

Deltares

 **ARCADIS**

Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee



 **enabling delta life**

Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee

Auteurs(s)

Helena van der Vegt

Jelmer Cleveringa (Arcadis)

Dynamische Vaargeulbeheer Waddenzee

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Contactpersoon	Jurre de Vries
Referenties	HV09 2022 Beheer en Onderhoud Waddenzee
Trefwoorden	Waddenzee, vaargeul, morfologie

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	16-12-2022
Projectnummer	11208040-009
Document ID	11208040-009-ZKS-0003
Pagina's	73
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

0.1	Helena van der Vegt Jelmer Cleveringa (Arcadis)	

Samenvatting

Bij dynamisch vaargeulbeheer in de Waddenzee wordt geanticipeerd op natuurlijk geulgedrag bij het baggeren. Dynamisch vaargeulbeheer helpt om het baggerbezwaar en de impact hiervan op de natuur te verminderen. Minder baggeren is over het algemeen ook economisch voordeliger. Het geulgedrag dat aanleiding is voor het baggeren blijkt duidelijk te verschillen voor de verschillende baggerlocaties. Toch zijn op hoofdlijnen ook overeenkomsten te herkennen in het geulgedrag. Die overeenkomsten maken het mogelijk om een classificatie op te stellen en die te koppelen aan de mogelijkheden en onmogelijkheden voor dynamisch vaargeulbeheer.

De doelstelling van het onderzoek in dit rapport is daarom:

1. Informatie verzamelen over het gedrag van vaargeulen waar gebaggerd wordt.
2. Identificeren van verschillende soorten dynamiek van de gebaggerde geulen in de Waddenzee.
3. Het opstellen van een kader ter ondersteuning van gebied-specifieke besluitvorming inzake dynamisch vaargeulbeheer.
4. Advies over baggerlocaties in de Waddenzee waar de meest kansrijke mogelijkheden zijn voor dynamisch vaargeulbeheer.

Door het gebruik van een classificatie en de koppeling daarvan aan een kader voor besluitvorming, wordt het duidelijker welke opties beschikbaar zijn voor de betreffende locaties. Dat helpt niet alleen bij het maken van keuzes over dynamisch baggeren, maar ook bij het uitleggen van de gemaakte keuzes.

De benodigde informatie is verzameld door analyse van bodemligging en baggervolumes en op basis van twee workshops met deskundigen op het gebied van morfologie en baggertechnieken en -strategieën. Het uitgangspunt is steeds het behoud van de bestaande nautische functies van de vaargeul.

Voor 14 bestaande baggervakken in de vaargeulen in de Waddenzee zijn de belangrijkste redenen voor baggeren vastgesteld in termen van morfodynamiek. Hierbij is ook de baggerinspanning in de afgelopen jaren beschreven.

In relatie tot de natuurlijke dynamiek, is een onderverdeling in drie verschillende typen baggervakken opgesteld. Drempelgebieden (categorie 1) zijn locaties waar eb- en vloedscharen met hun ondieptes leiden tot verondiepingen. Drempelgebieden zijn sterk dynamisch en daarmee zeer variabel waarbij de minimale diepte varieert, evenals de locatie met de grootste diepte. De dynamiek betekent dat de baggerinspanning voor het behalen van de vereiste diepte plotseling sterk kan toenemen, maar ook weer kan afnemen. Geulstaarten (categorie 2) betreft de ondiepe landwaartse uiteinden van geulen. De ondiepte treedt op vanaf de landwaartse zijde van de geul en is het gevolg van de geleidelijke afname van omvang van de geul. Naarmate de afname van de omvang verder gaat, breidt het gebied waar gebaggerd moet worden in zeewaartse richting uit en neemt het baggervolume toe. Categorie 3 betreft de restcategorie van baggervakken in vaargeul die niet, of niet geheel, overeenkomen met de twee andere.

Het kader ter ondersteuning van gebied-specifieke besluitvorming inzake dynamisch vaargeulbeheer is opgebouwd als een stappenplan.

1. De eerste stap is het beschouwen en overwegen van mogelijke alternatieve vaarroutes waarbij geen of minder baggerbezwaar wordt verwacht.

2. Indien de eerste stap geen haalbaar alternatief biedt, wordt op basis van actuele informatie van de vaarweg vastgesteld of er sprake is van een drempelgebied, een staartgeul, of een ander type morfologie. De vervolgstappen verschillen voor de drie typen:
 - De drie mogelijke benaderingen voor de drempelgebieden zijn gekoppeld aan de dynamiek van deze gebieden, en bestaan uit 1) meebewegen, 2) geulwissel binnen het drempelgebied of 3) op de plaats houden.
 - Bij geulstaarten zijn relatief weinig mogelijkheden om de baggerinspanningen te beperken. Het inzetten van andere bagger- en verspreidingstechnieken kan helpen het baggerbezwaar te verminderen.
3. De laatste stap is het bepalen van de gepaste strategie, op basis van de reductie van het toekomstige baggervolume, nautische aspecten, de lengte van de vaarweg, de duur van de overtocht, en invloeden op de ecologische waarden. Deze criteria wegen mee bij het bepalen van de gepaste strategie.

Voor het doorlopen van het stappenplan zijn gegevens over de baggerinspanning (volumes, trends, technieken, etc.) en de ontwikkeling van de bodem (diepte baggergebied, diepte omgeving, sedimentsamenstelling, etc.) van het gebied nodig. Voor de voorspelling van het baggerbezwaar zijn verschillen methoden beschikbaar die elkaar aanvullen, zoals numerieke modellen, trendextrapolatie en praktijkproeven.

Het is niet mogelijk gebleken om een objectief afwegingskader op te stellen, waarmee op basis van een set van standaardparameters wordt vastgesteld waar het baggeren gereduceerd kan worden door dynamisch vaarwegbeheer. De kenmerken van de baggervakken in de Waddenzee verschillen dermate veel, dat een generiek kader niet haalbaar is. Ook bestaat er nog geen algemeen (conceptueel) model voor het bepalen van het optimale moment/situatie voor het aanpassen van de strategie voor een baggerlocatie. Wel wordt het algemene advies gegeven dat bij drempelgebieden meer alternatieven mogelijk zijn dan bij geulstaarten. Daarmee is het kansrijker om voor drempelgebieden te kijken naar alternatieven dan bij geulstaarten.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Doelstelling	10
1.3	Aanpak	10
1.4	Studiegebied en afbakening	10
1.5	Leeswijzer	11
2	Onderhoudsbaggerwerk in de vaargeulen in de Waddenzee	12
2.1	Morfologie en baggeren	12
2.2	Morfologische veranderingen	13
2.3	Classificatie van baggervakken	16
2.4	Eenmalig of herhalend baggerwerk	17
2.5	Baggervolumes als indicator voor morfologische veranderingen	18
3	Overzicht van de gebaggerde gebieden in de vaargeulen van de Waddenzee	19
3.1	Bestaande baggervakken	19
3.2	Potentiële baggerlocaties	22
4	Ondersteuning van gebiedsspecifieke besluitvorming	26
4.1	Inleiding	26
4.2	Is er een alternatief mogelijk?	27
4.2.1	Vergelijken alternatief met bestaande verbinding	27
4.3	Identificeren type baggervak	27
4.3.1	Drempels	28
4.3.2	Geulstaarten	30
4.3.3	Anders	30
4.3.4	Geulbochten	30
4.4	Bepalen van gepaste strategie	31
4.4.1	Methoden voor het bepalen van het toekomstige baggerbezwaar	31
4.5	Monitoring i.r.t. sleutelparameters voor besluitvorming	33
4.6	De toegevoegde waarde van het stappenplan	35
5	Advies	37
5.1	Overzicht van de dynamiek van geulen/baggervakken	37
5.2	Gebruik het kader voor gebiedsspecifieke besluitvorming	39
5.3	Kansrijke mogelijkheden voor dynamisch vaargeulbeheer	40

6	Bronnen	41
A	Beschrijving per baggervak	43
A.1	Visjagersgaatje – kombergingsgebied Marsdiep	43
A.1.1	Type	43
A.1.2	Baggerhoeveelheden	43
A.1.3	Zandwinning en bijzonderheden	44
A.1.4	Morfologische ontwikkelingen	44
A.1.5	Integratie	45
A.2	Boontjes – overgangsgebied kombergingsgebieden Marsdiep -Vlie	46
A.2.1	Type	46
A.2.2	Baggerhoeveelheden	46
A.2.3	Bijzonderheden	47
A.2.4	Morfologische ontwikkelingen	47
A.2.5	Integratie	49
A.3	Geul langs Pollendam – Kombergingsgebied Vlie	49
A.3.1	Type	49
A.3.2	Baggerhoeveelheden	50
A.3.3	Bijzonderheden	51
A.3.4	Morfologische ontwikkelingen	51
A.3.5	Integratie	52
A.4	Blauwe Slenk – Kombergingsgebied Vlie	52
A.4.1	Type	52
A.4.2	Baggerhoeveelheden	52
A.4.3	Zandwinning en bijzonderheden	53
A.4.4	Morfologische ontwikkelingen	53
A.4.5	Integratie	54
A.5	Pannengat– Kombergingsgebied Vlie	54
A.5.1	Type	54
A.5.2	Baggerhoeveelheden	54
A.5.3	Bijzonderheden	55
A.5.4	Morfologische ontwikkelingen	55
A.5.5	Integratie	55
A.6	Slenk – Kombergingsgebied Vlie	57
A.6.1	Type	57
A.6.2	Baggerhoeveelheden	57
A.6.3	Bijzonderheden	58
A.6.4	Morfologische ontwikkelingen	59
A.6.5	Integratie	60
A.7	Veerboot route naar Ameland - Kombergingsgebied Borndiep	61
A.8	Reegeul - Kombergingsgebied Borndiep	63
A.8.1	Type	63
A.8.2	Baggerhoeveelheden	63
A.9	Ballumerbocht - Kombergingsgebied Borndiep	64
A.9.1	Type	64
A.9.2	Baggerhoeveelheden	65
A.9.3	Bijzonderheden	66
A.10	Glinder – Kombergingsgebied Friesche zeegat	66
A.10.1	Type	66

A.10.2	Baggerhoeveelheden	67
A.10.3	Morfologische ontwikkelingen	68
A.10.4	Integratie	70
A.11	Groote Siege – Kombergingsgebied Friesche zeegat	70
A.11.1	Type	70
A.11.2	Baggerhoeveelheden	71
A.11.3	Bijzonderheden	71
A.11.4	Morfologische ontwikkelingen	72
A.11.5	Integratie	72

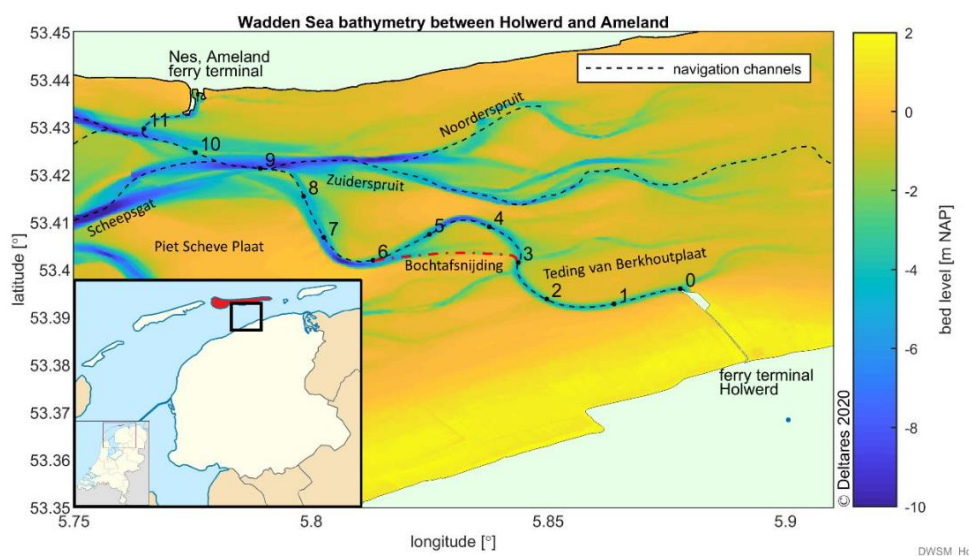
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij dynamisch vaargeulbeheer wordt geanticipeerd op natuurlijk geulgedrag in plaats van het statisch op zijn plek houden van de vaargeul. Dynamische vaargeulbeheer wordt gezien als één van de oplossingsrichtingen om het baggerbezwaar in de Waddenzee en de impact op de natuur te verminderen. Dit sluit aan bij de opgave van Agenda voor het Waddengebied 2050 om beter aan te sluiten bij de natuurlijke dynamiek van het systeem en om het baggerbezwaar te verminderen c.g. te verduurzamen (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).

Minder baggeren is over het algemeen¹ economisch gezien voordeliger. Een kleiner baggervolume zal over het algemeen leiden tot minder grote effecten op de natuur, bijvoorbeeld omdat minder vertroebeling optreedt en omdat minder emissies van CO₂ en NO_x optreden door het baggeren.

Een voorbeeld van het meebewegen met de natuurlijke dynamiek is de Vaarweg Holwerd-Ameland. Vergelijking van deze vaargeul met andere (niet gebaggerde) geulen heeft uitgewezen dat de natuurlijke geul- en schaarontwikkeling vermoedelijk sterk geremd is geweest door het onderhouden van de langere ebschaar en bijbehorende geul (Van Til, 2018). In 2019 is een vloedschaar, met een kortere lengte dan de ebschaar, doorgetrokken middels baggeren (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Hierdoor loopt zowel de eb- als de vloedstroom nu via dezelfde route (Grasmeijer & van Weerdenburg, 2020). Als gevolg hiervan neemt het baggerwerk af en is een kortere route voor de veerboot ontstaan.



Figuur 1-1 Kaart met daarop aangegeven de vaarroute (genummerde traject) tussen Holwerd (Friesland) en Nes (Ameland) en de bochtafsnijding (rode stippellijn) die in 2019 is gerealiseerd (uit Grasmeijer & van Weerdenburg, 2020).

¹ De aanname daarbij is dat de kosten per kubieke meter baggeren niet sterk toenemen als gevolg van een aangepaste baggerstrategie.

De vraag bij de gebaggerde delen van de vaargeulen is wat het juiste moment is voor een bochtafsnijding of een andere aanpassing van de baggerstrategie. De verwachting is dat door op het optimale moment de vaargeul te verleggen naar een nieuwe schaar de dynamiek van het systeem dusdanig gunstig wordt beïnvloed dat het baggerbezwaar zal afnemen. Er zijn ook plekken waar de vaargeul de neiging heeft sterk te migreren en meanderen. De vraag speelt daar of het zinvol is om met de geulen mee te bewegen of dat het misschien effectiever is om de vaargeul op zijn plaats te houden door baggeren.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek in dit rapport is daarom:

1. Informatie verzamelen over het gedrag van vaargeulen waar gebaggerd wordt.
2. Identificeren van verschillende soorten dynamiek van de gebaggerde geulen in de Waddenzee.
3. Het opstellen van een kader ter ondersteuning van gebied-specifieke besluitvorming inzake dynamisch vaargeulbeheer.
4. Advies over baggerlocaties in de Waddenzee waar de meest kansrijke mogelijkheden zijn voor dynamisch vaargeulbeheer.

1.3 Aanpak

De aanpak voor de studie omvat een aantal stappen:

- Het opstellen van een beschrijving van bestaande delen van vaargeulen waar wordt gebaggerd, middels een literatuurstudie in combinatie met expert judgement (Doel 1).
- Gestructureerd langslopen van alle gebaggerde vaargeulen in de Waddenzee (exclusief het Eems estuarium), aan de hand van de vaklodingen over de periode 1987-2021 en, indien beschikbaar, beheerlodingen, waarbij de belangrijkste redenen voor baggeren wordt vastgesteld, in termen van morfologie en morfodynamiek (Doel 1).
- Opstellen van een classificatie van verschillende typen gebaggerde delen van vaargeulen in relatie tot de natuurlijk dynamiek (Doel 2).
- Beschrijving van het baggerwerk in verschillende typen gebaggerde delen van geulen, inclusief bespreking van de effecten van eerdere zandwinning (Doel 1, Doel 2).
- Een discussie met deskundigen op het gebied van morfologische veranderingen in de Waddenzee en baggertechnieken en -strategieën (Doel 1, Doel 2, Doel 3, Doel 4).
- Op basis van de analyses en gesprekken wordt ten slotte het kader opgesteld ter ondersteuning van gebiedsspecifieke besluitvorming inzake dynamisch vaargeulbeheer (Doel 3).
- Voorzet tot sleutelparameters voor monitoring. Het is de verwachting dat deze parameters uiteindelijk bij kunnen dragen aan een conceptuele model voor dynamisch vaargeulbeheer (Doel 3).

1.4 Studiegebied en afbakening

De voorliggende analyse is gericht op de baggerwerkzaamheden in de vaargeulen in de Waddenzee. In deze analyse worden niet meegenomen:

- De vaargeulen in het Eems estuarium;
- De havens;
- De betonde geulen op de buitendelta's van de Waddenzee. Over de pilot Westgat, waarbij een pilot is uitgevoerd met het verdiepen van een geul op de buitendelta van de Zoutkamperlaag (vaaroute Noordzee-Lauwersoog), is elders gerapporteerd (zie Vermaas, T. & E. Elias, 2019).

De nadruk in de analyse ligt op gebieden waar baggerwerkzaamheden zijn en worden uitgevoerd. Er wordt slechts beperkt gekeken naar gebieden waar in de toekomst de morfologische veranderingen aanleiding kunnen zijn tot baggeren. Inzichten/classificatie uit deze studie zouden in principe in de toekomst ook toegepast kunnen worden voor andere gebieden om tijdig op knelpunten te reageren.

Minder baggeren betekent niet automatisch dat dan ook sprake is van een kortere vaarroute. Het kan wel gewenst zijn om ook de vaarroute te optimaliseren. Naast minder baggeren treden dan ook ecologische (en economische) gevolgen op door ander gebruik van de vaarweg. Optimalisatie van de vaarroutes is echter geen onderdeel van de voorliggende studie.

In deze studie is niet gekeken naar de ontwikkelingen van en rond de verspreidingslocaties voor baggerspecie in de Waddenzee. Een overzicht daarvan kan worden gevonden in de Wit (2022).

1.5 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk geeft dit rapport in hoofdstuk 2 een conceptualisering van het onderhoudsbaggerwerk in de Waddenzee (Doel 2). In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de baggervakken in de Waddenzee (Doel 1), voor een meer gedetailleerd overzicht hiervan wordt de lezer verwezen naar bijlage A. Hoofdstuk 4 bevat de beschrijving van de verschillende stappen in het afwegingskader (Doel 3), die tijdens een aantal workshops en discussies zijn vastgesteld. Het rapport eindigt met adviezen en aanbevelingen voor kansrijke mogelijkheden en volgende stappen die nodig zijn bij de implementatie van dynamisch vaargeulbeheer voor de Waddenzee in hoofdstuk 5 (Doel 4).

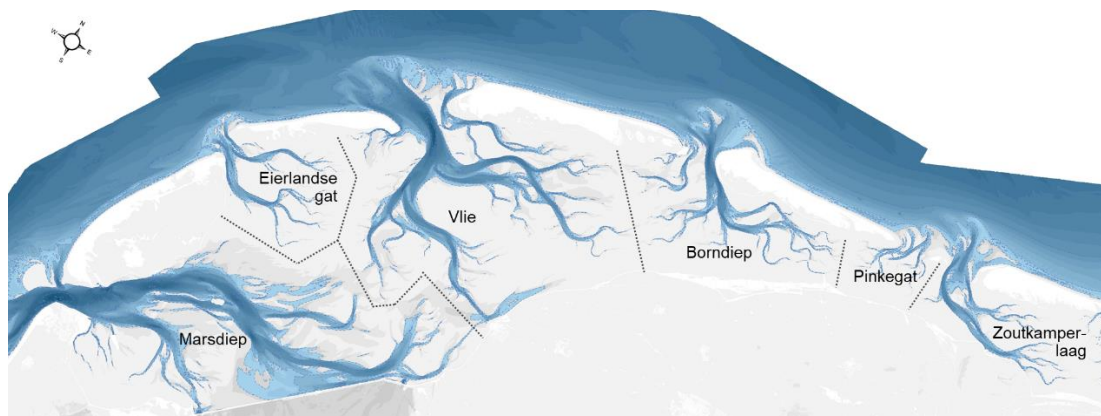
2 Onderhoudsbaggerwerk in de vaargeulen in de Waddenzee

2.1 Morfologie en baggeren

Voor de vaarwegen in de Waddenzee zijn minimale dieptes vastgelegd. Wanneer de diepte minder wordt dan deze minimale diepte, dan moet worden gebaggerd. De vaarwegen in de Waddenzee liggen in de getijdegeulen die grotendeels van natuurlijke oorsprong zijn. De morfologie van de getijdegeulen in de Waddenzee en de veranderingen daarvan zijn bepalend voor de natuurlijke diepte en daarmee voor de noodzaak tot baggeren.

Breed en diep bij het zeegat, smal en ondiep achterin

In grote lijnen is de waterdiepte die van nature optreedt in de geulnetwerken in de Waddenzee het grootst in de geulen van het zeegat en het kleinst in de geulen nabij de randen van de kombergingsgebieden² (Figuur 2-1). Bij de grote kombergingsgebieden (Vlie en Marsdiep) zijn de grootste geulen groter (breder en dieper) dan bij de kleine kombergingsgebieden (Pinkegat, Eierlandse gat), omdat de omvang van de geulen gekoppeld is aan de hoeveelheid water die ieder getij in en uit het bekken stroomt. Wanneer vanaf het zeegat een geul naar de rand van het kombergingsgebied wordt gevolgd, dan neemt de omvang van de geul af, waarbij zowel de gemiddelde breedte als de gemiddelde diepte afnemen. Het gevolg van de afnemende diepte en breedte van de geulen aan de achterzijde van de kombergingsgebieden is dat de natuurlijke optredende dimensies daarmee te klein kunnen worden voor de vaarwegen die daar liggen. Goed bevaarbare vaarwegen vraagt juist om een uniforme diepte en breedte.



Figuur 2-1 Overzicht van de vertakkende getijdegeulen in de kombergingsgebieden van de Waddenzee. De stippellijnen geven een indicatie van de wantijen tussen de kombergingsgebieden.

Hobbels en bochten onderweg

De geulen in de Waddenzee worden gekenmerkt door morfologische elementen die typisch zijn voor getijdegeulen, onder andere eb- en vloedscharen (Figuur 2-2) en

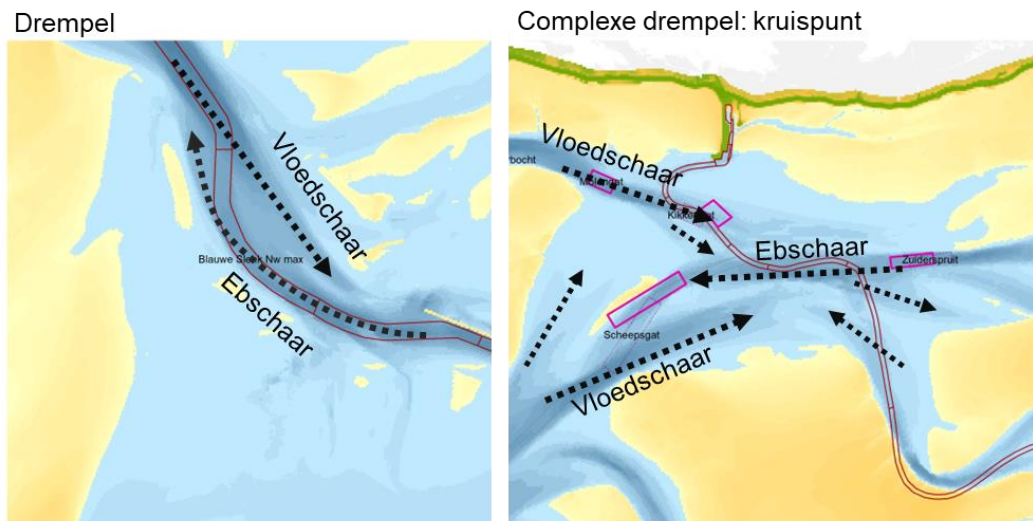
² Een kombergingsgebied is het gebied in de Waddenzee dat tijdens vloed wordt gevuld en tijdens eb wordt geleegd via eenzelfde zeegat. Het zeegat is de grote getijdegeul of combinatie van geulen tussen de eilanden (en de Kop van Noord-Holland). Aan de landzijde worden de kombergingsgebieden begrensd door dijken en aan de Noordzezijde door de Waddeneilanden. Onderling vormen de ondiepe wantijen de grens tussen de kombergingsgebieden. Het wantij is het gebied waar, als het niet stormt, het vloedwater uit het ene kombergingsgebied het vloedwater uit het aangrenzende kombergingsgebied ontmoet. Andere namen voor kombergingsgebied zijn getijdebekken en vloedkom.

(meander)bochten. Eb- en vloedscharen bestaan uit geulen die uitlopen in een kenmerkende ondiepte die schild worden genoemd. 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.

Bochten in de geulen hebben op zichzelf geen gevolgen voor de breedte en diepte van de geul, 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 geulen. Zulke kruispunten treden op rondom geulcomplexen, waar meerdere eb-vloedscharen samenkomen (de rechterzijde van Figuur 2-2 geeft hiervan een voorbeeld). Bij dit soort 'kruispunten' is sprake van verschillende eb- en vloedscharen met drempels, waarbij de drempels in elkaar over gaan.

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 geul zijn met voldoende diepte zodat om de ondiepe delen heen kan worden gevaren. In de ondiepere delen is de kans veel groter dat een ondiepte een niet te vermijden obstakel vormt, dat baggeren noodzakelijk maakt.



Figuur 2-2 Kaarten met een eenvoudig drempelgebied (Blauwe Slenk, links) en een complex kruispunt van geulen (Vaarweg Ameland, rechts). De vaargeul (situatie 2022) is aangegeven in rood. De roze rechthoeken zijn de verspreidingslocaties voor baggerspecie.

2.2 Morfologische veranderingen

De geulen zijn zeer dynamische onderdelen van de Waddenzee zijn. Het is zinvol om een onderscheid te maken in trendmatige veranderingen en in fluctuaties.

Trendmatige veranderingen

Trendmatige veranderingen zijn bijvoorbeeld een langjarige toe- of afname van de omvang van een geul. Voor het toenemen van baggeren zijn de afnames van de geulvolumes relevant. Zo'n trendmatige afname van een geul treedt op wanneer het kombergingsvolume van de betreffende geul afneemt, bijvoorbeeld door doorgaande sedimentatie, de uitbreiding

van kwelders, de verplaatsing van het wantij, of doordat andere geulen de functie van de geul overnemen ('landjepik' volgens Steijn, 2005), of een combinatie van deze factoren. Bij een trendmatige afname van de omvang van de geul, zal in eerste instantie aan de achterzijde van de geul sprake zijn van verondieping. Naarmate de afname doorzet zal de lengte van de geul waarover de ondiepte optreedt toenemen. Hét voorbeeld van een trendmatige verondieping, die is gekoppeld aan een toename van het baggerbezwaar, is opgetreden bij de Vaarweg Holwerd-Ameland in de vaargeul nabij de veersteiger Holwerd (Grasmeijer en Weerdenburg, 2020). De tijdschaal waarover deze trendmatige veranderingen optreden is tientallen jaren.

