opgesteld. In oktober 2023 zijn de KNMI'23-klimaatscenario's gepubliceerd, deze vervangen de KNMI'14-klimaatscenario's. Omdat het onzeker is hoeveel er wereldwijd wordt gedaan om de uitstoot te verminderen, zijn er scenario's voor hoge (H) en lage (L) CO₂-uitstoot, die allebei zijn doorgerekend voor een verdrogende (d) en een vernattende (n) situatie. Voor specifieke toepassingen zijn aanvullende berekeningen voor een matige CO₂-uitstoot (M) gemaakt, maar in deze studie kijken we alleen naar de uiterste scenario's om zo een goed beeld te krijgen van de bandbreedte van de zeespiegelstijging:

- **Hd-klimaatscenario:** Hoge CO₂-uitstoot, verdrogend
- **Ld-klimaatscenario:** Lage CO₂-uitstoot, verdrogend
- **Ln-klimaatscenario:** Lage CO₂-uitstoot, vernattend

De scenario's zijn voor verschillende tijdhorizonten doorgerekend, waarbij voor deze studie enkel de tijdhorizonten van 2033 en 2050 relevant zijn. Een tijdhorizon is een periode van 30 jaar (± 15 jaar ten opzichte van het benoemde jaar bij de tijdhorizon). De zeespiegelstijging voor deze tijdhorizonten samen met de historische zeespiegelstijging is zichtbaar in *Tabel 1-23*. Voor 2033 is één scenario beschikbaar, een scenario met lage CO₂-uitstoot (L). Voor de tijdhorizon van 2050 zijn de Ld, Ln en Hd scenario's beschikbaar. De benoemde zeespiegelstijging is de gemiddelde zeespiegelstijging die verwacht wordt langs de Nederlandse kust (dit is dus niet specifiek voor de Waddenzee). Voor de veranderingen in de bodemligging van de Waddenzee is niet de hoogte van de zeespiegel van belang, maar de snelheid waarmee de zeespiegel verandert. In *Tabel 1-23* staan beide.

Tabel 1-23 De wereldwijde temperatuurstijging en de zeespiegelstijging bij de Nederlandse kust voor de KNMI '23 klimaatscenario's met een tijdhorizont van 2033 en 2050. KNMI Kerncijfers '23, (download <https://klimaatscenarios-data.knmi.nl/kerncijfers> Datum 15/07/2024 Tijd: 09:39)

Variabele	Indicator	Klimatologie 1991-2020	2033 L	2050 Ld	2050 Ln	2050 Hd
Wereldwijde temperatuurstijging ten opzichte van 1991-2020			0,6°C	0,8°C	0,8°C	1,5°C
Zeespiegel bij Nederlandse kust	gemiddelde niveau	0 cm	+24 (16 – 34) cm	+24 (16 – 34) cm	+25 (17 – 36) cm	+27 (19 – 38) cm
Zeespiegel bij Nederlandse kust	tempo van verandering	3 mm/jaar	+3 (1 – 6) mm/jaar	+3 (1 – 6) mm/jaar	+4 (2 – 8) mm/jaar	+5 (4 – 8) mm/jaar

Voor de tijdhorizont 2033 (L scenario) wordt een snelheid van zeespiegelstijging van 1-6 mm/jaar verwacht. Voor de tijdhorizont van 2050 is dit 4-8 mm/jaar voor het Hd scenario 2-8 mm/jaar en voor het Ln scenario en 1-6 mm/jaar voor het Ld scenario.