Fluctuaties

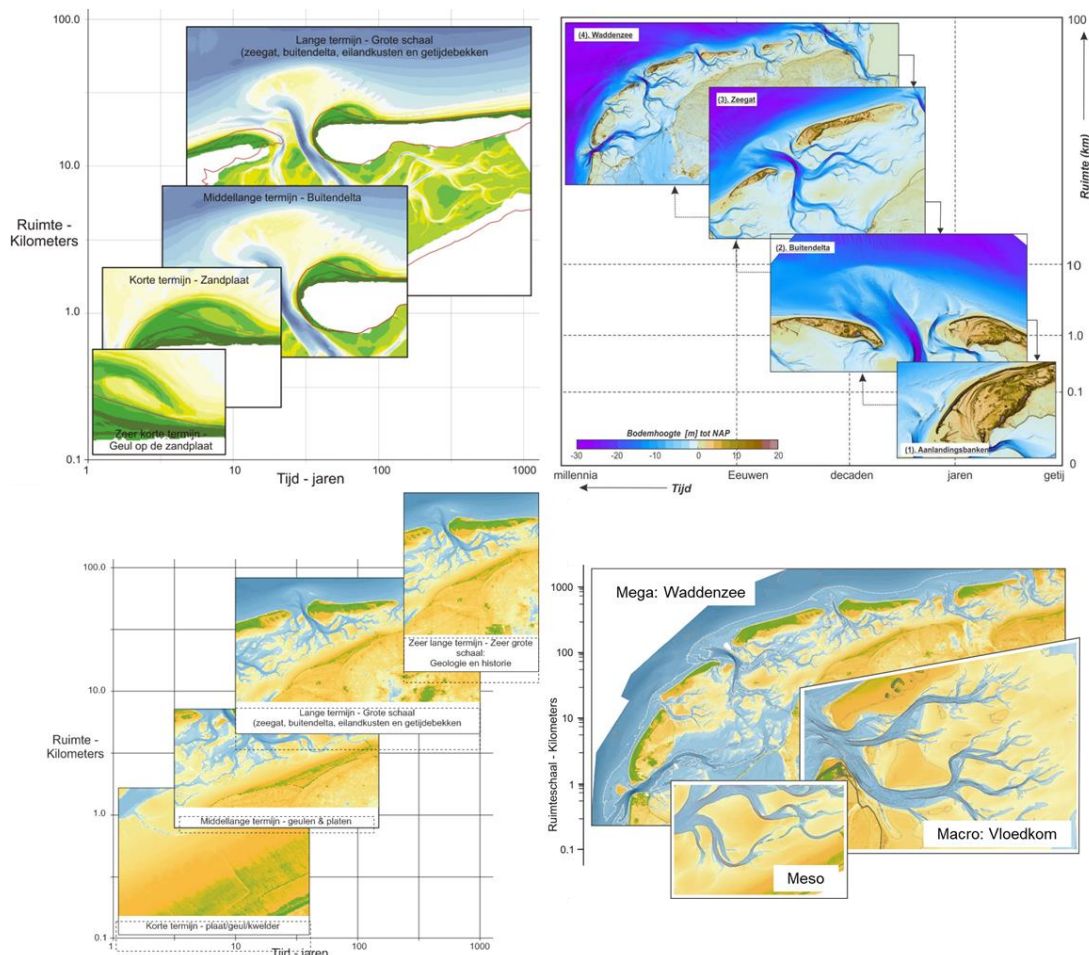
Fluctuaties in de diepte van de geul treden met name op bij eb- en vloedscharen. Fluctuaties treden op door het vormen en door de verplaatsing van de scharen met hun schilden. Hoe complexer de opbouw van de geulen (zie de rechter kaart in Figuur 2-2), des te complexer de fluctuaties zijn die optreden in de ondieptes. Voorbeelden van dieptefluctuaties zijn te vinden in het Schuitengat, waar de waterdiepte in de verbinding naar het Vlie eerst is afgenomen en recent (na 2016) weer is toegenomen en in het Pannengat, waar de diepte is toegenomen en het baggervolume is afgenomen. Het is niet mogelijk één tijdschaal te verbinden aan de fluctuaties, de snelheid waarmee veranderingen optreden verschilt per drempelgebied.

Combinatie

Trendmatige veranderingen en fluctuaties kunnen ook gecombineerd optreden. Er is dan bijvoorbeeld sprake van een geleidelijke toe- of afname van de omvang van de geul, waarop fluctuaties optreden door het verschijnen van scharen. Zo'n gecombineerde ontwikkeling maakt het lastiger om eventuele trends te herkennen, omdat deze gemaskeerd worden door de fluctuaties. Het is zinvol om te weten of bij een fluctuatie ook sprake is van een onderliggende trend, omdat dat kan betekenen dat de oorspronkelijke situatie niet teruggedraaid is. Voor het herkennen van gecombineerde ontwikkelingen is het zinvol een gestructureerde morfologische analyse uit te voeren volgens de zogenaamde schaalcascade.

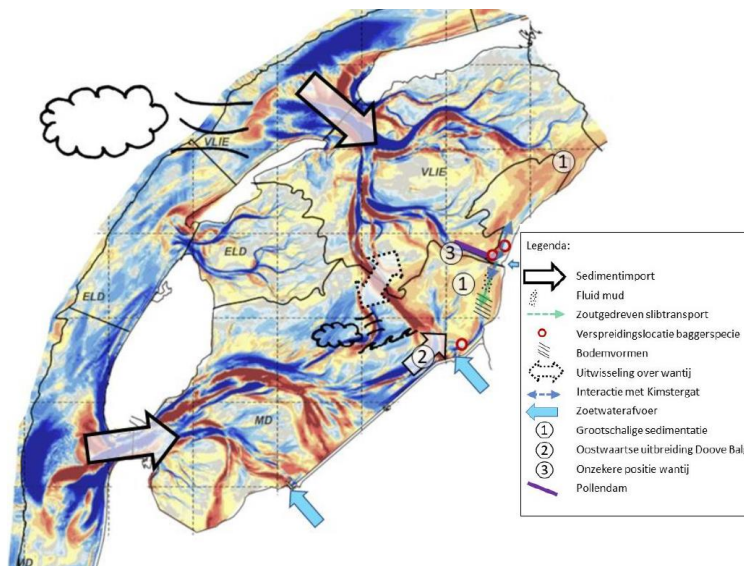
Schaalcascade voor morfologische analyses

Voor een goed begrip van de morfologie en de morfologische veranderingen is het zinvol om per aandachtsgebied (baggergebied, of gebied waar in de toekomst verondiepingen optreden die baggeren noodzakelijk maken) de morfologie en morfologische veranderingen te analyseren aan de hand van de schaalcascade voor morfologische analyses. De schaalcascade wordt tegenwoordig standaard gehanteerd bij analyses van morfologische veranderingen op en rond buitendelta's (zie de bovenste voorbeelden in Figuur 2-3). Ook voor de ontwikkelingen in de kombergingsgebieden kan zo'n cascade worden gebruikt om de ontwikkelingen op de grote schaal van het hele kombergingsgebied te onderscheiden van de veranderingen op de schaal van individuele geulen. Inzicht in de ontwikkelingen van de kombergingsvolumes op de schaal van het hele bekken en per geul geven inzicht in trendmatige toe- en afnames van de omvang van geulen. Dergelijke trendmatige veranderingen kunnen dan worden onderscheiden van fluctuaties door de dynamiek van eb- en vloedscharen.



Figuur 2-3 Vier voorbeelden van schaalcascades voor opbouw van morfologische analyses. Linksboven het zeegat van Ameland en de kust van noordwest-Ameland (Rijkswaterstaat, 2005); rechtsboven het zeegat van het Vlie en de aangrenzende eilandkusten (Elias, 2021), onder de kombereginggebieden in de Waddenzee, waarbij links wel een koppeling tussen tijd- en ruimte schaal is aangegeven en rechts niet.

Een morfologische analyse volgens de schaalcascade is een onderdeel van het conceptuele model voor een baggerlocatie. In het conceptuele model is ook kennis opgenomen over de sturende processen voor de sedimentatie en de interactie daarvan met het baggeren en verspreiden. Figuur 2-4 toont de visuele weergaven van het systeembegrip rond de Boontjes, dat is opgesteld om de toename in het baggerbezuwaar te begrijpen (Colina Alonso et al., 2021).



Figuur 2-4 Visuele weergaven van het conceptuele model voor de sedimentatie in relatie tot het baggeren in de Boontjes (uit Colina Alonso et al., 2021).

2.3 Classificatie van baggervakken

Op basis van de morfologie en de morfodynamiek van de geulen in de Waddenzee maken we onderscheid in drie klassen van baggervakken:

- 1 Drempelgebieden;
- 2 Geulstaarten;
- 3 Anders/Overige.

De gehanteerde indeling is logischerwijs grof maar helpt om het gedrag te begrijpen van de 14 gebieden waar gebaggerd wordt (of gebaggerd gaat worden).

1. Drempelgebieden

Deze klasse betreft de baggervakken waar lokale ondieptes aanwezig zijn als onderdeel van vloed-, dan wel ebscharen, of als gevolg van combinaties van eb- en vloedscharen (Figuur 2-2). De klassieke beschrijving van eb- en vloedscharsystemen staat in Van Veen (1950). De lokale ondieptes 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, waardoor 'opeens' sprake is van de noodzaak tot baggeren. Ook de omgekeerde ontwikkeling is mogelijk, waardoor de baggervolumes in een kort tijdsbestek afnemen.

2. Geulstaarten

Deze klasse betreft de ondiepe landwaartse uiteinden van geulen. De ondiepte treedt op vanaf de landwaartse zijde. Het optreden van een dergelijke ondiepte is het gevolg van de geleidelijke afname van omvang van de geul. Naarmate de afname verder gaat, breidt het gebied waar gebaggerd moet worden in zeewaartse richting uit. De samenstelling van de baggerspecie is over het algemeen slibrijk. Geulstaarten kunnen een bochtvorm hebben, maar er zijn ook relatief rechte geulstaarten.

3. Anders/Overige

In de Waddenzee zijn er ook een baggervakken die niet (geheel) overeenkomen met de classificering drempel of geulstaart. Van deze locaties wordt toegelicht welke morfologische situatie en ontwikkeling het betreft (zie hoofdstuk 3).

2.4 Eenmalig of herhalend baggerwerk

Het onderhoudsbaggerwerk betreft baggervakken waar regelmatig (tenminste ieder jaar) wordt gebaggerd. Dit herhalend baggerwerk betreft altijd de instandhouding van een bestaande situatie. De baggerinspanningen vinden in eerste instantie vrijwel altijd 'binnen' de natuurlijke dynamiek plaats, maar naarmate de baggerinspanningen toenemen gaan deze meer en meer de morfologische ontwikkeling bepalen (dit is een les van de vaarweg Ameland). De baggerinspanning verandert als het ware van "volgend" naar "sturend".

Het kader voor het baggerwerk wordt gegeven door het Natura 2000-beheerplan Waddenzee (Rijkswaterstaat, 2016). In het beheerplan is opgenomen:

- Waar wordt gebaggerd en waar de baggerspecie mag worden verspreid;
- Welke diepte de vaarweg minimaal moet hebben en tot welke diepte gebaggerd mag worden;
- Welke baggertechniek³ ingezet kan worden;

Hiermee is voor het herhalende baggerwerk de ruimte vastgelegd waarbinnen de uitvoering moet plaatsvinden. Dit legt in de praktijk beperkingen op aan de mogelijkheden om bepaalde baggerstrategieën⁴ te hanteren. De speelruimte voor herhalend baggerwerk is relatief beperkt, maar biedt wel mogelijkheden om mee te bewegen met morfologische veranderingen bij de bagger- en verspreidingslocaties. Daarnaast kunnen er mogelijk ook aanpassingen gedaan worden aan het toekomstige beheerplan, als deze gunstig zijn voor de ecologie of het reduceren van impact.

In sommige gevallen is het aan te bevelen om met een éénmalige en grootschalige ingreep de morfologische situatie aan te passen, om daarmee op de langere termijn het baggerwerk te reduceren. Het bekendste recente voorbeeld van een dergelijke ingreep is de bochtafsnijding in de vaarweg Ameland (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Daar is de bestaande vloedschaar verdiept en verlengd, zodat een verbinding (kortsluiting) is gevormd ter vervanging van de oorspronkelijke geulbocht.

Voor een éénmalige ingreep die afwijkt van het reguliere baggerwerk, zoals voor het baggeren van de bochtafsnijding in de vaarweg Ameland zijn eigenstandige vergunningen en ontheffingen verkregen. Die vergunningen en ontheffingen houden rekening met de specifieke aspecten van de ingreep en zijn niet toepasbaar voor andere (éénmalige) ingrepen.

³ De baggertechniek betreft het soort baggerschip (slephopperzuiger, kraanschip met beunbak, ploegboot, waterinjectiebaggerschip) en de wijze waarop het betreffende baggerschip wordt ingezet. Een slephopperzuiger kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor opzuigen en verspreiden op een verspreidingslocatie of voor het op stroom zetten door de baggerspecie op te zuigen en ter plaatse, dan wel op korte afstand in de vaargeul te verspreiden.

⁴ De baggerstrategie gaat over de inzet van de baggertechniek, of combinatie van technieken in de tijd. Het is bijvoorbeeld mogelijk in één keer een flinke hoeveelheid te baggeren en dan lang te wachten tot je weer terug moet komen, of om de vaarweg steeds net op de vereiste diepte te brengen en vaker terug te komen. Onderdeel van de baggerstrategie is ook de verspreidingsstrategie. Dat betreft zowel de locatie(s) waar de baggerspecie wordt verspreid, als de omstandigheid waaronder dat gebeurt (alleen bij vloed of eb, of bij beide).

2.5 Baggervolumes als indicator voor morfologische veranderingen

Verondieping van een geul door sedimentatie, waarbij de diepte van de geul kleiner wordt dan de minimale diepte van de vaargeul, is aanleiding voor het uitvoeren van baggerwerkzaamheden. Daarmee zijn de baggerwerkzaamheden in theorie een bruikbare indicator voor de opgetreden sedimentatie. Er staat hier in theorie, omdat in de praktijk een aantal andere factoren ook van invloed zijn op de gebaggerde volumes. Hier zetten we een aantal factoren op een rij, waardoor duidelijk wordt dat de baggervolumes niet altijd één-op-één gekoppeld kunnen worden aan morfologische veranderingen. Deze factoren zijn ontleend aan eigen ervaringen en aan het werk van Mulder (2021a):

- De baggervolumes omvatten niet voor elke periode dezelfde informatie over de baggerinspanningen. Zo zijn tot september 2016 volumes opgenomen voor het baggeren door middel van ploegen en waterinjectiebaggeren, maar daarna niet meer. Mulder (2021a) schat het verschil voor de hele Waddenzee op 4%. Lokaal kan het verschil echter beduidend groter zijn. Voor Glinder is dit bijvoorbeeld meer dan 100%.
- Er is niet altijd gebaggerd wanneer door sedimentatie de minimale waterdiepte werd bereikt, bijvoorbeeld omdat sprake is geweest van het bereiken van een aanbestedingslimiet door Rijkswaterstaat.
- Soms is het baggeren net over de jaargrens uitgevoerd en telt het volume mee in dat volgende jaar. Zeker bij baggervakken waar niet heel veel wordt gebaggerd kan dit resulteren in een lager volume in het eerste jaar en een hoger volume in het tweede jaar.
- De baggervolumes worden medebepaald door de dichtheid van de baggerspecie en die wordt sterk bepaald door het slibgehalte. Veranderingen in de sedimentsamenstelling kunnen daardoor leiden tot (grote) veranderingen in de volumes van de baggerspecie.
- Veranderingen in de contractvorm en contracteisen, die vaak samen op gaan met een verandering van de baggeraar, kunnen ook leiden tot veranderingen in de baggerstrategie.

Een kortdurende verandering van de baggervolumes, gedurende een of twee jaar, hoeft dus niet samen te hangen met de morfodynamiek. Voor trendmatige veranderingen die zich over meerdere jaren voordoen geldt dat in veel mindere mate, die zijn hoogstwaarschijnlijk het gevolg van morfologische veranderingen.

3 Overzicht van de gebaggerde gebieden in de vaargeulen van de Waddenzee

3.1 Bestaande baggervakken

De beschrijving van het baggerwerk op de verschillende baggervakken is opgenomen in de onderstaande tabel. De locaties zijn opgenomen in Figuur 3-1. In de tabel is opgenomen of in het verleden sprake is geweest van zandwinning als onderdeel van het vaarwegbeheer. De minimale en maximale dieptes zijn ontleend aan het Natura 2000-beheerplan Waddenzee (Rijkswaterstaat, 2016; zie ook Arcadis, 2016). Voor de Boontjes zijn de getallen ontleend aan Colina Alonso et al. (2021).

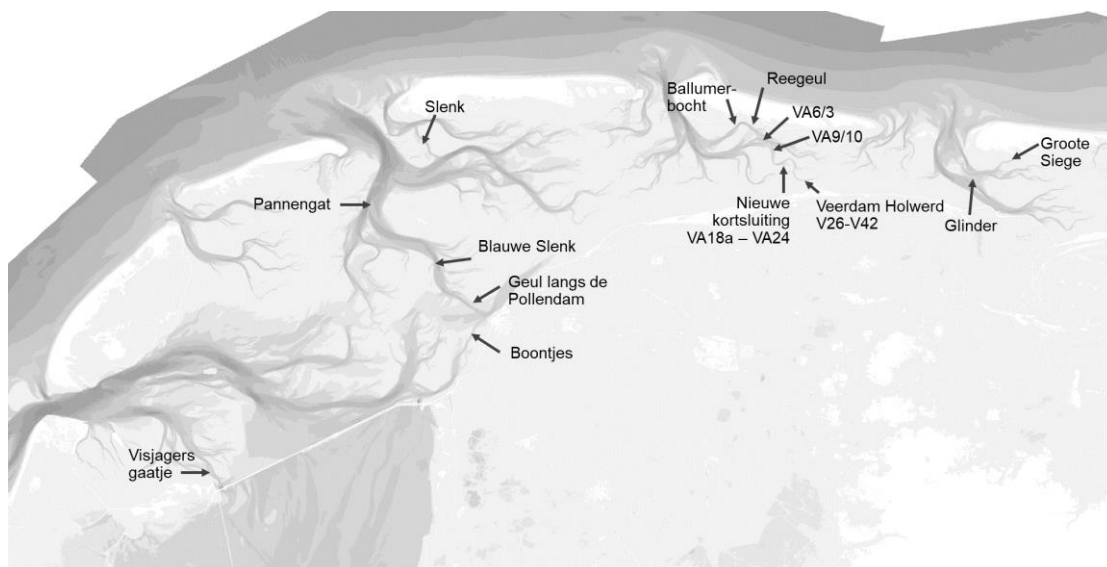
Op dit moment is geen specificatie beschikbaar van de ingezette baggertechniek(en). Dit kon daarom niet worden opgenomen in de tabel. Ook de samenstelling van de gebaggerde specie is niet bekend. Voor een meer gedetailleerd overzicht wordt de lezer verwezen naar bijlage A.

Baggervak	Type	Zandwinning	Baggerhoeveelheden (m ³)	Opmerkingen lokale factoren
Kobergingsgebied Marsdiep				
Visjagersgaatje Min. diepte NAP -3,5 m Max. diepte NAP -4 m	Drempelgebied	Ja, tot 2022, waarschijnlijk een substantieel deel van het volume	Gem. 31.804 Min. 19.007 Max. 43.279	Lokale stroming en sedimenttransport beïnvloedt door spuien zoetwater vanuit IJsselmeer; Aanpassing morfologie op Afsluitdijk: afname van de omvang van de geulen (Visjagersgaatje en Wierbalg) richting Den Oever.
Boontjes Min. diepte NAP -3,8 m Max. diepte NAP -4,3 m	Anders: dubbele staart	Nee	Gem. 217.228 Min. 93.989 Max. 363.992	Aanpassing morfologie na aanleg Afsluitdijk: gestage afname kobergingsvolume noordelijke staart; toename omvang zuidelijke staart; Omvang drempelgebied tussen de twee geulstaarten toegenomen.
Kobergingsgebied Vlie				
Pollendam Min. diepte	Geulstaart	Nee	Gem. 75.377 Min. 15.807 Max. 123.995	Geul langs dam; Aanpassing

NAP -7,5 m Max. diepte NAP -8 m				morfologie na aanleg Afsluitdijk	
Blauwe Slenk	Drempel- gebied	Ja, een deel van het zandwin- volume in het Vlie	Gem. 382.763 Min. 243.069 Max. 525.117	Uitbochtig – op welke moment voordelig om vloedschaar te baggeren? Baat het om vaargeul te “ontknikken”?	
Min. diepte NAP -7,5 m Max. diepte NAP -8 m					
Pannengat	Drempel- gebied	Ja, een beperkt deel van het zandwin- volume in het Vlie	0	Samengestelde eb- vloed schaar. Op welk moment is het beter om vloedschaar te baggeren? Kanttekening: Kans dat verondieping op drempel tussen Pannengat en Blauwe Slenk (naast verspreidingslocatie Blauwe Slenk) op termijn nieuwe baggervak vormt.	
Min. diepte NAP -7,5 m Max. diepte NAP -8 m					
Slenk	Drempel- gebied	Ja, een deel van het zandwin- volume in het Vlie	Gem. 219.313 Min. 115.947 Max. 347.982	Samengestelde eb- vloed schaar, drempels doorgebaggerd Slenk is vervanging Schuitengat- verbinding (drempel destijds te ondiep en baggerbezwaar te groot) Baggerbezwaar in Schuitengat te onvoorspelbaar (Van Til & Cleveringa, 2018)	
Min. diepte NAP -5 m Max. diepte NAP -5,5 m					
Kombergingsgebied Borndiep					
Veerboot route naar Ameland⁵ Min. diepte NAP -3,8 m; Max. diepte NAP -4 m					
Holwerd Veerdam V26-V42	Geulstaart	Nee	Gem. 1.043.602 Min. 947.984 Max. 1.133.670	Het “schoolvoorbeeld” van een geulstaart, waar de autonome afname van de geul (zichtbaar in niet gebaggerde landwaartse deel) heeft geleid tot grote lengte waarover gebaggerd moet worden en gestage	

⁵ Voor de lange-termijn bereikbaarheid Ameland is een uitgebreid onderzoekstraject opgezet, zie bijvoorbeeld: <https://www.rijkswaterstaat.nl/nieuws/archief/2021/12/rijkswaterstaat-gestart-met-vervolgonderzoek-bereikbaarheid-ameland-2030>

				toename baggerbezwaar.
Nieuwe kortsluiting VA18a – VA24	Drempel- gebied	Nee	Niet apart gerapporteerd, bij voorgaande	Voordelen minder baggeren
Ameland vaargeul VA10 tot VA3	Drempel- gebied	Nee	Gem. 317.891 Min. 181.047 Max. 491.818	2 drempellocaties: VA9/10 en VA6/3 5-geulen kruising, steeds wisselend op elkaar aangesloten: Verbinding van geul bij Scheepsgat en Zuiderspruit verspreidings- gebieden heeft grote impact op ontwikkeling drempels in het gebied. Deze verbinding maakt onderdeel uit van het natuurlijke ontwikkeling van eb- vloedschaar systeem bij Scheepsgat verspreidingsgebied.
Reegeul	Geulstaart	Nee	Gem. 19.051 Min. 11.400 Max. 27.200	Relatief weinig baggerwerk Verassend stabiel, ondanks (te) kleine komberging
Ballumerbocht Min. diepte NAP -2,5 m Max. diepte NAP -3 m	Geulstaart	Nee	Gem. 24.073 Min. 20.410 Max. 27.210	Geul achter dam Relatief weinig baggerwerk Kleine komberging
Kombergingsgebied Friesche Zeegat				
Glinder Min. diepte NAP -3,5 m Max. diepte NAP -4 m	Anders: Geulkortslui- ting	Nee	Gem. 104.949 Min. 66.900 Max. 155.975	Natuurlijke oorsprong of mogelijk gemaakt door baggerwerk? Vergelijking Slenk (Terschelling): Slenk verbindt 2 geulensysteem. Impact afsluiting Lauwerszee
Groote Siege Min. diepte NAP -3,5 m Max. diepte NAP -4 m	Geulstaart. Vroeger- vloed schaar	Nee	Gem. 45.369 Min. 19.847 Max. 71.181	Autonome verandering afname geuldoorsneden ten oosten van veerhaven Schiermonnikoog – kan grote gevolgen hebben op baggerbezwaar Groote Siege door impact verondieping over grotere lengte



Figuur 3-1 Overzichtskartaal van de baggerlocaties

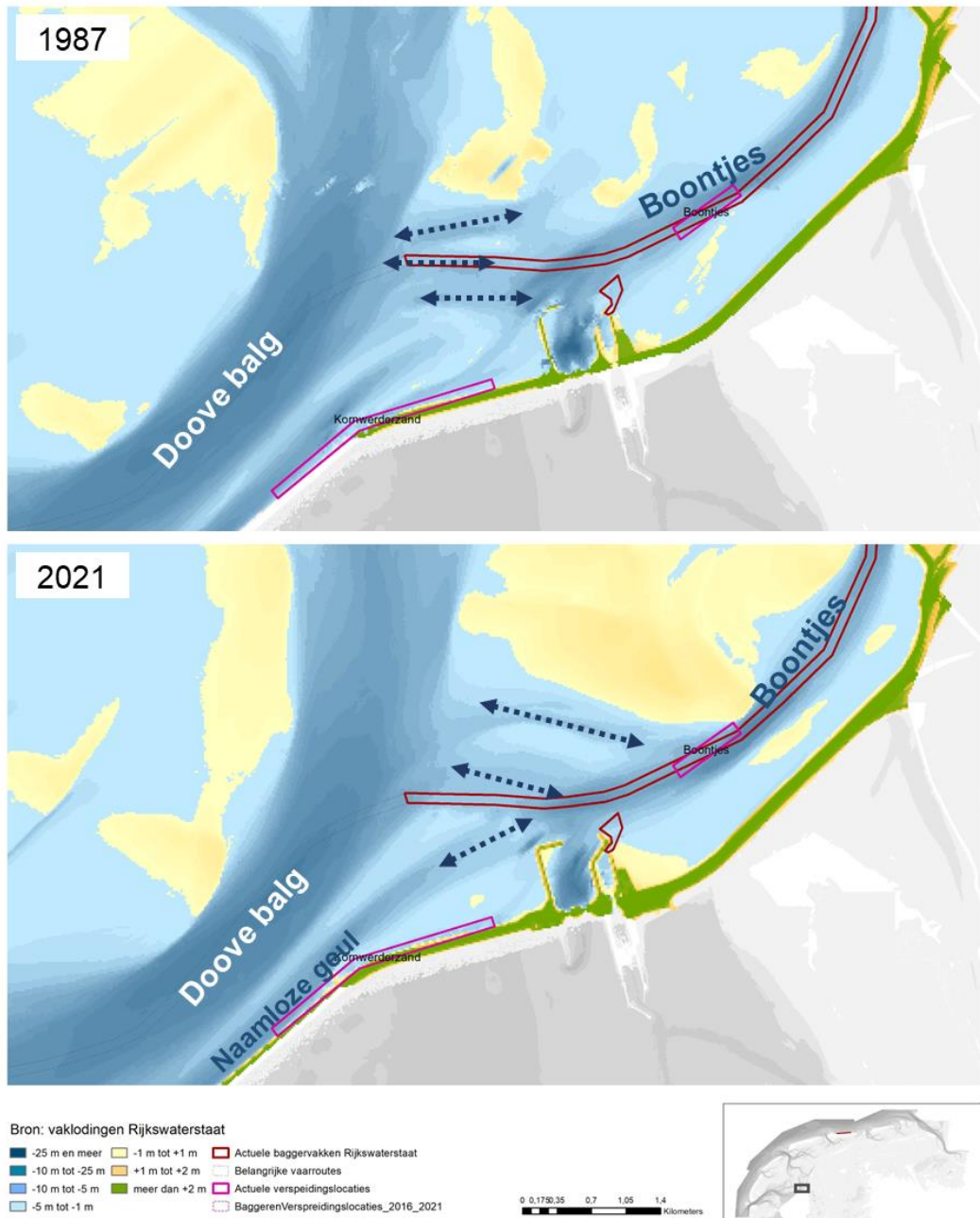
3.2 Potentiële baggerlocaties

Op drie locaties in de vaargeulen zijn drempelgebieden gevonden waar de morfologische ontwikkelingen in de toekomst mogelijk zullen leiden tot een onderschrijding van de minimale diepte die voor de betreffende geul wordt aangehouden. Dit zijn de volgende drie drempelgebieden:

- Kornwerderzand
- Grote Siege
- Drempelgebied Vaarweg Ameland VA18-VA12

Drempelgebied Kornwerderzand

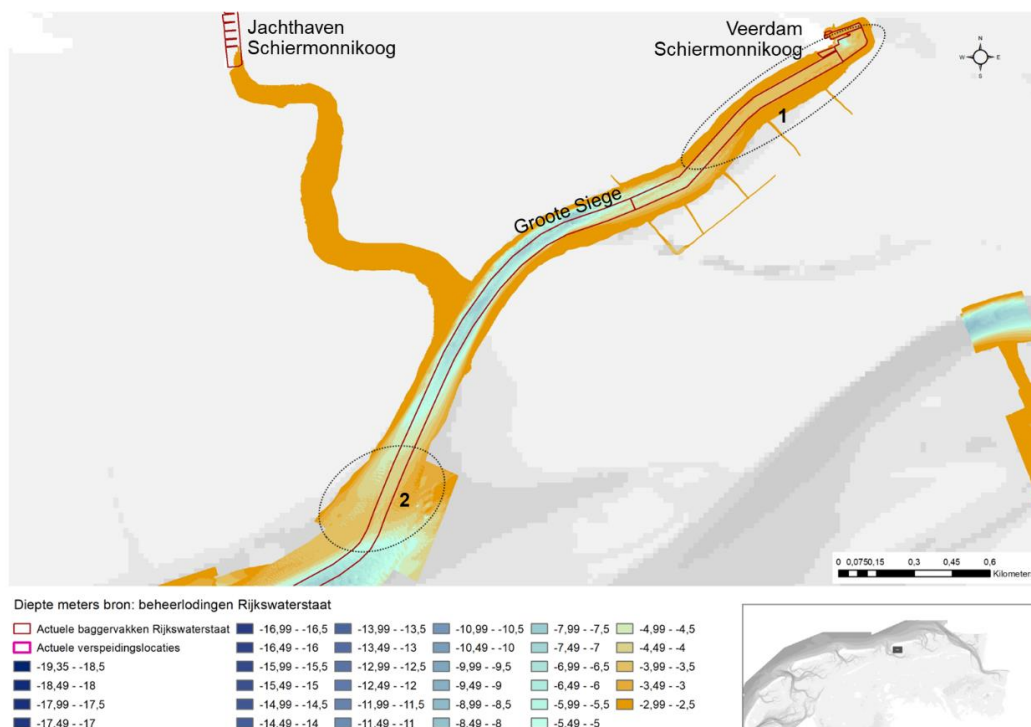
Ten noorden van het sluisencomplex Kornwerderzand in de Afsluitdijk ligt het drempelgebied dat de overgang vormt tussen de Doove balg en de Boontjes (Figuur 3-2). In het gebied ligt ook een naamloze de geul die parallel aan de Afsluitdijk ligt, met een vloedschild dat tegenwoordig tegen de westelijke dam van de spuisluis aanligt. Daarmee is het een behoorlijk complex en dynamisch drempelgebied. Het is niet gezegd dat de ondieptes zich zo ontwikkelen dat deze beperkingen gaan opleveren voor de scheepvaart, maar het is ook zeker niet uitgesloten. Daarom is dit een gebied om goed in de gaten te houden.



Figuur 3-2 Kaart van de bodemligging in de Waddenzee nabij Kornwerderzand in 1987 (boven) en 2021 (onder).

Drempel Groote Siege

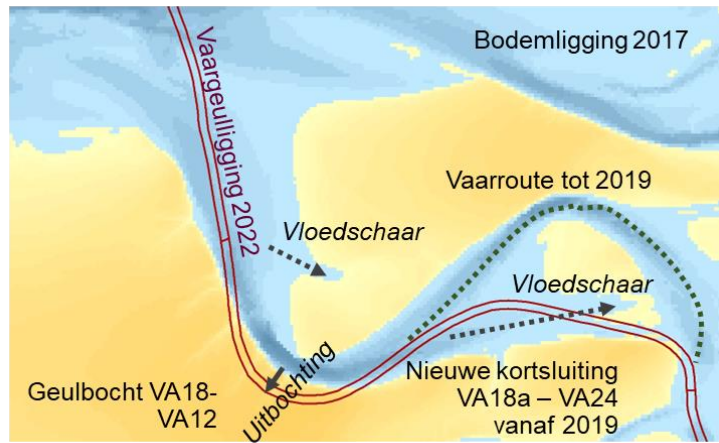
De geul Groot Siege ligt ten zuiden van Schiermonnikoog en vormt de vaarverbinding vanaf de veerdam in de richting van Lauwersoog (Figuur 3-3). In deze geul wordt gebaggerd nabij de veerdam (1 in Figuur 3-3), dat deel van de geul kan worden gekarakteriseerd als een geulstaart. Ten zuidwesten hiervan is de geul van nature dieper en hoeft deze niet te worden gebaggerd. Verderop in het zuidwesten, ter hoogte van een eb- en vloedchaarsysteem, is de geul ondieper (2 in Figuur 3-3). Van deze drempel is niet uit te sluiten dat deze dermate ondiep wordt (minder dan NAP -3,5 m), dat dit beperkingen voor de veerverbinding op gaat leveren.



Figuur 3-3 Grootte Siege ten zuiden van Schiermonnikoog, met het ondiepe deel van de geul nabij de veerdam (1) en het drempelgebied (2) (kaart op basis van gecombineerde beheerlodingen Noord Nederland - NN_waddenzee_NAP.tif, via kaartviewer Bathymetrie Nederland d.d 19 september 2022).

Drempelgebied Vaarweg Ameland VA18-VA12

In de vaarweg Ameland liggen verschillende bochten. Van deze bochten is er één afgesneden door het aanleggen (baggeren) van een kortsluiting in de bestaande vloodschaar, zoals zichtbaar is in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Ten westen van deze kortsluiting ligt nog een geulbocht die de afgelopen jaren steeds verder is uitgebocht. Deze bocht is ondertussen verder uitgebocht dan geulbochten die niet als vaargeul in gebruik zijn (Van Til, 2018). En ook deze geulbocht heeft een rudimentaire vloodschaar, waarvan het niet waarschijnlijk is dat deze autonoom doorontwikkeld tot een diepere geul, die de rol van de geulbocht overneemt. Het valt te overwegen ook hier deze kortsluitverbinding aan te leggen, door de vloodschaar uit te baggeren. De motivatie daarvoor is niet het baggerbezwaar, maar de lengte van de vaarweg. Daarmee is de geulbocht in Vaarweg Ameland VA18-VA12 een locatie met potentieel aanlegbaggerwerk en geen onderhoudsbaggerwerk.



Figuur 3-4 Locatie van de geulbochten in de vaarweg Ameland.

4 Ondersteuning van gebiedsspecifieke besluitvorming

4.1 Inleiding

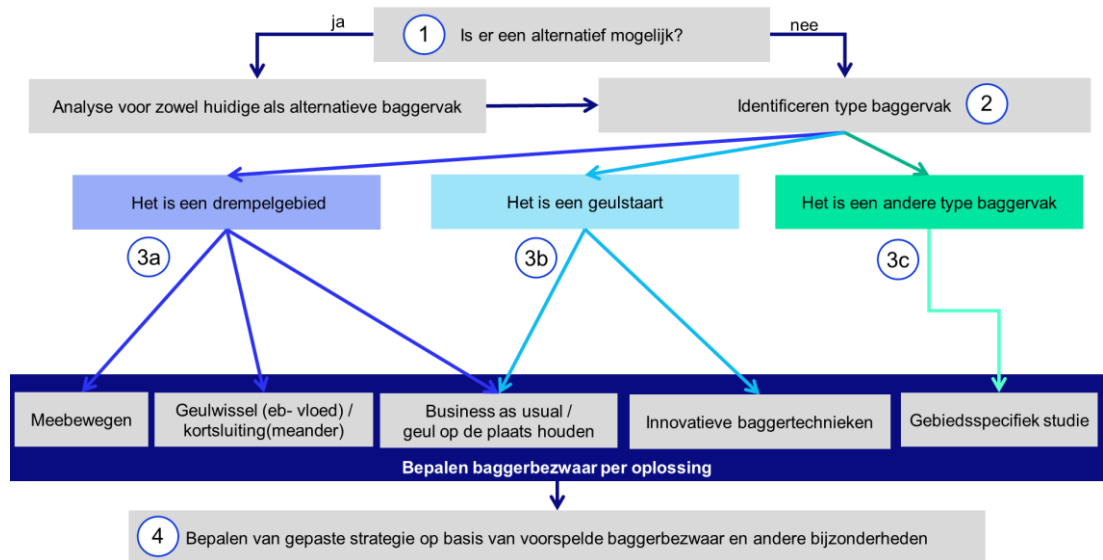
Om bij de besluitvorming over het baggeren van vaargeulen te kunnen anticiperen op het geulgedrag en de autonome geulontwikkeling kan een stappenplan of afwegingskader bruikbaar zijn. Een dergelijk stappenplan of afwegingskader wordt bij voorkeur onderdeel van de PDCA-cyclus (Plan, Do, Check, Act) die wordt doorlopen bij het baggerbeheer.

Het stappenplan zal niet voor iedere locatie waar wordt gebaggerd elk jaar hoeven te worden doorlopen. Aanleidingen voor het doorlopen van het stappenplan zijn (grote/onverwachte) veranderingen in de baggervolumes en (grote/onverwachte) veranderingen in de morfologie van de betreffende locatie en de omgeving. Het is niet mogelijk om hier een algemene formule te geven in de vorm van als het baggerbezwaar in X jaar tijd met een hoeveelheid Y of een percentage Z per jaar is toegenomen, kijk dan naar alternatieven. Wanneer bijvoorbeeld een locatie met één keer baggeren per jaar op diepte kan worden gehouden, dan is het voor de uitvoering lastig wanneer de sedimentatie net zo veel toeneemt dat die ene keer per jaar niet meer volstaat. In zo'n geval kan de kleine toename van het volume aanleiding zijn voor een analyse, omdat met een absoluut en relatief kleine toename dan net een kantelpunt wordt bereikt. Wanneer veel wordt gebaggerd dan kan het verstandig zijn om de eventuele trends in de baggervolumes per maand of per kwartaal te beschouwen. Met kennis van de morfologie en verstand van de uitvoeringswerkzaamheden kijken naar de ontwikkelingen is daarom aanbevolen.

Omdat de doelstelling is gericht op het reduceren van het baggeren in de Waddenzee komen gebieden waar structureel grote volumes worden gebaggerd eerder in aanmerking voor het doorlopen van het stappenplan dan gebieden waar incidenteel kleinere volumes worden gebaggerd.

De afweging of bepaalde functies van de betreffende vaarweg ook in de toekomst op dezelfde wijze ingevuld moeten worden, is geen onderdeel van de beheercyclus. Het baggerbezwaar van een vaargeul kan namelijk ook worden gereduceerd door de streefdiepte te verkleinen. Maar dan kunnen de boten die nu van de vaargeul gebruik maken dat niet meer altijd doen, zodat met minder diep stekende vaartuigen moet worden gevaren, of een dienstregeling moet worden afgestemd op het getij. Dit zijn afwegingen in het *beleid* rond het gebruik van vaarwegen en havens. Het is zeker zinvol om ook bij *beleidskeuzes* de morfologische trends en veranderingen te beschouwen, maar dat is geen onderdeel van de besluitvorming rond *beheerkeuzes* in het voorliggende rapport.

In de volgende paragrafen wordt het stappenplan doorlopen dat hieronder is weergegeven in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Stappenplan voor besluitvorming rond baggervakken.

4.2 Is er een alternatief mogelijk?

De eerste stap (1 in Figuur 4-1) is om in alle gevallen te beschouwen of andere vaarroutes mogelijk zijn, waarbij sprake is van geen of minder baggerbezwaar.

Voorbeeld van vaarwegen waarbij gekeken wordt naar alternatieve verbindingen zijn Slenk en Boontjes (Figuur 3-1). Slenk is in gebruik genomen als alternatief voor het Schuitengat, nadat in het Schuitengat de baggervolumes extreem waren toegenomen. Door morfologische veranderingen is het Schuitengat dermate verdiept dat het weer in beeld is als verbinding (Van Til en Cleveringa, 2018). Bij de Boontjes is gekeken of in het gebied ten noordwesten ervan, langs het Molenrak, een alternatieve verbinding mogelijk zou zijn. Van dit alternatief is echter geconstateerd dat het waarschijnlijk tenminste een vergelijkbare baggerinspanning vraagt (Colina et al., 2021).

Het is ook zinvol om na te denken over andere baggerstrategieën. Dat kan bijvoorbeeld door het benutten van een grotere overdiepte, andere verspreidingslocaties of door het inzetten andere baggertechnieken.

4.2.1 Vergelijken alternatief met bestaande verbinding

Voor zowel de bestaande verbinding als voor een eventueel alternatief zijn o.a. prognoses nodig van het baggerbezwaar. Voor de nieuwe verbinding moet ook het aanlegbaggerwerk worden beschouwd. Op basis van een vergelijking van het cumulatieve baggerwerk over een langere periode (minimaal 5 jaar) kan dan een keuze worden gemaakt om wel of niet naar de alternatieve route over te stappen. Naast het baggeren dienen ook de andere aspecten van het alternatief worden beschouwd, zoals de nautische aspecten, de lengte van de vaarweg en de invloed daarvan op de duur van overtochten, verstoring en andere invloeden op de ecologische waarden. Waarschijnlijk moeten voor het uitvoeren van het alternatief vergunningen, ontheffingen en/of toestemmingen worden verkregen.

4.3 Identificeren type baggervak

De volgende stap die wordt doorlopen (2 in Figuur 4-1), gaat over de mogelijkheden om in te grijpen. Die mogelijkheden verschillen per type baggervak. Op basis van actuele informatie van de vaarweg moet worden vastgesteld of sprake is van een drempel, een staartgeul, of een ander type baggervak. De analyse in het voorliggende rapport geeft een eerste indicatie hiervoor, maar het is belangrijk om de actuele gegevens te beschouwen.

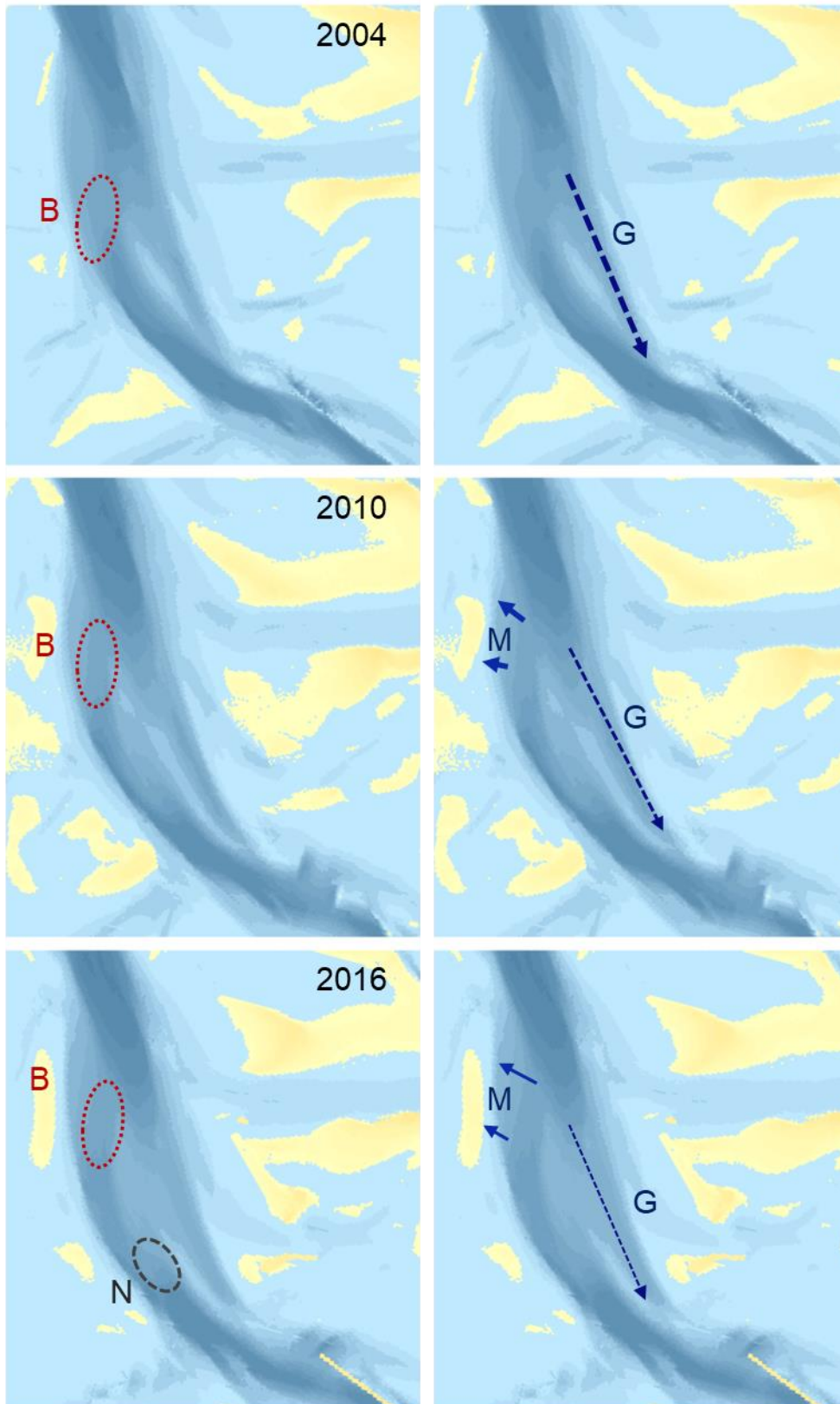
In alle gevallen is het belangrijk om voor het baggervak een goede en actuele beschouwing te hebben van de morfologische veranderingen die hebben plaatsgevonden en die nog verwacht worden. Een dergelijke beschouwing wordt opgebouwd volgens de schaalcascade, zodat inzicht ontstaat in de ontwikkelingen op de lange tijdschaal, samenhangend met ontwikkelingen op de schaal van het bekken, tot en met ontwikkelingen op de korte tijdschaal van getijden tot maanden waarop de sedimentatie plaatsvindt die leidt tot baggeringrepen.

4.3.1 Drempels

Drempels zijn relatief dynamische gebieden doordat scharen en hun drempels verplaatsen, ontstaan en weer verdwijnen. Toegespitst op deze dynamiek zijn de drie mogelijke keuzes voor deze gebieden (3a in Figuur 4-1):

- Meebewegen betekent dat de locatie van het baggervak wordt aangepast aan de verplaatsende schaar.
- Geulwissel betekent dat in plaats van de schaar die tot nu wordt gevolgd, een andere schaar wordt gebruikt als vaarweg. Het betekent veelal dat daarvoor aanlegbaggerwerk nodig is, om de ondiepte(s) bij de andere schaar te verdiepen.
- Business as usual betekent dat het bestaande onderhoud wordt voortgezet.

In Figuur 4-2 is toegelicht aan de hand van drie kaarten op basis van de vaklodingen hoe deze keuzes er uit kunnen zien. De drempel in de Blauwe Slenk waar wordt gebaggerd (B) is het ebschild van een ebschaar. Voor een geulwissel (G) is de vloedschaar beschikbaar. Deze verbinding was in 2004 dieper dan in de opnames van 2010 en 2016 en daarom is de optie geulwissel daar minder prominent in beeld gebracht in de kaart van 2004. Meebewegen met de veranderingen is hier aangegeven met een M. De keuze voor één van deze mogelijkheden moet worden gebaseerd op een afweging van de gevolgen voor het baggeren en voor andere aspecten, zoals verderop wordt toegelicht in paragraaf 4.4.



Figuur 4-2 Baggergebied (B) in de Blauwe Slenk, in de dieptekaarten op basis van de vaklodingen in 2004, 2010 en 2016. Met N is het nieuwe drempelgebied gemarkeerd, dat zichtbaar is in de kaart van 2016. Aan de linkerzijde het BAU-scenario. In de kaarten aan de rechterzijde zijn de alternatieven opgenomen, waarbij de optie meebewegen is aangegeven met een M en de optie geulwissel met een G.

4.3.2 Geulstaarten

De morfologische veranderingen, die bij geulstaarten leiden tot toenemende baggervolumes, zijn over het algemeen trendmatige langjarige veranderingen. De mogelijkheden om de baggerinspanningen te beperken zijn onder deze omstandigheden beperkt. Alleen het inzetten van andere (innovatieve) baggertechnieken is een alternatief voor 'business as usual' (3b in Figuur 4-1). Andere routes die gebruik maken van een ander deel van de bestaande geul, zoals dat bij drempels wordt beschouwd, zijn bij geulstaarten over het algemeen niet mogelijk. Het baggeren van een geheel nieuwe vaargeul is in deze stap niet beschouwd, omdat dit bij stap 1 (Figuur 4-1) al wordt beschouwd.

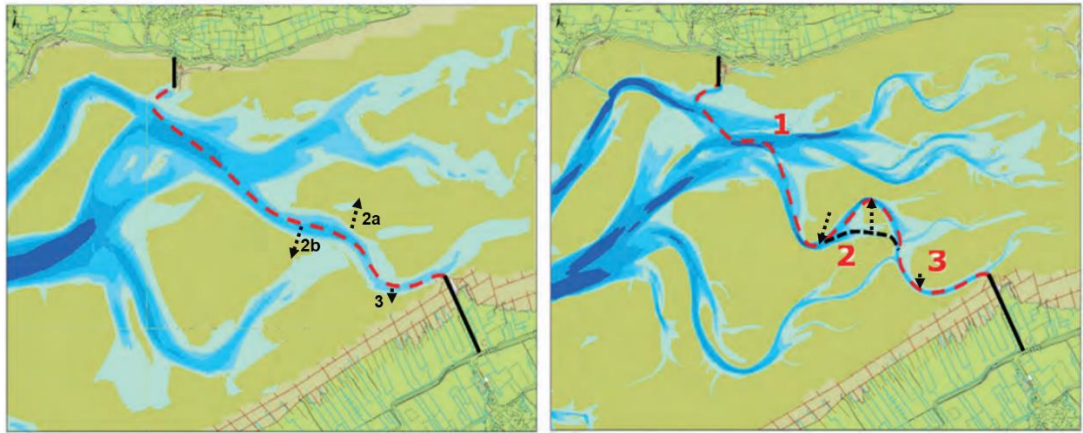
Een geulstaart kan de vorm hebben van een meander of geulbocht, zoals dat het geval is bij de vaarweg Ameland. Gebied 3 in Figuur 4-1 is de geulstaart, waar een kleine uitbocht van de geul heeft plaatsgevonden. Het verder uitbochten van vaarwegen heeft hier geleid tot een toename van de lengte van de vaargeul (Rijkswaterstaat, 2019). Met het langer worden van de vaarweg is de omvang van het te baggeren gebied toegenomen en daarmee het baggerbezwaar. De alternatieve baggeraanpak van dit type geulbocht is gekoppeld aan de situatie bij de geulstaart. In het geval van de vaarweg Ameland is bij locatie 3 gekeken naar andere manieren van baggeren en verspreiden.

4.3.3 Anders

Bij een ander type baggervak is sprake van een andere morfologische situatie en ontwikkeling dan bij drempelgebieden en geulstaarten. Afhankelijk van de specifieke lokale situatie moet worden bekeken of er alternatieven mogelijk zijn, bijvoorbeeld in de vorm van het verplaatsen (geulwissel), meebewegen of de inzet van andere technieken (3c in Figuur 4-1). Indien een alternatief voorhanden is dan moet een afweging worden gemaakt op een vergelijkbare wijze als bij de andere baggervakken, op basis van prognoses van het baggerbezwaar en ander relevante factoren.

4.3.4 Geulbochten

Meanders of geulbochten zijn niet beschreven als een eigenstandige categorie, omdat de alternatieve baggeraanpak van een geulbocht gekoppeld is aan de situatie bij een drempel of een geulstaart. Dit is uit te leggen aan de hand van de vaarweg Ameland, waarvan de ontwikkeling van de vaarweg is weergegeven in Figuur 4-3. Gebied 2 is het gebied waar twee grote meanderbochten zijn ontstaan, bij 2a en 2b. Beide bochten hebben ook een drempel en een vloedschaar. De omvang van de geulbochten is door het baggeren veel groter geworden dan in een natuurlijke situatie het geval zou zijn (Van Til, 2018). In 2019 is de vloedschaar van de oostelijke drempel (2a in Figuur 4-3) "kortgesloten", dat wil zeggen dat een geulwissel heeft plaatsgevonden waarbij de vloedschaar door baggeren op bevaarbare diepte is gebracht. Deze kortsluitgeul is daarna in gebruik genomen als de vaarweg. Deze meander viel daarmee onder de categorie 'drempel'. De geulbocht bij 3 is onderdeel van de geulstaart.



Figuur 4-3 Kaarten van de vaarweg Ameland in 1981 (links) en 2017 (rechts), waarbij de rode gestreepte lijn de vaarweg weergeeft en de pijlen de meanders. De zwarte gestreepte lijn bij 2 is de in 2019 gebaggerde kortsluiting. De nummers in rood geven de gebieden weer waar de belangrijkste ontwikkelingen voor het baggeren hebben plaatsgevonden. Aangepast op basis van Rijkswaterstaat (2019).

Bij het baggeren van geulbochten kan worden meebewogen met de ontwikkeling, door meer aan de zijde van de buitenbocht te baggeren, of kan de verandering worden tegengewerkt door vooral aan de zijde van de binnenbocht te baggeren, of kan worden geprobeerd de geul op zijn plek te houden, door niet met een voorkeurszijde te werken. Het is bijzonder lastig om hiervan de voor- en nadelen in beeld te brengen, ook omdat deze samenhangen met het type geul (staartgeul of drempelgeul). Door het zwaartepunt van het baggeren aan de binnenbocht te leggen, wordt het uitbochten subtiel tegengewerkt, zodat de geullengte minder toeneemt. Bij een staartgeul (zoals bij 3 in Figuur 4-3) betekent dat op termijn de lengte waarover moet worden gebaggerd wordt beperkt. Daar staat tegenover dat op korte termijn het baggerbezwaar juist groter kan worden, omdat veel sediment wordt aangevoerd vanaf de migrerende wadplaat. Bij een drempelgeul (zoals bij 2 in Figuur 4-3) kan de overweging zijn om mee te bewegen, om later 'over te stappen' naar de aanwezig kortsluitgeul. Bij de overwegingen spelen ook andere aspecten dan de morfologie en het baggerbezwaar. Bij het besluit over de kortsluitverbinding bij de vaarweg Ameland (2 in Figuur 4-3) speelde bijvoorbeeld de verkorting van de lengte van de vaargeul een belangrijke rol.

4.4 Bepalen van gepaste strategie

In alle gevallen zal als laatste stap moeten worden bepaald welke strategie voor de specifieke situatie gepast is. Vanuit de doelstelling om door dynamisch vaargeulbeheer het gebaggerde volume in de Waddenzee te reduceren is het primaire criterium daarbij het toekomstige baggervolume. Voor zowel Business as usual (BAU) scenario als voor de keuze(s) moeten prognoses worden gemaakt van het baggerbezwaar. Een goed inzicht in het toekomstige baggerbezwaar, inclusief de eventuele baggervolumes die zijn gemoeid met de aanleg van een alternatief is essentieel voor het bepalen van de gepaste strategie.

4.4.1 Methoden voor het bepalen van het toekomstige baggerbezwaar

Voor een goede vergelijking van alternatieve aanpakken voor het baggeren is het van wezenlijk belang dat de prognoses voor het baggerbezwaar van voldoende kwaliteit zijn. Het is niet mogelijk om hiervoor een algemeen geldend recept te geven omdat de lokale omstandigheden en het type alternatieven dat wordt beschouwd verschillen. De sleutel voor de keuze van de methode ligt in het conceptuele model van het aandachtsgebied. In het conceptuele model wordt, op basis van de schaalcascade, inzichtelijk gemaakt welke processen op welke tijd- en ruimteschaal van invloed zijn op de sedimentatie en erosie. De eerste stap bij het bepalen van het toekomstige baggerbezwaar is daarom het opstellen van

een conceptueel model, of het updaten van een bestaand conceptueel voor de specifieke situatie. Het conceptuele model is niet statisch: op basis van de uitgevoerde analyses, berekeningen en metingen wordt het model aangepast.

De verschillende methoden voor het maken van analyses en prognoses van het baggerbezwaar omvatten:

1. Trendanalyse en -extrapolatie. Trends of fluctuaties in de baggervolumes en in de morfologische veranderingen kunnen een indicatie geven van de toekomstige baggervolumes. Voor een keuze in de relevante morfologische veranderingen geeft het conceptuele model handvatten, dit kan variëren van verplaatsingssnelheden van dieptecontouren, via groeisnelheden van scharen tot volumeberekeningen van delen van het kombergingsgebied. De beschikbaarheid van meetgegevens, bijvoorbeeld in de vorm van beheerlodingen, kan sturend zijn voor het soort morfologische analyse dat wordt uitgevoerd. Het is in de praktijk lastig gebleken om dergelijke analyses verder te verrijken met omgevingsfactoren, zoals weersomstandigheden (van Kessel, 2018).
2. Numerieke modelsimulaties. Met computermodellen die de waterbeweging, het sedimenttransport en de veranderingen in de bodemhoogte berekenen kunnen waargenomen ontwikkelingen worden gereconstrueerd (hindcast) en toekomstige ontwikkelingen worden voorspeld (forecast). Er zijn veel verschillende modelaanpakken mogelijk, waarbij elke aanpak geschikt is voor specifieke locaties, omstandigheden (zand, slib; wel of geen invloed van zoetwater), tijdsbestekken (dagen, maanden, jaren) en vraagstukken. Of en wanneer de inzet van een numeriek model zinvol is, is afhankelijk van de inhoudelijke vragen die beantwoord moeten worden⁶. Wanneer in combinatie met de conceptuele model de trendanalyse en -extrapolatie voldoende inzichten opleveren, dan is de inzet niet nodig. Een voorbeeld van de parallelle inzet van morfologische analyses en een waterbewegingsmodel voor een drempel in een vaargeul in de Westerschelde is te vinden in Cleveringa et al. (2022), waarbij de combinatie is gebruikt om de verschillende sturende processen in beeld te krijgen.
3. Praktijkproeven en pilots: Om te verifiëren wat de gevolgen zijn van bepaalde baggertechnieken (en verspreidingstechnieken) kunnen goed gemonitorde praktijkproeven veel inzichten opleveren. De zin (dan wel onzin) van een praktijkproef hangt onder andere af van het vertrouwen in de uitgevoerde modelvoorspellingen. Een voorbeeld van een praktijkproef is het baggeren van het Westgat op de buitendelta van de Zoutkamperlaag (Vermaas & Onselen, 2019). Met de uitkomsten ervan kunnen aannames worden getoetst over de toepasbaarheid en efficiency van bepaalde technieken.

Bovenstaande is zeer generiek, omdat het van de locatie en problematiek afhangt welke methoden gebruikt zouden moeten worden. Daarbij komt dat niet voor alle locatie dezelfde gegevens beschikbaar zijn. Het aantal beheerlodingen verschilt bijvoorbeeld per gebied. Het is wel belangrijk om bij het bepalen van het baggerbezwaar bij voorkeur meerdere methoden te gebruiken en eventuele verschillen in uitkomst te beschouwen. Daarmee wordt voorkomen dat te weinig of te veel waarde/zwaarte wordt gegeven aan specifieke processen of omstandigheden.

⁶ Hier betreft het de inzet van een numeriek model voor het begrip van het morfologische systeem en het baggerbezwaar en het voorspellen van het baggerbezwaar. Het kan ook noodzakelijk zijn om een numeriek model te gebruiken om (ecologische) effecten van een ingreep te bepalen, zoals bijvoorbeeld is gedaan bij Afsluitdijk (Arcadis, 2022). In sommige gevallen kan sprake zijn van één numeriek model, voor het vergroten van begrip, voorspellingen en input voor (ecologische) effectbeoordeling. In veel gevallen is dat echter niet mogelijk, bijvoorbeeld omdat het ene aspect een model van waterbeweging zandtransporten en morfologische veranderingen nodig is, terwijl voor het andere een model van de slibverspreiding nodig is.