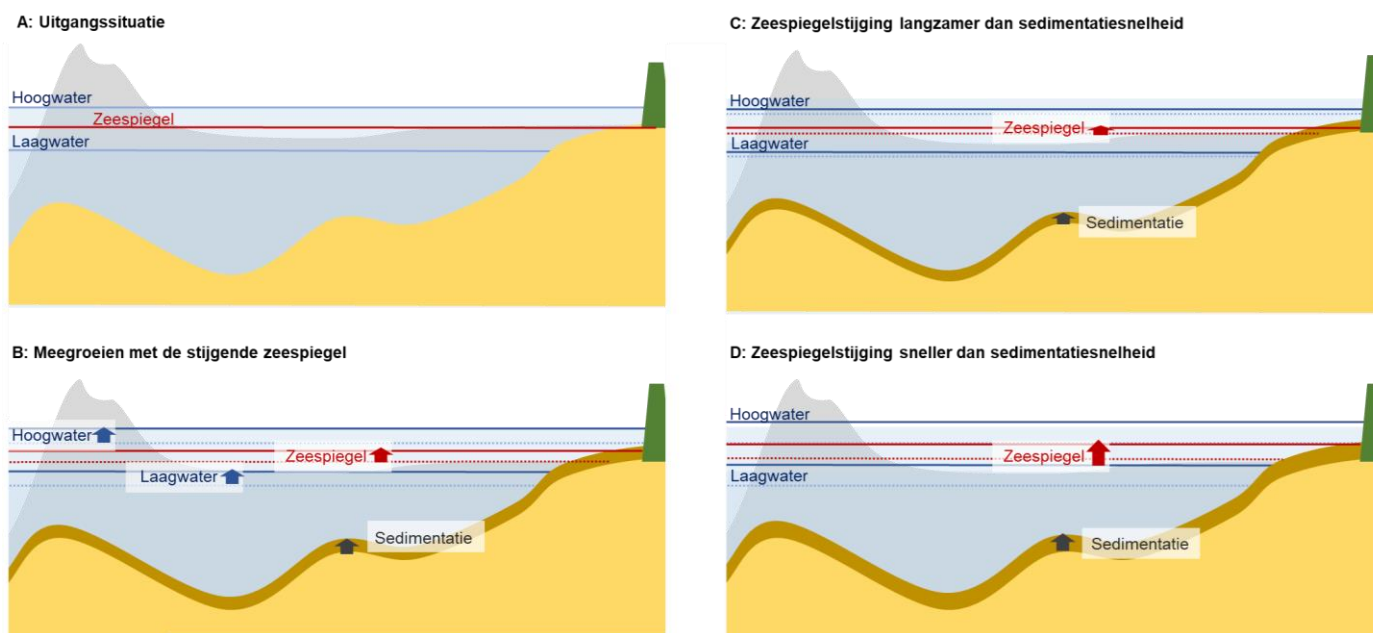
Ontwikkelingen in kombergingsgebieden

In de Waddenzee wordt zand en slib afgezet dat afkomstig is van de kust van de Waddeneilanden en slib dat wordt aangevoerd via de Noordzee. De omvang van de sedimentatie in de Waddenzee in verhouding tot de snelheid van zeespiegelstijging is bepalend voor de ontwikkeling van de kombergingsgebieden van de Waddenzee. Dit is het eenvoudigst uit te leggen aan de hand van de bijzonder conditie waarbij de snelheid van zeespiegelstijging precies

gelijk is aan de gemiddelde snelheid van sedimentatie in de Waddenzee. Bij die snelheid kan de Waddenzee als het ware ‘meegroeien’ met de zeespiegelstijging, zoals is aangegeven in de schematische doorsnede B in *Figuur 1-29*.

Bij sedimentatiesnelheden die hoger zijn dan de snelheid van zeespiegelstijging, wordt meer zand en slib aangevoerd dan nodig is voor het bijhouden van de zeespiegelstijging. Het gevolg hiervan is dat het kombergingsgebied dan gemiddeld minder diep wordt zoals is aangegeven in de schematische doorsnede C in *Figuur 1-29*. De omgekeerde situatie kan zich ook voordoen, dan is de snelheid van zeespiegelstijging groter dan de sedimentatiesnelheid en wordt het kombergingsgebied gemiddeld steeds dieper. Deze situatie staat in de schematische doorsnede D in *Figuur 1-29*.

In de huidige situatie is in alle kombergingsgebieden die we hier beschouwen, sprake van situatie C in *Figuur 1-29*, zoals is vastgesteld op basis van de dieptegegevens die de afgelopen tientallen jaren van de Waddenzee zijn verzameld. In deze kombergingsgebieden is de gemiddelde waterdiepte afgenomen. In populaire bewoordingen wordt wel gesproken over het “verlanden” van de Waddenzee. De sedimentatie vindt niet overal gelijkmatig in de kombergingsgebieden plaats, de meeste sedimentatie vindt plaats langs de vastelandskusten in een stroom die zich van west naar oost uitstrekt van ruwweg Zurich tot aan het de Lauwersmeerdam. In dit gebied treden ook de meest uitgesproken knelpunten op in de vaarverbindingen, namelijk bij de Boontjes en de vaargeul Holwert-Ameland (Holwert tot VA13). Ook de afname van het Kimstergat bij Harlingen hangt hier mee samen.



Figuur 1-29 Schematische weergave van het effect van de snelheid van zeespiegelstijging in verhouding tot de gemiddelde sedimentatiesnelheid op de beschikbare waterdiepte. A. Huidige situatie voorafgaand aan zeespiegelstijging; B. Bijzondere situatie waarin de snelheid van zeespiegelstijging gelijk is aan de gemiddelde snelheid van sedimentatie; C. Situatie waarbij de snelheid van zeespiegelstijging kleiner is dan de gemiddelde sedimentatie snelheid, zodat het kombergingsgebied ondieper wordt; D. Situatie waarbij de snelheid van zeespiegelstijging groter is dan de gemiddelde sedimentatie snelheid, zodat het kombergingsgebied dieper wordt.