4.5 Monitoring i.r.t. sleutelparameters voor besluitvorming

Voor een gedegen besluitvorming is het essentieel om het verband tussen de morfologische ontwikkelingen en de geleverde baggerinspanning goed te begrijpen. Dit is verwoord in het conceptuele model, waarin de morfologische veranderingen op verschillende tijd- en ruimteschalen worden beschouwd. Basis hiervoor zijn waarnemingen van de morfologie (de bodemligging) en het baggeren⁷. De relevante monitoring omvat derhalve:

Bodemligging

- Lokale bathymetrie: te baggeren gebied en de omgeving daarvan (met inbegrip van potentiële alternatieve routes). Tenminste één keer per jaar is een opname van de bodemhoogte nodig maar afhankelijk van de frequentie van het baggeren en van de snelheid van de morfologische veranderingen vaker.
- Bathymetrie ruime omgeving: Gebied van aan- en afstroming van de betreffende baggerlocatie voor inzicht in de morfologische ontwikkeling op de grote schaal. Hiervoor vormen de vaklodingen die iedere zes jaar worden uitgevoerd de basisinformatie. Voor gebieden waar veel veranderingen optreden binnen zes jaar zijn tussentijdse metingen nodig. Door dat interval te halveren naar 3 jaar, zou het mogelijk zijn eerder te constateren dat andere geulen belangrijker worden en dat het dus voordelig kan zijn om van geul te wisselen. In aanvulling op bathymetrische metingen kan hiervoor ook gebruik worden gemaakt van satellietbeelden of afgeleiden daarvan, met name om veranderingen in de positie van geulen te volgen.
- Bodemsamenstelling: Gegevens over de slib- en zandpercentages van de bodem van het te baggeren gebied en de omgeving daarvan. Hierbij ook rekening houden met evt. aanwezigheid “fluid mud” laag bij de bodem, die lokale bathymetrie metingen kunnen beïnvloeden.

Baggeren

- Omvang baggerwerkzaamheden: volume en TDS (tonnen droge stof) of dichtheid (met gegevens over de wijze van bepaling) en samenstelling (slib- en zandgehalten, korrelgrootteverdeling).
- Type baggerwerk: Inzet sleepopperzuiger (inclusief informatie over wijze van verspreiden: naar verspreidingslocatie, op stroom zetten), kraanschip, WID-en, ploegen, etc.

Deze gegevens zijn bij voorkeur niet alleen beschikbaar over perioden van een jaar, maar ook over kortere tijdsbestekken (maanden).

Aanvullende gegevens

Afhankelijk van de veronderstelde lokale processen en geconstateerde kennisleemtes kan het noodzakelijk zijn om aanvullende gegevens te verzamelen. Dat kan verschillende soorten metingen omvatten, zoals stroomsnelheden, concentraties van zand en slib in de waterkolom, de aanwezigheid en dikte van fluid mud, etc..

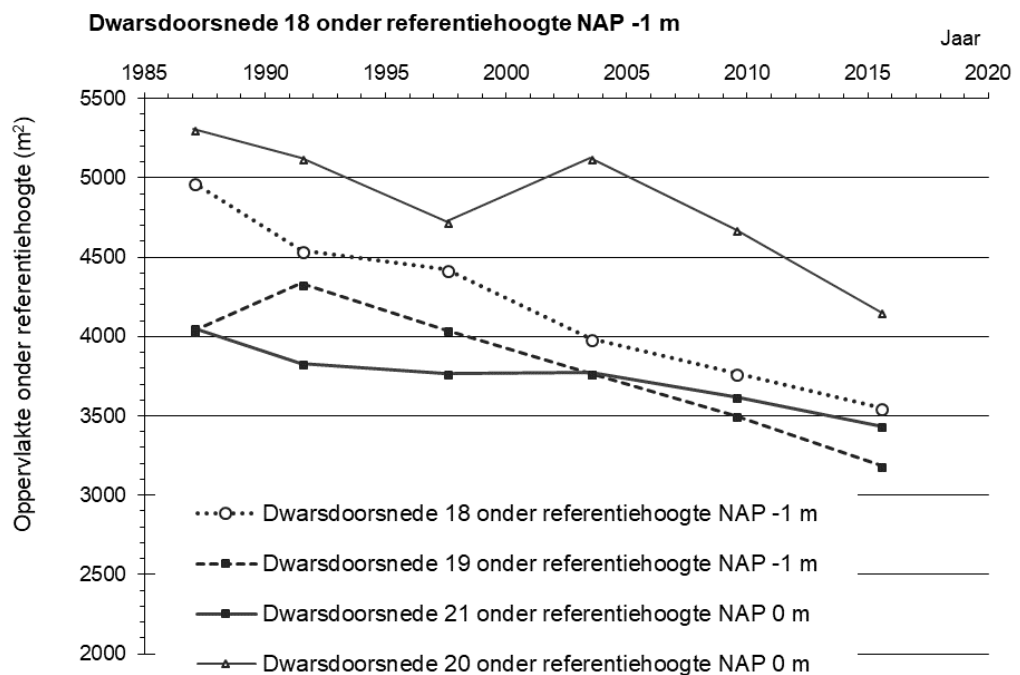
Van monitoringsgegevens tot sleutelparameters

Idealiter worden de gegevens van de bathymetrie automatisch verwerkt tot indicatoren of parameters die direct bruikbaar zijn voor de besluitvorming. Het is in veel situaties bijvoorbeeld handig om op basis van de bathymetrie de doorstroomoppervlaktes van geulen te bepalen. De veranderingen van het doorstroomoppervlakte van de niet-gebaggerde delen van de geul geven inzicht in trendmatige ontwikkelingen ervan. In de praktijk moet dit steeds met kennis van de lokale situatie gebeuren, onder andere door rekening te houden met de

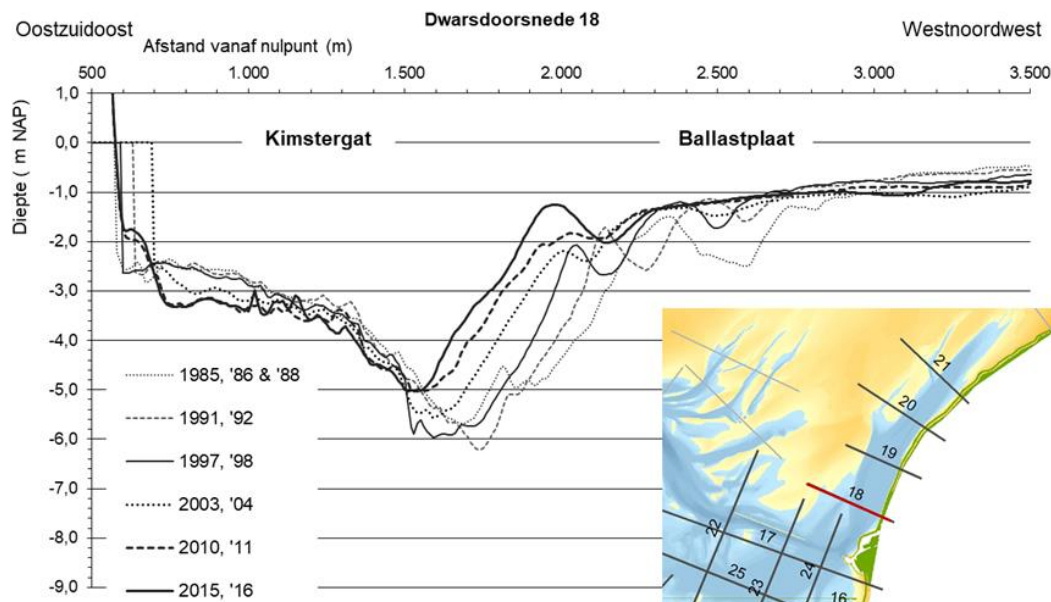
⁷ Voor meer informatie, verwijzen we de lezer hier ook naar een deelproject waar momenteel aan gewerkt wordt binnen HV09 2022 Beheer en Onderhoud Waddenzee: Kennisontwikkeling morfologie en baggerhoeveelheden (deelproject 9, registratie baggerwerkzaamheden)

lokale waterdieptes en veranderingen in de oriëntatie van de geul ten opzichte van de profiellijnen.

Figuur 4-4 laat een voorbeeld zien van de doorstroomoppervlaktes van vier dwarsdoorsnedes in het Kimstergat, waarbij de referentiediepte voor dwarsdoorsnedes 18 en 19 op NAP -1 m ligt en bij dwarsdoorsnedes 20 en 21 op NAP -0 m. Deze keuze voor de verschillende referentiedieptes heeft te maken met de aanwezigheid van ondiep sublitoraal areaal naast de geul bij dwarsdoorsnedes 18 en 19. Voor dwarsdoorsnede 18 is dat zichtbaar in Figuur 4-5. Meenemen van het ondiepe sublitoraal in het doorstroomoppervlakte zou hier de ontwikkeling van de eigenlijke geul maskeren. Dit illustreert de noodzaak om de analyses specifiek toe te snijden op de lokale situatie. Het is wel mogelijk om generieke sleutelparameters te definiëren, om de morfologische ontwikkelingen en trends vast te stellen. Zulke sleutelparameters kunnen bijvoorbeeld bestaan uit de doorstroomoppervlaktes van vaste dwarsdoorsnedes met bijbehorende referentiediepte. Bij het beschikbaar komen van nieuwe lodingen kan dan (automatisch) een nieuw datapunt worden toegevoegd.



Figuur 4-4 De doorstroomoppervlaktes van het Kimstergat ten noordoosten van Harlingen in dwarsdoorsnedes 18-21. De locaties van de dwarsdoorsnedes staan in het kleine kaartje in Figuur 4-5.



Figuur 4-5 Dwarsdoorsnede 18 door het Kimstergat en de aangrenzende Ballastplaat van de opneenvolgende vaklodingen uit de periode 1985-2016, met de locatie in het kleine kaartje (uit Oost et al, 2019).

4.6 De toegevoegde waarde van het stappenplan

Het stappenplan (Figuur 4-1) en de toelichting daarvan in de voorgaande paragrafen kan 'vaag' overkomen. Enerzijds omdat geen generieke handvatten kunnen worden gegeven bij het maken van de keuzes, want wat op ene plek een grote toename van het baggervolume is, waarvoor alternatieven wenselijk zijn, is op de andere plek geen issue. Anderzijds omdat ook de analyse gebiedsspecifiek dient te zijn, zodat geen algemene aanwijzingen kunnen worden gegeven over te gebruiken parameters en analysemiddelen. En ondertussen worden toch al allerlei analyses uitgevoerd en adviezen gegeven, die in dit rapport als voorbeeld worden gebruikt. Daarom wordt hier een toelichting gegeven over de toegevoegde waarde van het stappenplan.

Inderdaad worden frequent onderzoeken uitgevoerd naar verschillende vaargeulen. De 'maar' daarbij is dat deze onderzoeken worden ingestoken vanuit het gebruik van de vaargeul met kansen (Schuitengat i.p.v. Slenk; Van Til en Cleveringa, 2018) en knelpunten (Vaarweg Ameland; zie de verwijzingen in Grasmeyer & van Weerdenburg, 2020) voor de scheepvaart, dan wel vanwege andere projecten die om een analyse van de effecten vragen (Visjagersgaatje in Arcadis, 2022) en evaluaties (Boontjes; Colina Alonso, 2021). Onderzoeken die enkel en alleen vanwege het baggerbezwaar kijken naar alternatieven of andere keuzes zijn ons niet bekend. Vanwege de verschillende doelstellingen van deze onderzoeken, zijn verschillende aanpakken gehanteerd bij de analyses. Het stappenplan biedt een structuur om dit soort onderzoeken meer uniform aan te pakken.

Het afgeven van algemeen geldende grensgetallen voor het baggerbezwaar, of een morfologische verandering, waarbij het zinvol is om te kijken naar alternatieven en opties, is met de huidige kennis niet mogelijk. Het gezonde verstand en inzicht van de betrokken beheerders en morfologen is voldoende groot om deze afweging te maken⁸.

⁸ Ter ondersteuning van het proces zou een checklist kunnen worden opgesteld waarbij gestructureerd wordt gekeken of en hoe de baggervolumes veranderen en welke morfologische ontwikkelingen zich voordoen.

De gehanteerde typen van baggervakken in drempels, staartgeulen en de restcategorie geeft richting bij het doorlopen van het stappenplan. Zo kan doelgerichter worden toegewerkt naar strategieën die passen bij de lokale situatie.

5 Advies

Het advies is opgebouwd aan de hand van de volgende drie doelstellingen van deze rapportage:

1. Informatie verzamelen over het gedrag van vaargeulen waar gebaggerd wordt.
2. Identificeren van verschillende soorten dynamiek van de gebaggerde geulen in de Waddenzee.
3. Het opstellen van een kader ter ondersteuning van gebied-specifieke besluitvorming inzake dynamisch vaargeulbeheer.
4. Advies over baggerlocaties in de Waddenzee waar de meest kansrijke mogelijkheden zijn voor dynamisch vaargeulbeheer.

Het uitgangspunt voor het advies is behoud van de bestaande nautische functies van de betreffende vaargeul. Aanpassingen in beleid aangaande het gebruik van de vaargeulen kunnen ook leiden tot een afname van het baggerbezwaar, bijvoorbeeld door de minimale diepte van een vaarweg te verkleinen. Dergelijke aanpassingen zijn geen onderdeel van het beheer van vaargeulen en derhalve geen onderdeel van het voorliggende advies.

5.1 Overzicht van de dynamiek van geulen/baggervakken

De gebaggerde delen van de vaargeulen in het waddengebied zijn geclassificeerd in:

1. Drempelgebieden zijn locaties waar eb- en vloedscharen met hun ondieptes leiden tot verondiepingen. Drempelgebieden zijn sterk dynamisch en daarmee zeer variabel waarbij de minimale diepte varieert, evenals de locatie met de grootste diepte. De dynamiek betekent dat de baggerinspanning voor het behalen van de vereiste plotseling en sterk kan toenemen, maar ook weer kan afnemen.
2. Geulstaarten betreffen de ondiepe landwaartse uiteinden van geulen. De ondiepte treedt op vanaf de landwaartse zijde van de geul en is het gevolg van de geleidelijke afname van omvang van de geul. Naarmate de afname van de omvang verder gaat, breidt het gebied waar gebaggerd moet worden in zeewaartse richting uit en neemt het baggervolume toe.
3. Anders betreft de restcategorie van baggervakken in vaargeul die niet (geheel) overeenkomen met een van de vorige twee categorieën.

In de onderstaande Tabel 5-1 is het overzicht opgenomen.

Tabel 5-1 Overzicht van de gebaggerde gebieden in de vaargeulen in de Waddenzee.

Baggervak	Type	Baggerhoeveelheid (m ³)	Opmerkingen lokale factoren
Visjagers gaatje	Drempelgebied	Gem. 31.804 Min. 19.007 Max. 43.279	Ook nog steeds grootschalige morfologische aanpassingen na Afsluitdijk, waardoor afname van de omvang van de geulen.
Boontjes	Anders: dubbele staart	Gem. 217.228 Min. 93.989 Max. 363.992	Aanpassing morfologie na aanleg Afsluitdijk: gestage afname kombergingsvolume noordelijke staart; toename omvang zuidelijke staart
Pollendam	Geulstaart	Gem. 75.377 Min. 15.807 Max. 123.995	Geul langs dam; Invloed aanpassing morfologie na aanleg Afsluitdijk

Baggervak	Type	Baggerhoeveelheid en (m ³)	Opmerkingen lokale factoren
Blauwe Slenk	Drempelgebied	Gem. 382.763 Min. 243.069 Max. 525.117	Vloedschaar biedt mogelijk alternatieve route
Pannengat	Drempelgebied	0	Kans dat verondieping op drempel tussen Pannengat en Blauwe Slenk (naast verspreidingslocatie Blauwe Slenk) op termijn nieuwe baggervak vormt.
Slenk	Drempelgebied	Gem. 219.313 Min. 115.947 Max. 347.982	Slenk is vervanging Schuitengatverbinding.
Veerboot route naar Ameland			
Holwerd Veerdam V26-V42	Geulstaart	Gem. 1.043.602 Min. 947.984 Max. 1.133.670	Het "schoolvoorbeeld" van een geulstaart, waar de autonome afname van de geul heeft geleid tot grote lengte waarover gebaggerd moet worden en gestage toename baggerbezwaar.
Nieuwe kortsluiting VA18a – VA24	Drempelgebied	Niet apart gerapporteerd, bij voorgaande	Voordelen minder baggeren
Ameland vaargeul VA10 tot VA3	Drempelgebied	Gem. 317.891 Min. 181.047 Max. 491.818	2 drempellocaties: VA9/10 en VA6/3 Complexe samengestelde kruising met 5 geulen
Reegeul	Geulstaart	Gem. 19.051 Min. 11.400 Max. 27.200	Relatief weinig baggerwerk
Ballumer bocht	Geulstaart	Gem. 24.073 Min. 20.410 Max. 27.210	Geul achter dam, met relatief weinig baggerwerk, ondanks kleine komberging
Glinder	Anders: Geulkortsluiting	Gem. 104.949 Min. 66.900 Max. 155.975	Verbindt 2 grote geulsystemen met elkaar
Groote Siege	Geulstaart. Vroeger-vloed-schaar	Gem. 45.369 Min. 19.847 Max. 71.181	Autonome verandering afname geuldoorsneden ten oosten van veerhaven Schiermonnikoog, maar nog geen impact op baggerbezwaar

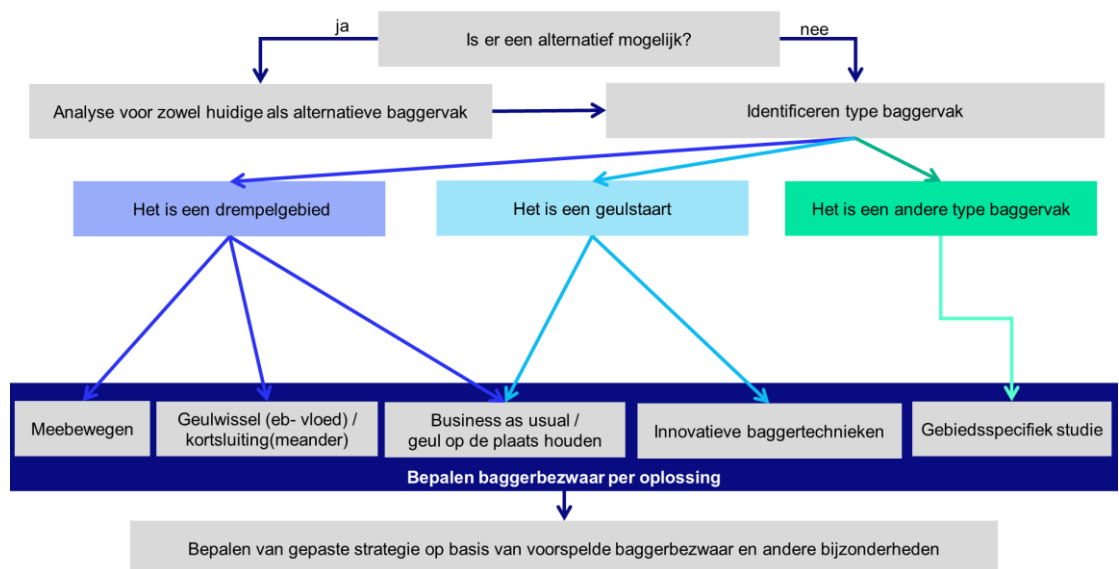
In aanvulling op deze gebieden waar al wordt gebaggerd, zijn drie gebieden geïdentificeerd waar in de toekomst baggeren mogelijk noodzakelijk gaat worden vanwege morfologische veranderingen. Dit zijn

- Kornwerderzand
- Groote Siege
- Drempelgebied Vaarweg Ameland VA18-VA12

5.2 Gebruik het kader voor gebiedsspecifieke besluitvorming

Voor het maken van keuzes over de mogelijke strategieën voor de delen van de vaargeulen waar wordt gebaggerd is een stappenplan opgebouwd, dat is weergegeven in Figuur 5-1. Dit stappenplan kan in principe voor elke vaargeul worden doorlopen waar wordt gebaggerd of mogelijk moet worden gebaggerd, maar er kan ook eerst een keuze worden gemaakt aan de hand van bijvoorbeeld de absolute baggervolumes of toenames daarvan. De eerste stap is het beschouwen van een alternatief. Indien andere vaarroutes mogelijk zijn, waarbij sprake is van geen of minder baggerbezwaar, dan kan worden overwogen om deze in gebruik te nemen. Indien de eerste stap geen haalbaar alternatief biedt, wordt de volgende stap doorlopen. Op basis van actuele informatie van de vaarweg wordt vastgesteld of sprake is van een drempel, een staartgeul, of een ander type baggervak.

De vervolgstappen verschillen voor de drie typen baggervakken. De drie mogelijke benaderingen voor de drempels zijn gekoppeld aan de dynamiek van deze gebieden en zijn meebewegen, geulwissel of business as usual/op de plaats houden. Bij meebewegen wordt de locatie van het baggervak aangepast aan de verplaatsende schaar. Bij een geulwissel wordt een andere schaar gebruikt als vaarweg. Business as usual betekent dat het bestaande onderhoud wordt voortgezet. Bij geulstaarten zijn relatief weinig mogelijkheden om de baggerinspanningen te beperken, alleen het inzetten van andere (innovatieve) baggertechnieken is een alternatief voor business as usual.



Figuur 5-1 Stappenplan voor besluitvorming rond baggervakken.

De laatste stap in het kader is het bepalen van de gepaste strategie voor de specifieke situatie. Het primaire criterium daarbij is de afname van het toekomstige baggervolume, vanwege de doelstelling om het gebaggerde volume in de Waddenzee te reduceren. Ook nautische aspecten, de lengte van de vaarweg en duur van de overtocht, en invloeden op de ecologische waarden moeten worden meegewogen bij het bepalen van de gepaste strategie.

Het advies is het kader toe te passen bij het beschouwen van een of meerdere vaargeulen waar wordt gebaggerd. Dat geeft inzicht in de praktische bruikbaarheid van het kader, maar ook van de beschikbare gegevens. Ook maakt het duidelijk in hoeverre het in de praktijk mogelijk is om onderscheidende voorspellingen te doen van het baggerbezwaar bij verschillende opties.

5.3 Kansrijke mogelijkheden voor dynamisch vaargeulbeheer

Het is niet mogelijk een objectief en generiek toepasbaar afwegingskader te geven waarmee op basis van standaard parameters keuzes kunnen worden gemaakt voor dynamisch vaargeulbeheer. De kenmerken van de baggervakken in de Waddenzee verschillen daarvoor te veel. Het is ook niet mogelijk om op voorhand een goed onderbouwde schatting te presenteren van de omvang waarmee het baggeren door dynamisch vaargeulbeheer gereduceerd kan worden. Zo'n schatting vraagt namelijk om goede voorspellingen van het baggeren onder het business-as-usual-scenario en bij de alternatieven.

Een algemeen advies is dat bij drempelgebieden meer alternatieven mogelijk zijn dan bij geulstaarten. Daarmee is het kansrijker om voor drempelgebieden te kijken naar alternatieven dan bij staartgeulen.

De staartgeul bij Holwerd is al lang in beeld als een aandachtsgebied, niet alleen vanwege de grote baggerinspanning, maar ook vanwege de bereikbaarheid en daarom wordt in de voorliggende rapportage hier niet over geadviseerd. Grote Siege is de staartgeul bij de Veerdam Schiermonnikoog en hiervoor geldt het advies om deze geul en de baggerinspanning goed in de gaten te houden. Daarbij geldt de opmerking dat in de toekomst mogelijk ook baggeren op de drempel in de Grote Siege noodzakelijk wordt. Voor een goed begrip van het baggeren in relatie tot de morfologische veranderingen wordt geadviseerd om, indien dit zich voordoet, separaat te rapporteren over de gebaggerde volumes op de drempel en bij de veerdam. De Geul langs de Pollendam kent grote variaties in het baggerde volume, die niet worden verwacht bij dit type staartgeul en daarom is een analyse hiervan aanbevolen.

Veel van de drempelgebieden met een groot baggervolume zijn of worden al beschouwd. Dat geldt voor Slenk (in relatie tot de alternatieve route via het Schuitengat, zie Van Til & Cleveringa, 2018) en voor het drempelgebied waar de vaargeul Holwerd-Ameland Scheepsgat en Zuiderspruit kruist. Het enige drempelgebied met een groot baggervolume dat niet wordt beschouwd is de Blauwe Slenk (Figuur 4-2). De morfologische veranderingen bij Blauwe Slenk betekenen mogelijk dat ook aan de zuidzijde gebaggerd moet gaan worden (bij de N in (Figuur 4-2)). Een afweging van de mogelijkheden voor dynamisch vaargeulbeheer op deze locatie wordt aanbevolen. Voor de drempelgebieden met kleinere baggervolumes is een inschatting van de beheerder belangrijk.

Boontjes is geclassificeerd als een dubbele staartgeul. De baggerinspanning in deze geul wordt al beschouwd (Colina Alonso et al., 2021). Voor Glinder, dat als kortsluiting tussen twee grote geulsystemen ook als 'anders' is geclassificeerd, kan een alternatieve meer westelijke route betekenen dat de afstand wordt gereduceerd waarover dient te worden gebaggerd.

De bovenstaande adviezen zijn ingegeven door de beknopte analyse van de baggervolumes, de morfologische setting en de veranderingen in de morfologie (zie Bijlage A). Andere factoren zijn ook van belang bij het maken van afweging, zoals de impact van een alternatief op de lengte van de vaarweg en de ecologische waarden in de omgeving.

6 Bronnen

- Arcadis, 2016. Passende beoordeling baggeren en verspreiden in de Waddenzee. Arcadisrapport met kenmerk 078815656 A
- Arcadis, 2022. Morfologische gevolgen aanleg en gebruik nieuwe spuimiddelen Afsluitdijk; Achtergrondrapport bij de Passende Beoordeling. Arcadisrapport met referentie D10042961:78
- Colina Alonso, A., B Smits & J. Vroom, 2021. Stijging Baggerhoeveelheden Vaargeul Boontjes; Data analyse op basis van morfologische ontwikkeling en baggerwerkzaamheden. Deltaresrapport met kenmerk 11206799-007-ZKS-0001.
- De Wit, L.M., 2022. 3-jaarlijkse tussenevaluatie verspreidingslocaties Waddenzee 2017-2019 (inclusief 2020 en 2021). Witteveen+Bos rapport met referentie 127568/22-011.340.
- Elias, E. 2021. Morfologie van het Zeegat van het Vlie; Een overzicht van de morfologische ontwikkelingen over de periode 1831-2020. Deltares-rapport 11206794-004-ZKS-0003.
- Grasmeijer, B. & R. van Weerdenburg, 2020. Evaluatie Bochtafsnijding Vaarweg Ameland Deltares rapport met kenmerk 11205229-006-ZKS-0002.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020. Agenda voor het Waddengebied 2050; Koersen naar een veilig, vitaal en veerkrachtig Waddengebied in 2050.
- Mulder, H.P.J. 2021a. Prognose bagger volumes voor RWS in de Waddenzee vanaf 2021. Notitie Rijkswaterstaat WVL 25 maart 2021.
- Oost, A.P., J. Cleveringa & M. Taal, 2019. Morfologie Kombergingsgebieden Marsdiep en Vlie; Beheerbibliotheek Waddenzee, versie 2019. Deltaresrapport 11203669-000-ZKS-0006
- Rijkswaterstaat (J. Cleveringa, C.G. Israël, D.W. Dunsbergen), 2005. De westkust van Ameland : resultaten van 10 jaar morfologisch onderzoek in het kader van de Rijkswaterstaat programma's KUST2000 en KUST2005. Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee (RWS, RIKZ) RIKZ/2005.029
- Rijkswaterstaat, 2016. Natura 2000-beheerplan Waddenzee; Periode 2016-2022.
- Rijkswaterstaat, 2019. Morfologische uitgangspunten Vaarweg Ameland; Achtergronddocument bij de lange termijn oplossingsrichtingen bereikbaarheid Ameland 2030
- Terwisscha van Scheltinga, R., 2012. Analysis of recent morphological changes in the tidal inlet system Vlie, The Netherlands. MSc onderzoeksstage bij Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Utrecht University, Faculty of Geosciences Steijn, R.C., 2005. Huidige en toekomstige sedimentatie in het Kikkertgat; Verslag van een bureaustudie. Alkyonrapport A1448.
- van Kessel, T. 2018. Memo prognose baggerhoeveelheden Waddenzee. Deltares memo.
- Van Til, S. & J. Cleveringa, 2018. Morfologische dynamiek Schuitengat; Analyse t.b.v. de scheepvaartfunctie. Arcadis rapport met kenmerk 079739076
- Van Til, S. 2018. Getijdemeanders in kombergingsgebied Borndiep. Arcadis-rapport.

- van Veen, J. 1950. Eb- en vloed-schaar systemen in de Nederlandse getijwateren. Tijdschrift Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap Vol. 67 p. 303-325; tevens als speciale uitgave Waddensymposium 1949, pagina 43-6 en als reprint van de TU Delft.
- Vermaas, T. & E. Elias, 2019. Werking van het Friesche Zeegat; Morfologie en hydrodynamica. Deltares rapport met kenmerk 11203669-000-ZKS-0005.
- Vermaas, T. & E. van Onselen, 2019. Ontwikkeling verdiepte doorgang Westgat, Friesche Zeegat-werkdocument met updates na inwinning nieuwe data. Presentatie Deltares.
- Vroom, J., 2015., Modelresultaten slibverspreiding t.b.v. slibmotor Koehol. Delft, Deltares memo 1209751-000- ZKS-0001.

A Beschrijving per baggervak

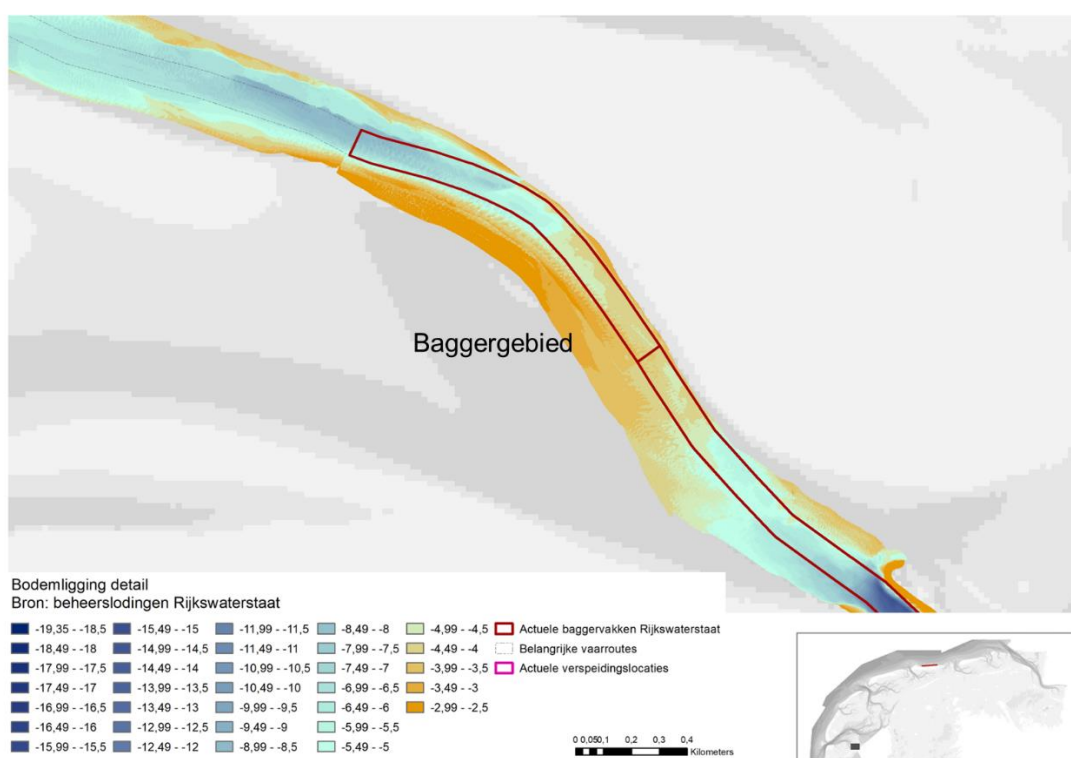
Beschrijving van baggerwerk op verschillende typen baggervakken, inclusief bespreking van de effecten van eerdere zandwinning

A.1 Visjagersgaatje – kombergingsgebied Marsdiep

Het Visjagersgaatje is de geul die de haven van Den Oever verbindt met het Malzwin en vervolgens het Marsdiep.

A.1.1 Type

Het gebied waar in het Visjagersgaatje gebaggerd wordt, is een drempel van een vloedschaar. Aan de andere kant van de drempel wordt de drempel aangestroomd vanuit de geul die vanuit de spuilsuizen bij Den Oever is gericht. Figuur A-1 toont het drempelgebied waar wordt gebaggerd.

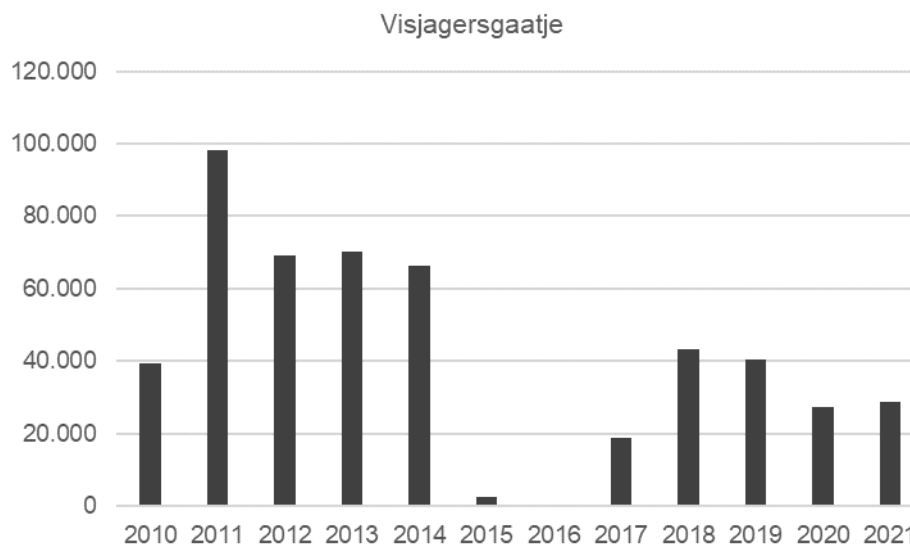


Figuur A-1 Kaart van het baggergebied bij het Visjagersgaatje, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.1.2 Baggerhoeveelheden

De bagger volumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-2. Het gemiddelde gebaggerde volume over de afgelopen 10 jaar (2012-2021) bedraagt 36.743 m³/jaar;

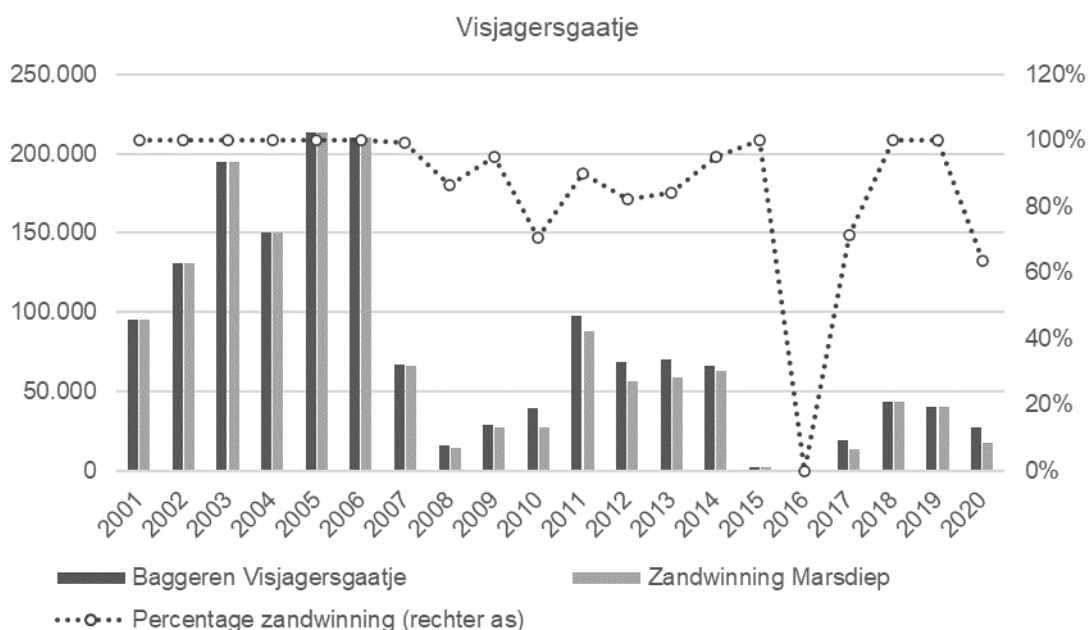
Gemiddelde bagger volume 2017-2021: 31.804 m³/jaar;
Laagste bagger volume 2017-2021: 19.007 m³/jaar;
Hoogste bagger volume 2017-2021: 43.279 m³/jaar.



Figuur A-2 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak Visjagersgaatje (bron: Rijkswaterstaat)

A.1.3 Zandwinning en bijzonderheden

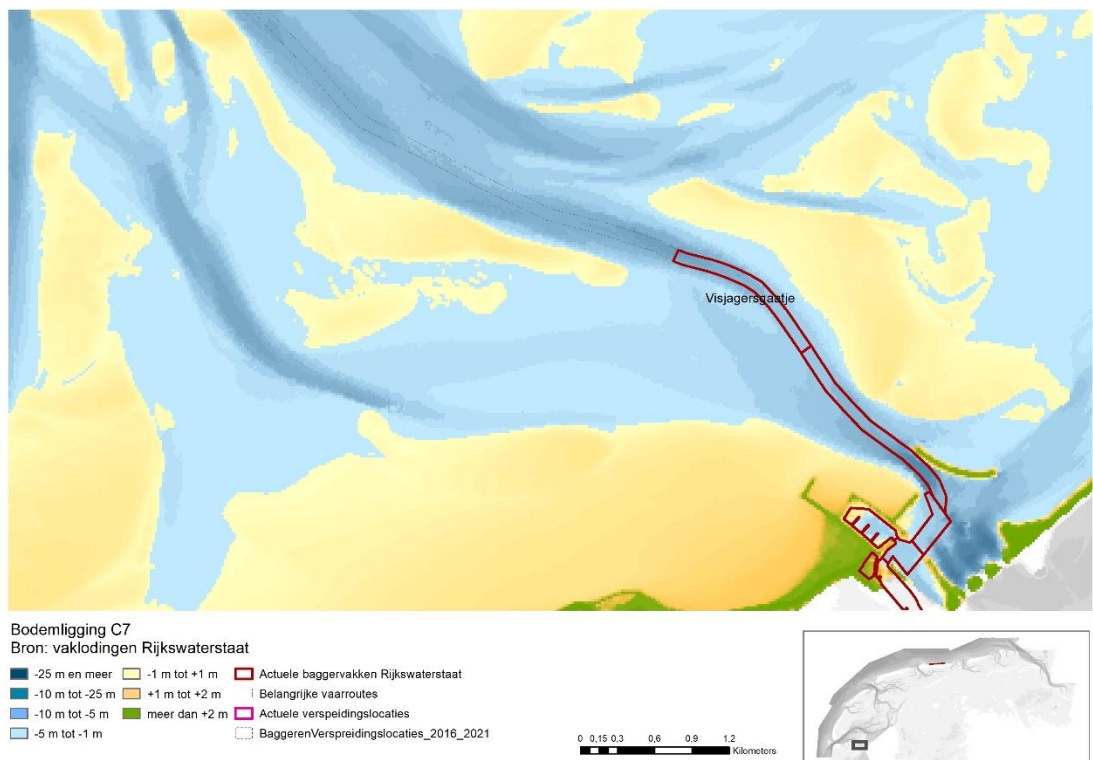
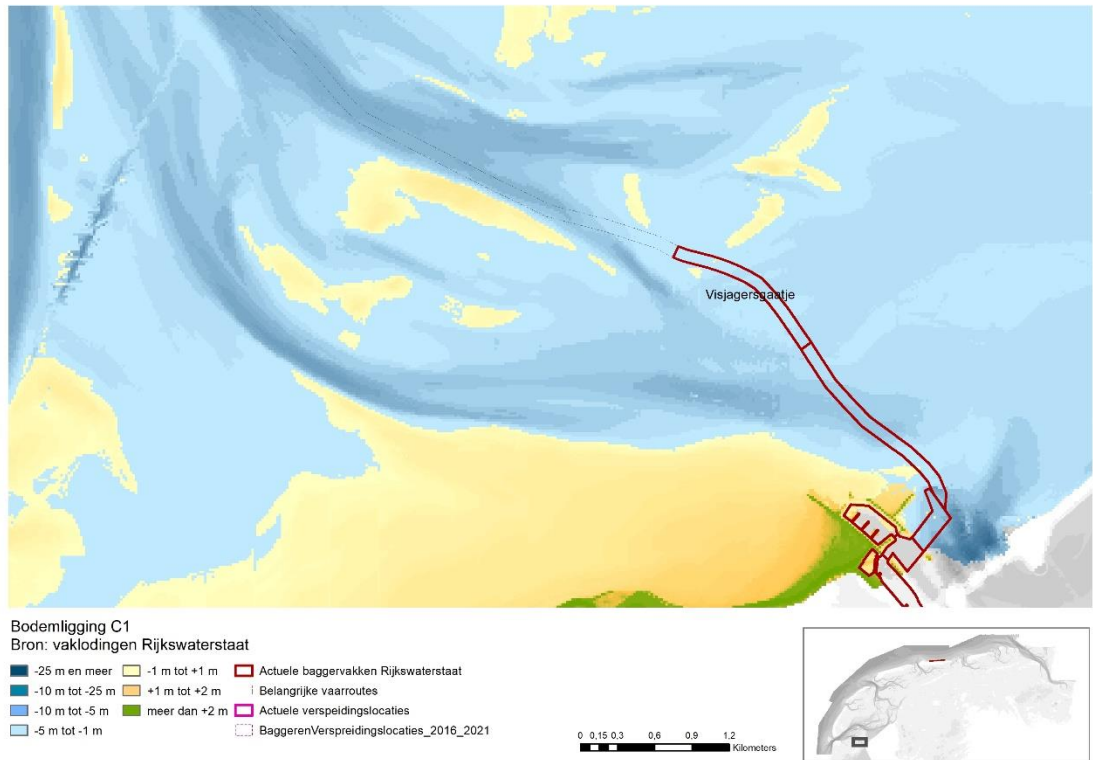
In het Visjagersgaatje heeft een belangrijk deel van de zandwinning plaatsgevonden die in het Marsdiep is uitgevoerd, zoals zichtbaar is in Figuur A-3.



Figuur A-3 Grafiek met de baggervolumes 2001-2021 van het baggervak Visjagersgaatje en de zandwinvolumes in het kombergingsgebied Marsdiep (bron: Rijkswaterstaat; Mulder, 2021a).

A.1.4 Morfologische ontwikkelingen

De kaarten van de bodemligging Figuur A-4 laten duidelijke verschillen zien, die niet alleen gerelateerd zijn aan ontwikkelingen van de drempel van het Visjagersgaatje. In het hele gebied is sprake van een toename van het areaal van het intergetijdengebied (wadplaten). De geul Wierbalg die ten westen van het Visjagersgaatje ligt, is sterk in omvang afgenomen. Het Visjagersgaatje is tegenwoordige de belangrijkste geul in het gebied. De positie van het Visjagersgaatje is naar het noordoosten opgeschoven.



Figuur A-4 Kaarten van het Visjagersgatje, boven: situatie 1985; onder situatie 2021 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

A.1.5 Integratie

De baggervolumes in het Visjagersgatje zijn de afgelopen jaren afgenomen. Het is niet direct mogelijk om deze afname in verband te brengen met trendmatige morfologische ontwikkelingen in het gebied. De belangrijkste reden voor de afname van het gemiddelde baggervolume is waarschijnlijk dat het Visjagersgatje als belangrijke geul is overgebleven,

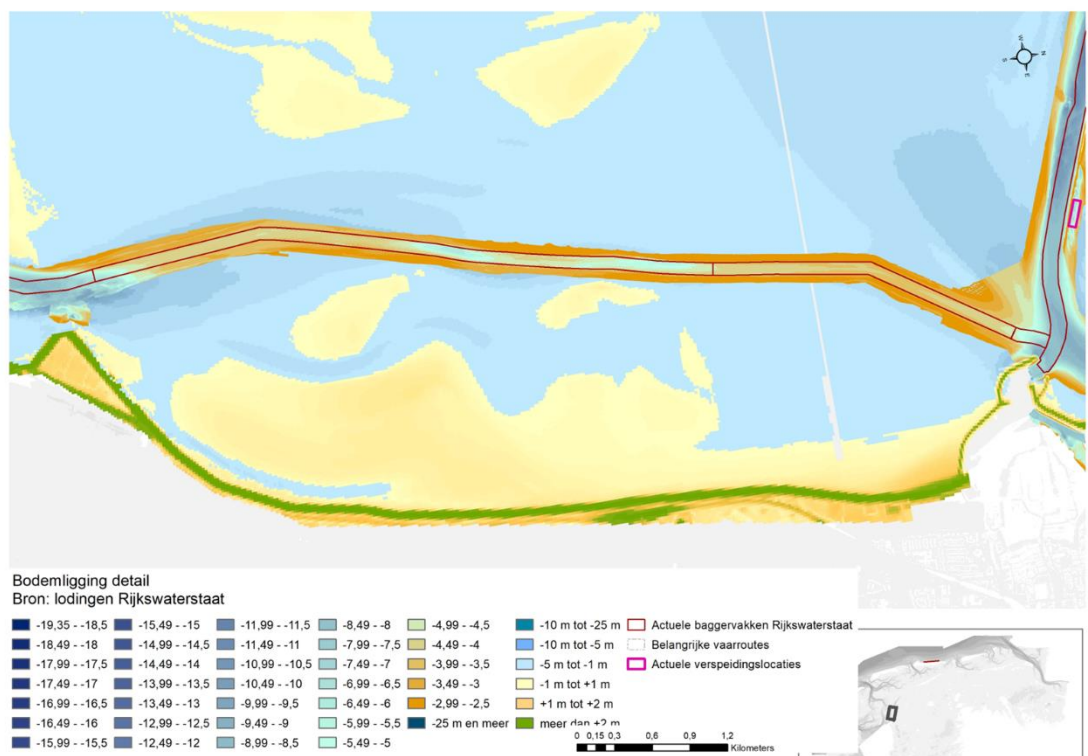
terwijl andere geulen in omvang zijn afgenomen. Het is niet te achterhalen of deze ontwikkeling is gestimuleerd door het baggeren van het Visjagersgaatje.

A.2 Boontjes – overgangsgebied kombergingsgebieden Marsdiep -Vlie

De Boontjes is de geul die de haven van Kornwerderzand en daarmee het IJsselmeer, verbindt met de haven van Harlingen. Zie Colina Alonso et al. (2021) voor gedetailleerde analyse van de baggerinspanningen in de Boontjes,

A.2.1 Type

Het gebied waar in de Boontjes wordt gebaggerd ligt in het verlengde van de vloedschaar die vanaf de Doove balg naar het noorden is gericht. Maar het gebied is te omvangrijk om te spreken van de drempel van een vloedschaar. Van oudsher ligt er ook een geul vanaf 'Het Blinde Werk' voor de haven van Harlingen in de richting van de Boontjes. Het gebied wordt beschouwd als bijzonder staartgeul. Figuur A-5 toont het gebied waar wordt gebaggerd. De drempel is vanaf oktober 2012 verwijderd en het werk heeft tot en met 2013 geduurd. In de jaren daarvoor werd hier niet gebaggerd.

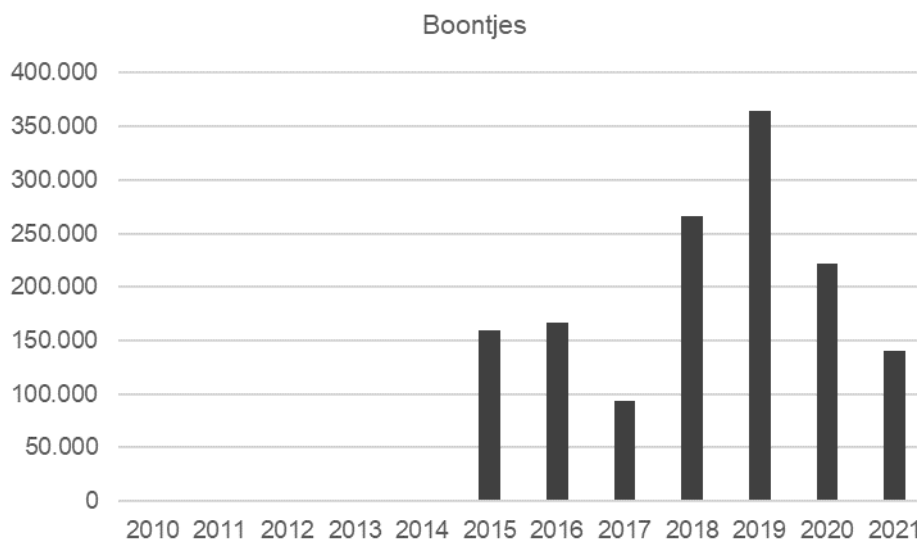


Figuur A-5 Kaart van het baggergebied bij de Boontjes, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.2.2 Baggerhoeveelheden

De bagger volumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-2. De aanlegvolumes van het baggerwerk in 2012 en 2013 zijn niet in het overzicht opgenomen. Het gemiddelde gebaggerde volume over de totale periode dat onderhoudsbaggerwerk is uitgevoerd (2015-2021) bedraagt 201.856 m³/jaar;

Gemiddelde bagger volume 2017-2021: 217.228 m³/jaar;
 Laagste bagger volume 2017-2021: 93.989 m³/jaar;
 Hoogste bagger volume 2017-2021: 363.992 m³/jaar.



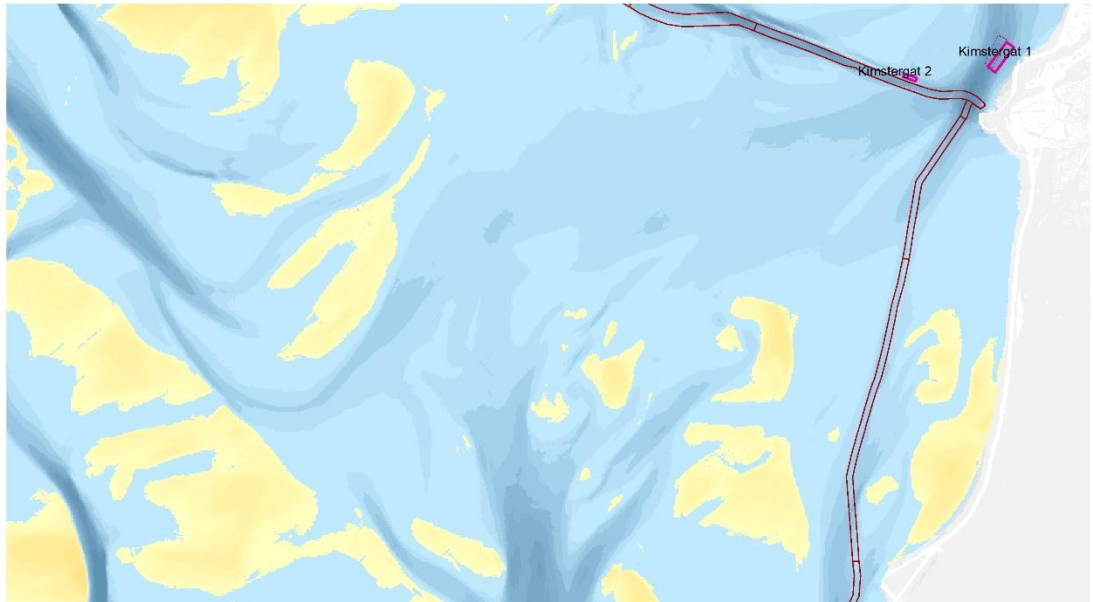
Figuur A-6 Grafiek met de baggervolumes 2015-2021 van het baggervak Boontjes (bron: Rijkswaterstaat)

A.2.3 Bijzonderheden

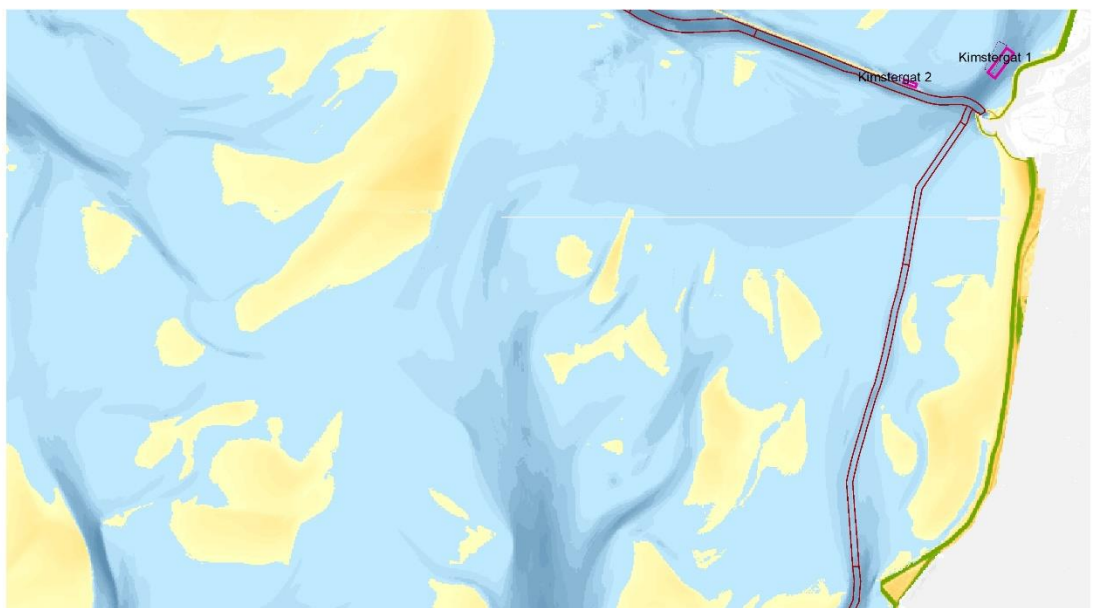
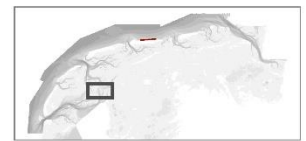
Het baggeren in de Boontjes is sinds 2015 aan orde, na de verdieping van het drempelgebied. De baggervolumes zijn in eerste instantie toegenomen tot een maximum van 363.992 m³ in 2019, maar daarna weer afgenomen. In het deelproject Boontjes van KPP Waddenzee (Colina Alonso et al. 2021) is geconstateerd dat de gebaggerde massa veel minder is toegenomen dan het gebaggerde volume, doordat er veel meer slib wordt gebaggerd.

A.2.4 Morfologische ontwikkelingen

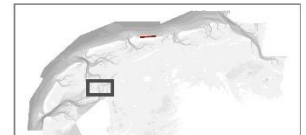
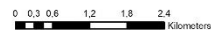
De kaarten van de bodemligging in Figuur A-7 laten slechts beperkte verschillen zien. Veel van de veranderingen rond de Boontjes treden op binnen één van gebruikte diepteklassen, waardoor deze minder goed zichtbaar zijn in de kaarten. Wel zichtbaar is dat in de oudste kaart nog duidelijk sprake was van een geuluiteinde dat zich vanaf de haven van Harlingen naar het zuidzuidwesten was gericht. In de meest recente kaart is dit geuluiteinde niet meer aanwezig. Bij de kust is een uitbreiding van het gebied dat ondieper is dan NAP – 1 m zichtbaar. Deze uitbreiding is onderdeel van een groter gebied met sedimentatie, dat zich vrijwel geheel onder water afspeelt. In de dwarsdoorsnede in Figuur A-8 is de uitbreiding van de sublitorale vlakte naar het noordwesten wel duidelijk zichtbaar.



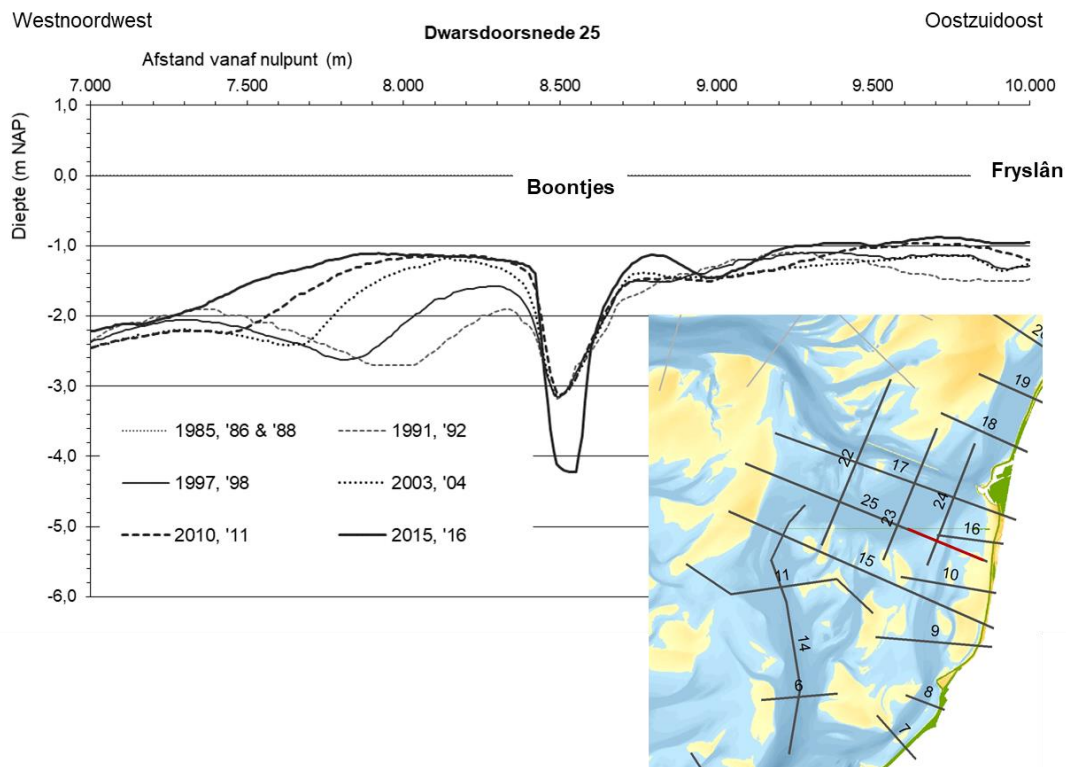
Bodemligging C2
Bron: vaklodingen Rijkswaterstaat



Bodemligging C6
Bron: vaklodingen Rijkswaterstaat



Figuur A-7 Kaarten van de Boontjes, boven: situatie 1991-1992; onder: situatie 2015/2016 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.