Bij een (veel) snellere stijging van de zeespiegel kan de balans tussen zeespiegelstijging en sedimentatie van zand en slib opschuiven van het huidige “overschot” aan slib en zand naar een “tekort”. Het gevolg wordt dan dat de kombergingsgebieden gemiddeld verdiepen (verschuiving van situatie C naar D in *Figuur 1-29*). Wanneer die omslag plaatsvindt moet worden berekend omdat bij een grotere snelheid van zeespiegel ook meer zand en slib naar de Waddenzee zal worden getransporteerd. Het is dus niet simpelweg voldoende om te kijken hoe hoog de gemiddelde sedimentatiesnelheid de afgelopen jaren is geweest en wanneer de snelheid van zeespiegelstijging groter wordt dan dat.

De autonome morfologische ontwikkelingen in kombergingsgebieden als gevolg van zeespiegelstijging tussen nu en 2044 zijn in deze paragraaf beschouwd aan de hand van de studie van Lodder et al. (2022) in combinatie met de KNMI'23 scenario's (*Tabel 1-23*). Voor vijf zeespiegelstijging scenario's is in de studie van Lodder et al. (2022) per kombergingsgebied met een model onderzocht (ASMITA) of en zo ja bij welke snelheid van zeespiegelstijging de omslag plaatsvindt waarbij de kombergingsgebieden gemiddeld dieper worden. De scenario's voor spiegelstijging zijn

anders dan de scenario's van het KNMI'23, maar omvatten wel de snelheden van zeespiegelstijging die voor de periode tot 2045 worden beschouwd. De uitkomsten zijn daarom ook bruikbaar om de gevolgen van de zeespiegelstijgingsscenario's van het KNMI'23 te beoordelen. Het effect van de zeespiegelstijging op de verschillende kombergingsgebieden is opgenomen in *Tabel 1-24*. In de tabel geeft de kritische snelheid van zeespiegelstijging R_c aan bij welke snelheid van zeespiegelstijging de overgang plaatsvindt naar het gemiddeld dieper worden van het bekken (snelheid zeespiegelstijging > sedimentatiesnelheid). Rechts daarvan is aangegeven bij welke van de door Lodder et al. (2022) gebruikte scenario's voor zeespiegelstijging deze overgang plaatsvindt (de waarde van r wordt dan groter dan 1). De kritische snelheid die hier is beschouwd, is gebaseerd op de uitkomsten van één model (ASMITA) met verschillende berekeningen. Eerdere en andere berekeningen wijze op vergelijkbare waarden (Cleveringa & Grasmeijer, 2010) (Oost, et al., 1998) (Wang & van der Spek, 2021). De kritische snelheden van zeespiegelstijging geven een eerste inzicht in het effect van versnelde zeespiegelstijging op de kombergingsgebieden in de Waddenzee.

Voor het zeegat van Texel treedt bij een zeespiegelstijging groter dan 7 mm/jaar verdrinking op (*Tabel 1-24*). Deze stijging kan optreden bij een 2050 Ln en 2050 Hd scenario volgens de KNMI'23 scenario's. Hierdoor zal de gemiddelde waterdiepte in het kombergingsgebied toenemen, zodat het Marsdiep nog ietsje dieper wordt. Voor de baggerwerkzaamheden zal dit echter niets uitmaken omdat het Marsdiep nu al van nature diep genoeg is waardoor baggeren niet nodig is. Voor het zeegat van Schiermonnikoog (Zoutkamperlaag in *Tabel 1-24*) zal geen verdieping optreden bij zeespiegelstijging tot 17 mm/jaar. Dus ook voor dit zeegat zal de waterdiepte in de vaargeulen niet groter worden op de termijn waar deze studie zich op richt (t/m 2044). Dit geldt ook voor het zeegat van Ameland waarbij geen verdieping zal optreden bij zeespiegelstijging t/m 10 mm/jaar.

Tabel 1-24 Kritische zeespiegelstijging snelheid (R_c) voor de verdrinking van de kombergingsgebieden van de Nederlandse Waddenzee en de dimensieloze zeespiegelstijging snelheid ($r = R/R_c$) voor vijf verschillende zeespiegelstijging scenario's. Bij de rood gemarkeerde waarden $r > 1$ vindt de overgang plaats naar het verdrinken. De oppervlakte van het kombergingsgebied (A_b) is gegeven, omdat de kleinere kombergingsgebieden de overgang naar $r < 1$ bij veel hogere snelheden van zeespiegelstijging optreedt dan bij de grotere kombergingsgebieden. Tabel overgenomen uit Lodder et al. (2022).

Inlet	A_b (km ²)	R_c (mm/ yr.)	r for SLR rate =				
			2 mm/ yr.	4 mm/ yr.	6 mm/ yr.	8 mm/ yr.	17 mm/ yr.
Texel	655	7.0	0.29	0.57	0.86	1.14	2.43
Eierland	157.7	18.0	0.11	0.22	0.33	0.44	0.94
Vlie	715	6.3	0.32	0.63	0.95	1.27	2.70
Ameland	276.3	10.4	0.19	0.38	0.58	0.77	1.63
Pinkegat	49.6	32.7	0.06	0.12	0.18	0.24	0.52
Zoutkamperlaag	105	17.1	0.12	0.23	0.35	0.47	0.99

Voor het zeegat van Vlieland (Vlie) is dit anders. Hierbij geldt dat volgens de berekeningen vanaf een zeespiegelstijgingssnelheid van 6,3 mm/jaar een overgang naar een situatie met verdieping optreedt. Deze snelheid valt binnen de bandbreedte van 2-8 en 4-8 mm/jaar van de 2050 Ln en 2050 Hd scenario (*Tabel 1-23*). Dat de overgang plaatsvindt betekent overigens niet dat meteen een verdieping zal optreden van de gemiddelde diepte, er is zal dan sprake zijn van een geleidelijke verandering van de huidige trend van (gemiddelde) verondieping naar een trend van (gemiddelde) verdieping.