Figuur A-8 Dwarsdoorsnede 25 door de vaargeul Boontjes en de aangrenzende ondieptes (zie inzet voor locatie), uit Oost et al. (2019).

A.2.5 Integratie

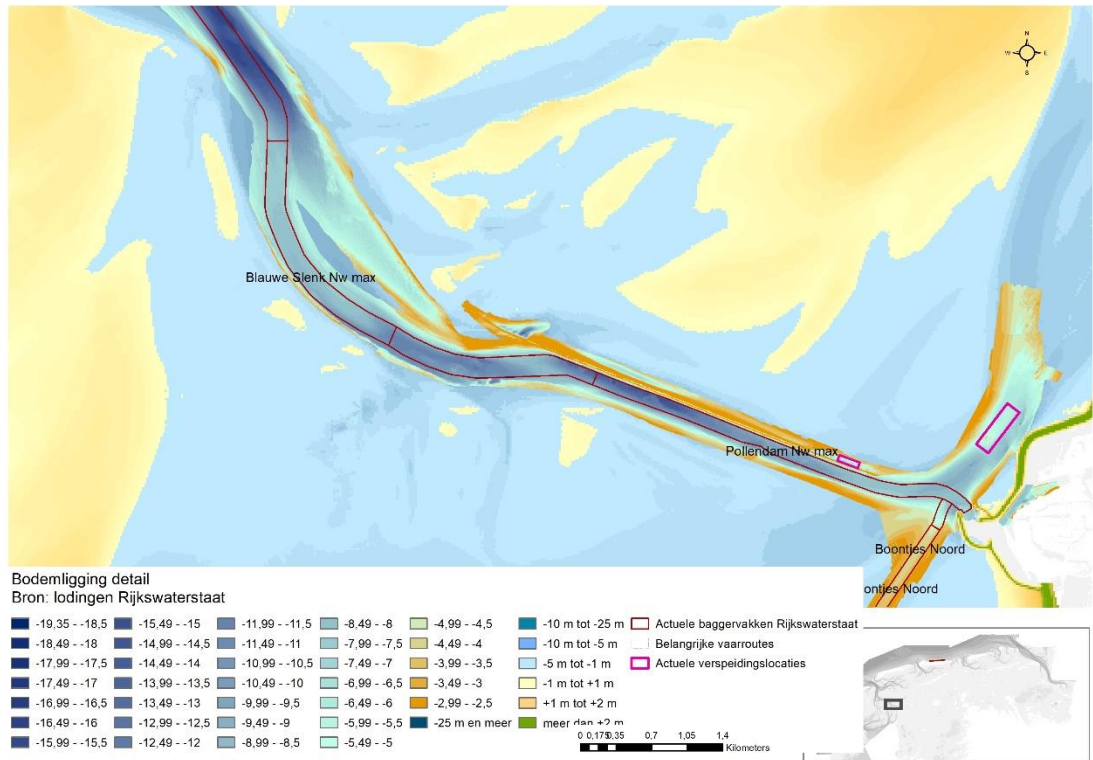
De verdieping van de Boontjes is aangelegd in een gebied dat een autonome trend tot sedimentatie vertoont. De toename van het baggervolume tot en met 20219 is daarmee niet heel verassend, maar de afname daarna wel.

A.3 Geul langs Pollendam – Kombergingsgebied Vlie

De Geul langs de Pollendam is het meest landwaartse deel van de vaarverbinding van het Zeegat van het Vlie en de eilanden Vlieland en Terschelling naar haven van Harlingen. De Geul langs de Pollendam ligt, zoals de naam als aangeeft, langs de Pollendam, zoals zichtbaar is in Figuur A-9. De Pollendam werd in de periode 1874-1875 aangelegd om de geul die eerder in periode 1864-1866 was gebaggerd op diepte te houden. Tegen de verwachtingen in vormde zich echter een geul aan de zuidzijde van de dam, die vanaf 1878 tot op de dag van vandaag de vaargeul vormt. Deze geul werd stapsgewijs dieper en breder gemaakt door baggeren. Voor 1900 was de diepte NAP -3,6 m tot -3,9 m, vanaf 1930 was de breedte 50 m en uiteindelijk is de diepte NAP -7,5 m en de breedte 100 m sinds 2005 (ontleend aan Oost et al, 2019 en bronnen daarin). De Pollendam is het zichtbare deel van de dam, dat boven het niveau van gemiddeld hoogwater uitsteekt. Zowel aan de noordwestzijde, als aan de zuidoostzijde loopt de dam onder water door, in de vorm van het Blinde werk.

A.3.1 Type

Vanwege ligging aan het landwaartse einde van het kombergingsgebied is deze geul geclassificeerd als een staartgeul. De kaart in Figuur A-9 geeft geen doorslaggevend inzicht in waar wordt gebaggerd. In de kaart zijn ondiepere delen te zien aan de beide uiteinden van de geul.

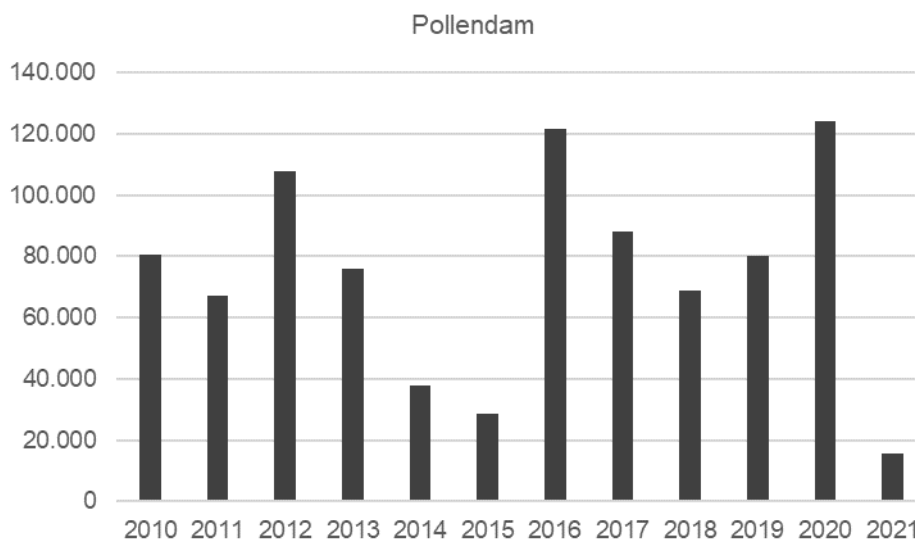


Figuur A-9 Kaart van de baggergebieden in de Geul langs de Pollendam en de drempel in de Blauwe Slenk op basis van het beheerlodingenbestand van Rijkswaterstaat.

A.3.2 Baggerhoeveelheden

De bagger volumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-10. Het gemiddelde gebaggerde volume over de afgelopen tien jaar (2012-2021) bedraagt 74.908 m³/jaar. De gebaggerde volumes variëren sterk.

Gemiddelde bagger volume 2017-2021: 75.377 m³/jaar;
 Laagste bagger volume 2017-2021: 15.807 m³/jaar;
 Hoogste bagger volume 2017-2021: 123.995 m³/jaar.



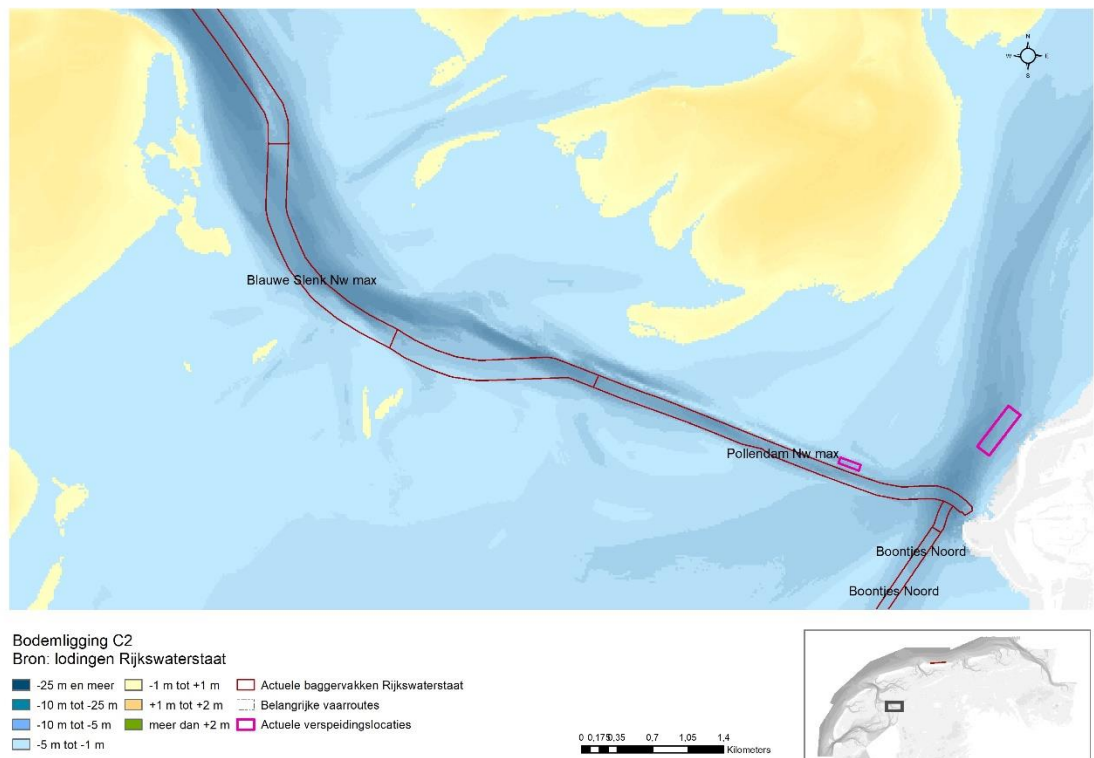
Figuur A-10 Grafiek met de bagger volumes 2021-2021 van het baggervak Geul langs de Pollendam (bron: Rijkswaterstaat)

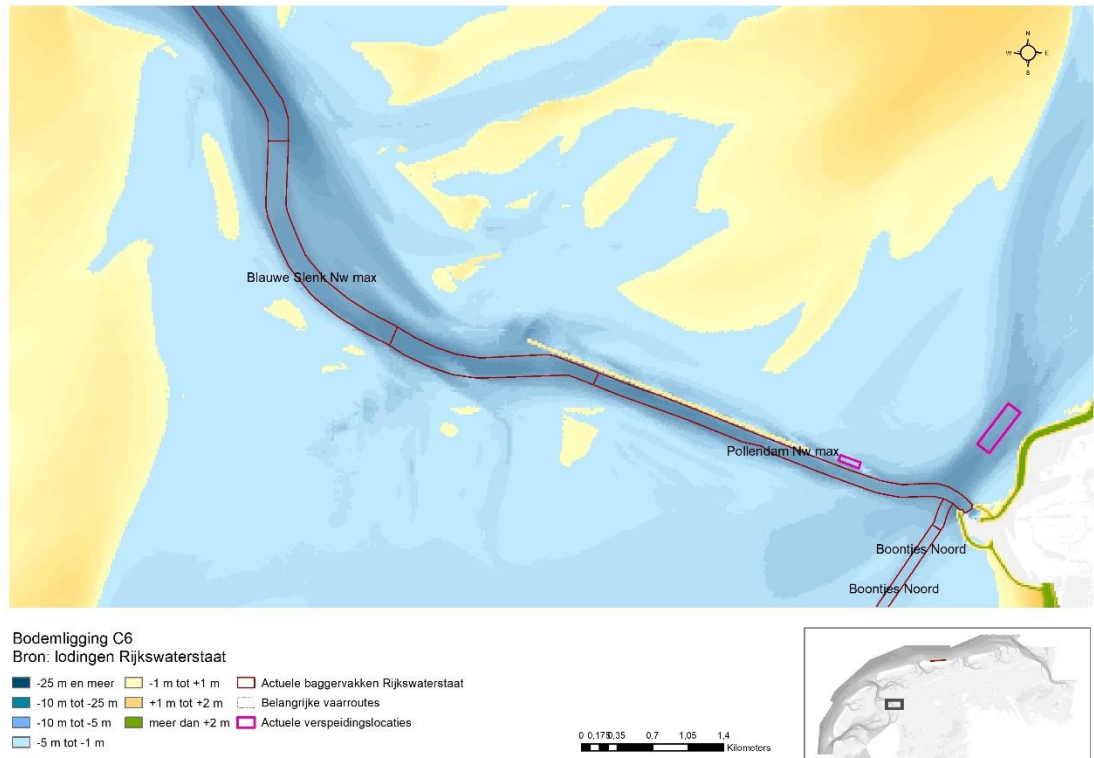
A.3.3 Bijzonderheden

De geul langs de Pollendam is een van twee geulen in de Waddenzee die langs een (stroomgeleidings)dam ligt. De andere geul is de Ballumerbocht, bij Ameland.

A.3.4 Morfologische ontwikkelingen

De kaarten van de bodemligging Figuur A-11 laten slechts beperkte verschillen zien bij de Geul langs de Pollendam. De aanwezigheid van de Pollendam is ongetwijfeld de reden voor de plaatsvastheid van deze geul. In de kaarten kan de afname van de omvang van het Kimstergat worden herkend, die samengaat met sedimentatie in het achterliggende gebied. De exacte relatie tussen de omvang van het Kimstergat en het bijbehorende kombergingsgebied en de omvang van de Geul langs de Pollendam is niet helemaal duidelijk. De morfologie en ook berekeningen aan de waterbeweging (Vroom, 2015) laten zien dat het Kimstergat ook water uitwisselt met kombergingsgebied Marsdiep. In iedere geval uit de afname van het Kimstergat zich niet in toename van het baggerbezwaar van de Geul langs de Pollendam.





Figuur A-11 Kaarten van de, boven: situatie 1991-1992; onder situatie 2015/2016 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken Geul langs de Pollendam en Blauwe Slenk. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

A.3.5 Integratie

De gebaggerde volumes in de geul langs de Pollendam variëren sterk. Een duidelijk oorzaak hiervan in termen van morfologische veranderingen is niet aangetroffen.

A.4 Blauwe Slenk – Kombergingsgebied Vlie

Na de Geul langs de Pollendam is de Blauwe Slenk het tweede deel van de vaarverbinding van het Zeegat van het Vlie en de eilanden Vlieland en Terschelling naar haven van Harlingen. In tegenstelling tot de Geul langs de Pollendam is de Blauwe Slenk een natuurlijke getijdengeul, waarvan de vorm en ligging kunnen veranderen door erosie en sedimentatie.

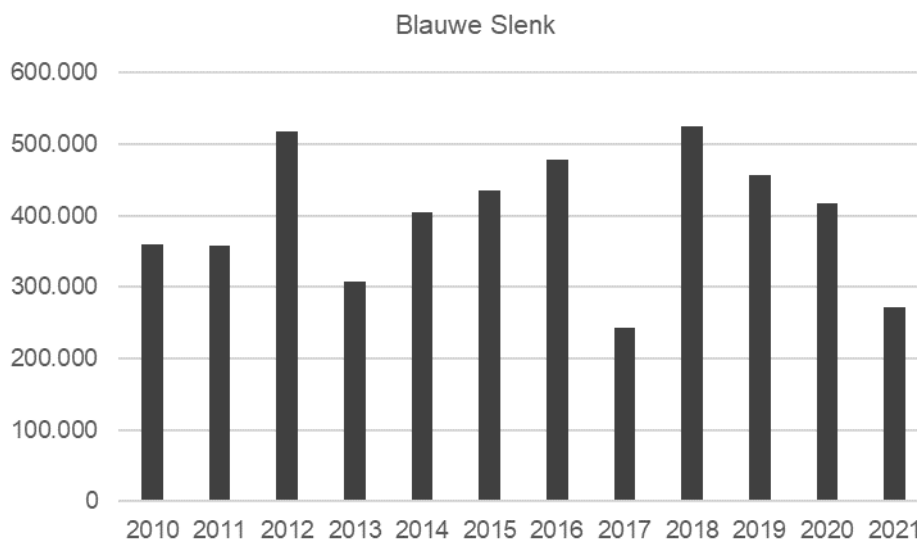
A.4.1 Type

De ondiepte in de vaargeul in de Blauwe Slenk is het gevolg van de aanwezigheid van een vloedschaar. De vaargeul zelf loopt niet door deze vloedschaar, maar volgt de hoofdgeul die met een bocht om de vloedschaar slingert, zoals zichtbaar is in Figuur A-9.

A.4.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-12. De aanlegvolumes van het baggerwerk in 2012 en 2013 zijn niet in het overzicht opgenomen. Het gemiddelde gebaggerde volume over de totale periode dat onderhoudsbaggerwerk is uitgevoerd (2015-2021) bedraagt 405.789 m³/jaar;

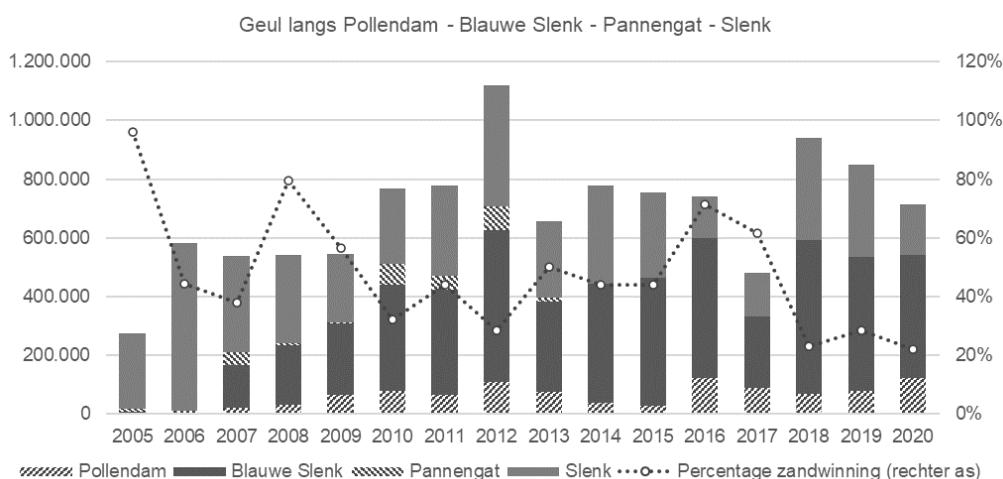
Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 382.763 m³/jaar;
 Laagste baggervolume 2017-2021: 243.069 m³/jaar;
 Hoogste baggervolume 2017-2021: 525.117 m³/jaar.



Figuur A-12 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak (bron: Rijkswaterstaat)

A.4.3 Zandwinning en bijzonderheden

In de baggervakken in het kombergingsgebied van het Vlie heeft in het verleden zandwinning plaatsgevonden als onderdeel van het vaargeulonderhoud. De omvang van de zandwinning als percentage van de totale baggervolumes is aangegeven in Figuur A-13. De zandwinning vormde in sommige jaren een substantieel deel van het volume dat is gebaggerd. Sinds 2018 vormt de zandwinning minder dan 30% van het onderhoudsvolume.



Figuur A-13 Grafiek met de baggervolumes 2001-2021 van de baggervakken Pollendam, Blauwe Slenk, Pannengat en Slenk en de zandwinvolumes in het kombergingsgebied Vlie (bron: Rijkswaterstaat; Mulder, 2021a).

A.4.4 Morfologische ontwikkelingen

De kaarten van de bodemligging in Figuur A-11 laten grote veranderingen zien in de bodemligging ter plaatse van de drempel. In de kaart van de oude situatie loopt de huidige vaarweg met de bijbehorende baggervakken dor een ondiepte. In de meest recente opname is te zien dat de geul met een bocht om de vloodschaar heen loopt. In de recente kaart is ook zichtbaar dat de huidige route door een gebied loopt dat beduidend dieper is dan de drempel in de vloodschaar. De oriëntatie van de vloodschaar is voor de scheepvaart wel aantrekkelijk, omdat deze in een recht lijn naar de Vaargeul langs de Pollendam loopt, maar de

vloedschaar heeft een uitgebreide en ondiepe drempel waarmee de aanleg van een kortsluiting een forse baggerinspanning zou vergen.

A.4.5 Integratie

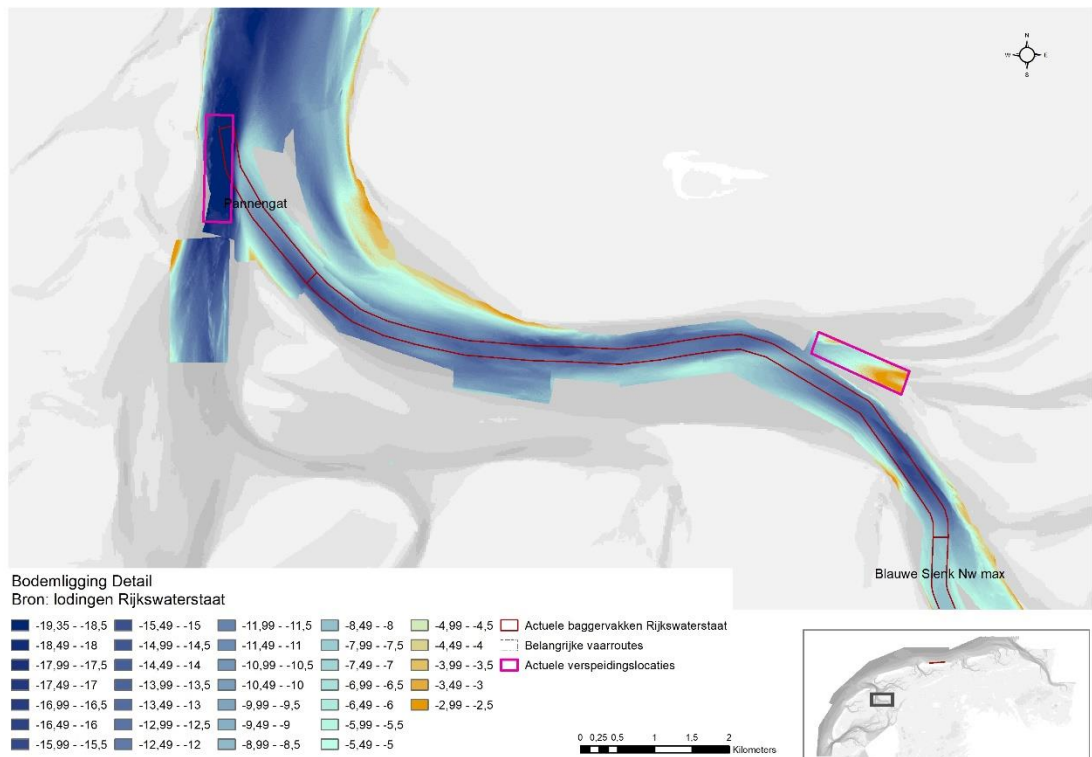
De variaties in de gebaggerde volumes zijn groot in het baggervak Blauwe Slenk. Deze variaties passen bij de morfologische situatie die sterk veranderlijk is door de ontwikkelingen rond de vloedschaar. Overigens is niet alleen sprake van grote variatie in de baggervolumes, maar ook van grote volumes.

A.5 Pannengat– Kombergingsgebied Vlie

Na Blauwe Slenk is het Pannengat het volgende deel van de vaarverbinding van het Zeegat van het Vlie en de eilanden Vlieland en Terschelling naar haven van Harlingen.

A.5.1 Type

Het baggervak in het Pannengat ligt ter plaatse van een drempel die onderdeel is van een eschaar die vanaf de Blauwe slenk in de richting van het Pannengat loopt.

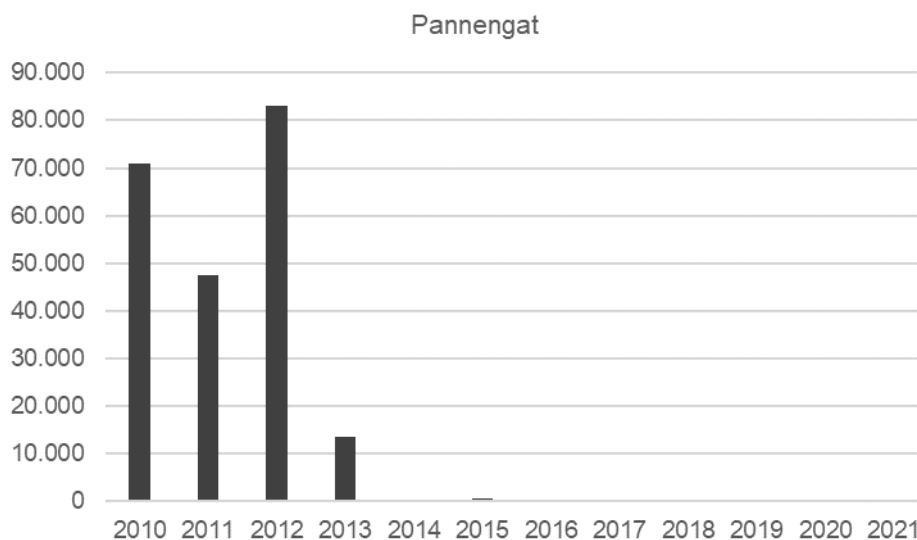


Figuur A-14 Kaart van het baggergebied bij het, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.5.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-15. Het gemiddelde gebaggerde volume over de totale periode dat uitgebreid onderhoudsbaggerwerk is uitgevoerd (2010-2013) bedraagt 53.715 m³/jaar;

Omdat na 2015 geen baggerwerk meer is uitgevoerd in dit baggervak, zijn geen gemiddelde en minimale en maximale waarden over de afgelopen vijf jaar berekend.



Figuur A-15 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak Pannengat (bron: Rijkswaterstaat)

A.5.3 Bijzonderheden

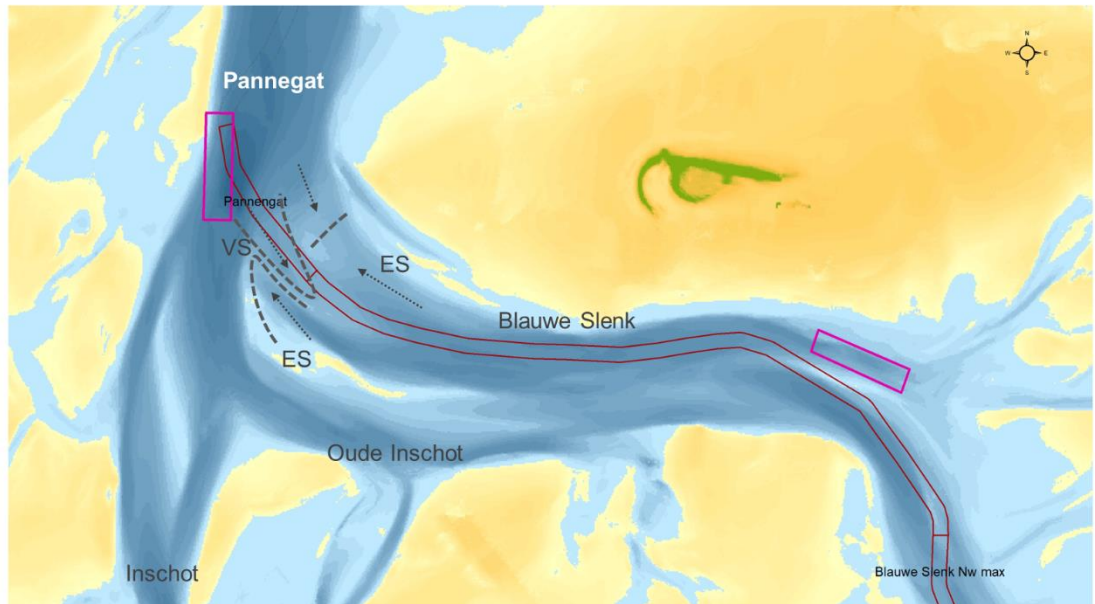
De zandwinning in het Vlie is opgenomen in paragraaf A.4.3 en in Figuur A-13.

A.5.4 Morfologische ontwikkelingen

De kaarten van de bodemligging staan in Figuur A-16. In de kaarten is zichtbaar dat de vorm van de vloed- en ebschaar bij de drempel in het Pannengat in de twee opnamen duidelijk verschilt. In de meest recente opname is sprake van sterk ontwikkelde ebschaar, met een diepe drempel. Dit verklaart waarom de afgelopen jaren niet is gebaggerd op deze drempel. In de kaart van de oudere situatie is een veel complexere opbouw van het drempelgebied zichtbaar, met twee kleinere ebscharen en een vloed-schaar, waarbij de drempel minder diep is. De ontwikkelingen op deze drempel zijn niet los te zien van andere morfologische veranderingen in dit gebied, die ook zichtbaar zijn in Figuur A-16. De betekenis van de geul het Oude Inschot is afgenomen en de rol is vrijwel geheel overgenomen door het Pannengat. Ook de aanstroming van Inschot is veranderd en dit heeft mogelijk ook positieve effecten gehad op de stroming door het Pannengat.

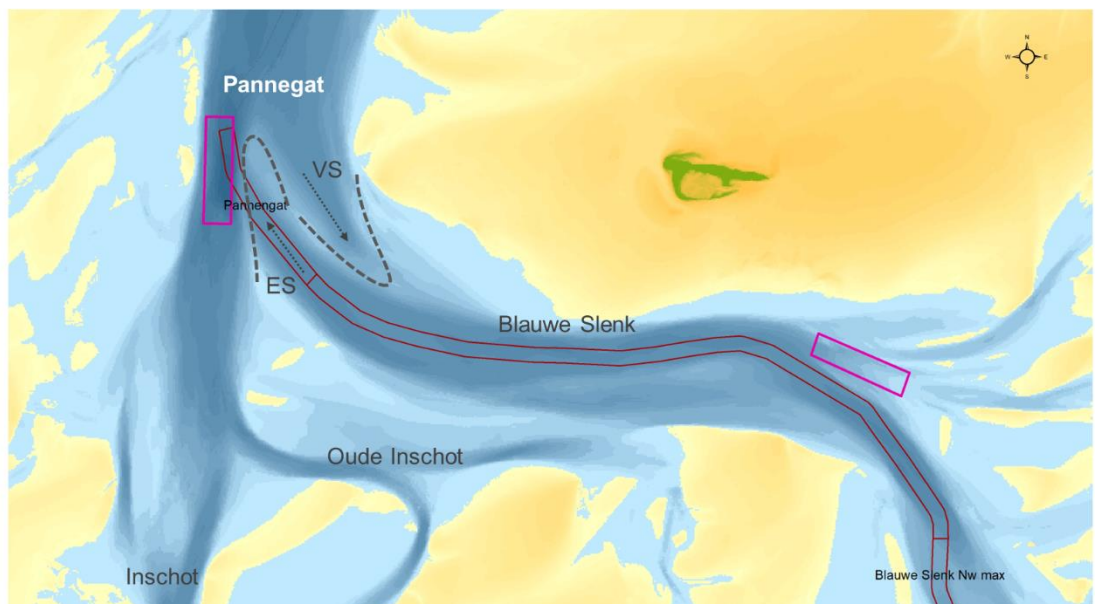
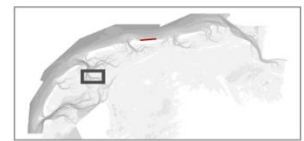
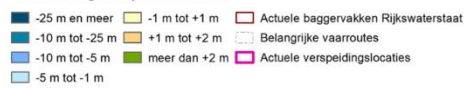
A.5.5 Integratie

De duidelijke variatie in de baggervolume bij het Pannengat passen bij een baggervak dat in een drempelgebied ligt. Hierbij hoort de opmerking dat de trendmatige veranderingen van de geulen Inschot en Oude Inschot ten goede zijn gekomen aan het Pannengat.



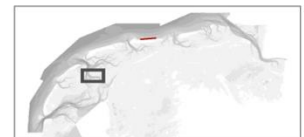
Bodemligging C2

Bron: lodingen Rijkswaterstaat



Bodemligging C6

Bron: lodingen Rijkswaterstaat



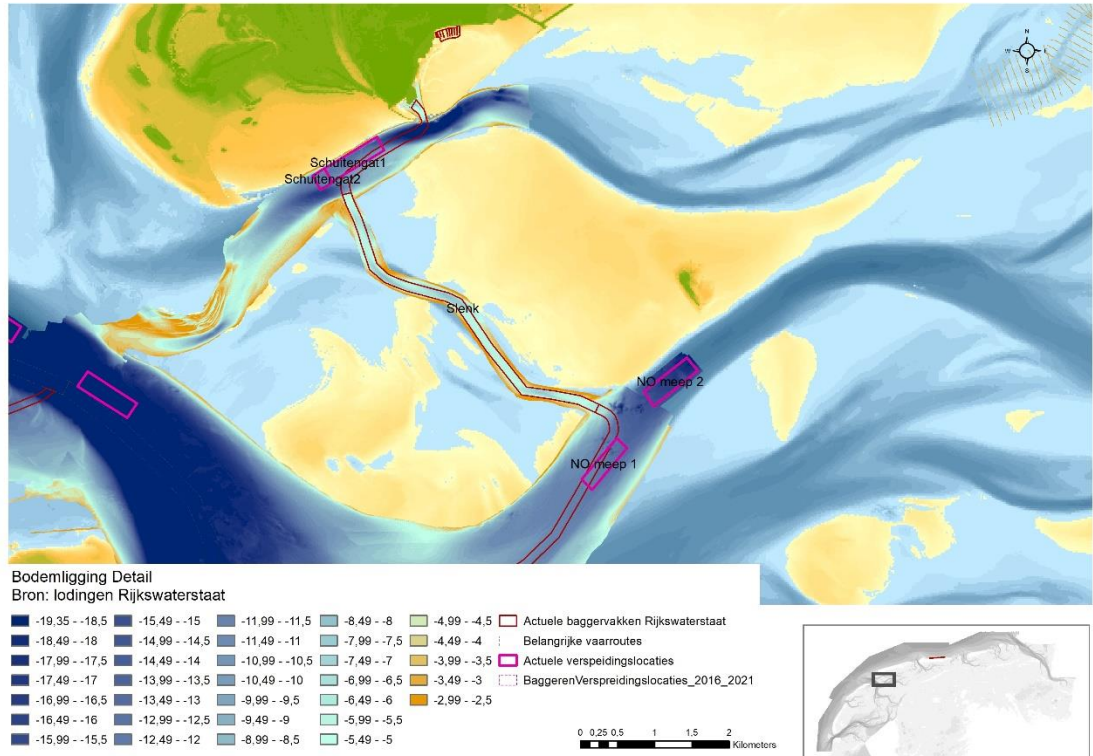
Figuur A-16 Kaarten van de, boven: situatie 1992; onder situatie 2016 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

A.6 Slenk – Kombergingsgebied Vlie

Slenk is de vaargeul vlakbij Terschelling die wordt gebruikt door grotere en dieper stekende schepen om het Waddeneiland te bereiken. Van origine is Slenk een natuurlijke kortsluitgeul die de wadplaten Jacobsruggen en Grootelaat scheidt. Halverwege de jaren '90 is deze natuurlijke verbinding, die uit enkele eb- en vloedscharen bestond doorgebaggerd, ter vervanging van de Schuitengat geulverbinding.

A.6.1 Type

De baggervakken in Slenk liggen ter plaatse van drempels van verschillende eb- en vloedscharen, die de basis vormen van deze geul. Dit is enigszins zichtbaar in Figuur A-17.



Figuur A-17 Kaart van het baggergebied bij het, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

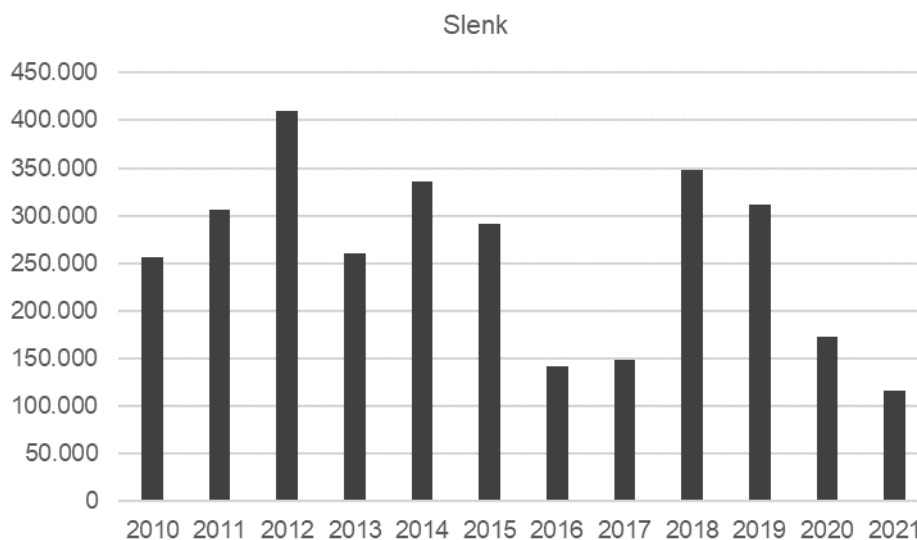
A.6.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-18. Het gemiddelde gebaggerde volume (2012-2021) bedraagt 253.482 m³/jaar.

Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 219.313 m³/jaar;

Laagste baggervolume 2017-2021: 115.947 m³/jaar;

Hoogste baggervolume 2017-2021: 347.982 m³/jaar.

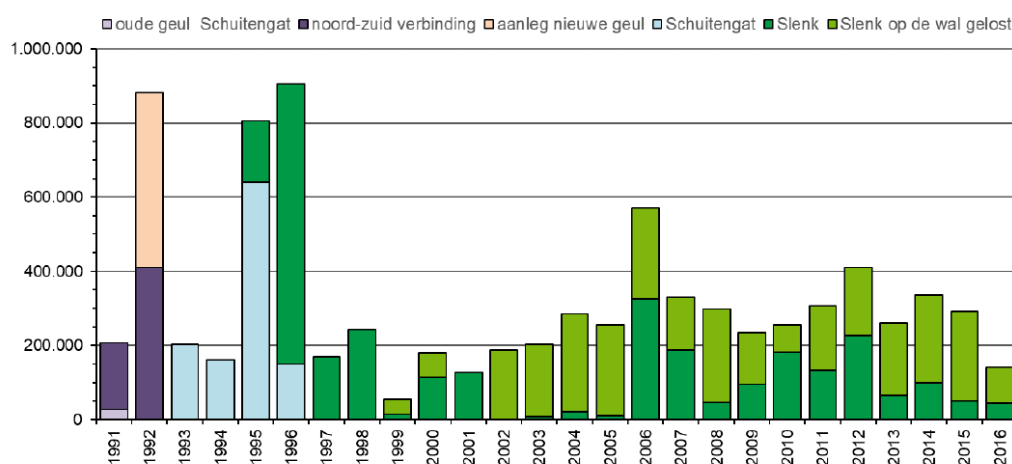


Figuur A-18 Grafiek met de bagger volumes 2021-2021 van het baggervak Slenk (bron: Rijkswaterstaat)

A.6.3 Bijzonderheden

Zoals in de inleiding is gemeld, is de vaargeul door Slenk tot stand gebracht ter vervanging van de verbinding via het Schuitengat. Vanwege morfologische veranderingen van het Schuitengat en de aangrenzende ondiepte bleek de verbinding via het Schuitengat alleen in stand gehouden te kunnen worden door het uitvoeren van een enorme baggerinspanning. In de grafiek in Figuur A-19 is zichtbaar dat baggerinspanning opliep in de richting van 900.000 m³ in 1992. In 1995 en 1996 is de verbinding via Slenk verdiept, waarvoor initieel een grote baggerinspanning is geleverd.

In 2108 is gekeken of de morfologische ontwikkelingen van het Schuitengat, waar opnieuw een verbinding met het Vlie is ontstaan, opnieuw in gebruik kan worden genomen. Deze analyse is in 2021 geactualiseerd. De conclusies is tot nu toe dat de voorspelbaarheid van de verbinding en van het baggerbezwaar op de drempel van het Schuitengat te beperkt is om in te zetten op het in gebruik nemen van het Schuitengat ter vervanging van Slenk.



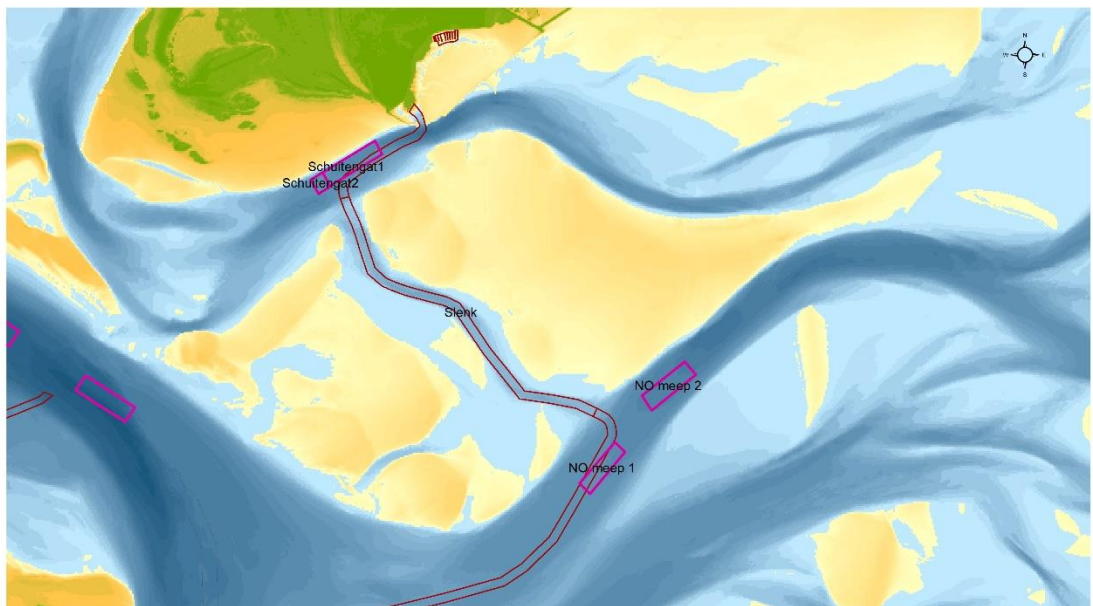
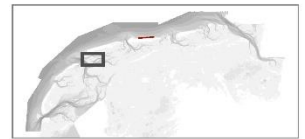
Figuur A-19 Grafiek met de bagger volumes (m³ in beun) tussen 1991 en 2016 in Schuitengat en Slenk. De data is afkomstig van Rijkswaterstaat Noord-Nederland (H. Mulder en E. Lofvers). De figuur is naar Terwisscha van Scheltinga (2012), aangevuld met data van 2012-2016. Figuur uit Van Til & Cleveringa, 2018

A.6.4 Morfologische ontwikkelingen

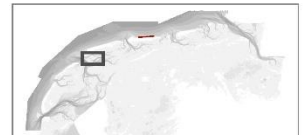
De kaarten van de bodemligging Figuur A-20 laten duidelijke verschillen zien in de ligging van het noordwestelijke einde van Slenk. Dit uiteinde verplaatst naar het noordoosten, waarschijnlijk onder invloed van zand dat langs de plaat wordt aangevoerd. Een analyse van Slenk, staat naast de uitgebreide analyse van het Schuitengat, in Van Til & Cleveringa (2018).



Bodemligging C2
Bron: lodingen Rijkswaterstaat



Bodemligging C6
Bron: lodingen Rijkswaterstaat



Figuur A-20 Kaarten van de, boven: situatie 1991-1992; onder situatie 2015/2016 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

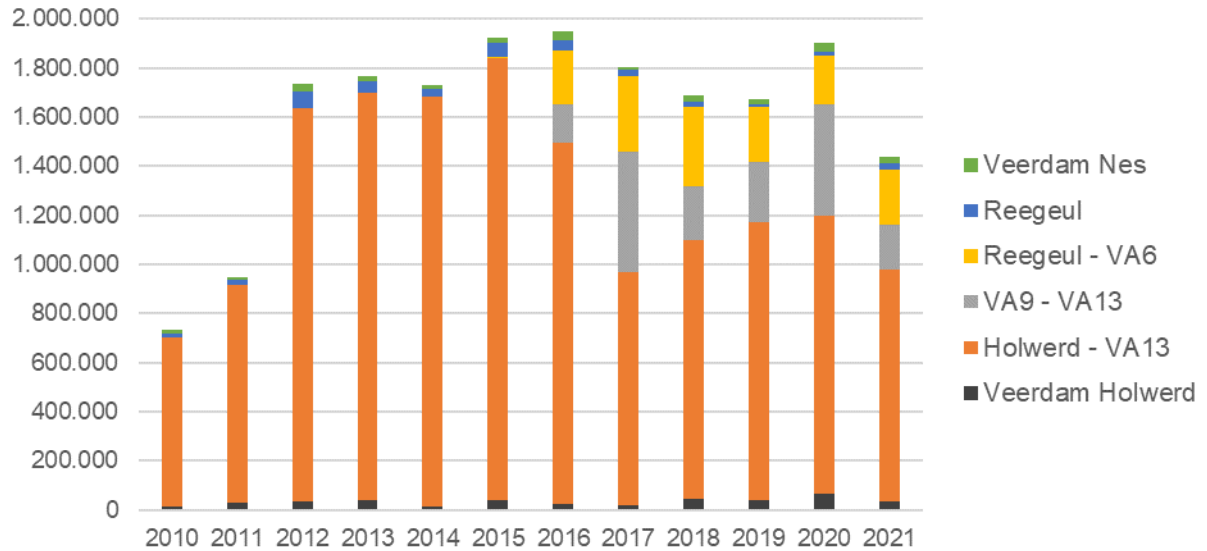
A.6.5

Integratie

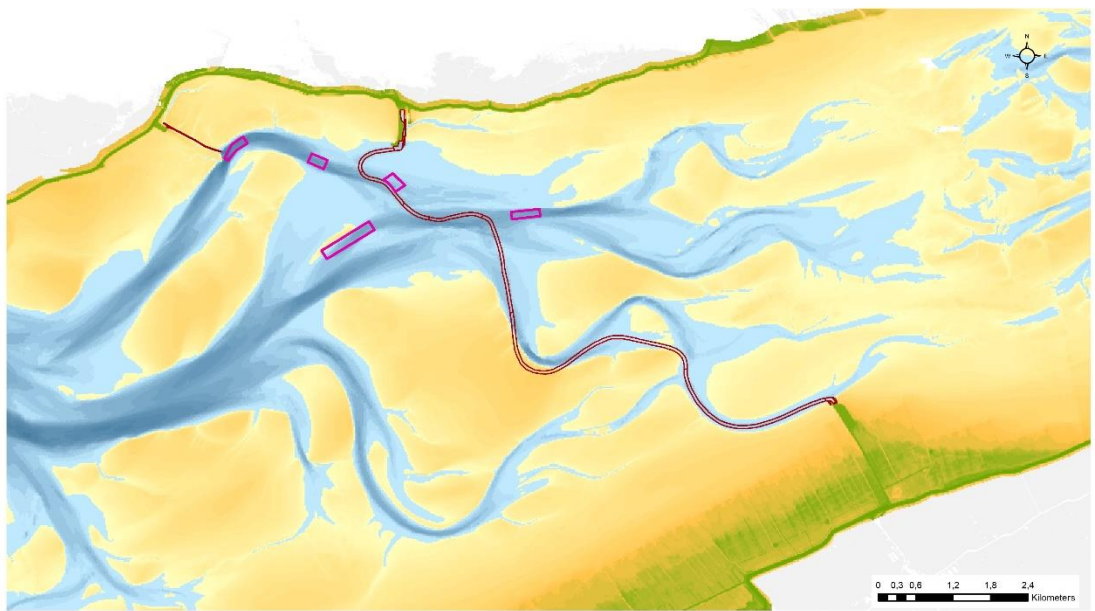
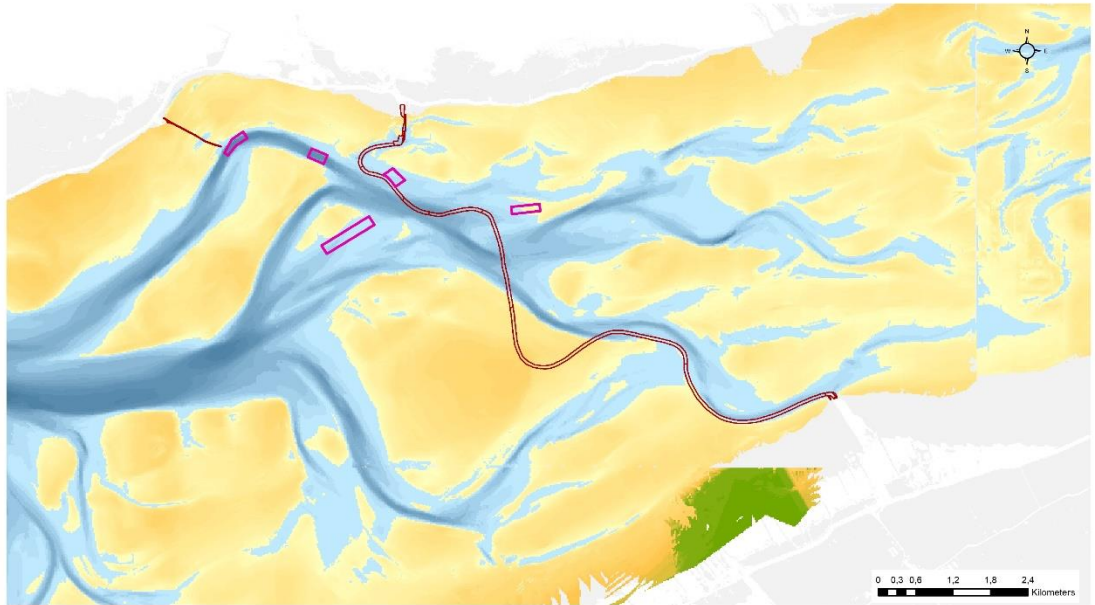
Het jaarlijks gebaggerde volume bij Slenk varieert, zoals verwacht kan worden bij de drempelgebieden.

A.7 Veerboot route naar Ameland - Kombergingsgebied Borndiep

De veerbootroute Ameland omvat een aantal delen, waarover apart de baggervolumes worden gerapporteerd. De vaargeul heeft grote morfologische veranderingen ondergaan, waarbij de locaties waar wordt gebaggerd zijn verplaatst. Vanwege de verschillende beschikbare studies en het lopende onderzoek naar de alternatieven wordt niet ingegaan op de veerbootroute Holwerd-Ameland. De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-21.



Figuur A-21 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak (bron: Rijkswaterstaat)



Diepte meters bron: beheerlodingen Rijkswaterstaat

Actuele baggervakken Rijkswaterstaat	-5 m tot -1 m
Actuele verspeidingslocaties	-1 m tot +1 m
-25 m en meer	+1 m tot +2 m
-10 m tot -25 m	meer dan +2 m
-10 m tot -5 m	



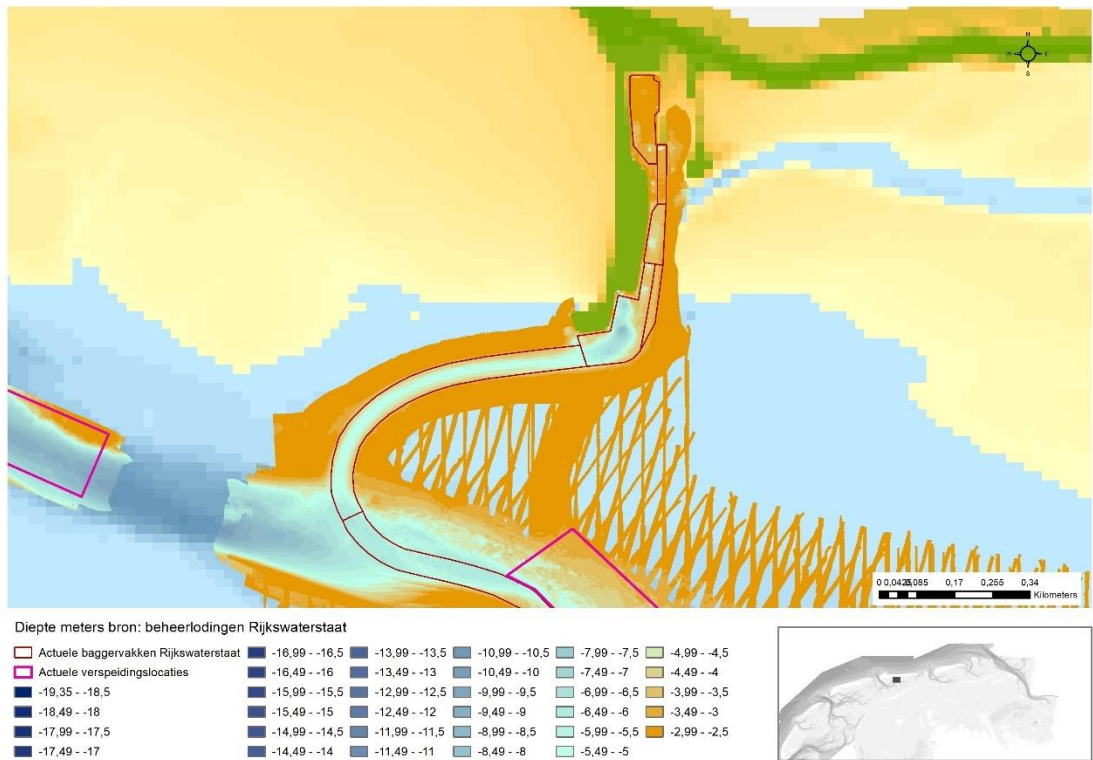
Figuur A-22 Kaarten van de, boven: situatie 1987; onder situatie 2017 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

A.8 Reegeul - Kombergingsgebied Borndiep

De Reegeul is het stukje van de Vaarweg Ameland vlakbij Ameland, dat zich afsplitst van het Brandgat. Na de veerdam loopt de geul verder naar het oosten.

A.8.1 Type

De Reegeul is een staartgeul.



Figuur A-23 Kaart van het baggergebied bij het, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

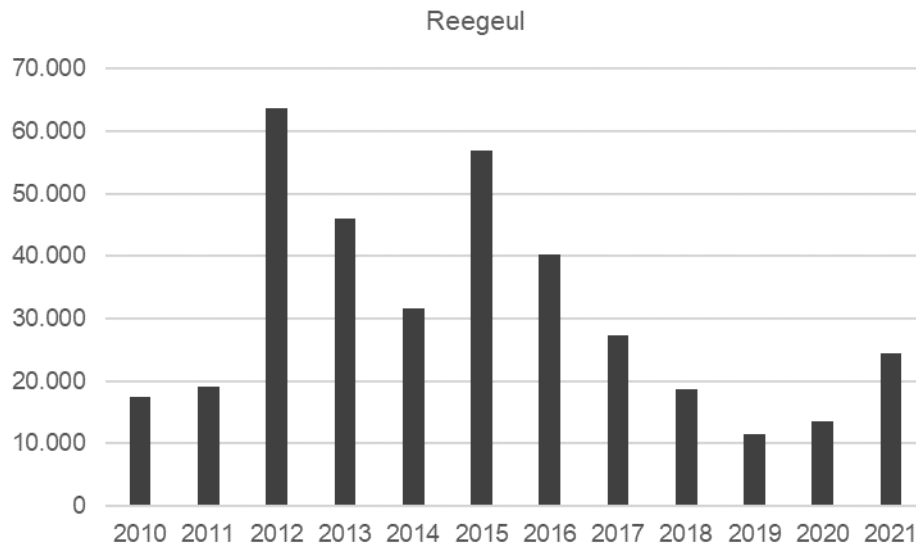
A.8.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-24. Het gemiddelde gebaggerde volume over de totale periode 2010-2021 bedraagt 33.378 m³/jaar;

Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 19.051 m³/jaar;

Laagste baggervolume 2017-2021: 11.400 m³/jaar;

Hoogste baggervolume 2017-2021: 27.200 m³/jaar.



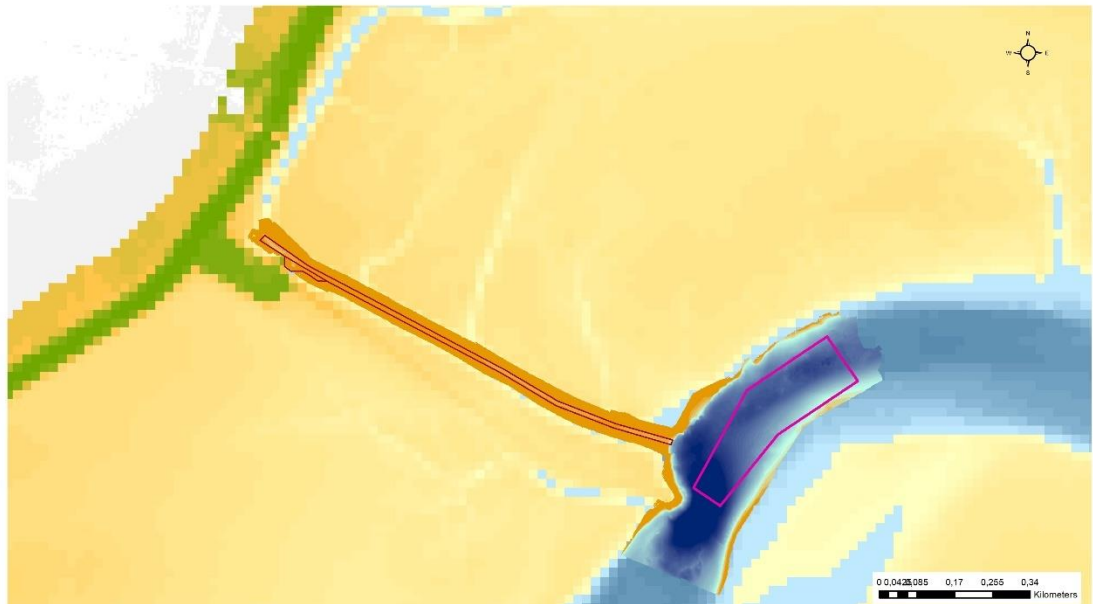
Figuur A-24 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak Reegeul (bron: Rijkswaterstaat).