Dat binnen de periode tot 2045 alleen voor het Vlie een kans bestaat op het bereiken van de overgang naar een verdiepend kombergingsgebied betekent dat in de beschouwde kombergingsgebieden van de Waddenzee over het algemeen de sedimentatie groter is dan de snelheid van zeespiegelstijging. Gemiddeld worden de kombergingsgebieden dus ondieper. Op de gevolgen hiervan voor de vaargeulen worden in de volgende paragraaf ingegaan.

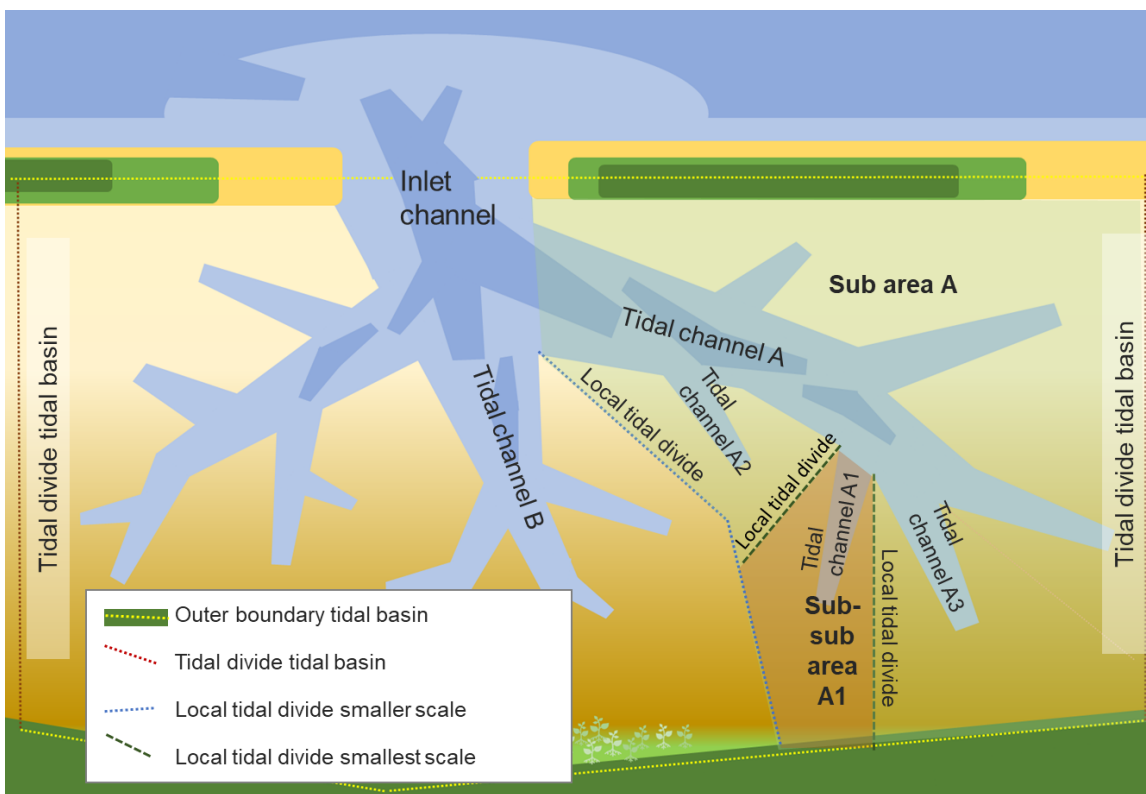
Lokale ontwikkelingen

Inleiding

In de voorgaande paragraaf is geconstateerd dat in de betrokken kombergingsgebieden onder de huidige condities meer zand en slib naar de Waddenzee wordt getransporteerd dan nodig is om de zeespiegelstijging bij te houden,

zodat de kombergingsgebieden gemiddeld ondieper worden. Het betreft een gemiddelde ontwikkeling in mm per jaar, die voor specifieke (vaar)geulen geen directe betekenis heeft. Voor de vaargeulen is het veel belangrijker waar in het kombergingsgebied de veranderingen plaatsvinden.

Voor het begrijpen van het belang van de lokale morfologische ontwikkelingen kijken we naar het basisprincipe van de morfologie van (getijde)geulen, namelijk dat de omvang van de getijdegeulen is gekoppeld aan de hoeveelheid water die er doorheen stroomt. Waar veel water door de geul stroomt is deze groot en waar er weinig water door een geul stroomt is de geul klein. In de Waddenzee wordt de hoeveelheid water die door de geul stroomt bepaald door zijn eigen kombergingsvolume. Voor het zeegat bestaat het kombergingsvolume uit het verschil tussen het watervolume met vloed en het watervolume met eb in het *hele kombergingsgebied*. Voor een individuele geul bestaat het lokale kombergingsvolume uit het verschil in het watervolume bij vloed en bij eb in het *lokale kombergingsgebied*. Een voorbeeld van een lokaal kombergingsgebied is schematisch weergegeven in *Figuur 1-30*. Het is voor de individuele geulen lastiger om de grenzen van het lokale kombergingsgebied te duiden dan bij het hele bekken. Daarnaast zal onder verschillende omstandigheden (springtij-doodtij, windsterkte, windrichting) sprake zijn van grenzen tussen lokale kombergingsgebieden die verschuiven. Desondanks is het veelal mogelijk om een indicatie te geven van het lokale kombergingsgebied van een geul.



Figuur 1-30 Schematische kaart van een heel kombergingsgebied met daarin het lokale kombergingsgebied Sub area A van de grote geul A, die aftakt van het zeegat. Ook is binnen Sub area A het nog kleinere lokale kombergingsgebied A1 (Sub area A1) van geul A1, die aftakt van geul A.

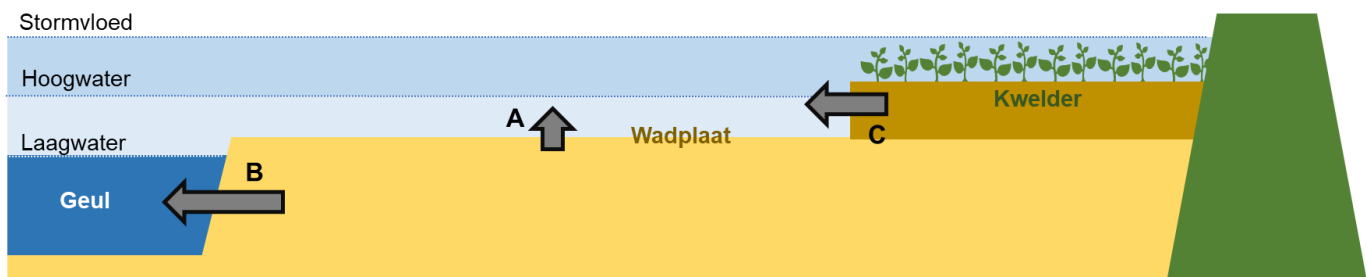
In *Figuur 1-31* is een geschematiseerde dwarsdoorsnede aangegeven welke veranderingen gevolgen hebben voor de omvang van het kombergingsvolume. Onderstaand zijn deze veranderingen toegelicht:

- A. **Hoogteveranderingen op de wadplaat:** Als de hoogte van de wadplaat toeneemt neemt het kombergingsvolume af en omgekeerd, als de hoogte afneemt dan neemt het kombergingsvolume toe.
- B. **Areaalveranderingen geul (ten opzichte van wadplaat):** Als een geul breder wordt (of langer), dan neemt het kombergingsvolume toe, omdat bij de geul het hele watervolume tussen laag- en hoogwater bijdraagt aan het kombergingsvolume, terwijl op de wadplaat het watervolume tussen plaathoogte en hoogwater bijdraagt. Omgekeerd geldt dat wanneer de geul smaller wordt (of korter), dat het kombergingsvolume afneemt.
- C. **Areaalveranderingen kwelder (ten opzichte van wadplaat):** Als de oppervlakte van de kwelder toeneemt ten koste van de wadplaat, dan neemt het kombergingsvolume af. Want op de kwelder wordt alleen bij verhoogde

waterstanden water geborgen. Onder normale omstandigheden draagt een kwelder niet bij aan het kombergingsvolume. De omgekeerde ontwikkeling resulteert in een toename van het kombergingsvolume.

Daarbij komt de volgende belangrijke verandering met gevolgen voor de omvang van het kombergingsgebied, die niet is weergegeven in *Figuur 1-31*:

D. Verschuiven lokale wantij (invloedsgebied concurrerende geul): wanneer het opschuiven van het wantij resulteert in een toename van de oppervlakte van het lokale kombergingsgebied, dan neemt het kombergingsvolume toe en omgekeerd. Nota bene, het lokale wantij van een geul kan deels samenvallen met het 'echte' wantij tussen twee kombergingsgebieden.



Figuur 1-31 Schematische dwarsdoorsnede van een getijdegeul, wadplaat en kwelder met drie morfologische veranderingen die leiden tot een verkleining van het kombergingsvolume.

Kijkend naar de kaart met de hoogteverschillen van de Waddenzee in *Figuur 1-32*, valt op dat langs de hele vastelandskust vanaf ruwweg de aansluiting van de Afsluitdijk met de Friesche IJsselmeerkust tot ten oosten van de veerdam bij Holwert, sprake is van een groot gebied waar sedimentatie overheerst (rode kleur). In dit hele gebied vindt verondieping plaats, met een omvang die groter is dan de gemiddelde verondieping van de kombergingsgebieden. In dit hele gebied treedt van de hierboven beschreven veranderingen (A) en (B) op: een afname op van de hoogte van het wad en een afname van de lengte en breedte van de geulen. Het kombergingsvolume is door deze ontwikkelingen afgenomen. Wanneer meer in detail wordt gekeken naar de ontwikkelingen van de kwelders in hetzelfde gebied (Elschot et al., 2020), kan worden geconstateerd dat in verschillende delen van de vastelandskust sprake is geweest van een uitbreiding van de kwelder (D), waardoor het kombergingsvolume is afgenomen.

Voor de wadplaten bij de eilandkusten van Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog is geen sprake van verondieping, maar zijn ook veel delen zichtbaar waar de bodem dieper is geworden. Uitbreiding van de eilandkwelders heeft de afgelopen tientallen jaren niet plaatsgevonden en op sommige plekken is zelfs sprake van achteruitgang van kwelder. Bij een aantal kwelders heeft de aanleg van kwelderrandbescherming verdere achteruitgang gestopt.

Verschuivingen van het lokale wantij (D) kunnen optreden op locaties waar andere geulen in de nabijheid concurreren. De kans hierop is helemaal afhankelijk van de lokale setting. Hieronder wordt gekeken naar de verschillende verbindingen.

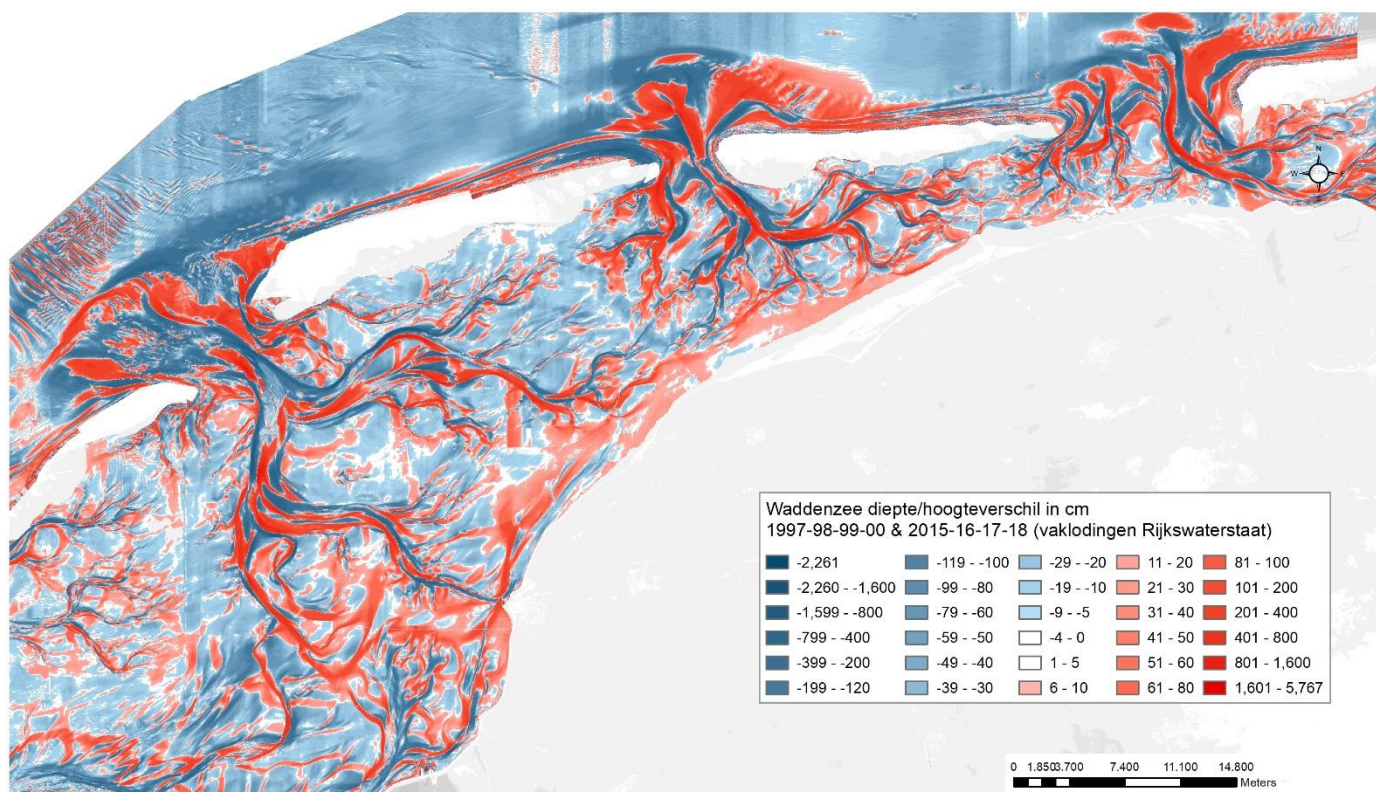
Veerverbindingen

Veerverbinding Den Helder - Texel

Voor de verbinding tussen het Den-Helder en Texel, die door het zeegat loopt, spelen lokale veranderingen geen rol.

Veerverbinding Harlingen - Vlieland

Bij deze verbindingen door het Zeegat van het Vlie zijn er drie locaties waar lokale veranderingen van invloed kunnen gaan zijn op omvang van de vaargeul en is er één locatie waar lokale veranderingen van invloed kunnen zijn op de capaciteit voor het verspreiden van baggerspecie. De omvang van de Vliesloot, het laatste stukje in de verbinding van Harlingen naar Vlieland is afhankelijk van het lokale kombergingsvolume van deze geul. De invloed van veranderingen in de wadplaat hoogte lijken hier beperkt, net als de invloed van de uitbreiding van kwelderareaal. Wel kan de concurrentie met andere geulen leiden tot een afname van het lokale kombergingsvolume. Omdat in het verleden deze concurrerende geulen minder stabiel bleken te zijn dan de Vliesloot is de verwachting dat de Vliesloot hier geen gevolgen van gaat ondervinden die raken aan de omvang van de vaarverbinding door de Vliesloot.



Figuur 1-32 Kaart met het hoogteverschil van tussen de vaklodgingen uit de periode 1997-2000 en 2015-2018.

Veerverbinding Harlingen - Terschelling

Voor de kortsluitverbindingen Slenk en Schuitengat geldt dat veranderingen in de omvang van het lokale kombergingsgebied van de West Meep en Schuitengat/Oosterom in potentie van invloed zijn op de stabiliteit van deze geulen, maar dat:

- De West Meep de afgelopen jaren een geul met een heel stabiele tot groeiende omvang is gebleken en er komende decennia geen grote veranderingen zijn opgetreden of worden verwacht, zoals het hoger of lager worden van wadplaten, of de uitbreiding van kwelders, waardoor deze stabiliteit zou veranderen.
- De dynamiek van kortsluitgeulen, in dit geval Slenk, anders is dan die van staartgeulen. Veranderingen in het lokale kombergingsgebied hebben invloed op de omvang van de geulen waartussen de kortsluitgeul een verbinding vormt. Daarmee is sprake van een indirect gevolg van veranderingen in het lokale kombergingsgebied op de omvang van de kortsluitgeulen.

Vanwege deze punten wordt niet verwacht dat lokale veranderingen in de kombergingsgebieden komende jaren – decennia merkbare gevolgen zullen hebben voor de kortsluitgeulen Slenk en drempel Schuitengat. Daarmee is overigens niet gezegd dat deze geulen stabiele verbindingen vormen. Van de drempel Schuitengat-Vliestroom is duidelijk dat dit vermoedelijk nog lang een zeer veranderlijke situatie betreft, die sterk afhankelijk is van grote zandtransporten die hier plaatsvinden en hoogdynamische ontwikkelingen in het gehele zeegat. Hier blijven omstandigheden variëren van het volledig ontbreken van een verbinding, tot een verbinding die van nature voldoende diepte en breedte heeft.

Voor de omgeving van Harlingen geldt dat de sedimentatie langs de vastelandskust heeft geresulteerd in een afname van de omvang van het Kimstergat. Dat heeft gevolgen voor de beschikbaarheid van de verspreidingslocatie voor baggerspecie. Een afname van de verspreidingscapaciteit levert niet direct gevolgen op voor de veerverbinding, omdat de Geul langs de Pollendam een behoorlijke breedte en diepte heeft en de omvang van de baggerwerkzaamheden voor de veerhaven relatief beperkt zijn.

Veerverbinding Holwert - Ameland

De veerverbinding waar zowel grootschalige als lokale ontwikkelingen veel gevolgen hebben gehad voor de vaargeul is die naar Ameland. In het zuidelijke deel van vaargeul nabij de veerdam bij Holwert is duidelijk dat alle hierboven veranderen (a, b, c de d) een rol hebben gespeeld. Voordat naar dit deel van de verbinding wordt gekeken, kijken we naar andere delen.

De Reegeul, is in potentie gevoelig voor lokale ontwikkelingen, maar dit blijkt in de praktijk een zeer stabiele geul. In het lokale kombergingsgebied van de geul neemt de hoogte van de wadplaten niet toe en is geen sprake van veranderingen in het areaal van kwelders. Ook zijn er geen andere geulen die de rol van de Reegeul over kunnen nemen. Het is daarom de verwachting dat de Reegeul stabiel aanwezig blijft.

Voor het drempelgebied rond VA4 en VA9 geldt dat de diverse ontwikkelingen waarschijnlijk van grote invloed zijn op de omvang van de verschillende "takken" van het netwerk en daarmee ook op de aanstroming en het open houden van de geulen door het drempelgebied. Hoewel de wijze waarop dit doorwerkt op de dynamiek van de drempelgeulen niet exact kan worden vastgesteld is wel duidelijk dat dit gebied eerder neigt naar meer dan minder baggerwerk. De lokale ontwikkelingen kunnen ook gevolgen hebben voor de bereikbaarheid en beschikbaarheid van de verspreidingslocaties en kunnen daarmee van invloed zijn op de baggerwerkzaamheden.

Nabij de veerdam Ameland zijn de wadplaten hoger geworden, is het areaal van de kwelders uitgebreid en is daardoor het komgebied van de geul sterk afgenomen. Daarbij is het wantij ten noorden en ten oosten opgeschoven, waardoor de oppervlakte van het lokale kombergingsgebied is afgenomen, en daardoor de natuurlijke omvang van de geul bij Holwerd. In het lokale kombergingsgebied treedt nog steeds sedimentatie op van de wadplaten en, verdere uitbreiding van kwelders⁴ en afname van het geulareaal, zodat ook een verdere afname van de autonome omvang van de geul plaats zal vinden. Voor de verplaatsing van de lokale wantijen geldt dat deze ontwikkelingen ook ten goede kunnen komen aan de omvang van de geul, maar gezien de geringe concurrentiekracht van de zuidelijke geul bij Holwerd vanwege afnemende debieten is dit niet aannemelijk. Verwacht wordt dan ook dat de natuurlijke omvang van de geul steeds verder gaat afnemen, waardoor het baggergebied zich verder noordwaarts zal uitbreiden. Ook de baggervolumes zullen dus verder toenemen.

Veerverbinding Lauwersoog - Schiermonnikoog

Lokale ontwikkelingen spelen bij deze verbinding een rol bij de ontwikkelingen van de Grootte Siege, de geul die tot vlak voorbij de veerdam op Schiermonnikoog strekt. Sedimentatie op de wadplaten en veranderingen van het areaal van de kwelders spelen hier geen rol, maar de omvang van Grootte Siege kan wel afnemen doordat de rol van deze geul wordt overgenomen door andere geulen die hier ten zuiden van liggen. Lokale verplaatsingen van de wantijen kunnen leiden tot een afname van het lokale kombergingsgebied, waardoor de geul smaller en ondieper wordt. Ook de drempel in de geul, die nu geen belemmering oplevert voor de veerverbinding kan daardoor ondieper worden, zodat een nieuw knelpunt ontstaat. Overigens worden deze ontwikkelingen momenteel niet duidelijk waargenomen. De platen lijken zich eerder enigszins te verdiepen, waardoor een stabiele situatie aannemelijk lijkt (Deltares/Arcadis, 2024).

⁴ Voor de kwelders ten oosten van de veerdam bij Holwert wordt onderzocht of het afgraven ervan kan bijdragen aan het versterken van de ecologische kwaliteit. Voor de omvang van de geul heeft het afgraven van de kwelders alleen betekenis wanneer het areaal van de kwelder afneemt. Dat wil zeggen dat alleen wanneer de kwelder wordt verlaagd tot onder het niveau van hoogwater dit een bijdrage levert aan het kombergingsvolume. En alleen in dat geval is het afgraven van invloed op de omvang van de geul.

Colofon

DUURZAME VAARGEULDIMENSIES WADDENZEE
PROGNOSE MORFODYNAMIEK TOT 2045 OP BASIS VAN EXPERT JUDGEMENT

KLANT

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR

Jelmer Cleveringa & Sanne van der Heijden

PROJECTNUMMER

30234147

ONZE REFERENTIE

:1

DATUM

2 december 2024

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

VRIJGEGEVEN DOOR

Jelmer Cleveringa
Senior Advisor Coastal Morphodynamics

Jelmer Cleveringa
Senior Advisor Coastal Morphodynamics

Over Arcadis

Arcadis is de leidende wereldwijd opererende datagedreven duurzame ontwerp-, advies- en consultancyorganisatie op het gebied van de natuurlijke en gebouwde omgeving. Wij zijn met 36.000 architecten, data-analisten, ingenieurs, projectplanners, water- en duurzaamheidexperts. Onze gedeelde passie is: Improving quality of life. Toewijding aan de strategie 'accelerating a planet positive future' onderschrijft onze wereldwijde samenwerking met klanten en hoe we hen helpen met duurzame projectkeuzes. We combineren digitale met mensgerichte innovaties en omarmen toekomstgerichte vaardigheden op het gebied van milieu, energie, water, gebouwen, transport en infrastructuur. We werken vanuit meer dan dertig landen en rapporteerden in 2023 een bruto omzet van 5 miljard euro. www.arcadis.com

www.arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 137
8000 AC Zwolle
Nederland

T +31 (0)88 4261 261

Arcadis. Improving quality of life

Volg ons op



[Arcadis](https://www.linkedin.com/company/arcadis)