A.9 Ballumerbocht - Kombergingsgebied Borndiep

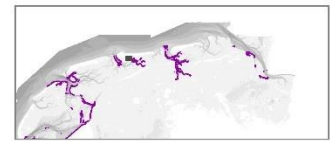
De Ballumerbocht is de geul die parallel aan de lange stroomgeleidingsdam loopt, vanaf de grotere geul Brandgat naar de zuidkust van Ameland (Figuur A-25). Bij Ameland loopt de geul verder parallel aan de dijk. Het gedeelte van de Ballumerbocht dat wordt gebruikt als vaargeul is beperkt tot de geul parallel aan de dam, tot aan de haven. De haven is in gebruik voor de reddingsboot en soms als werkhaven. Het gebruik als werkhaven is gebonden aan werkzaamheden waarbij overslag moet plaatsvinden, zoals bij de dijkversterking van enkele jaren gelden. Ook liggen in deze haven enkele historische reddingsboten.

A.9.1 Type

De Ballumerbocht is een staartgeul.



Diepte meters bron: beheerlodingen Rijkswaterstaat

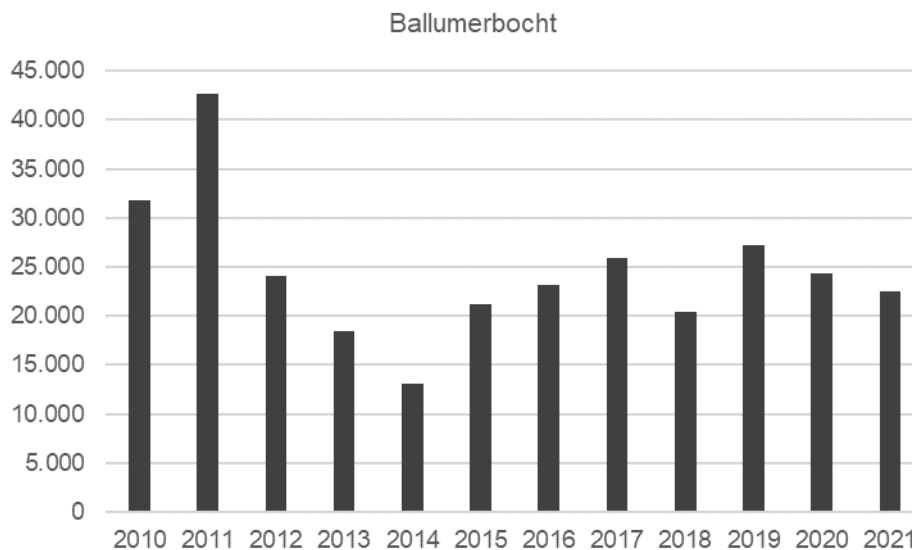


Figuur A-25 Kaart van het baggergebied bij het, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.9.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-26. Het gemiddelde gebaggerde volume over de totale periode 2010-2021 bedraagt 22.046 m³/jaar;

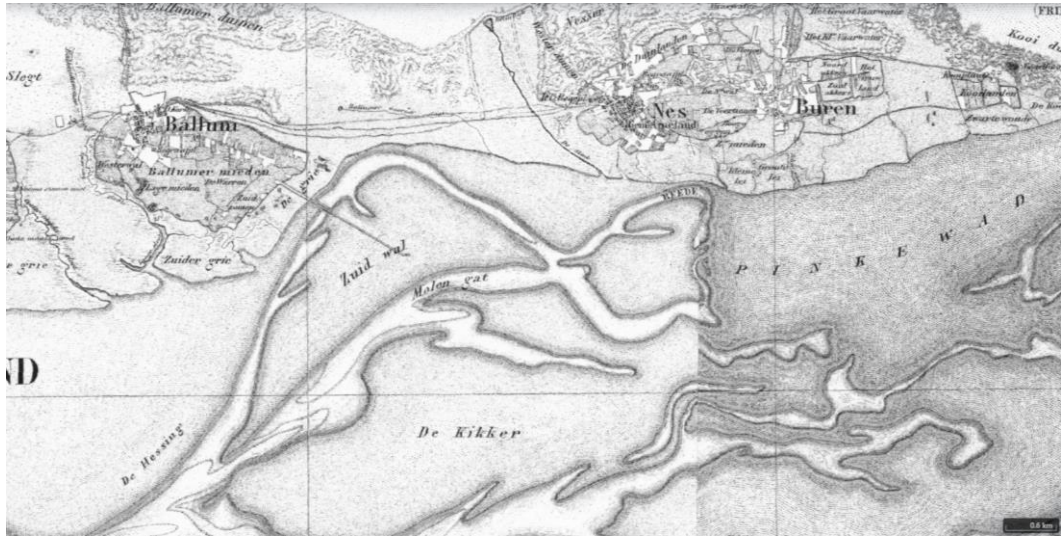
Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 24.073 m³/jaar;
 Laagste baggervolume 2017-2021: 20.410 m³/jaar;
 Hoogste baggervolume 2017-2021: 27.210 m³/jaar.



Figuur A-26 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak Ballumerbocht (bron: Rijkswaterstaat)

A.9.3 Bijzonderheden

De Ballumerbocht is in zijn huidige vorm ontstaan doordat de getijdegeul die de zuidzijde van Ameland de kust aan het eroderen was, doorsneden is met een dam (zie Figuur A-27). Langs de oostzijde van deze dam heeft zich de geul ontwikkeld die het plaatgebied onder Ameland draineert.



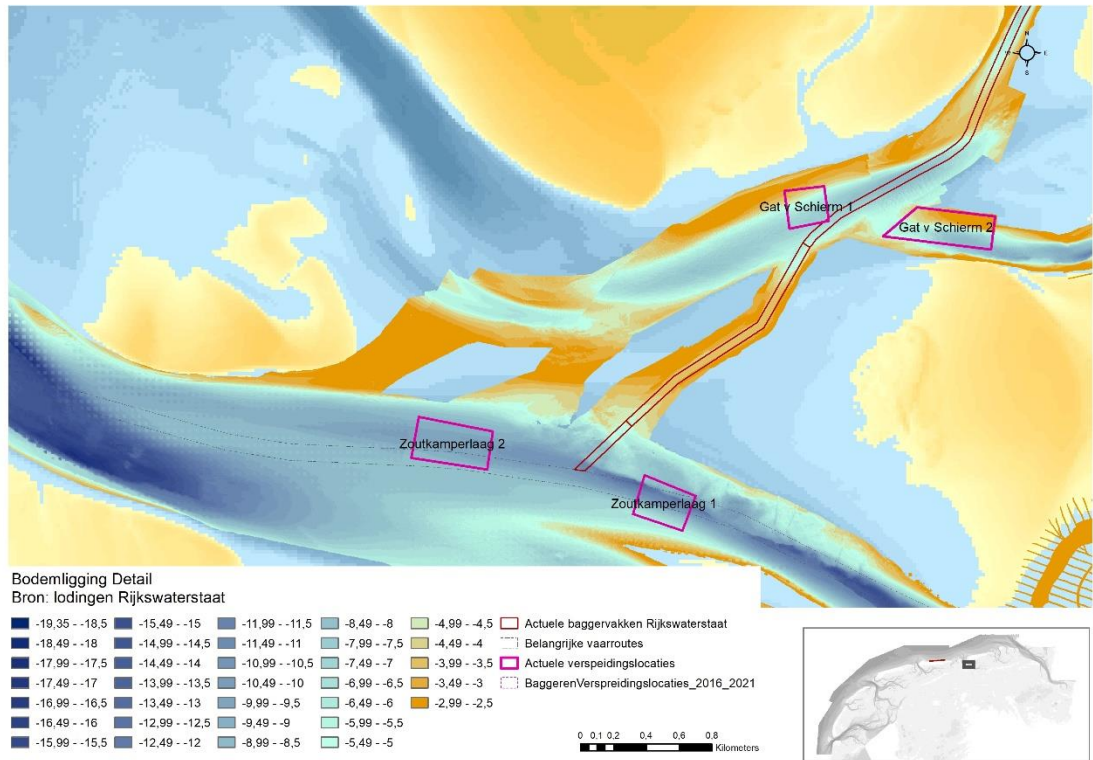
Figuur A-27 Historische kaart (rond 1850) waar in de dam zichtbaar is, die getijdegeul bij Ballum doorsnijdt (bron: website Topotijdreis).

A.10 Glinder – Kombergingsgebied Friesche zeegat

De vaarroute vanaf Lauwersoog naar de veerhaven op Schiermonnikoog loopt vanuit de haven eerst door de hoofdgeul Zoutkamperlaag naar het westnoordwesten. 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 veranderingen in het kombergingsgebied worden deels bepaald door aanpassingen na de afsluiting van de Lauwerszee in 1969. Maar de waargenomen veranderingen aan het Gat van Schiermonnikoog, die voor een deel bepalend zijn voor deze kortsluiting, zijn ook in het verleden al opgetreden, voorafgaand aan de afsluiting van de Zuiderzee. Mogelijk geven de historische kaarten inzicht in de ontwikkelingen van de kortsluiting.

A.10.1 Type

Glinder is een verbinding tussen de twee hoofdgeulen. Een dergelijke verbinding wordt een kortsluitgeul genoemd. Daarmee valt Glinder in de categorie “anders”.

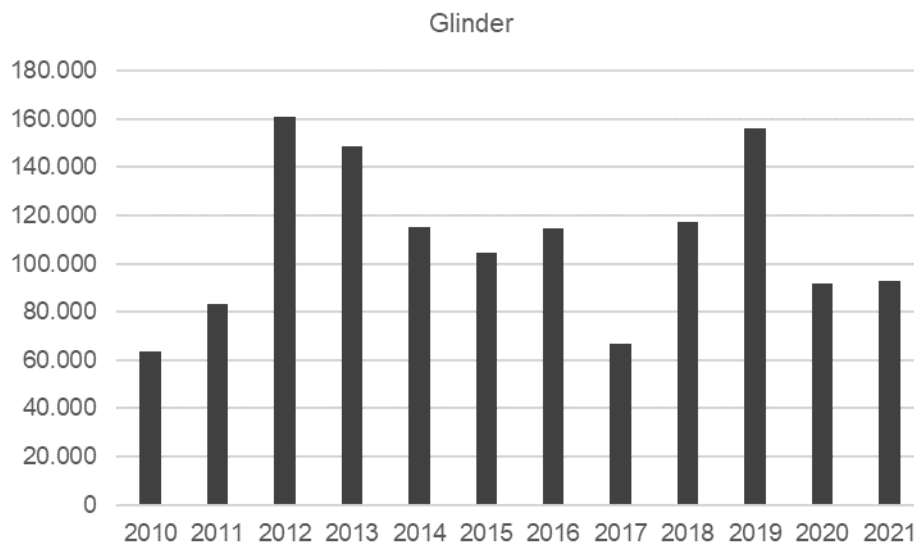


Figuur A-28 Kaart van het baggergebied Glinder, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.10.2 Baggerhoeveelheden

De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-29. Het gemiddelde gebaggerde volume over de periode 2010-2021 bedraagt 116.840 m³/jaar. In de baggervolumes is sprake van flinke variaties, zonder dat sprake is van een duidelijke trend.

Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 104.949 m³/jaar;
 Laagste baggervolume 2017-2021: 66.900 m³/jaar;
 Hoogste baggervolume 2017-2021: 155.975 m³/jaar.

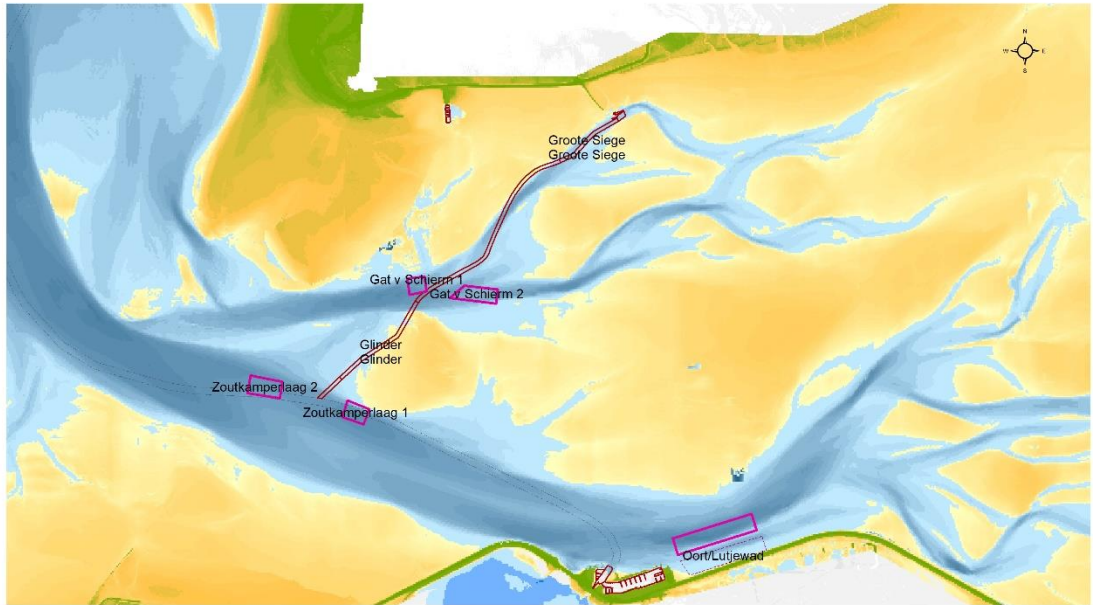


Figuur A-29 Grafiek met de baggervolumes 2021-2021 van het baggervak Glinder (bron: Rijkswaterstaat)

A.10.3 Morfologische ontwikkelingen

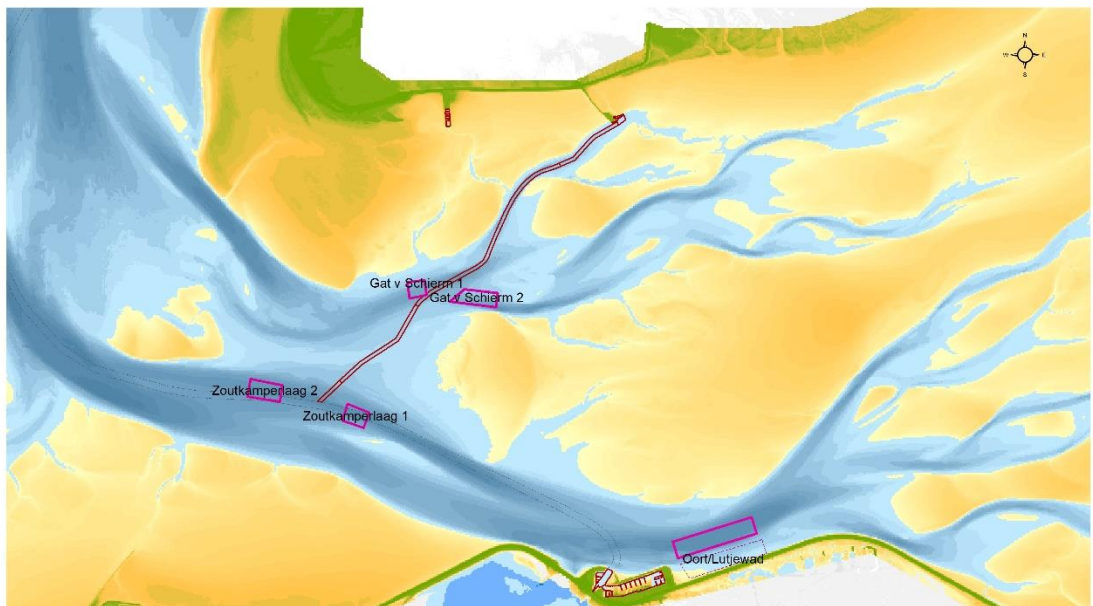
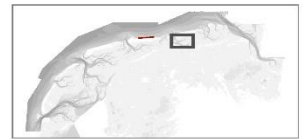
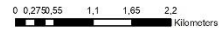
In het Zoutkamperlaag kombergingsgebied hebben zich de afgelopen 40 jaar veel morfologische veranderingen voorgedaan, ook in de omgeving van Glinder. Een deel van de veranderingen is het gevolg geweest van de afsluiting van de Lauwerszee in 1969. Door de afsluiting is het kombergingsvolume van het de Zoutkamperlaag met ongeveer 1/3 afgenomen en heeft een herverdeling van sediment van de buitendelta plaatsgevonden. De kaarten van de bodemligging in Figuur A-30 laten veel verschillen in de bodemligging zien. Opvallende verschillen zijn de verplaatsing van de wadplaat ten oosten Glinder (het Roode Hoofd) naar het oosten. De huidige locatie van de vaargeul loopt waar in 1987 nog deze wadplaat lag. Het Gat van Schiermonnikoog heeft tegenwoordig een eigenstandige verbinding met de buitendelta, terwijl deze geul in 1987 nog ten westen van Glinder met de Zoutkamperlaag verbonden was. En ten westen van Glinder is het wadplaatcomplex Kuipersplaat uitgebreid.

De invloed van de uitgebreide morfologische veranderingen op het kortsluitgebied tussen de Zoutkamperlaag en het Gat van Schiermonnikoog zijn niet helemaal duidelijk. Ook de relatie met het baggerbezwaar is niet duidelijk. Door Mulder (2021a) is een relatie gelegd tussen de morfologische veranderingen en de veranderingen in de baggervolumes. De volumes vóór 2010 zijn in eerste instantie afgenomen vanaf halverwege de jaren '90, om weer tot gemiddeld hogere volumes toe te nemen vanaf 2011-2012.



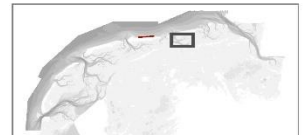
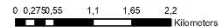
Bodemligging C1

Bron: lodingen Rijkswaterstaat



Bodemligging C6

Bron: lodingen Rijkswaterstaat



Figuur A-30 Kaarten van de, boven: situatie 1987; onder situatie 2015 met in beide kaarten de huidige vaarroute en baggervakken Glinder en Grote Siege in de vaarroute Schiermonnikoog-Lauwersoog. Kaarten op basis van vaklodingen Rijkswaterstaat.

A.10.4 Integratie

Glinder is een bijzondere geul, omdat het een kortsluiting tussen de hoofdgeulen betreft (de andere kortsluitverbinding in de Waddenzee is Slenk, in het kombergingsgebied Vlie, bij Terschelling). De baggervolumes variëren, maar het is nog niet duidelijk in hoeverre deze veranderingen samenhangen met de grote morfologische veranderingen in deze omgeving. Daarmee is het ook lastig om een voorspelling te maken van de toekomstige baggerinspanning die hier geleverd dient te worden.

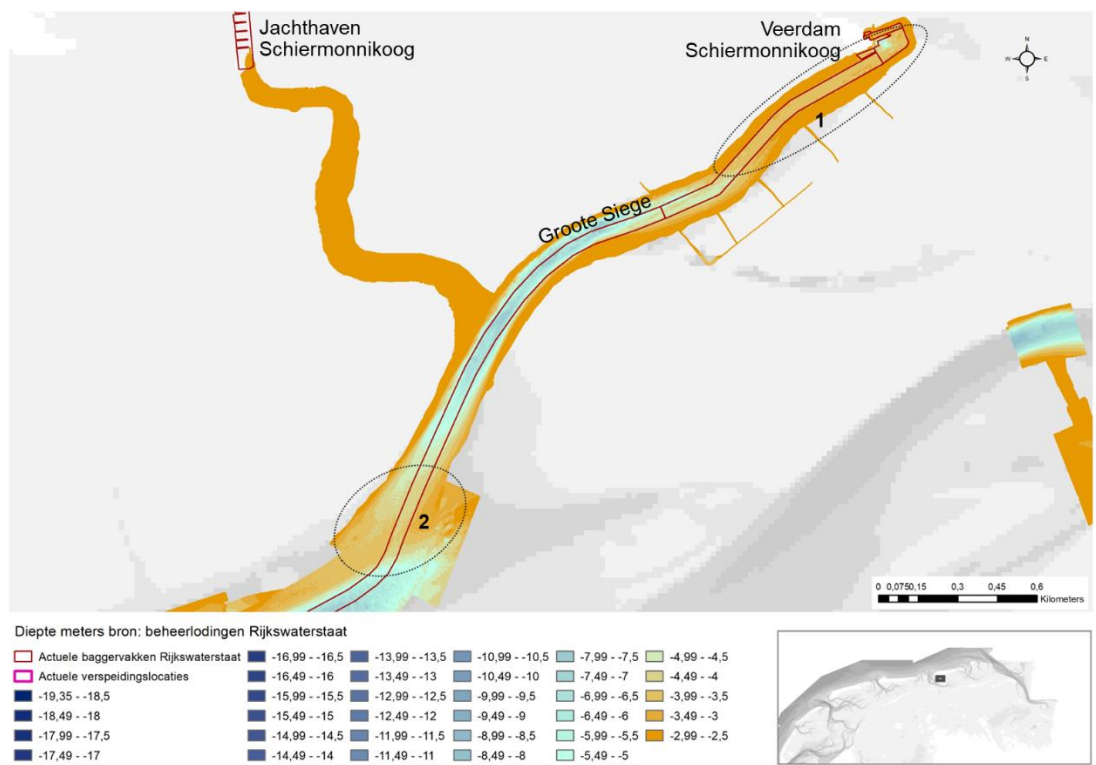
Ten westen van de huidige ligging van Glinder is het kortsluitgebied smaller. Mulder (2021a) suggereert dan ook om onderzoek te doen naar een verplaatsing van Glinder naar het westen. Vanwege de relatief grote morfologische veranderingen in de omgeving, die in potentie gevolgen hebben voor de baggerinspanningen, is Glinder een aandachtsgebied voor dynamische vaargeulbeheer.

A.11 Groote Siege – Kombergingsgebied Friesche zeegat

De Groote Siege is het vervolg van de vaarroute van Lauwersoog naar de veerdam op Schiermonnikoog. Deze geul vormt een aftakking van het Gat van Schiermonnikoog en loopt met enkele geulbochten naar de veerdam, waarbij de geul gaandeweg steeds kleiner (minder breed en minder diep) wordt. Ten oosten van de veerdam loopt de geul verder en heeft daar een verbinding met een andere geul (Sprutel).

A.11.1 Type

In zijn huidige vorm is de Groote Siege een staartgeul. Eerder vormde de Groote Siege een grotere verbinding met een andere geul, in de vorm van een vloedschaar.



Figuur A-31 Kaart van het baggergebied bij de Veerdam van Schiermonnikoog (1), in de geul Siege, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.11.2 Baggerhoeveelheden

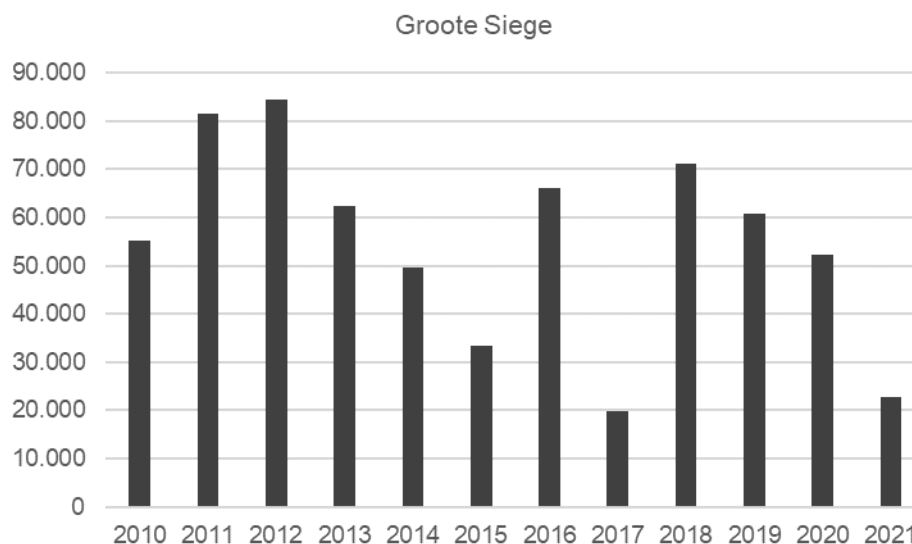
De baggervolumes in de periode 2010-2021 staan in Figuur A-32. Het gemiddelde gebaggerde volume over de periode 2010-2021 bedraagt 52.297 m³/jaar;

Gemiddelde baggervolume 2017-2021: 45.369 m³/jaar;

Laagste baggervolume 2017-2021: 19.847 m³/jaar;

Hoogste baggervolume 2017-2021: 71.181 m³/jaar.

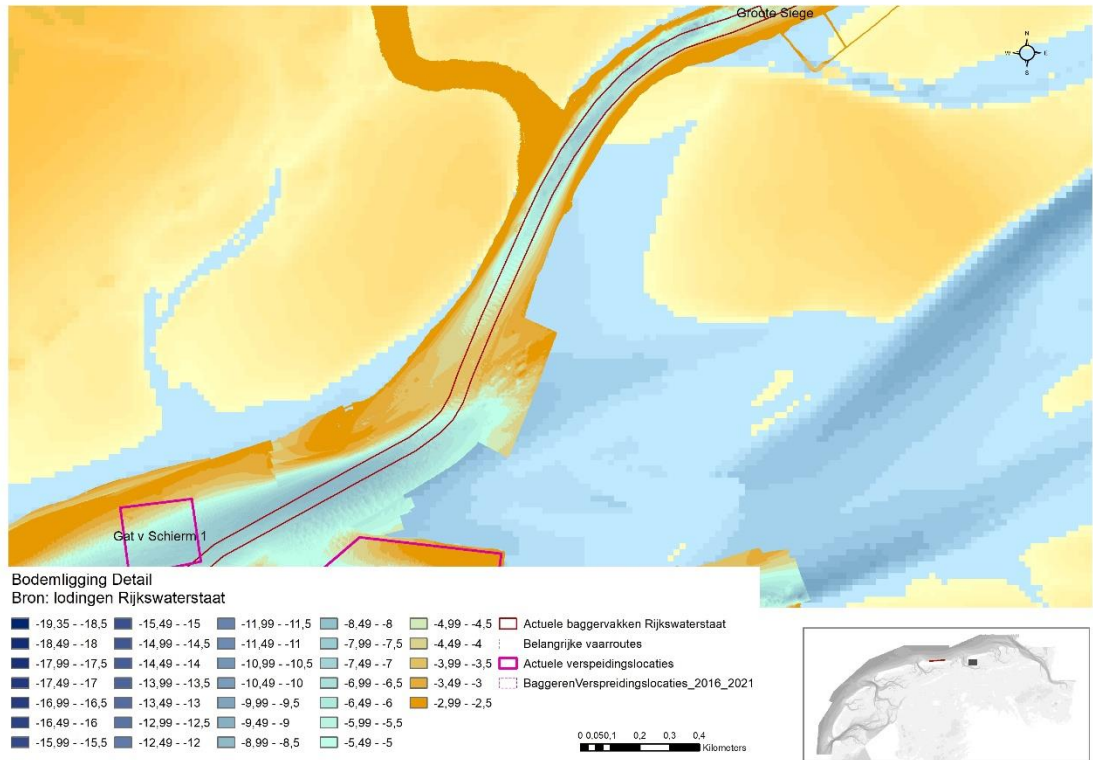
De baggervolumes variëren en laten geen trend zien.



Figuur A-32 Grafiek met de baggervolumes 2010-2021 van het baggervak Groote Siege (bron: Rijkswaterstaat)

A.11.3 Bijzonderheden

Binnen de Groote Siege ligt ook een drempelgebied tussen een eb- en vloed-schaar (2 in Figuur A-31), die in meer detail zichtbaar is in Figuur A-33. Dit is niet de locatie waar gebaggerd wordt, omdat de drempel voldoende natuurlijke diepte heeft. Het is wel mogelijk dat bij een verdere afname van de omvang van Groote Siege deze drempel verondiept, zodat hier een baggeropgave ontstaat.



Figuur A-33 Kaart van het drempelgebied in de Grootte Siege, ten zuidwesten van het gebied waar wordt gebaggerd, op basis van het beheerlodingen bestand van Rijkswaterstaat.

A.11.4 Morfologische ontwikkelingen

In de oudste kaart van de bodemligging in Figuur A-30 is zichtbaar dat de huidige ligging van de vaargeul is veranderd ten opzichte van de oorspronkelijk ligging van geul. De geul is enigszins uitgebocht. En de omvang van de geul is afgenomen, waarbij zowel de breedte als de maximale diepte zijn afgenomen.

Vanwege de afname van omvang van de Grootte Siege ten oosten van de veerdam is de verwachting dat de omvang ten westen van de veerdam ook verder zal afnemen. Het gevolg van zo'n afname van een geulstaart is een toename van de baggervolumes. Een dergelijke toename is nog niet opgetreden in Grootte Siege.

A.11.5 Integratie

Grootte Siege is een staartgeul, die ondanks een zichtbare afname van de omvang van de geul nog geen trendmatige toename heeft opgeleverd van de baggervolumes. Naast de verwachte toename door de afname van de omvang van de staartgeul kan ook een verondieping van de drempel optreden. Alternatieve routes zijn niet beschikbaar voor Grootte Siege.

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl