

Projectplan Waterwet Drempelverwijdering Boontjes

Datum november 2011
Status eindconcept ten behoeve van voortoets

Projectplan Waterwet Drempelverwijdering Boontjes

Datum november 2011
Status eindconcept ten behoeve van voortoets

Colofon

LMR19-3/holj2/033

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat Noord Nederland in samenwerking met provincie Fryslân
Informatie	provincie Fryslân
Telefoon	06 51 44 03 50
Fax	-
Uitgevoerd door	Doeke Haitsma (provincie Fryslân), Berto Meeuwissen, Anke Rouwette (Witteveen+Bos)
Opmaak	-
Datum	november 2011
Status	eindconcept ten behoeve van voortoets
Versienummer	01

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Algemene gegevens	7
1.3	Leeswijzer	8
	Deel I: Besluit drempelverwijdering Boontjes	9
2	Projectbeschrijving drempelverwijdering Boontjes	10
2.1	Probleemstelling	10
2.2	Projectbeschrijving	10
3	Toetsing waterwet	16
3.1	Doelen van de Waterwet	16
3.2	Toetsing	16
3.3	Kwantificering maatschappelijke functie	17
4	Uitvoerbaarheid	18
4.1	M.e.r.-(beoordelings)plicht	18
4.2	Planologische inpassing	18
4.3	Vergunningen	18
4.4	Globale planning	19
4.5	Overige uitvoeringsaspecten	19
4.6	Calamiteiten of ongewoon voorval	19
5	Effecten en mitigatie van effecten	20
5.1	Effecten hydrodynamica en morfologie	20
5.2	Nautische effecten	21
5.3	Effecten ecologie	22
5.4	Economische effecten	23
5.5	Cumulatie	23
5.6	Voorzieningen en mitigatie	23
6	Procedure	24
	Deel II: Achtergronden, varianten en effecten	25
7	Probleemanalyse en proces	26
7.1	Probleemstelling	26
7.2	Aanleiding planstudie	26
7.3	Nut en noodzaak drempelverwijdering	27
7.4	Het proces: MIRT, planstudie en vervolg	28
8	Kaders en raakvlakken	30
8.1	Beleidskaders	30
8.2	Gerelateerde projecten	31
8.3	Omgeving	32

9	Varianten voor drempelverwijdering	33
9.1	Inleiding	33
9.2	Geulafmetingen	33
9.3	Uitvoeringsperiode	36
9.4	Uitvoeringswijze	39
9.5	Toepassing vrijkomend materiaal	43
9.6	Varianten in effectstudies	44
10	Effecten van de varianten	45
10.1	Beoordelingskader	45
10.2	Effecten hydrodynamica en morfologie	46
10.3	Effecten ecologie	48
10.4	Effecten nautiek	49
10.5	Kostenraming	50
11	Doelbereik	51
11.1	Kosten en baten	51
11.2	Resultaten economische analyse	51
11.3	Gevoeligheid resultaten	52
12	Conclusies en voorkeursvariant	54
12.1	Integrale effectbeoordeling	54
12.2	Conclusie voorkeursvariant	54
	Deel III: Bijlagen	55
	Bijlage A Ontwerp drempelverwijdering	
	Bijlage B Golfoverschrijdingstabel	
	Bijlage C Economische analyse	
	Bijlage D Deelrapport hydrodynamica en morfologie	
	Bijlage E Deelrapport ecologie	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de vaarweg Boontjes, tussen Harlingen en Kornwerderzand, bevindt zich een drempel in de bodem, die al vele jaren een probleem vormt voor het scheepvaartverkeer. De drempel creëert over een afstand van ongeveer 2 km een ondiepte in de vaarweg. Door deze ondiepte zijn de tijvensters waarbinnen (grotere) schepen de vaargeul kunnen gebruiken beperkt.

De drempel leidt tot wachttijden en beperking van de reistijdbetrouwbaarheid van en naar de haven van Harlingen. Ook uit het oogpunt van veiligheid vormt de drempel in Boontjes een knelpunt. In de beperkte tijvensters is er sprake van verweving van beroeps- en recreatievaart. Daarnaast leidt de drempel tot incidenten door het vastlopen van schepen.



In 2008 is via het amendement Cramer € 5 miljoen (inclusief BTW) vrijgemaakt voor de drempelverwijdering in de vaarweg Boontjes, tussen Kornwerderzand en Harlingen. Juni 2009 is in een bestuursovereenkomst vastgelegd hoe dit amendement wordt geoperationaliseerd en hoe het Rijk en provincie Fryslân gezamenlijk toewerken naar de uitvoering van de drempelverwijdering.

In de bestuursovereenkomst is vastgelegd dat de drempelverwijdering een Rijksproject is, maar dat de provincie verantwoordelijk is voor de uitvoering van de planstudie ter onderbouwing van het besluit tot uitvoering. Daarna is Rijkswaterstaat, directie Noord Nederland verantwoordelijk voor de uitvoering van het werk alsmede voor het beheer en onderhoud.

Op grond van artikel 5.4, eerste lid van de Waterwet dient in de planstudie voor de drempelverwijdering Boontjes een projectplan Waterwet opgesteld te worden. Een projectplan Waterwet bevat een beschrijving van het betrokken werk, de wijze waarop dat zal worden uitgevoerd, alsmede een beschrijving van de te treffen voorzieningen, gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen van de uitvoering van het werk.

1.2 Algemene gegevens

Initiatiefnemers planstudie

Initiatiefnemer	:	Provincie Fryslân en de Staat der Nederlanden
Projectleider	:	de heer D. Haitsma
Adres	:	Snekertrekweg 1
Postcode/woonplaats	:	8912 AA Leeuwarden
Postadres	:	Postbus 20120 8900 HM Leeuwarden
Algemeen telefoonnummer	:	058 292 59 25

Bevoegd gezag

Bevoegd gezag voor het Projectplan Waterwet is de beheerder van het betreffende waterstaatswerk. Voor de drempelverwijdering is Rijkswaterstaat Dienst Noord Nederland, Hoofd Afdeling WSE, de beheerder.

1.3 Leeswijzer

Dit projectplan Waterwet is opgebouwd uit drie delen. Het eerste deel is opgezet conform het model dat door Rijkswaterstaat is opgesteld voor invulling van een projectplan Waterwet. Dit deel start met een beschrijving van het werk, de uitvoering daarvan en het doelbereik in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt de drempelverwijdering getoetst aan de Waterwet. Vervolgens gaat hoofdstuk 4 in op de uitvoerbaarheid, waarbij onder andere wordt ingegaan op planologische inpassing, m.e.r.(beoordelings)plicht en benodigde vergunningen. Hoofdstuk 5 geeft een toelichting op verwachte effecten van de drempelverwijdering en beschrijft eventuele mitigerende maatregelen. Het eerste deel sluit tenslotte af met de beschrijving en ondertekening van de projectplan procedure in hoofdstuk 6.

Het tweede deel van het projectplan vormt een onderbouwing van en toelichting op het eerste deel. Dit deel heeft een 'MER-achtige' vorm, conform de afspraken in de bestuursovereenkomst. Er wordt verder ingegaan op achtergronden en varianten voor de drempelverwijdering en het tweede deel geeft een uitgebreidere effectbeschrijving. Dit deel start met de probleemanalyse en een toelichting op het proces in hoofdstuk 7. In dit hoofdstuk is ook de afweging van nut en noodzaak opgenomen. Vervolgens gaat hoofdstuk 8 in op de (beleids)kaders voor het project drempelverwijdering Boontjes en raakvlakken met andere projecten en de omgeving.

Hoofdstuk 9 geeft een beschrijving van de varianten die in de planstudie zijn onderzocht en de opbouw van deze varianten. In de effectstudies zijn drie varianten meegenomen, de resultaten van de studies worden beschreven in hoofdstuk 10. Aansluitend wordt in hoofdstuk 11 ingegaan op het doelbereik op basis van een economische analyse. Deel twee sluit vervolgens af met een integrale effectvergelijking en conclusies en advies in hoofdstuk 12.

Het derde deel van het projectplan bestaat uit de bijlagen behorende bij de eerste twee delen. Daartoe hoort onder andere een deelrapportage over hydrodynamische en morfologische effecten en het deelrapport ecologie dat ten grondslag heeft gelegen aan de vergunningaanvraag Nb-wet.

Deel I: Besluit drempelverwijdering Boontjes

De Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu besluit, gelet op artikel 5.4, eerste lid, van de Waterwet, het onderhavige projectplan tot verwijdering van de drempel in de vaarweg Boontjes tussen Kornwerderzand en Harlingen vast te stellen en uit te voeren in overeenstemming met het bepaalde in dit projectplan.

Projectbeschrijving

Ingevolge artikel 5.4, eerste lid van de Waterwet geschiedt de aanleg of wijziging van een waterstaatswerk door of vanwege de beheerder overeenkomstig een daartoe door hem vast te stellen projectplan.

Op grond van het tweede lid van artikel 5.4 dient het plan tenminste een beschrijving te bevatten van het betrokken werk en de wijze waarop het wordt uitgevoerd, alsmede een beschrijving van de te treffen voorzieningen gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen van de uitvoering van het werk.

Deze beschrijvingen zijn opgenomen in de navolgende hoofdstukken.

2 Projectbeschrijving drempelverwijdering Boontjes

2.1 Probleemstelling

In de vaarweg Boontjes, tussen Harlingen en Kornwerderzand, bevindt zich een drempel in de bodem. Deze drempel creëert over een afstand van ongeveer 2 km een ondiepte in de vaarweg. Door deze ondiepte zijn de tijvensters waarbinnen (grotere) schepen de vaargeul kunnen gebruiken beperkt.

De drempel leidt tot wachttijden en beperking van de reistijdbetrouwbaarheid van en naar de haven van Harlingen. Ook uit het oogpunt van veiligheid vormt de drempel in Boontjes een knelpunt. In de beperkte tijvensters is er sprake van verweving van beroeps- en recreatievaart. Daarnaast leidt de drempel tot incidenten door het vastlopen van schepen.

2.2 Projectbeschrijving

Drempelverwijdering Boontjes betreft de volgende werkzaamheden:

- het realiseren van een vaarwegprofiel met diepte van 3,80 m - NAP en bodembreedte van 100 m in de vaarweg Boontjes tussen Harlingen en Kornwerderzand;
- het transport van het vrijkomende materiaal bij de baggerwerkzaamheden;
- het zo mogelijk nuttig toepassen conform art 35d van het Besluit Bodemkwaliteit (BBK) en/of het verspreiden van het vrijkomende materiaal in de Waddenzee;
- vijf jaar onderhoud van de vaargeul of zoveel langer als het door de Tweede Kamer beschikbaar gestelde budget mogelijk maakt,
- het voorbereiden van een besluit over de organisatie en financiering van het onderhoud na deze periode.

2.2.1 *Het vaarwegprofiel*

Het toekomstige vaarwegprofiel, conform de bestuursovereenkomst, heeft een nautische diepte NAP - 3,80 m, een nautische breedte van 100 m en taluds van 1:10. Dit houdt in dat de drempel over ongeveer 5 km wordt verwijderd, waarbij over een afstand van ongeveer 2 km sprake is van een aanzienlijke aanpassing van de bodemdiepte en voor de rest van de afstand van het 'afschrapen' van de bodem. De nautische breedte van 100 m sluit aan op de gemiddelde breedte van de vaarweg Boontjes, er is geen sprake van verbreding van de vaargeul buiten het verwijderen van de drempel¹.

De bodemdiepte direct na baggeren bedraagt NAP - 4,30 m. Aangezien in een dynamisch systeem als de Waddenzee sprake is van erosie en sedimentatie kan het nautische profiel van Boontjes na drempelverwijdering alleen gegarandeerd worden als bij het baggeren een zekere overdimensionering wordt aangehouden. Daarmee ontstaat ruimte voor (de verwachte) sedimentatie, zodat niet voordurend

¹ In de Richtlijn Vaarwegen 2005 wordt voor de Waddenzee een vaargeulbreedte van tenminste 150 m aanbevolen. Deze aanbeveling wordt voor Boontjes niet overgenomen in aansluiting op de bestaande vaargeulbreedte en om de ingreep in het gebied te beperken.

onderhoudsbaggerwerk hoeft plaats te vinden, maar dit incidenteel kan worden uitgevoerd. De initiële baggerhoeveelheid² bedraagt 525.000 m³.

Afbeelding 2.1 laat de locatie en het ontwerp voor de drempelverwijdering zien. In deze afbeelding zijn het huidige bodemprofiel, het te realiseren vaarwegprofiel en het initiële baggerprofiel weergegeven. Een complete ontwerptekening is opgenomen in bijlage A.

2.2.2 *Verspreiding vrijkomend materiaal*

Het vrijkomend materiaal wordt conform het BBK verspreid in de Waddenzee. Het materiaal wordt verdeeld over twee verspreidingslocaties (zie ook afbeelding 9.2):

- de sublitorale platen langs de vaargeul bij de aanlanding van de Afsluitdijk ter hoogte van Kornwerderzand (nuttige toepassing conform art 35d);
- het diepste deel van de vaargeul Boontjes (tussen boeienpaar BO11 en BO12, coördinaten 152.800 X, 567.000 Y). Wanneer al het vrijkomend materiaal hier wordt verspreid, wordt de diepte tot ongeveer - 9.0 m NAP opgevuld (verspreiding conform art 35g).

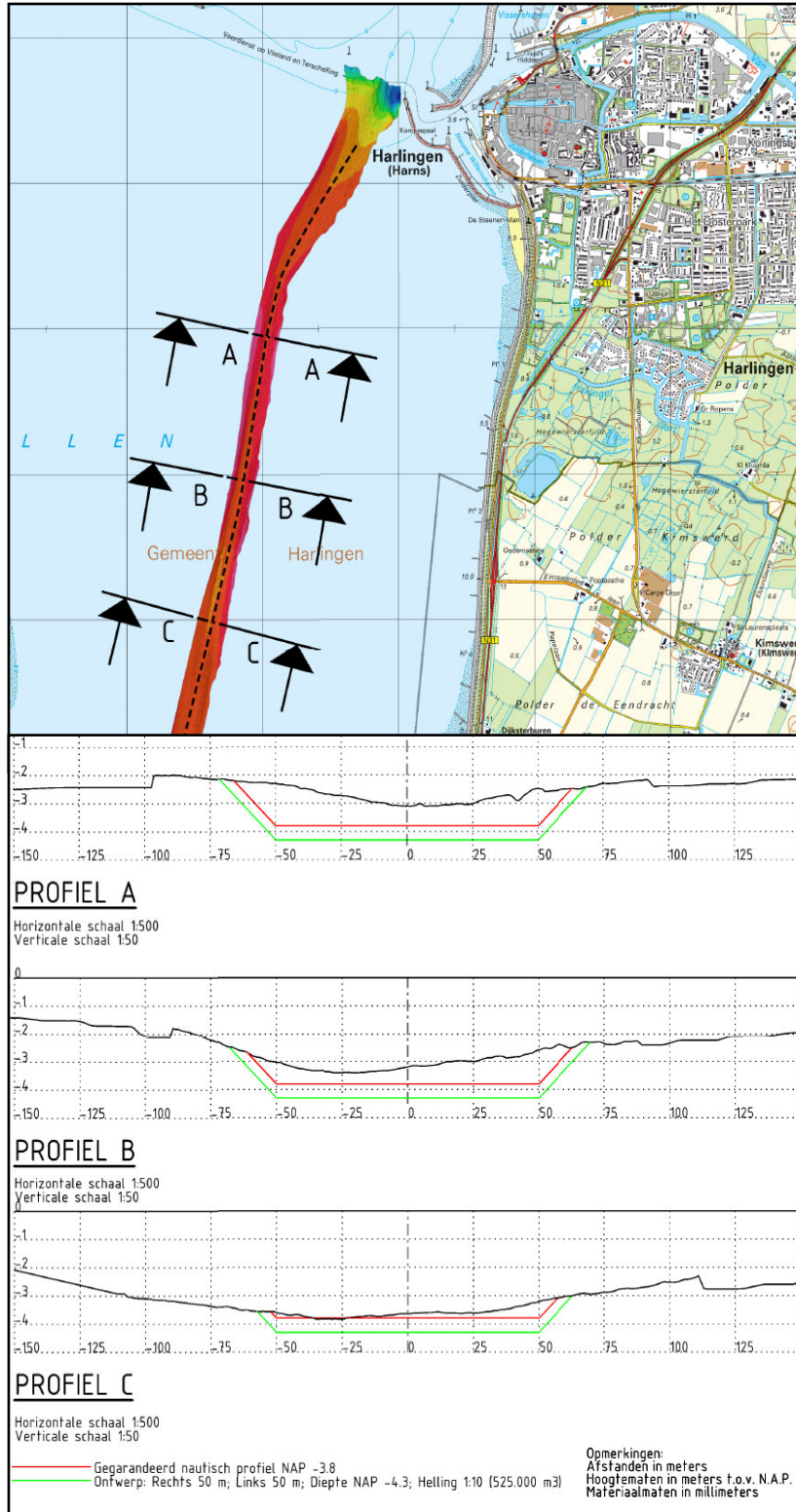
Het doel van verspreiding van het vrijkomend materiaal op de sublitorale platen is het stimuleren van de huidige verkweldering en het opdoen van kennis over deze morfologische processen in de randzones van het Wad op basis van monitoring. Door het verspreiden van het materiaal op een aantal locaties op de platen worden sublitorale zandruggen gevormd. Hierdoor ontstaat een luwe zone in het gebied tussen/achter de zandruggen, waarmee het proces van aanzanding en verkweldering in het gebied wordt gestimuleerd.

Het is niet exact te voorspellen in hoeverre het materiaal blijft liggen op de platen. De pilot wordt daarom gecombineerd met monitoring om op basis daarvan kennis op te doen over de morfologische processen in het gebied. Het stimuleren van kweldervorming in de westelijke Waddenzee draagt bij aan de doelen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) voor dit gebied.

² Voor berekening van de te baggeren hoeveelheden is gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten uit de Voorstudie (2007) Aangezien deze onderzoeksresultaten niet het gehele profiel afdekken is ook Bathymetrische data van de service desk data van Rijkswaterstaat gebruikt, die op 10 aug 2009 ontvangen is.

Afbeelding 2.1.

Ontwerp drempelverwijdering (drie doorsnedes met huidig, nautisch en initieel profiel)



2.2.3 Uitvoeringswijze

Methode en materieel

De baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd door een sleephopperzuiger. Bij het verwijderen van de drempel wordt gebruik gemaakt van doorladen. De zwaardere deeltjes (met name zand) bezinken in de beun. Bij het doorladen stroomt het water (met de lichtere slibdeeltjes) over de beun en neemt het percentage zand in de beun toe. Voordeel van deze methode is het efficiëntere transport naar de verspreidingslocaties en daarmee beperking van transportbeweging en kosten. Nadeel is de vertroebeling ter plaatse van de baggerwerkzaamheden.

De sleephopperzuigers gedragen zich tijdens de baggerwerkzaamheden als langzaam varende schepen. Afmetingen van deze schepen zijn in lijn met de vrachtschepen die gebruik maken van het kanaal (breedte is ca. 12m, lengte ca. 70m). Tijdens de werkzaamheden kunnen andere schepen de sleephopperzuiger passeren, alleen op momenten dat het middendeel van de vaargeul wordt verdiept zal dit tijdelijk worden verhinderd.

De verwerking van het opgebaggerde materiaal op de verschillende bestemmingen voor verspreiding zal als volgt zijn:

- op de sublitorale platen bij de aanlanding Afsluitdijk: walpersen met horizontaal eindigende leiding, vaarafstand: 5 km;
- in het diepste deel van de vaargeul Boontjes: onderlossen, vaarafstand: 5 km.

Bij het walpersen wordt de sleephopperzuiger, nabij de verspreidingslocatie, gekoppeld aan een persleiding. Via deze persleiding wordt het gebaggerde materiaal naar de eindbestemming geperst.

Hoeveelheden, producties en kosten

De totaal vrijkomende hoeveelheid baggermateriaal bedraagt 525.000 m³. Het baggermateriaal bestaat voor ongeveer 55 % uit zand, 35 % uit klei en 10 % uit leem. De drempel is opgebouwd uit dunne lagen van de verschillende grondsoorten, waardoor het lastig is de grondsoorten gescheiden te ontgraven. De grondsoorten worden daarom grotendeels gemengd ontgraven en ook al mengsel verspreid op de toepassingslocaties. Een gedeelte van het materiaal (met name zand) zal daar achterblijven. Tabel 2.1 geeft een overzicht van snelheden, kosten en uitvoeringsduur voor de werkzaamheden.

Tabel 2.1.

Kenmerken uitvoering drempelverwijdering

	productie (m³/week)	prijs (EUR/m³)³
baggeren zandig materiaal en verspreiden in diepste deel Boontjes	~ 22.000	4,9
baggeren klei/leem en verspreiden in diepste deel Boontjes	~ 18.000	6,1
baggeren en verspreiden zandig materiaal in het gebied bij aanlanding Afsluitdijk ⁴	~ 15.000	8,7

³ Prijs exclusief BTW, mobilisatie en demobilisatie.

De kenmerken uit tabel 2.1 leiden tot de volgende inschattingen voor uitvoeringsduur en kosten:

- volledig verspreiden materiaal in het diepste deel van Boontjes: kosten EUR 2,9 miljoen (exclusief BTW), uitvoeringsduur 26 weken met 1 schip, 13 weken met 2 schepen;
- gedeeltelijk verspreiden van het materiaal bij de aanlanding Afsluitdijk (200.000 m³): meerkosten EUR 0,8 miljoen (exclusief BTW), uitvoeringsduur 30 weken met 1 schip, 15 weken met 2 schepen. Voor deze meerkosten zal aanvullende financiering moeten worden gevonden.

De raming heeft een onzekerheidsmarge van 25 %. Een belangrijk risico in de raming is een afwijkende bodemsamenstelling. Wanneer het aandeel klei en leem in de drempel groter is dan verwacht of wanneer er sprake is van relatief harde lagen, daalt de productie van het baggerproces en stijgen de kosten.

Uitvoeringsperiode

Mogelijke uitvoeringsperiodes (op basis van ecologie, recreatie en techniek) voor de werkzaamheden zijn:

- najaarperiode: oktober tot december (10-12 weken);
- zomerperiode: juni tot half juli (6 weken, eventuele uitwijkmogelijkheid).

De voorkeursperiode voor de uitvoer is het najaar. De exacte uitvoeringsperiode is afhankelijk van de voorschriften vanuit de Nb-wet vergunning.

2.2.4 *Onderhoud*

Onderdeel van het project is 5 jaar onderhoud na verwijdering van de drempel. Het onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd met behulp van een sleephopper. De aanzanding ter plaatse van de drempel wordt uit de geul verwijderd. De verwachte aanzanding bedraagt 30.000 m³/jaar.

Wanneer wordt uitgegaan van vierjaarlijks onderhoudsbaggerwerk bedragen de jaarlijkse kosten maximaal 160 duizend Euro.

2.2.5 *Monitoring en evaluatie*

Door een onafhankelijke commissie van experts (voor dit project ingevuld door een werkgroep van de commissie m.e.r.) is het advies gegeven om een monitoringsplan te ontwikkelen waarmee veranderingen ten gevolge van de ingreep in Boontjes kunnen worden vastgesteld. Monitoring kan plaatsvinden op basis van meting van hydrodynamica, golven en stroming met een ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

Vanuit het project Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (ESA) wordt een meetpaal geplaatst in de Waddenzee. Het advies vanuit het project Boontjes is om tegelijkertijd met de meetpaal een ADCP te plaatsen. De kosten van de ADCP kunnen vanuit het budget voor de drempelverwijdering worden betaald. Het project drempelverwijdering Boontjes is te beperkt om een volledig eigen monitoring op te zetten. Wanneer een ADCP naast de meetpaal wordt geplaatst kunnen de meetgegevens van de verschillende instrumenten worden gecombineerd om meer inzicht te krijgen in de veranderingen in het gebied.

Naast deze monitoring van de effecten van de drempelverwijdering wordt ook monitoring gekoppeld aan de toepassing van het vrijkomende materiaal. Voor het verspreidingsgebied bij de aanlanding van de Afsluitdijk wordt tenminste 10 jaar monitoring uitgevoerd met behulp van multibeam peilingen en luchtfoto's.

3 Toetsing waterwet

3.1 Doelen van de Waterwet

De toepassing van de Waterwet is op grond van artikel 2.1 van de Waterwet gericht op:

- a. voorkoming en waar nodig beperking van overstromingen, wateroverlast en waterschaarste, in samenhang met;
- b. bescherming en verbetering van de chemische en ecologische kwaliteit van watersystemen en;
- c. vervulling van maatschappelijke functies door watersystemen.

De drempelverwijdering mag niet in strijd zijn met bovengenoemde doelstellingen van de Waterwet. Hier wordt in paragraaf 3.2 op ingegaan.

3.2 Toetsing

Voorkoming/beperking overstromingen, wateroverlast en waterschaarste

De hydrodynamische effecten van verwijdering van de drempel in de vaargeul Boontjes worden beschreven in paragraaf 5.1 en de bijbehorende bijlagen. Uit de effectstudies wordt geconcludeerd dat de drempelverwijdering geen significante effecten heeft in relatie tot dit eerste doel van de Waterwet.

Bescherming en verbetering van de chemische en ecologische kwaliteit

De chemische en ecologische effecten van de verwijdering van de drempel in de vaargeul Boontjes worden beschreven in paragraaf 5.1 en bijbehorende bijlagen. Uit de effectstudies wordt geconcludeerd dat er geen significante, negatieve effecten zijn in relatie tot dit doel van de Waterwet. Daarnaast draagt de toepassing van het vrijkomende materiaal bij de aanlanding van de Afsluitdijk bij aan de KRW-doelen voor het gebied door stimulering van kweldervorming in de westelijke Waddenzee.

Vervulling van maatschappelijke functies

De vaargeul Boontjes heeft een verkeersfunctie voor zowel beroepsvaart als recreatievaart. Door verwijdering van de drempel wordt het tijvenster waarin scheepvaart de vaargeul kan gebruiken vergroot. Hiermee heeft de drempelverwijdering een positief effect voor de scheepvaart door wachttijdreductie en verbetering van de veiligheid.

Uit bovenstaande wordt geconcludeerd dat de drempelverwijdering in de vaargeul Boontjes niet in strijd is met de doelstellingen van de Waterwet. In de volgende paragraaf is gekwantificeerd in hoeverre het project maatschappelijke functies vervult.

De nuttige toepassing van het vrijkomende materiaal draagt daarnaast bij aan de KRW-doelen voor de westelijke Waddenzee.

3.3 Kwantificering maatschappelijke functie

Voor het bepalen van het doelbereik van de drempelverwijdering is een economische analyse uitgevoerd (bijlage C bij dit projectplan).

De kosten van drempelverwijdering zijn de initiële baggerkosten en de kosten voor het onderhoudsbaggeren.

Baten van de drempelverwijdering zijn:

- reductie van wachttijden vrachtvervoer;
- lagere terminal kosten en vermindering transport over de weg;
- besparing in verband met betere bulkbelading;
- modal shift effect (toename vervoer over water in plaats van over de weg);
- verbetering veiligheid;
- nuttige toepassing van het gebaggerde materiaal uit Boontjes op verspreidingslocaties;
- reductie van wachttijden recreatievaart.

De baten van reductie van wachttijden en besparingen op transport en terminalkosten zijn gekwantificeerd. De overige baten zijn kwalitatief meegenomen in de uiteindelijke beoordeling van het project. Tabel 2.2 geeft een samenvatting van de resultaten van de kosten-batenanalyse (KBA) voor de drempelverwijdering.

Tabel 3.1.

Samenvatting KBA
drempelverwijdering
Boontjes (EUR, exclusief
BTW)

	2010	2020	2030	2040
kosten initieel baggeren - 2.873.000				
baten wachttijd	308.000	443.000	663.000	864.000
besparing transport en terminal kosten	55.000	94.000	163.000	281.000
besparing ivm belading bulk	60.000	86.000	136.000	174.000
kosten onderhoudsbaggeren	- 163.000	- 216.000	- 287.000	- 383.000
netto baten	260.000	407.000	675.000	936.000
terugverdientijd initiële kosten 9 jaar				
IRR 13,0 %				

De drempelverwijdering wordt op basis van deze kengetallen als economisch haalbaar beoordeeld met een rentabiliteit van ongeveer 13 % en een terugverdientijd van 9 jaar.

4 Uitvoerbaarheid

4.1 M.e.r.-(beoordelings)plicht

Met het wijzigen van het Besluit m.e.r. is het project drempelverwijdering Boontjes per 1 januari 2012 m.e.r.-beoordelingsplichtig. Op voorhand is daarom besloten de procedure m.e.r.-beoordeling te doorlopen, waarbij het plan van aanpak voor de planstudie van Rijkswaterstaat Noord-Nederland als aanmeldnotitie is ingediend met daarbij de voorstudie als inhoudelijke onderbouwing.

Op basis van de Voorstudie is geconcludeerd dat de effecten van drempelverwijdering Boontjes zeer beperkt zijn. De effecten op natuur worden daarnaast zorgvuldig in beeld gebracht in het kader van de Passende beoordeling. Het doorlopen van de m.e.r.-procedure heeft geen meerwaarde om het milieubelang volwaardig in de besluitvorming mee te nemen. De conclusie van de m.e.r.-beoordeling is dat drempelverwijdering Boontjes niet m.e.r.-plichtig is. Op basis van het plan van aanpak van Rijkswaterstaat Noord-Nederland is (nu nog: wordt) dit in een apart besluit vastgelegd.

4.2 Planologische inpassing

Op grond van de Wet ruimtelijke ordening (Wro) is voor het gebied waar het project zal worden uitgevoerd het bestemmingsplan van de gemeente Harlingen vastgesteld. De voorgenomen activiteit past binnen het geldende bestemmingsplan.

Een mogelijke toepassing van het vrijkomende materiaal voor natuurontwikkeling bij de aanlanding van de Afsluitdijk valt binnen het grondgebied van de gemeente Súdwest Fryslân. Het bestemmingsplan voor het gebied rond het beoogde toepassingsgebied is breed (water en Waddenzee) en hierbinnen zijn mogelijkheden voor toepassing van vrijkomend materiaal voor natuurontwikkeling.

4.3 Vergunningen

Voor de drempelverwijdering zijn naast het projectplan Waterwet de volgende vergunningen/ontheffingen verplicht:

- Natuurbeschermingswet (Nbw) vergunning: ten behoeve van de Nbw is een passende beoordeling opgesteld voor de ingreep drempelverwijdering Boontjes. De vergunningaanvraag en passende beoordeling zijn ingediend bij het bevoegd gezag, het Ministerie van EL&I. De procedure voor de Nbw vergunning loopt parallel aan de procedure voor het projectplan Waterwet;
- Flora- en faunawet (FFw) ontheffing: het Ministerie van EL&I is ook voor de FFw het bevoegd gezag. Ontheffingsplicht in het kader van de FFw wordt beoordeeld op basis van de uitkomsten van de passende beoordeling. Een ontheffing wordt gelijktijdig met de Nb-wet vergunning aangevraagd;
- melding in het kader van het Besluit Bodemkwaliteit (BBK): voor de drempelverwijdering is een melding BBK noodzakelijk. Deze melding wordt kort voor start van de uitvoering van het werk gedaan bij het meldpunt bodemkwaliteit door de aannemer. Voor de verspreiding van het vrijkomend materiaal uit de drempelverwijdering geldt dat dit moet voldoen aan artikel 35 van het BBK. Toepassing van het materiaal voor natuurontwikkeling is mogelijk binnen dit artikel (lid d). De melding wordt beoordeeld door het bevoegd gezag Rijkswaterstaat Noord-Nederland;

- ontheffing ingevolge van de scheepvaartverkeerswet voor tijdelijke verstoring van de scheepvaart, en voor ligplaats nemen voor verwijdering van de drempel. Deze ontheffing wordt aangevraagd door de aannemer bij het bevoegd gezag, het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

4.4 Globale planning

Vanwege de maatschappelijke druk om voortvarend de drempel te verwijderen, het constructieve participatieproces met belanghebbenden en de geringe omvang van de verwachte effecten, heeft de projectgroep Boontjes (RWS NN en provincie Fryslân) tijdens de opstelling van het Plan van Aanpak besloten om de Awb-procedure 4.1 te volgen. Daarbij was het mogelijk om eind 2012 te komen tot uitvoering.

Inmiddels heeft de corporate dienst RWS geadviseerd de Awb-procedure 3.4 te volgen; RWS NN heeft besloten dit advies te volgen. Uitgaande van deze procedure luidt de planning als volgt:

- vierde kwartaal 2011: afronding passende beoordeling en projectplan Waterwet;
- vierde kwartaal 2011: start contractvoorbereiding voor uitvoering;
- derde kwartaal 2012: vergunningverlening Nb-wet en vaststelling projectplan Waterwet;
- derde kwartaal 2012: publicatie contract voor uitvoering;
- vierde kwartaal 2012: definitieve gunning uitvoering.

Op basis van bovenstaande mijlpalen is uitvoering in het vierde kwartaal van 2012 waarschijnlijk niet haalbaar. Dit wordt veroorzaakt doordat in de Awb-procedure 3.4 op voorhand meer tijd is gereserveerd voor inspraak, bezwaar en beroep.

Voor de uitvoering is het najaar de meest geschikte periode. De beschikbare tijdsvensters waarin uitvoering mogelijk is, zijn beperkt. Bij de hiervoor beschreven planning is uitvoering in 2012 waarschijnlijk niet haalbaar en verschuift deze naar het najaar 2013. Meer informatie over de uitvoeringsperiode is opgenomen in paragraaf 9.4.

4.5 Overige uitvoeringsaspecten

Voor de uitvoering van de drempelverwijdering zijn de volgende overige aspecten van belang:

- de voorwaarden uit de Nb-wet vergunning zijn van toepassing voor uitvoering van het werk en dienen te worden opgenomen in het contract met de aannemer;
- ten behoeve van de ontheffing BBK moet milieukundig bodemonderzoek worden uitgevoerd. De beschikbare gegevens (onderzoek 2007) zijn te oud om hiervoor gebruikt te worden.

4.6 Calamiteiten of ongewoon voorval

Rijkswaterstaat stelt alle directe belanghebbenden onmiddellijk op de hoogte van het voorval en de maatregelen die getroffen worden om de nadelige gevolgen te beperken. Rijkswaterstaat houdt een logboek bij van alle ongewone voorvallen en calamiteiten.

5 Effecten en mitigatie van effecten

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de conclusies van de effectstudies voor de voorgenomen drempelverwijdering zoals beschreven in hoofdstuk 2 van dit projectplan. Daarnaast bevat dit hoofdstuk een beschrijving van voorzieningen gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen. Een meer uitgebreide effectbeschrijving en afweging tussen varianten voor drempelverwijdering is opgenomen in deel II van het rapport. Verdere verdieping op gebied van hydrodynamica, morfologie en ecologie is opgenomen in de bijlagen in deel III.

5.1 Effecten hydrodynamica en morfologie

Tabel 5.1 geeft een overzicht van effecten op het gebied van hydrodynamica en morfologie ten gevolge van drempelverwijdering Boontjes. Per effect wordt de grootte van het effect beschreven. Voor de meeste effecten wordt er geen directe beoordeling gegeven. De beoordeling is afhankelijk van de afgeleide effecten voor met name ecologie (zie paragraaf 5.3).

Tabel 5.1.

Overzicht effecten hydrodynamica en morfologie

aspect	conclusie
water- en golfbeweging	
waterstanden	In de geul verandert de waterstand met enkele millimeters tijdens rustig weer en tot maximaal 1,5 cm tijdens springtij. Op de platen is de verandering onder alle omstandigheden kleiner dan 1 cm. Het effect van de drempelverwijdering op de waterstanden is niet significant, omdat de droogvalduur van de platen niet noemenswaardig verandert door de waterstandsveranderingen.
stroomsnelheden in de geul	Versterking van de stroomsnelheden in de geul ter hoogte van de drempel in Boontjes bij eb en vloed met ongeveer 5 %.
stroomsnelheden op de platen	Afname van de stroomsnelheid op de platen met maximaal 2,5 % (tijdens vloed bij springtij direct naast de geul).
debiet door de geul	Toename van de debieten bij eb en vloed met rustig weer van ongeveer 10 %. Geen significante verandering in de getijasymmetrie.
significante golfhoogte	Toename tijdens stormcondities in de as van de geul en lichte afname op de platen. Veranderingen tot maximaal 5 cm tijdens stormcondities.
morfologie	
sedimenttransport in Boontjes	Over de lengte gemiddelde toename in sedimenttransport van 1,9 %. De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen met 10 tot 40 % af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. Aan weerszijden van de drempel nemen de sedimenttransporten met enkele procenten toe.
onderhoudsbaggerwerk	Sediment zet zich voornamelijk af aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens de maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul. Het onderhoudsbaggervolume is conservatief ingeschat op ongeveer 32.000 m ³ /jaar
ontwikkeling plaatareaal	Versterking van de bestaande sedimentatietrend met initieel ongeveer 2 % (afnemend na verloop van tijd).

grootschalig morfologisch systeem	Er is geen enkele aanwijzing om een verband te leggen tussen de drempelverwijdering en het karakter van het grootschalige morfologische systeem van de getijdebekken van het Vlie en het Marsdiep.
zoet-zout patronen	
situatie zonder realisatie ESA	Verschuiving van de contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit in noordoostelijke richting over een afstand in de orde van enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes toename van de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie met ongeveer 0,5 % in de situatie zonder wind en 1 % in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.
situatie met realisatie ESA	Door verwijdering van de drempel in de huidige situatie neemt de saliniteit in Boontjes licht toe. Dezelfde trend is te verwachten in het geval de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal zijn verhoogd.
verspreiding gestort materiaal afkomstig uit de haven van Harlingen	Geen significant effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib.
verspreiding vrijkomend materiaal	
verspreiden van zand	Met uitzondering van de directe nabijheid van een baggerschip treedt er geen vertroebeling op door het verspreiden van zand.
verspreiden van slib	De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de stortlocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75 % (0,06 kg/m ³) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van 0,08 kg/m ³ . Ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (circa 0,8 kg/m ³) bedraagt deze verhoging slechts 7,5 %. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen; de verhoging verdwijnt (grotendeels) binnen 10 minuten na het einde van het verspreiden.

Samenvattend zijn de effecten op gebied van hydrodynamica en morfologie beperkt. Paragrafen 5.2 en 5.3 geven een doorvertaling van deze effecten naar nautiek en ecologie.

5.2 Nautische effecten

Nautische effecten kunnen worden veroorzaakt door veranderingen in hydrodynamica in de vaargeul en door veranderingen in gebruik van de vaargeul. De hydrodynamische effecten zijn beschreven in paragraaf 5.1. Deze effecten zijn zeer beperkt en leiden niet tot significante nautische effecten.

De drempelverwijdering leidt wel tot verandering in het gebruik van de vaargeul:

- de drempelverwijdering zorgt voor een verruiming van de tijvensters waarbinnen scheepvaart Boontjes kan passeren. Hierdoor wordt de piekbelasting in de huidige beperkte tijvensters gespreid over langere periodes;
- in de huidige situatie komt het regelmatig voor dat schepen richting de drempel in Boontjes varen op het moment dat de waterstand nog te laag is om de drempel te passeren. Schepen laten zich vervolgens vastlopen voor de drempel en wachten hier tot de waterstand genoeg stijgt om verder te varen. Bij ruimere tijvensters is de kans op vastlopen kleiner. Dit zorgt voor een beperking van verstoring van de bodem en van de kans op incidenten;
- de drempelverwijdering zorgt ervoor dat de vaarroute via Boontjes naar de haven van Harlingen aantrekkelijker wordt. Dit kan leiden tot een beperkte modal shift

van vervoer per as naar vervoer per water op de route. Hiermee neemt de intensiteit van het vervoer via Boontjes toe. Deze toename is naar verwachting beperkt en valt binnen de bandbreedtes van de autonome groei (zie economische analyse, bijlage C).

De drempelverwijdering heeft geen invloed op het bestaande proces van schaalvergroting in de binnenvaart. Op de vaarroute naar Harlingen zijn de sluisen en de bodemdpte van het IJsselmeer maatgevend voor de scheepsgrootte.

De verandering in gebruik heeft een positief nautisch effect. Door de ruimere beschikbare tijvensters ontstaat een spreiding in de piekbelasting van de vaargeul. De gemiddelde intensiteiten gaan daarmee omlaag. Een mogelijke beperkte toename van intensiteiten door modal shift is een ordegrrootte kleiner dan de verruiming van het tijvenster en heeft daardoor geen significant effect. Door de betere spreiding neemt de kans op incidenten in de vaargeul door aanvaring en/of vastlopen af. Hiermee heeft de drempelverwijdering een positief effect op de nautische veiligheid.

5.3 Effecten ecologie

Tabel 5.2 geeft een overzicht van effecten op het gebied van ecologie ten gevolge van drempelverwijdering Boontjes. De algemene conclusie luidt dat zowel voor habitattypen als habitatsoorten er geen significante effecten optreden.

Tabel 5.2.
Overzicht effecten ecologie

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
Natura 2000	verandering leefgebied habitatsoorten en habitattypen	verandering bodemfauna	geen effecten van gebruiksfase beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli, geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december.
		verandering mosseleeters	geen effecten in gebruiksfase mogelijk kleine effecten a.g.v. verandering voedselaanbod bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant omdat de mogelijk kleine effecten op voedselaanbod optreden in een periode dat weinig vogels aanwezig zijn.
		verandering steltlopers	enige verstoring mogelijk bij baggeren tijdens springtij laagwater, maar nabij gelegen platen maar beperkt van belang voor steltlopers vanwege de korte droogvalduur. Geen effecten in gebruiksfase.
		verandering vissen	geen effecten, want maar zeer beperkte effecten op verzoeting en zoetwaterbel komt eerder minder ver Boontjes in dan verder
		verandering overige	geen significante effecten, hooguit zeer beperkte toename van

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
		habitatsoorten	verstoring tijdens uitvoering
		verandering habitattypen	geen effecten van gebruiksfase beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant, geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december
Flora- en faunawet	verandering leefgebied beschermde soorten, overtreding van verbodsbepalingen		bruinvis enige relevante beschermde soort, maar gebied is van marginaal belang voor deze soort en additionele verstoring gering. Geen overtreding verbodsbepalingen
Kaderrichtlijn Water	benutting ecologische kansen voor natuurlijke kenmerken en processen		geringe veranderingen troebelheid met geringe effecten op primaire productie tijdens uitvoering juni - half juli heeft geen effect op de maatlatscore voor het waterlichaam. In gebruiksfase geen effecten op maatlatscore. Toepassing van de het vrijkomende materiaal ten behoeve van kweldervorming bij aanlanding Afsluitdijk draagt bij aan de KRW-doelstellingen.

5.4 Economische effecten

De ontgraving van de drempel heeft geen effecten op mosselpercelen, het verspreiden van het materiaal in het zuidelijk deel van Boontjes heeft verwaarloosbare effecten op de percelen ter hoogte van Zürich.

De verspreiding van baggerspecie op de platen tussen Kornwerderzand en Zürich heeft -afhankelijk van de locatie waar verspreiding zal plaatsvinden- kleine tot aanzienlijke effecten op de mosselpercelen ter plaatse. De effecten zijn het grootst bij de realisatie van zandruigen in het noordelijk deel van de plaat. Deze wijze van verspreiding heeft ook effecten op de bruikbaarheid van de platen voor fuikvissers.

5.5 Cumulatie

Er zijn geen significante cumulatieve effecten met raakvlakprojecten die onderdeel zijn van de autonome ontwikkeling.

5.6 Voorzieningen en mitigatie

Er zijn geen significante effecten voorzien en daarom ook geen mitigerende of compenserende maatregelen.

6 Procedure

Geldingsduur

Dit besluit is van kracht tot 10 jaar na de datum waarop het onherroepelijk is geworden, of zoveel langer als onderhoud mogelijk is binnen budget.

Procedure

Dit besluit is tot stand gekomen met toepassing van procedureregels in de Algemene wet bestuursrecht.

In de gevolgde procedure zijn onder andere de volgende stappen genomen:

- overleg met betrokken bestuursorganen;
- overleg met andere belanghebbenden in drie werksessies;
- bespreking van project met bestuursorganen in het Regionaal College Waddenzee;
- vrijwillig onafhankelijk advies over het project door een externe commissie van deskundigen, ingevuld door een werkgroep van de Commissie MER.

Het Projectplan wordt vastgesteld na het doorlopen van de Awb procedure 3.4. Dit houdt in dat na publicatie van het ontwerpplan er gedurende zes weken gelegenheid is tot het indienen van zienswijzen. Na het verwerken van de zienswijzen volgt een periode voor beoordeling van de verwerking, ondertekening en beoordeling van het plan door IVW. Het projectplan wordt vervolgens gepubliceerd met een beroepsperiode van 6 weken. Hierna wordt het plan onherroepelijk vastgesteld.

Contactpersoon uitvoering werken (ten behoeve van indiening zienswijzen)

Rijkswaterstaat Noord-Nederland
Mevrouw L. Dijkman
Postbus 2301
8901 JH Leeuwarden
058 234 42 75/ 06 51 28 86 34

Ondertekening

DE MINISTER VAN INFRASTRUCTUUR EN MILIEU,

namens deze,

DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR RWS NOORD-NEDERLAND,

namens deze,

Hoofd Afdeling WSE, Rijkswaterstaat Noord-Nederland

Deel II: Achtergronden, varianten en effecten

7 Probleemanalyse en proces

7.1 Probleemstelling

In de vaarweg Boontjes, tussen Harlingen en Kornwerderzand, bevindt zich een drempel in de bodem, die al vele jaren een probleem vormt voor het scheepvaartverkeer. De drempel creëert over een afstand van ongeveer 2 km een ondiepte in de vaarweg. Door deze ondiepte zijn de tijvensters waarbinnen (grotere) schepen de vaargeul kunnen gebruiken beperkt.

De drempel leidt tot wachttijden en beperking van de reistijdbetrouwbaarheid van en naar de haven van Harlingen. Ook uit het oogpunt van veiligheid vormt de drempel in Boontjes een knelpunt. In de beperkte tijvensters is er sprake van verweving van beroeps- en recreatievaart. Daarnaast leidt de drempel tot incidenten door het vastlopen van schepen.

Er zijn geen realistische route alternatieven voor de scheepvaart naar Harlingen. De technische, ecologische en economische haalbaarheid van de drempelverwijdering in de vaarweg Boontjes is afhankelijk van de gevolgen van de ingreep en de omvang van het jaarlijks onderhoudsbaggerwerk. Dit wordt in de planstudie onderzocht en (onder andere) in dit projectplan gerapporteerd.

7.2 Aanleiding planstudie

Op 1 november 2006 bracht toenmalig minister Peijs een bezoek aan Harlingen op uitnodiging van de Harlinger Seaport Business Association (HSBA). Tijdens dat bezoek is het initiatief genomen om na te gaan of het mogelijk is (1) de drempel uit Boontjes te verwijderen en (2) te streven naar een convenant tussen de havenondernemers en (met name) de Waddenvereniging als belangrijkste natuurbehoudorganisatie in dit gebied.

Van eind 2006 tot midden 2007 heeft een combinatie van opdrachtgevers, onder leiding van Projectbureau Westergozone en inclusief de provincie Fryslân, een studie laten uitvoeren naar de technische en ecologische haalbaarheid van de verwijdering van de drempel in de vaarweg Boontjes (de Voorstudie, 2007). Dit tegen de achtergrond van de volgende overwegingen:

1. de toenemende behoefte aan een minder getijafhankelijke vaarweg voor het scheepvaartverkeer;
2. de naar verwachting beperkte omvang van de ingreep; en
3. het feit dat er sinds 1988 geen onderhoudsbaggerwerk meer gedaan is, hetgeen de verwachting rechtvaardigt dat de onderhoudsinspanning bij drempelverwijdering beperkt zal zijn.

In de Voorstudie (2007) is op basis van technisch-wetenschappelijke overwegingen en berekeningen vastgesteld dat de drempelverwijdering haalbaar is en naar alle waarschijnlijkheid niet leidt tot significante negatieve effecten op het biotische of abiotische milieu. Daarnaast volgt uit een economische quick-scan (2007) dat de drempelverwijdering positieve economische effecten heeft die opwegen tegen de investerings- en (verwachte) beheerkosten.

Op grond van deze Voorstudie heeft de Tweede Kamer in 2008 een budget van € 5 miljoen. vrijgemaakt om de drempelverwijdering te realiseren. Vervolgens hebben de toenmalige Minister van VenW en Gedeputeerde van provincie Fryslân een Bestuursovereenkomst gesloten, waarin de dimensionering van de drempelverwijdering is vastgelegd en organisatorische en financiële afspraken zijn gemaakt gericht op uitvoering. Daarbij is de trekkende rol voor de planstudie gelegd bij provincie Fryslân. Na instemming door de Staat kan Rijkswaterstaat Noord Nederland de voorbereiding van de realisatiefase starten.

Daartoe is vastgelegd dat het project drempelverwijdering Boontjes wordt opgenomen in het projectenboek Meerjarenprogramma Infrastructuur Ruimte en Transport (MIRT) en wordt uitgevoerd via het MIRT spelregelkader.

In de Bestuursovereenkomst is uitgegaan van een Planstudie/MER. Sinds het van kracht worden van de Waterwet is er sprake van een Projectplan. Drempelverwijdering Boontjes is wel m.e.r.-beoordelingsplichtig. De m.e.r.-beoordeling is uitgevoerd op basis van de voorstudie en het plan van aanpak van Rijkswaterstaat Noord-Nederland. Op basis de beoordeling is geconcludeerd dat drempelverwijdering Boontjes niet m.e.r.-plichtig is.

Vooroverleg met EL&I heeft opgeleverd dat het nuttig is, in verband met rechtszekerheid voor het PP, om een Nb-wet vergunning aan te vragen, ook als er geen effecten worden verwacht.

7.3 Nut en noodzaak drempelverwijdering

Voor de havens van Harlingen en Kampen is de vaarweg Boontjes een belangrijke ontsluiting voor de beroepsvaart. Door de drempel in de vaarweg moeten schepen rekening houden met tijvensters om veilig Boontjes te kunnen bevaren. Bij ongunstige wind verkleint het tijvenster of is de geul helemaal niet te bevaren voor diepere schepen. Soms moeten schepen in Harlingen lading achter laten om hun diepgang te beperken. Een kleine vertraging kan voor schepen vanaf het IJsselmeer al snel tot grote vertraging leiden als een tijvenster wordt gemist. De provincie Fryslân heeft om deze redenen de verdieping van de Boontjes in het Provinciaal Verkeers en Vervoers Plan (PVVP) opgenomen om de doorvaartmogelijkheden voor de scheepvaart te vergroten [provincie Fryslân, 2007].

Boontjes is onderdeel van de vaarroute tussen de Randstad en Harlingen/Franeke. Er is geen reëel alternatief beschikbaar voor deze vaarroute. Boontjes kan worden vermeden wanneer de vaarroute via het Prinses Margrietkanaal en het van Harinxmakanaal wordt gekozen. Deze route is echter langer en alleen geschikt voor schepen tot klasse CEMT IV.



In 2007 is een verkennende studie uitgevoerd naar het opwaarderen van het Van Harinxmakanaal (Grontmij, Ecorys, provincie Fryslân). De maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) toont aan dat opwaardering van het kanaal in geen van de onderzochte varianten rendabel is. De

studie adviseert om daarom voorlopig uit te gaan van de referentiesituatie en een onderhoudsprogramma uit te voeren. Hiermee komt geen reëel alternatief voor de vaarroute via Boontjes beschikbaar.

De studie adviseert daarnaast een aantal quick wins uit te voeren: maatregelen die mogelijk zijn op de korte termijn met positieve economische effecten en relatief weinig kosten. Drempelverwijdering Boontjes wordt benoemd als één van deze quick wins. Door Ecorys is in 2007 parallel aan de voorstudie een analyse uitgevoerd van de economische baten van drempelverwijdering Boontjes. Op basis van deze analyse is geconcludeerd dat de drempelverwijdering een positief kosten-batensaldo oplevert. In 2011 is door Witteveen+Bos een actualisatie uitgevoerd van de economische analyse met dezelfde conclusie. De resultaten van deze economische analyse worden beschreven in hoofdstuk 11.

7.4 Het proces: MIRT, planstudie en vervolg

MIRT stappen

Binnen het MIRT-spelregelkader worden drie fasen onderscheiden: de verkenningsfase, de planuitwerkingsfase en de realisatiefase.

Binnen deze drie fasen zijn er vijf beslismomenten:

- MIRT 1: startbeslissing;
- MIRT 2: voorkeursbeslissing;
- MIRT 3: projectbeslissing;
- MIRT 4: uitvoeringsbeslissing;
- MIRT 5: oplevering.

MIRT 1 en 2 zijn onderdeel van de verkenningsfase, die voor de drempelverwijdering Boontjes reeds is uitgevoerd.

Het Projectplan Waterwet maakt onderdeel uit van de Planstudiefase. Deze fase start met de projectbeslissing (MIRT 3). De afgeronde planstudie vormt de basis voor de uitvoeringsbeslissing (MIRT 4).

Planstudie

Voor drempelverwijdering Boontjes wordt dit Projectplan (PP) conform artikel 5.4 van de Waterwet opgesteld. Alvorens dit plan kan worden vastgesteld, moet er zicht zijn op de verlening van een vergunning in het kader van de Nb-wet.

Daarom is het doel van de planstudie het opstellen en laten vaststellen van een PP conform Waterwet. Omdat het project in de Waddenzee speelt, hoort ook de opstelling van een Passende Beoordeling (PB) als onderbouwing van de aanvraag van een Nb-wet vergunning tot de planstudie, evenals het beantwoorden van vragen van het Bevoegd Gezag voor de Nb-wet (Ministerie van EL&I) rond de vergunningverlening. Uitgangspunt is, dat het PP wordt vastgesteld, nadat duidelijk is geworden dat zienswijzen op de ontwerpvergunning Nb-wet voldoende beargumenteerd kunnen worden weerlegd, zodat deze vergunning verleend kan worden.

De planstudiefase leidt tot een vastgesteld PP en PB en een door het Ministerie van EL&I verleende vergunning Nb-wet, uitmondend in een projectbesluit voor uitvoering van de drempelverwijdering.

8 Kaders en raakvlakken

8.1 Beleidskaders

PKB Derde nota Waddenzee

Het Nederlandse beleid ten aanzien van het waddengebied is vastgelegd in de Derde Nota Waddenzee (2007). Deze nota heeft de procedure van een Planologische Kernbeslissing (PKB) doorlopen. Het beleid uit de nota is in verschillende documenten verder uitgewerkt, onder andere in de structuurnota kust- en zeevisserij, het interprovinciaal beleidsplan Waddenzee en het beheer en ontwikkelingsplan voor de Waddenzee. De PKB Waddenzee is leidend voor ingrepen in de Waddenzee. Drempelverwijdering Boontjes is mogelijk binnen de kaders die worden gesteld in de PKB.

Beheerplan Natura 2000

Momenteel wordt in het kader van Natura 2000 een beheerplan opgesteld voor de Waddenzee (eind 2011 in concept gereed) waarin de door het Ministerie van EL&I geformuleerde natuurdoelen (instandhoudingsdoelen, verbeterdoelen en herintroductiedoelen) worden uitgewerkt. Momenteel is de drempelverwijdering niet in beeld bij het opstellen, ondermeer omdat het verschil in bodemdiepte (voor en na drempelverwijdering) niet relevant wordt geacht voor het beheerplan. Wel kan het uit Boontjes vrijkomende materiaal eventueel worden ingezet voor één van de maatregelen die bijdragen aan de natuurdoelen (via verspreiding op een specifieke locatie). Dan is nadere afstemming met het beheerplan wenselijk.

Programma Naar een rijke Waddenzee

In januari 2010 is het programmaplan 'Naar een rijke Waddenzee' vastgesteld. Het betreft een programmaplan voor natuurherstel in de Waddenzee. In het plan is de ambitie verwoord voor de Waddenzee tot het jaar 2030. Daarnaast is een agenda opgenomen voor op te starten processen en projecten voor de periode 2010-2030. Hierin zijn ook de bestaande plannen en initiatieven meegenomen. In het programma zijn binnen vijf thema's bouwstenen benoemd voor het natuurherstel. Met inzet van het vrijkomend materiaal uit Boontjes voor natuurontwikkeling kan bij het programma worden aangesloten.

Rijksstructuurvisie Afsluitdijk

Binnen het project Toekomst Afsluitdijk werkt Rijkswaterstaat aan een gedragen oplossing voor een vernieuwde Afsluitdijk. De hoofdlijn is versterking van de Afsluitdijk in combinatie met de ontwikkeling van duurzame energie, natuur en recreatie. Kweldervorming bij de aanlanding van de Afsluitdijk draagt bij aan een eventuele zout-zoetovergang tussen het IJsselmeer en de Waddenzee. In 2011 is de voorkeursbeslissing genomen voor de Toekomst Afsluitdijk en heeft de ontwerp-Rijksstructuurvisie ter inzage gelegen. Eind 2011 worden de zienswijzen verwerkt en wordt de definitieve vaststelling van de Rijksstructuurvisie voorbereid.

Visie Aanlanding Afsluitdijk Fryslân

In maart 2011 is de visie 'Aanlanding Afsluitdijk Fryslân' afgerond. Dit document geeft een visie op de toekomstige ontwikkeling van het gebied rond de oostelijke

aanlanding van de Afsluitdijk. Onderdeel van deze visie is het creëren van een dynamische kustzone tussen Zurich en Harlingen door kweldervorming.

Provinciaal Verkeer en Vervoerplan (PVVP) Fryslân

Het PVVP Fryslân is in 2006 vastgesteld en beschrijft het beleid voor de bereikbaarheid, mobiliteit en veiligheid in de provincie. Onderdeel van het PVVP is een investeringsprogramma voor wegen en vaarwegen. Drempelverwijdering Boontjes is onderdeel van het investeringsprogramma.

8.2 Gerelateerde projecten

In de nabijheid van Harlingen (en vaarweg Boontjes) wordt een groot aantal projecten uitgevoerd/gepland die mogelijk elkaar beïnvloeden. Afstemming in een vroegtijdig stadium is daarom gewenst c.q. noodzakelijk. Binnen de planstudie Boontjes zijn de raakvlakken met de andere projecten in beeld gehouden en eventuele cumulatieve effecten zijn meegenomen in de effectbeschrijving.

Hieronder volgt een overzicht van gerelateerde projecten met onderscheid naar autonome ontwikkelingen (projectbesluit genomen) en voorgenomen projecten (nog geen projectbesluit(en)).

Autonome ontwikkeling

- Gaswinning Waddenzee (Vermilion): planvorming gaswinning in de Waddenzee bij Harlingen. Gaswinning kan leiden tot bodemdaling en kan daarmee effecten hebben op de stroming door Boontjes. In de effectstudies is dit meegenomen;
- Zoutwinning Waddenzee (Frisia Zout BV): voorbereiding realisatie zoutwinning onder Waddenzee noordwest van Harlingen. Zoutwinning kan leiden tot bodemdaling en kan daarmee effecten hebben op de stroming door Boontjes. In de effectstudies is dit meegenomen;
- Traverse N31 door Harlingen (provincie Fryslân): voorbereiding realisatie verdiepte tweebaansweg. Dit project was in beeld voor eventuele toepassing van het zand dat vrijkomt uit de drempelverwijdering. Echter uitgangspunt voor de toepassing van het vrijkomend materiaal is dat dit in de Waddenzee blijft vanwege de reeds bestaande zandhonger;
- Reststoffen Energie Centrale (Omrin): realisatie centrale in de industriehaven Harlingen, dit kan leiden tot extra vaarbewegingen;
- Onderhoudsbaggerwerken Waddenzee (Rijk en/of gemeentes): raakvlakken tussen verspreiding slib uit Boontjes en onderhoudsbaggerwerkzaamheden;

Voorgenomen projecten

- Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (Rijkswaterstaat): voorbereiding realisatie nieuwe spuisluis in de afsluitdijk. Deze spuisluis heeft invloed op de stroming door Boontjes. In de effectstudies voor Boontjes is een scenario met en zonder realisatie van dit project onderzocht;
- Programmaplan Naar een Rijke Waddenzee: programmaplan voor natuurherstel in de Waddenzee (zie ook beleidskader in 8.1);
- Project Aanlanding Afsluitdijk Fryslân (provincie Fryslân): planvorming kwaliteitsverbetering tussen Zurich en Harlingen (zie ook beleidskader in 8.1);
- Toekomst Afsluitdijk (Rijkswaterstaat): planvorming aanpassingen op de lange termijn aan de Afsluitdijk, definitieve vaststelling Rijksstructuurvisie in voorbereiding.

- Zeeverkeerscentrale (ZVC) Terschelling: planvorming voor uitbreiding VTS-gebied (Vessel Traffic Services). In juli 2011 is door de staatssecretaris besloten voorlopig geen uitbreiding van de ZVC te realiseren, zodat dit project niet langer relevant is voor deze planstudie.

8.3 Omgeving

De planstudie drempelverwijdering Boontjes wordt begeleid door een projectgroep waarin provincie Fryslân (opdrachtnemer en uitvoerder van de planstudie), Witteveen+Bos (adviseur voor uitvoering planstudie) en Rijkswaterstaat Noord-Nederland (verantwoordelijk voor aanbesteding en uitvoering) deelnemen. Daarnaast neemt de gemeente Harlingen deel aan de overleggen.

Naast de projectgroep zijn verschillende andere partijen in het proces betrokken via informatie, bilateraal overleg en deelname aan werksessies:

Overheden

- Ministerie van EL&I (vergunningverlener voor de Nb-wet);
- Wetterskip Fryslân;
- Gemeente Súdwest-Fryslân (lokale overheid, gebied aanlanding Afsluitdijk binnen de gemeentegrenzen).

Natuur en milieu organisaties

- Waddenvereniging;
- Fryske Gea;
- Milieufederatie Fryslân;
- Stichting Verantwoord Beheer IJsselmeer;
- Stichting WAD;
- Natuurmonumenten;

Bedrijfsleven

- Harlingen Seaport Business Association (HSBA);
- Harlingen Seaport;

Gebruikers

- Koninklijke Schuttevaer;
- Nederlandse Vissersbond;
- Federatie van Visserijverenigingen;
- Producenten organisatie mosselvisserij;

Gerelateerde projecten

- Projectorganisatie ESA (Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk);
- Projectorganisatie aanlanding Afsluitdijk;
- Zuiderzeehaven CV Kampen.

Alle partijen zijn gedurende de planstudie op de hoogte gehouden en zijn uitgenodigd om deel te nemen aan drie werksessies ter voorbereiding op het projectplan Waterwet. Via deze werksessies hebben alle partijen de mogelijkheid gekregen om hun wensen en ideeën in te brengen en bij te dragen aan de invulling van de planstudie.

9 Varianten voor drempelverwijdering

9.1 Inleiding

In een m.e.r.-procedure worden altijd verschillende alternatieven, en eventueel varianten, onderzocht voor een project. Alternatieven zijn daarbij gedefinieerd als verschillende oplossingsmogelijkheden voor het probleem, varianten als variaties in oplossingsmogelijkheden. Voor drempelverwijdering Boontjes is ervoor gekozen het onderzoek op een 'm.e.r.-achtige' wijze uit te voeren.

Voor drempelverwijdering Boontjes is de strekking van de bestuursovereenkomst als uitgangspunt gekozen. Daarop zijn varianten en mogelijkheden onderzocht ten aanzien van de geulafmetingen, uitvoeringsperiode, uitvoeringswijze, en de toepassing van het vrijkomende materiaal. Deze vier aspecten worden in de paragrafen 9.2 tot en met 9.5 toegelicht. Paragraaf 9.6 geeft tenslotte een toelichting op de varianten die zijn onderzocht in de effectstudies.

9.2 Geulafmetingen

Vaarweg Boontjes is een niet geclassificeerde vaarweg, zodat geen absolute maten zijn voorgeschreven. Wel is er een duidelijke relatie tussen de maten van de vaarweg, het type scheepvaart, de intensiteit en de veiligheid van de vaarweg. Daarnaast is het logisch de geulafmetingen ter plaatse van de huidige drempel af te stemmen op de dimensies van de rest van Boontjes. Vanuit deze achtergrond is in de bestuursovereenkomst uitgegaan van verwijdering totdat een vaargeul ontstaat met een bodembreedte van 100 m en een bodemdiepte van NAP - 3,80 m. Zowel de breedte als de diepte sluiten dan aan op de gemiddelde maten van de gehele vaargeul.

Voor de geulafmetingen wordt onderscheid gemaakt tussen het nautisch profiel en het baggerprofiel. Het nautisch profiel is de afmeting die gegarandeerd wordt voor de scheepvaart; dat zijn bovengenoemde maten. Aangezien in een dynamisch systeem als de Waddenzee sprake is van erosie en sedimentatie kan het nautische profiel van Boontjes na drempelverwijdering alleen gegarandeerd worden als bij het baggeren een zekere overdimensionering wordt aangehouden. Daarmee ontstaat ruimte voor (de verwachte) sedimentatie, zodat niet voortdurend onderhoudsbaggerwerk hoeft plaats te vinden, maar dit incidenteel kan worden uitgevoerd.

In de planstudie zijn drie varianten voor de geulafmetingen onderzocht. Daarbij zijn twee hoofdkeuzes gemaakt naast de variant die aansluit op de maten uit de bestuursovereenkomst:

- een kleinere ingreep: deze variant is gebaseerd op kanttekeningen tijdens het participatieproces;
- een ingreep met een grotere overdimensionering, gericht op het verlagen van de onderhoudsfrequentie.

Bij de lange termijn effectvoorspellingen voor hydrologie, morfologie en ecologie is van een worst case benadering uitgegaan: er is gerekend alsof de geul te allen tijde de afmetingen heeft direct na het baggeren, dus inclusief de overdiepte van 0,5 m

als onderhoudsbuffer. Voor de uitvoeringseffecten is deze benadering een realistische insteek.

Het resterende deel van deze paragraaf geeft een korte toelichting op de drie uitgewerkte varianten. Afbeelding 9.1 brengt de varianten in beeld. Het tracé van de geul is in alle varianten zodanig gekozen dat de te baggeren hoeveelheid minimaal is.

Variant 1: beperkte verdieping

In het participatieproces zijn vraagtekens gezet bij de grootte van de ingreep vanuit de achtergrond dat de Waddenzee een natuurlijk ecosysteem is met belangrijke waarden, waar zo min mogelijk moet worden ingegrepen. Deze kanttekeningen sluiten aan bij de aandachtspunten die het Bevoegd gezag voor de Nb-wet heeft meegegeven voor de onderbouwing van de besluitvorming. Daarom is besloten een variant uit te werken met een kleinere ingreep dan conform de bestuursovereenkomst. Deze variant geeft zowel inzicht in het effect qua doelrealisatie, als naar de omgeving.

Variant 1 heeft de volgende kenmerken:

- nautische diepte: NAP - 3,30 m;
- nautische breedte: 100 m;
- taluds: 1:10;
- lengte drempelverwijdering: circa 2 km;
- initiële diepte na baggeren: NAP - 3,80 m;
- initiële baggerhoeveelheid⁵: 225.000 m³.

Variant 2: geul conform bestuursovereenkomst

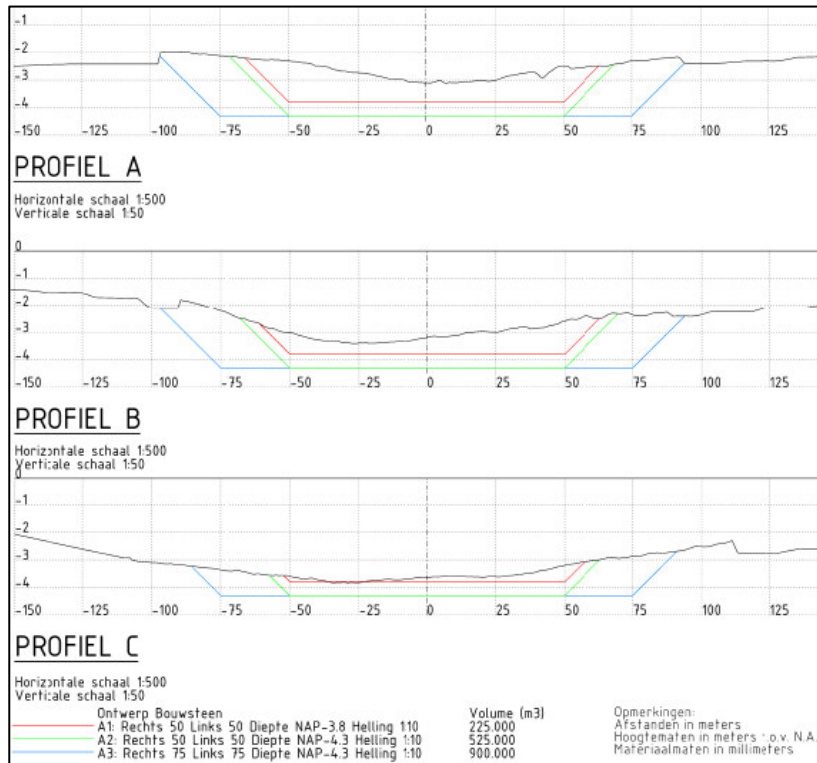
Deze tweede variant, conform de bestuursovereenkomst, heeft de volgende kenmerken:

- nautische diepte: NAP - 3,80 m;
- nautische breedte: 100 m;
- taluds: 1:10;
- lengte drempelverwijdering: circa 5 km (aanzienlijke aanpassing van het profiel over lengte van 2 km, voor het overige deel 'afschrapen' van de bodem);
- initiële diepte na baggeren: NAP - 4,30 m;
- initiële baggerhoeveelheid: 525.000 m³.

⁵ Voor berekening van de te baggeren hoeveelheden is gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten uit de Voorstudie (2007) Aangezien deze onderzoeksresultaten niet het gehele profiel afdekken is ook Bathymetrische data van de service desk data van Rijkswaterstaat gebruikt, die op 10 augustus 2009 ontvangen is.

Afbeelding 9.1.

Doorsnedes van de geul
(drie dwarsdoorsnedes met
drie varianten voor de
geulafmetingen)



Variant 3: extra onderhoudsbuffer

Hoewel op grond van de voorstudie werd verwacht dat de onderhoudsbelasting beperkt zal zijn tot 50.000 m³ per jaar, leidt het onderhoudsbaggerwerk tot verstoring van de morfologie, flora en fauna in het gebied. Om de onderhoudsfrequentie en/of -duur te beperken is de derde variant ontwikkeld.

In het Startdocument zijn hiervoor twee mogelijkheden genoemd: een bredere bodem of een flauwer talud. Omdat een flauwer talud bij eenzelfde opvangcapaciteit voor sediment leidt tot een grotere aantasting van het plaatareaal en meer baggerwerk, is gekozen voor het uitwerken van de verbrede bodem. Daarbij is verkend bij welke ligging van de aslijn van de geul het baggerbezwaar minimaal is, zonder het nautische lengteprofiel te wijzigen (bochtiger te maken). Vanwege de sedimentstromen ligt de buffer aan de westzijde van de geul.

Deze derde variant heeft de volgende kenmerken:

- nautische diepte: NAP - 3,80 m;
- nautische breedte: 150 m (extra onderhoudsbuffer van 50 m breedte);
- taluds: 1:10;
- lengte drempelverwijdering: circa 5 km (aanzienlijke aanpassing van het profiel over lengte van 2km, voor het overige deel 'afschrapen' van de bodem);
- initiële diepte na baggeren: NAP - 4,30 m;
- initiële baggerhoeveelheid: 900.000 m³.

9.3 Uitvoeringsperiode

Deze paragraaf gaat in op de geschiktheid van verschillende perioden in het jaar voor de uitvoering, gezien vanuit de perspectieven werkbaarheid en ecologische invloed.

9.3.1 Werkbaarheid baggeren

De werkbaarheid voor het baggeren varieert vanwege het golfklimaat en mogelijke ijsgang. In zeer ongunstige situaties is baggeren geheel niet mogelijk, in ongunstige situaties zullen de kosten voor het project stijgen, doordat een lagere productiviteit gehaald wordt en de uitvoeringsduur toeneemt.

Op basis van meerjarige windgegevens is het golfklimaat in Boontjes berekend. Daarbij is rekening gehouden met de waterdieptes en de windrichtingen die afgeschermd liggen (door land). Het golfklimaat bepaalt uiteindelijk de werkbaarheid van het materieel. Stationair materieel zal bij een significante golfhoogte tussen de 0,5 en 0,7 m moeten stoppen met baggeren. In geval er doorgewerkt wordt is de kans op schade groot aan bijvoorbeeld zij-ankers/draden, spudpalen/spudstelsel en/of drijvende leiding. Van april tot en met september halveert de stilligtijd door golven ten opzichte van de wintermaanden.

Niet-stationair materieel heeft veel minder last van golven en zal meer dan 95 % van de tijd (gehele jaar) door kunnen werken.

9.3.2 Werkbare perioden vanuit ecologie

Voor de planning van baggerwerkzaamheden zijn de verwachte aantallen vogels op en rond de drempel van Boontjes van belang. Omdat er sprake is van sterke seizoensaliteit -de meeste vogels verblijven in het gebied als trek- en wintervogels-

zijn vanuit de te verwachten ecologische effecten niet alle perioden even geschikt. Hieronder volgt daarom een kort overzicht van de seizoenspatronen van kwalificerende vogels in het gebied en de randvoorwaarden die daaruit naar voren komen.

Topper- en eidereenden

Het gebied in en rond Boontjes is specifiek belangrijk voor Toppereenden: duikeenden die onder andere foerageren op sublitorale mosselen in de vaargeul. Deze zitten hier vooral in de winter, waarbij de hoogste aantallen worden waargenomen in december - januari. Vooral bij langdurige vorstperiodes met ijsgang in het IJsselmeer komen ook grote aantallen in november en februari voor. Ook Eidereenden foerageren en rusten in de Boontjes, maar daarvoor is het relatieve belang van Boontjes kleiner. Eidereenden zijn jaarrond aanwezig maar de maximale aantallen worden in december - januari geteld.

Voor de topper- en eidereenden moet uitvoering in de winterperiode worden vermeden. Bij hoog water foerageren de eenden in het gebied. Bij laag water, wanneer de platen droog zijn gevallen is baggeren eventueel wel mogelijk. Dit is echter waarschijnlijk vanuit de Nb-wet vergunning niet toegestaan.

Steltlopers

Op de slikken rond Boontjes foerageren steltlopers, zij het in geringe aantallen, zo is gebleken uit tellingen in 2011. Daarnaast gebeurt foerageren uitsluitend bij laag water (6 % van een getijperiode), omdat de platen in de directe omgeving van Boontjes laag liggen.

Voor de steltlopers worden de hoogste aantallen waargenomen tijdens de voorjaars- en najaarstrek (resp. maart – begin juni en eind juli - half oktober). Het moment van doortrekken, met bijbehorende opvetperiode, is soortafhankelijk. Zo liggen de voor- en najaarspieken voor Goudplevieren in maart respectievelijk november, voor Regenwulpen in april respectievelijk september en voor Rosse Grutto's in mei respectievelijk augustus. Daarbij moet worden opgemerkt dat, als gevolg van het broedseizoen, de aantallen in het najaar hoger liggen dan in het voorjaar.



Een aantal soorten zoals Scholeksters, Zilverplevieren en Kanoetstrandlopers (ssp islandica) overwinteren in de Waddenzee. Voor deze soorten zijn de aantallen in de winter minder hoog dan tijdens de trekperiode, maar koudestress en het feit dat de vogels aansluitend doortrekken naar de broedgebieden maken dat verstoringen in de winter en het vroege voorjaar grote invloed kunnen hebben op de overleving en reproductie van dergelijke soorten.

Voor de steltlopers moet vooral de winterperiode worden vermeden vanwege koudestress. Daarnaast moet voor de uitvoering de trekperiodes van maart tot

begin juni en juli tot half oktober worden vermeden, maar dit is minder van belang, omdat de werkbare uren voor baggerschepen (bij hoog water) niet overeenkomen met de foerageertijden van steltlopers (laag water).

Primaire productie

Baggerwerkzaamheden leiden –mede afhankelijk van de gekozen techniek- tot vertroebeling. Die vertroebeling kan de groei van fytoplankton belemmeren, en daarmee ook de primaire productie. Het groeiseizoen voor fytoplankton loopt van maart-oktober, waarbij vooral de voorjaarsgroei belangrijk is. Werkzaamheden moeten daarom in deze voorjaarsperiode worden vermeden.

Conclusie

Vanuit het oogpunt van kwalificerende vogels gezien moet de planning van baggerwerkzaamheden gericht worden op momenten in het seizoen dat vogelaantallen en mogelijke fitnessseffecten van verstoring beperkt zijn. Perioden waarin vogels opvetten voor zomer- en wintertrek of perioden waarin vogels blootstaan aan koudestress moeten dan gemeden worden. Vanuit het oogpunt van de primaire productie is het wenselijk niet te baggeren in de periode maart-juni: de troebelheid als gevolg van het baggeren belemmert dan mogelijk de algengroei. Concluderend zijn er vanuit ecologie gezien twee mogelijk uitvoeringsperiodes: juni-half juli en eind september tot begin december.

9.3.3 *Werkbare perioden vanuit scheepvaart*

De frequentie van de beroepsvaart is door het jaar heen regelmatig. In de periode april tot en met oktober komt daar recreatievaart bij, met een piek in juli en een normale verdeling daar omheen.

Voor het baggerwerk geeft dit beperkingen. Baggertechnieken met ankers of andere vaste punten zijn in de periode met hoge intensiteiten aan scheepvaart ongewenst. Vanwege de hinder kunnen onveilige situaties ontstaan. Voor vrij varende baggertechnieken is de combinatie minder optimaal, maar biedt de vaargeul voldoende restructuur om van een aanvaardbare doorgang te spreken.

Vanuit oogpunt van scheepvaart heeft dus de periode oktober tot en met april de voorkeur. Voor varende technieken is daarnaast ook uitvoering tijdens het zomer halfjaar mogelijk.

9.3.4 *Conclusie over uitvoeringsperiode*

Als de aspecten uitvoeringstechniek, ecologie en scheepvaart gecombineerd worden, ontstaat een overzicht van de mogelijkheden voor de uitvoeringsperiode (tabel 9.1).

Tabel 9.1.

Mogelijkheden
uitvoeringsperiode
drempelverwijdering
Boontjes

aspect:	werkbaarheid baggeren		ecologie		scheepvaart	
	stationair	niet-stationair	stationair	niet-stationair	stationair	niet-stationair
januari	beperkt	voorkeur	mijden	mijden	voorkeur	voorkeur
februari	beperkt	voorkeur	mijden	mijden	voorkeur	voorkeur
maart	beperkt	voorkeur	mijden	mijden	voorkeur	voorkeur
april	voorkeur	voorkeur	mijden	mijden	voorkeur	voorkeur
mei	voorkeur	voorkeur	mijden	mijden	mijden	beperkt
juni	voorkeur	voorkeur	beperkt	beperkt	mijden	beperkt
juli	voorkeur	voorkeur	2 ^e helft mijden	2 ^e helft mijden	mijden	beperkt
augustus	voorkeur	voorkeur	mijden	mijden	mijden	beperkt
september	voorkeur	voorkeur	beperkt	beperkt	mijden	beperkt
oktober	beperkt	voorkeur	voorkeur	voorkeur	voorkeur	voorkeur
november	beperkt	voorkeur	voorkeur	voorkeur	voorkeur	voorkeur
december	beperkt	voorkeur	beperkt	beperkt	voorkeur	voorkeur

Uit het overzicht kan worden geconcludeerd dat er twee mogelijke uitvoeringsperioden zijn:

- uitvoeringsperiode eind september - begin december: binnen deze periode is zowel stationair als niet-stationair baggeren mogelijk. Wel is er bij stationair baggeren een beperkte werkbaarheid;
- uitvoeringsperiode juni - half juli. Binnen deze periode gaat in verband met doorgang van de scheepvaart (recreatie seizoen) de voorkeur uit naar niet-stationair baggeren. Half juli start de periode waarin vogels opvetten voor de najaarstrek en eindigt daarmee de gunstige uitvoeringsperiode.

De periode in de zomer is korter, daarnaast vindt in deze periode primaire productie plaats. De voorkeur gaat daarom uit naar de periode in het najaar.

9.4 Uitvoeringswijze

Deze paragraaf beschrijft en beoordeelt de verschillende baggermethodes⁶ die voor uitvoering van de drempelverwijdering kunnen worden toegepast. Hierbij is gekeken naar marktconforme baggermethoden.

9.4.1

Mogelijkheden voor de uitvoeringsmethode

De volgende baggermethodes zijn onderzocht voor de drempelverwijdering:

- baggeren met snijkopzuiger/cutterzuiger: een stationaire installatie die met behulp van zijn roterende snijkop materiaal van op de bodem los maakt;
- baggeren met backhoe/draadkraan: een stationaire installatie waarmee met een graafmachine of draadkraan met een grijper materiaal van de bodem wordt los gemaakt;
- baggeren met onderzuiger: stationaire techniek waarbij niet de bovenste laag sediment (en eventuele onderliggende lagen) verwijderd wordt, maar waarbij een daar onderliggende zandlaag verwijderd wordt;

⁶ De uitvoeringsperiode komt in hoofdstuk 4 aan de orde.

- baggeren met sleepopperzuiger: varende techniek waarbij via een zuigbuis met sleepkop vanaf het schip (de sleepopper) materiaal van de bodem wordt 'opgezogen' en in het schip wordt opgevangen (in de beun);
- agitatiebaggeren met sleepopperzuiger: techniek waarbij het bodemmateriaal weer in suspensie wordt gebracht om vervolgens via natuurlijk transport uit het baggergebied te verdwijnen. Met een sleepopper wordt de beun volgeladen met een mengsel van slib en water. Vervolgens wordt overgeladen zodat het mengsel over de beun heen terugkomt in het omgevingswater en met de stroom wordt meegenomen;
- waterinjecteren: injecteren is het in suspensie brengen van materiaal door injecteren van water in de bodem, waarna de specie door dichtheidsverschillen of stroming moet afvloeien.

In de volgende paragraaf zijn verschillende methodes met elkaar vergeleken. Baggeren met een onderzuiger en waterinjecteren worden hierbij buiten beschouwing gelaten, omdat deze methodes bij voorbaat als niet geschikt zijn beoordeeld voor de drempelverwijdering.

Bij onderzuigen worden relatief lage producties gehaald, daarbij is de toepasbaarheid in getijdengebied en een gebied dat open ligt voor golfslag niet voldoende bewezen. Aangezien er ook geen belang is om (mogelijk) onderliggende zanden te winnen is deze methode geen reëel alternatief voor het werk voor de drempelverwijdering Boontjes en derhalve niet in de vergelijking meegenomen. Waterinjecteren is een aantrekkelijke optie voor het fijne materiaal in de vaargeul, echter deze methode is niet geschikt voor zandig materiaal waar de drempel in Boontjes grotendeels uit bestaat.

9.4.2 *Beoordeling uitvoeringsmethodes*

De baggermethodes zijn beoordeeld op de volgende aspecten:

- productie: werksnelheid in m³/week;
- werkbaarheid: percentage van de tijd dat onder verschillende omstandigheden kan worden doorgewerkt met de methode;
- mate van vertroebeling veroorzaakt met de methode;
- geluidsemissie;
- obstructie van de vaargeul.

Voor het objectief kunnen beoordelen van verschillende baggermethoden zijn de volgende aannames gedaan over de uitgangssituatie:

- een 50-urige werkweek;
- de weersgesteldheid (en dan vooral de golfhoogten ter plaatse van de te verwijderen drempel) bepaalt de werkbaarheid van het baggermaterieel. Er is een golfoverschrijdingstabel opgesteld. Deze is opgenomen in bijlage B;
- de samenstelling van de te baggeren bodem in de vaargeul varieert van klei tot zand. De volgende typen materiaal worden tot een diepte van NAP - 4,5 m in significante hoeveelheden aangetroffen. Achter het type materiaal staat de ingeschatte hoeveelheid in percentage van het totaal:
 - klei (60-70 % < 63µm), circa 30 %;
 - leem (70-80 % silt), circa 12 %;
 - lemig zand (20-35 % < 63 µm, D50 = 130-145 µm) circa 18 %;
 - zand (1-10 % < 63µm, D50 = 100-250 µm) circa 40 %.

Tabel 9.2 geeft een overzicht van de beoordeling van de verschillende werkmethodes/materiaal op de hierboven beschreven aspecten.

Tabel 9.2.
Beoordeling
methodes/materieel voor
baggeren

methode / materieel	productie [m ³ /week] ¹⁾		werkbaar- heid ²⁾	mate van vertroebeling ³⁾	geluids- emissie ³⁾	obstructie vaargeul ³⁾
	van	tot				
snijkopzuiger	19.000	38.000	65-85 %	matig bij leidingtransport, hoog bij bakken laden met overflow	matig	hoog
(draad)kraan op ponton	2.000	4.000	65 %	laag	matig	matig
backhoe (open dieplepel bak)	2.500	5.000	65-85 %	laag/matig	matig	matig
sleehopperzuiger (zonder en met agiteren)	18.000	35.000	95 %	matig/hoog bij overflow gebruik (agiteren)	laag/matig	laag
				laag bij geen overflow (zonder agiteren)		

1) weekproductie gebaseerd 1 stuks ontgravingsmaterieel;

2) de werkbaarheid is verdisconteerd in de productie;

3) beoordeling in laag/matig/hoog.

Productie

De productie varieert sterk per methode en materieel en hangt af van het type materiaal dat gebaggerd wordt. De productie wordt daarnaast sterk beïnvloed door het aantal uren dat er gewerkt wordt per week en het aantal stuks materieel dat ingezet wordt. Hier kan in worden gevarieerd indien noodzakelijk.

Werkbaarheid

Op basis van meerjarige windgegevens is het golfklimaat berekend. Daarbij is rekening gehouden met de waterdieptes en de windrichtingen die afgeschermd liggen (door land). Het golfklimaat bepaalt uiteindelijk de werkbaarheid van het materieel. Stationair materieel zal bij een significante golfhoogte tussen de 0,5 en 0,7 m moeten stoppen met baggeren. In geval er doorgewerkt wordt is de kans op schade groot aan bijvoorbeeld zij-ankers/draden, spudpalen/spudstelsel en/of drijvende leiding. Van april tot en met september is de werkbaarheid ongeveer een factor 10 beter dan gedurende de wintermaanden. Niet-stationair materieel heeft veel minder last van golven en zal meer dan 95 % van de tijd (gehele jaar) door kunnen werken.



Mate van vertroebeling

Voor al het baggermaterieel geldt dat er vertroebeling zal optreden gedurende het baggerproces en bij het verspreiden op een verspreidingslocatie. De mate van vertroebeling verschilt per methode zoals ook aangegeven in de tabel.

Geluidsemissie

Het geluid dat geproduceerd wordt door de verschillende typen baggermaterieel zal het geluid dat geproduceerd wordt door het passerende scheepvaartverkeer in beperkte mate overstijgen. Het geluid zal echter continue van aard zijn, met name bij het stationaire equipment.

Obstructie vaargeul

Obstructie van de vaargeul is niet gewenst. Scheepvaartverkeer dient ten alle tijde doorgang te kunnen vinden. Stationair baggermaterieel blokkeert de vaargeul in meer of mindere mate. Wanneer schepen moeten passeren zal het productieproces wellicht tijdelijk gestopt moeten worden. Vooral bij de snijkopzuiger zal dat het geval zijn door de anker (zij-) draden die hij op dat moment zal moeten laten vieren.

Niet stationair materiaal levert minder obstructie. Dit materieel vaart zelf door de vaargeul en vormt als zodanig onderdeel van het scheepvaartverkeer. Wel zal het zo zijn dat de vaarsnelheid een stuk lager ligt dan die van de overige schepen. In overleg met de scheepvaartbeheerder zullen duidelijke afspraken gemaakt moeten worden tussen het werken op de drempel en passerende schepen.

Hydraulische of mechanisch baggeren

Klei en lemige gronden zullen grotendeels uiteen vallen wanneer ze hydraulisch worden gebaggerd. Wanneer dit materiaal vervolgens wordt toegepast zal het snel verspreiden in de omgeving. Dit betekent dat dit materiaal niet toepasbaar is op een locatie waar het doel is dat het blijft liggen. Zandige gronden zullen na hydraulisch baggeren en vervolgens verspreiden wel blijven liggen. Met mechanische baggeren kan worden voorkomen dat leem of kleigronden hun structuur verliezen (uiteen vallen) en niet meer toepasbaar zijn op locaties waar het moet blijven liggen.

9.4.3

Conclusie uitvoeringsmethode

Aan de hand van de beoordeling van uitvoeringsmethoden in paragraaf 9.4.2 is de inzet van een sleephopperzuiger het meest voor de hand liggend. De producties met een backhoe of draadkraan zijn te laag om binnen de beschikbare tijdvensters de werkzaamheden in Boontjes uit te voeren. Een snijkopzuiger haalt wel hoge producties, maar leidt tot sterke obstructie van de vaargeul en kent een lagere werkbaarheid dan een sleephopper.

Met een sleephopper zijn hoge producties mogelijk, deze methode kent de hoogste werkbaarheid en geluidsoverlast is beperkt. Daarnaast is obstructie beperkt door de niet-stationaire werkmethode en kan met een sleephopper zandig materiaal naar een verspreidingslocatie gebracht worden en fijn materiaal worden geagiteerd. vertroebeling is een aandachtspunt bij inzet van een sleephopperzuiger. Wanneer voor agiteren wordt gekozen is er een matige tot hoge mate van vertroebeling.

Op basis van de vergelijking is een sleehopperzuiger de beste methode voor uitvoering van de drempelverwijdering. Baggeren met een sleehopperzuiger is tevens één van de methoden die vergund zijn (in het kader van de Nb-wet) voor onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de Waddenzee. Alternatieven worden in de verdere effectstudies niet beschouwd.

9.5 Toepassing vrijkomend materiaal

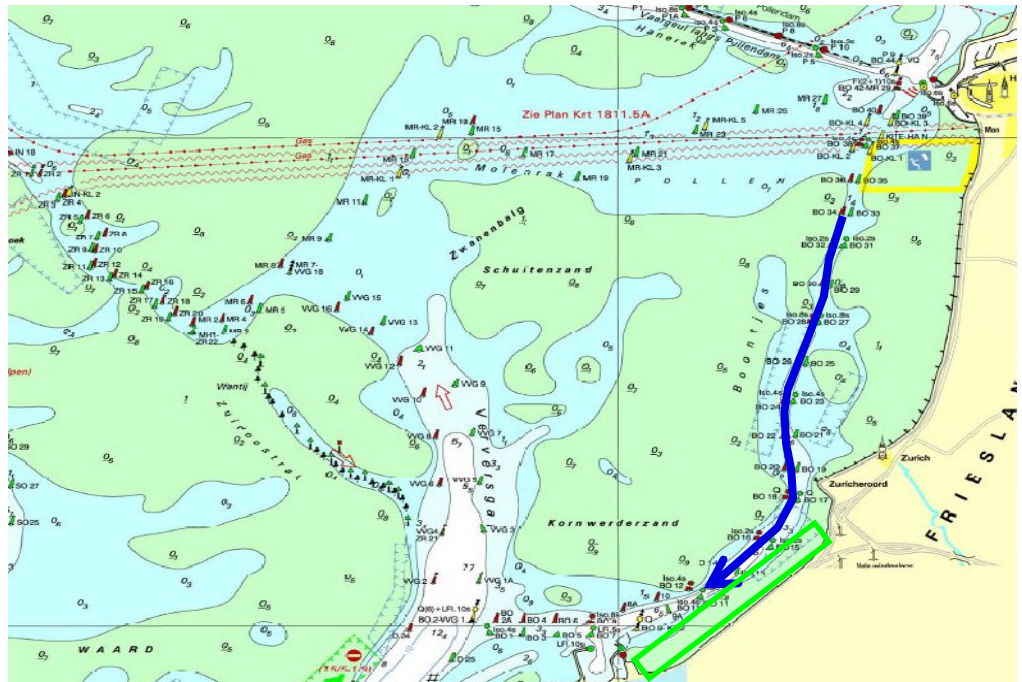
Voor de verwerking van het vrijkomend materiaal zijn in de effectstudie twee verspreidingslocaties onderzocht.

Het diepste deel van Boontjes

In afbeelding 9.2 is deze verspreidingslocatie met een blauwe pijl weergegeven. Het is een bestaande verspreidingslocatie die is vergund in het kader van onderhoudsbaggerwerk in de Waddenzee. De locatie ligt tussen boeienpaar BO11 en BO12 (coördinaten 152.800X, 567.000 Y). Wanneer al het vrijkomend materiaal (uitgaande van variant 2 voor de geulafmetingen) hier wordt teruggebracht, wordt de diepte tot ongeveer - 9.0 m NAP opgevuld.

Afbeelding 9.2.

Verspreidingslocaties
(blauwe pijl: Boontjes Zuid,
kader: aanlanding
Afsluitdijk)



Verspreiding bij aanlanding Afsluitdijk

Het vrijkomend materiaal kan worden verspreid op enkele locaties op de sublitorale zandplaten tussen Kornwerderzand en Zürich (zie groen kader in afbeelding 9.2). Het doel van verspreiding van het vrijkomend materiaal op de sublitorale platen is het stimuleren van verkweldering (pilot natuurontwikkeling) en het opdoen van kennis over de morfologische processen in het gebied op basis van monitoring. Door het verspreiden van het materiaal op een aantal locaties op de platen kunnen sublitorale zandruggen worden gevormd. Hierdoor ontstaat een luwe zone in het gebied tussen/achter de zandruggen, waarmee het proces van aanzanding en verkweldering in het gebied wordt gestimuleerd door (extra) bezinking van materiaal.

Het is niet exact te voorspellen in hoeverre het materiaal blijft liggen op de platen. De pilot wordt daarom gecombineerd met monitoring om op basis daarvan kennis op te doen over de morfologische processen in het gebied. Het stimuleren van kweldervorming in de westelijke Waddenzee draagt bij aan de doelen vanuit de Kaderrichtlijn Water (KRW) voor dit gebied.

9.6 Varianten in effectstudies

In de voorgaande paragrafen zijn de varianten voor verschillende aspecten van de drempelverwijdering beschreven. Samenvattend zijn de volgende varianten/alternatieven meegenomen in de effectstudies:

- drie varianten voor de geulafmetingen:
 - variant 1: nautische diepte - 3.30 m NAP, breedte 100 m;
 - variant 2: nautische diepte - 3.80 m NAP, breedte 100 m;
 - variant 3: nautische diepte - 3.80 m NAP, breedte 150 m;
- twee locaties voor de toepassing van het vrijkomende materiaal:
 - verspreiden van het materiaal in diepste deel Boontjes;
 - verspreiden van het materiaal op sublitorale platen langs de vaargeul bij de aanlanding van de Afsluitdijk;
- uitvoeringsmethode: uitvoering met een sleephopper, exacte uitvoeringsmethode afhankelijk van de verspreidingslocatie voor het vrijkomend materiaal;
- twee alternatieven voor de uitvoeringsperiode:
 - oktober tot december;
 - juni tot half juli.

10 Effecten van de varianten

Effectstudies zijn uitgevoerd voor drie thema's:

- hydrologie en morfologie;
- ecologie;
- nautiek.

Voor het thema hydrodynamica en morfologie zijn de effecten beschreven in paragraaf 10.2 en in de achterliggende rapportage die is opgenomen in bijlage D. De effecten in hydrodynamica en morfologie vormen een belangrijke input voor de bepaling van ecologische effecten. Deze effecten zijn beschreven in paragraaf 10.3 en in de achterliggende rapportage die is opgenomen in bijlage E. De nautische effecten worden beschreven in paragraaf 10.4. Tenslotte gaat paragraaf 10.5 in op de kosten. Het doelbereik wordt beschreven in hoofdstuk 11 op basis van de economische analyse.

10.1 Beoordelingskader

Voor de effectbeschrijving is gebruik gemaakt van het beoordelingskader in tabel 10.1.

Tabel 10.1.
Beoordelingskader voor
effectstudies

thema/aspect	criterium	methodiek
hydrodynamica en morfologie		
stroming	verandering in stroomsnelheid	modelberekeningen (WAQUA)
golven	verandering in golfeigenschappen	modelberekeningen (SWAN)
morfologie	- verandering in plaatareaal (uitgedrukt in percentage) -verandering in sedimenttype op platen	expert judgement
zoet-zoutpatronen	verandering ligging 5-promile contour	modelberekeningen (WAQUA)
slibdoordringing	verandering verspreiding slib door Waddenzee	modelberekeningen (WAQUA met meerdere lagen)
ecologie		
Natura 2000	verandering leefgebied habitatsoorten (per soort): bodemfauna	semi-kwantitatief expert oordeel vanuit hydrologische modelresultaten, voor kleinere fauna kwalitatieve beoordeling via recente literatuur Waddenzee
	verandering leefgebied habitatsoorten (per soort): mosselelers	semi-kwantitatief expert oordeel via beschikbare mosselbanken literatuur over draagkracht, in combinatie met effecten bodemfauna
	verandering leefgebied habitatsoorten (per soort): steltlopers	expertoordeel literatuur najaar en validatie via tellingen en vergelijking wintertellingen Oosterschelde
	verandering leefgebied habitatsoorten (per soort): vissen	verzoeting en trofiëring: expertoordeel vanuit modelresultaten, waar mogelijk kwantitatief

Flora- en faunawet	verandering leefgebied beschermde soorten (per soort)	kwalitatief in relatie tot Natura 2000
kaderrichtlijn water	benutting ecologische kansen voor natuurlijke kenmerken en processen	kwalitatief
nautiek		
scheepvaartveiligheid	verandering in de objectieve scheepvaartveiligheid	kwalitatief op basis van ongevalsstatistieken en prognoses voor toekomstig gebruik

In de effectbeschrijving (met name voor ecologie) is onderscheid gemaakt naar de volgende effecten:

- effecten door verandering van de geulafmetingen;
- effecten door verandering van het gebruik van de vaargeul;
- effecten door toepassing van het vrijkomende materiaal;
- tijdelijke effecten door uitvoeringswerkzaamheden.

10.2 Effecten hydrodynamica en morfologie

De effecten voor het thema hydrodynamica en morfologie zijn samengevat in tabel 10.2. In het deelrapport in bijlage D worden de studie en resultaten uitgebreid toegelicht.

In de effectbeschrijving wordt verwezen naar varianten 1 tot en met 3. Dit betreft de varianten voor de geulafmetingen. In de effectstudie zijn de geulafmetingen inclusief overdiepte (worst case benadering) meegenomen. Het gaat dan om de volgende afmetingen:

- variant 1: diepte - 3,80 m NAP, breedte 100 m;
- variant 2: diepte - 4,30 m NAP, breedte 100 m;
- variant 3: diepte - 4,30 m NAP, breedte 150 m.

Per effect wordt de grootte van het effect beschreven. Voor de meeste effecten wordt er geen directe beoordeling gegeven. De beoordeling is afhankelijk van de afgeleide effecten voor met name ecologie (zie paragraaf 10.3).

Tabel 10.2.

Conclusies effecten hydrodynamica en morfologie

aspect	conclusie
water- en golfbeweging	
waterstanden	In de geul verandert de waterstand met enkele millimeters tijdens rustig weer en tot maximaal 1,5 cm tijdens springtij. Op de platen is de verandering onder alle omstandigheden kleiner dan 1 cm. Dit effect van de drempelverwijdering op de waterstanden is niet significant, omdat de droogvalduur van de platen niet noemenswaardig verandert door de waterstandsveranderingen.
stroomsnelheden in de geul	De drempelverwijdering versterkt de stroomsnelheden in de geul ter hoogte van de drempel in Boontjes zowel bij eb als bij vloed met circa 0,01 m/s (3 %) bij variant 1 tot maximaal ongeveer 0,025 m/s (7 %) bij variant 3.
stroomsnelheden op de platen	De drempelverwijdering zorgt voor een afname van de stroomsnelheden op de platen. De afname bedraagt direct naast de geul tijdens vloed bij springtij ongeveer 0,005 m/s (2 %) bij variant 1, 0,007 m/s (2,5 %) bij variant 2 en 0,012 m/s (4 %) bij variant 3. Verder van de geul af neemt de invloed af.

debiet door de geul	De debieten door de geul nemen zowel bij eb als bij vloed toe door de drempelverwijdering. De toename bedraagt bij rustig weer bij vloed circa 35 m ³ /s (5 %), 70 m ³ /s (10 %) en 120 m ³ /s (16 %) bij respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Bij eb is dit respectievelijk circa 20 m ³ /s (5 %), 40 m ³ /s (10 %) en 65 m ³ /s (16 %). Er treedt geen significante verandering in de getijasymmetrie op.
significante golfhoogte	De significante golfhoogte neemt ten gevolge van de drempelverwijdering tijdens stormcondities toe in de as van de geul en licht af op de platen. Lokaal zijn de veranderingen tijdens stormcondities circa 5 cm. Op grotere afstand van de geul neemt de grootte van verandering snel af.
morfologie	
sedimenttransport in Boontjes	Ten gevolge van de drempelverwijdering nemen de sedimenttransporten door Boontjes, gemiddeld over de lengte, met 0,3 % (variant 1), 1,9 % (variant 2) en 4,0 % (variant 3) toe. De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen met 10 tot 40 % af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. Aan weerszijden van de drempel nemen de sedimenttransporten met enkele procenten toe.
onderhoudsbaggerwerk	Sediment zet zich voornamelijk af aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens de maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul. Op basis van de verandering in de varianten ten opzichte van de referentiesituatie van enerzijds de plaat-geuluitwisseling en anderzijds de sedimenttransportcapaciteit zijn baggervolumes per variant ingeschat. Het baggervolume is ingeschat op 22.000 m ³ /jaar voor variant 1, 32.000 m ³ /jaar voor variant 2 en 14.000 m ³ /jaar voor variant 3. Deze volumes zijn naar verwachting conservatief ingeschat.
ontwikkeling plaatareaal	De som van de afnemende sedimentatie ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee en de permanente sedimentatie ten gevolge van de zeespiegelstijging zal door de drempelverwijdering initieel versterkt worden met ongeveer 0,5 % (variant 1), 2 % (variant 2) en 4 % (variant 3). Deze versterking zal vervolgens na verloop van tijd enigszins afnemen door de verwachte lichte aanzanding in Boontjes.
grootschalig morfologisch systeem	Er is geen enkele aanwijzing om een verband te leggen tussen de drempelverwijdering en het karakter van het grootschalige morfologische systeem van de getijdebekken van het Vlie en het Marsdiep.
zoet-zout patronen	
situatie zonder realisatie ESA	De contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit verschuiven door de drempelverwijdering (variant 2) in noordoostelijke richting over een afstand in de orde van enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes neemt de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie toe met ongeveer 0,5 % in de situatie zonder wind en 1 % in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.
situatie met realisatie ESA	Door verwijdering van de drempel in de huidige situatie neemt de saliniteit in Boontjes licht toe. Dezelfde trend is te verwachten in het geval de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal zijn verhoogd.
verspreiding gestort materiaal afkomstig uit de haven van Harlingen	Geen significant effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib.

verspreiding vrijkomend materiaal	
verspreiding zand	Met uitzondering van de directe nabijheid van een stortend baggerschip treedt er geen vertroebeling op door het storten van zand.
verspreiding slib	De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de stortlocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75 % (0,06 kg/m ³) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van 0,08 kg/m ³ . Ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (circa 0,8 kg/m ³) bedraagt deze verhoging slechts 7,5 %. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen, de verhoging verdwijnt (grotendeels) binnen 10 minuten na het einde van het verspreiden. Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden. De geringe diepte en doorstroming ten noorden van de Pollendam leidt tot de grootste concentratieverhogingen rond deze stortlocatie. In het Kimstergat zijn de concentraties lager vanwege de combinatie van goede doorstroming en een redelijk grote diepte. Bij Zuid-Boontjes is de diepte zodanig groot, dat de menging groot is, met relatief lage concentraties tot gevolg.

10.3 Effecten ecologie

De effecten voor het thema ecologie zijn samengevat in tabel 10.3. In het deelrapport in bijlage E worden de studie en resultaten uitgebreid toegelicht. De algemene conclusie is dat er geen significante, negatieve effecten optreden en dat de effecten niet onderscheidend zijn voor de varianten. Wel worden er vanuit ecologie enkele eisen gesteld aan de uitvoeringsperiode en -methode. Deze eisen zijn toegelicht in de kolom 'methodiek' van tabel 10.3.

Tabel 10.3.

Overzicht effecten ecologie

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
Natura 2000	verandering leefgebied habitatsoorten en habitatyten	verandering bodemfauna	geen effecten van gebruiksfase beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli, geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december.
		verandering mosselelers	geen effecten in gebruiksfase mogelijk kleine effecten a.g.v. verandering voedselaanbod bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant omdat de mogelijk kleine effecten op voedselaanbod optreden in een periode dat weinig vogels aanwezig zijn.
		verandering steltlopers	enige verstoring mogelijk bij baggeren tijdens springtij laagwater, maar nabij gelegen platen maar beperkt van belang voor steltlopers vanwege de korte droogvalduur. Geen effecten in gebruiksfase.

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
		verandering vissen	geen effecten, want maar zeer beperkte effecten op verzoeting en zoetwaterbel komt eerder minder ver Boontjes in dan verder
		verandering overige habitatsoorten	geen significante effecten, hooguit zeer beperkte toename van verstoring tijdens uitvoering
		verandering habitattypen	geen effecten van gebruiksfase beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant, geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december
Flora- en faunawet	verandering leefgebied beschermde soorten, overtreding van verbodsbepalingen		bruinvis enige relevante beschermde soort, maar gebied is van marginaal belang voor deze soort en additionele verstoring gering. Geen overtreding verbodsbepalingen
Kaderrichtlijn Water	benutting ecologische kansen voor natuurlijke kenmerken en processen		geringe veranderingen troebelheid met geringe effecten op primaire productie tijdens uitvoering juni - half juli heeft geen effect op de maatlatscore voor het waterlichaam. In gebruiksfase geen effecten op maatlatscore. Toepassing van vrijkomend materiaal voor stimulering van kweldervorming draagt bij aan de KRW-doelen voor de westelijke Waddenzee

10.4 Effecten nautiek

De effecten nautiek zijn beoordeeld aan de hand van het criterium scheepvaartveiligheid. In de jaren 2007 tot en met 2010 zijn er gemiddeld twee incidenten per jaar gemeld voor de vaargeul Boontjes. Het gaat bij alle incidenten om grondingen op of in de buurt van de drempel.

Effecten van de drempelverwijdering op de scheepvaartveiligheid kunnen worden veroorzaakt door veranderingen in hydrodynamica in de vaargeul en door veranderingen in gebruik van de vaargeul. De hydrodynamische effecten zijn beschreven in paragraaf 10.2. Deze effecten zijn zeer beperkt en leiden niet tot significante nautische effecten.

De drempelverwijdering leidt wel tot verandering in het gebruik van de vaargeul:

- de drempelverwijdering zorgt voor een verruiming van de tijvensters waarbinnen scheepvaart Boontjes kan passeren. Hierdoor wordt de piekbelasting in de huidige beperkte tijvensters gespreid over langere periodes. Voor de gemiddelde scheepsklasse M6 (CEMT IV) neemt het tijvenster toe van 40 % beschikbaarheid per getijcyclus naar ongeveer 80 % (zie ook economische analyse, bijlage C);

- in de huidige situatie komt het regelmatig voor dat schepen richting de drempel in Boontjes varen op het moment dat de waterstand nog te laag is om de drempel te passeren. Schepen laten zich vervolgens vastlopen voor de drempel en wachten hier tot de waterstand genoeg stijgt om verder te varen. Bij ruimere tijvensters is de kans op vastlopen kleiner;
- de drempelverwijdering zorgt ervoor dat de vaarroute via Boontjes naar de haven van Harlingen aantrekkelijker wordt. Dit kan leiden tot een beperkte modal shift van vervoer per as naar vervoer per water op de route. Hiermee neemt de intensiteit van het vervoer via Boontjes toe. Deze toename is naar verwachting beperkt (zie economische analyse, bijlage C).

De verandering in gebruik heeft een positief effect op de scheepvaartveiligheid. Door de ruimere beschikbare tijvensters ontstaat een spreiding in de piekbelasting van de vaargeul. De gemiddelde intensiteiten gaan daarmee omlaag. Een mogelijke beperkte toename van intensiteiten door modal shift heft dit effect niet op. Door de betere spreiding neemt de kans op incidenten in de vaargeul door aanvaring en/of vastlopen af. Hiermee heeft de drempelverwijdering een positief effect op de nautische veiligheid.

10.5 Kostenraming

Tabel 10.4 presenteert de kosten voor de uitvoering van het initiële baggerwerk voor de drie varianten voor de geulafmetingen. In deze kostenraming is uitgegaan van volledige verspreiding van het vrijkomende materiaal in het diepste deel van Boontjes. Verspreiding op één van de andere verspreidingslocaties leidt tot extra kosten waar apart financiering voor moet worden geregeld.

Tabel 10.4.
Kosten initiële
baggerwerkzaamheden

variant	eenheidsprijs werkzaamheden (EUR/m ³)	totaal kosten (mln EUR, exclusief BTW)	totaal kosten (mln EUR, inclusief BTW)
1	5,2	1,2	1,4
2	5,5	2,9	3,5
3	5,5	4,9	5,8

Tabel 10.5 presenteert de kosten voor uitvoering van het onderhoudsbaggerwerk voor de drie varianten voor de geulafmetingen.

Tabel 10.5.
Kosten onderhoudsbagger-
werkzaamheden

variant	aanzanding (m ³ /jaar)	kosten onderhoud (mln EUR/jaar, exclusief BTW)
1	22.000	0,11
2	32.000	0,16
3	14.000	0,07

11 Doelbereik

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de economische analyse die is opgenomen in bijlage C. In de economische analyse zijn de relevante kosten en baten geïdentificeerd, waar mogelijk gekwantificeerd, en in de tijd uitgezet met een vooruitzicht voor 30 jaar. Vervolgens is het economische rendement van de drempelverwijdering berekend, en de haalbaarheid beoordeeld. De moeilijk kwantificeerbare baten zijn omschreven en apart bij de beoordeling betrokken.

11.1 Kosten en baten

De kosten van de drempelverwijdering zijn:

- initiële baggerkosten;
- onderhoudsbaggerkosten.

De baten worden mede bepaald door het aantal scheepspassages. De ontwikkeling hiervan hangt samen met de economische groei. Deze is in de analyse gebaseerd op WLO scenario's en de door DVS in 2009 opgestelde prognoses voor de passages door de Lorentzsluis. De scenario's en prognoses kennen een aanzienlijke bandbreedte, waardoor deze prognoses door het CPB ondanks de huidige financiële crisis als relevant beoordeeld zijn.

Baten van de drempel verwijdering zijn:

- reductie van wachttijden vrachtvervoer;
- lagere terminal kosten en vermindering transport over de weg;
- model shift effect (toename vervoer over water in plaats van over de weg);
- verbetering veiligheid;
- nuttig hergebruik van het gebaggerde materiaal uit Boontjes op andere locaties.
- reductie van wachttijden recreatievaart;

Alhoewel de drempelverwijdering een impuls geeft aan schaalvergroting en daarmee aan lagere transportkosten, wordt dit effect niet als baat meegenomen. Na de drempelverwijdering in Boontjes wordt de schaalvergroting immers geremd door een volgend knelpunten op de vaarroute, bijvoorbeeld de breedte van de Lorentzsluis. Schaalvergroting op zich leidt tevens tot dieper stekende schepen en daardoor weer tot hogere wachttijden voor Boontjes. Het meenemen van baten uit zowel minder wachttijd als schaalvergroting zou dus tot een dubbeltelling leiden.

11.2 Resultaten economische analyse

De resultaten van de drempelverwijdering waarbij kosten en baten weergegeven zijn op basis van nominale prijzen (aangepast voor inflatie) zijn samengevat in tabel 11.1. In de analyse zijn alleen de eerste twee varianten voor de geulafmetingen beschouwd: nautische diepte - 3.30 m NAP en - 3.80 m NAP, beide met een breedte van 100 m. De derde, bredere, variant is buiten beschouwing gelaten, omdat deze geen aanvullende baat realiseert en niet binnen het taakstellend budget gerealiseerd kan worden.

Tabel 11.1.

Samenvatting KBA
drempelverwijdering
Boontjes, verwacht
scenario, nominale prijzen⁷
(EUR, exclusief BTW)

variant 1: 0.5 m drempelverwijdering				
	2010	2020	2030	2040
kosten initieel baggeren	- 1.176.000			
baten wachttijd	222.000	319.000	479.000	623.000
besparing transport en terminal kosten	55.000	94.000	163.000	281.000
besparing in verband met belading bulk	60.000	86.000	136.000	174.000
kosten onderhoudsbaggeren	- 111.000	- 144.000	- 189.000	- 251.000
netto baten	226.000	355.000	589.000	827.000
terugverdientijd initiële kosten	5 jaar			
IRR	24 %			
variant 2: 1,0 m drempelverwijdering				
	2010	2020	2030	2040
kosten initieel baggeren	- 2.873.000			
baten wachttijd	308.000	443.000	663.000	864.000
besparing transport en terminal kosten	55.000	94.000	163.000	281.000
besparing in verband met belading bulk	60.000	86.000	136.000	174.000
kosten onderhoudsbaggeren	- 163.000	- 216.000	- 287.000	- 383.000
netto baten	260.000	407.000	675.000	936.000
terugverdientijd initiële kosten	9 jaar			
IRR	13,0 %			

De drempel verwijdering wordt op basis van deze kengetallen als economisch haalbaar beoordeeld. Een beperkte drempelverwijdering van een halve meter heeft een rentabiliteit van ongeveer 24 % en terugverdientijd van 5 jaar. Drempelverwijdering met een meter heeft een rentabiliteit van 13 % en terugverdientijd van 9 jaar.

Opgemerkt dient te worden dat de als moeilijk te kwantificeren baten zoals de scheepvaartveiligheid, de voordelen voor de recreatievaart sector en het modal shift effect voor het goederenvervoer, in deze cijfers niet meegenomen zijn.

11.3 Gevoeligheid resultaten

De resultaten van de economische analyse zijn gevoelig voor een aantal factoren, met name:

- de te hanteren kielspeling voor schepen;
- de vermijdbaarheid van de wachttijden bij Boontjes;
- de kosten van het onderhoudsbaggeren.

Kielspeling voor vrachtschepen

De vereiste water diepte wordt bepaald door de diepgang van het schip en de kielspeling. Er blijkt voor de gehanteerde kielspeling een discrepantie te bestaan tussen de RVW richtlijnen en de praktijk van de beroepsvaart. Op basis van RVW2005 wordt, gelet op het feit dat op de Waddenzee relatief hoge windgolven voorkomen (lange strijklengten), tenminste 30 % kielspeling aanbevolen. Uit de vele lange sleepsporen die zichtbaar zijn in de bodem van de huidige drempel in Boontjes, blijkt echter dat schepen Boontjes ook passeren met een minimale, soms

⁷

Rekening houdend met inflatie.

zelfs geen, kielspeling. Dit resulteert enerzijds tot een ruimer tijvenster voor de beroepsvaart en anderzijds tot mogelijke veiligheidsrisico's.

Omdat 5 % kielspeling overeenkomt met de praktijk van de beroepsvaart zijn de berekeningen voor de wachttijden uitgevoerd met dit percentage. Dit resulteert inderdaad ook in wachttijden zoals die zich in de praktijk voordoen. Berekeningen met ruimere kielspeling resulteren in gemiddeld (zeer) lange wachttijden, die in de praktijk niet herkenbaar zijn.

De vermijdbaarheid van de wachttijden bij Boontjes

In de berekening van de wachttijden voor Boontjes is aangenomen dat het tijdstip van afvaart richting Boontjes een statistisch 'normale verdeling' kent. Vanwege diverse fysieke en logistieke beperkingen en knelpunten in de regelgeving is het voor de meeste vervoerders niet mogelijk om een planning te maken waarbij significante wachttijden voor Boontjes vermeden kunnen worden. Dit uitgangspunt is door sommige betrokkenen in gesprekken benadrukt. De feitelijke mogelijkheden om door goede planning de wachttijden (deels) te vermijden is moeilijk te verifiëren. Om deze reden is voor dit uitgangspunt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Onderhoudskosten baggeren

De belangrijkste aanname voor de inschatting van het onderhoudsbaggerwerk is dat de aan- en afvoer van sediment in evenwicht is. De eventuele invloed van een niet-erodeerbare drempel (sedimenttransportcapaciteit groter dan optredend sedimenttransport) wordt op deze manier buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is aangenomen dat de resultaten voor de dwarsraai representatief zijn voor de gehele geul. Dit betekent dat het 'verwachte' kosten betreft, die in de praktijk zowel lager als hoger uit kunnen vallen. Meer conservatieve uitgangspunten leiden tot substantieel hogere kosten, en hebben daarmee een groot effect op de economische haalbaarheid.

12 Conclusies en voorkeursvariant

12.1 Integrale effectbeoordeling

Tabel 12.1 geeft een beknopt overzicht van de beoordeling van de drie varianten in de verschillende effectenstudies.

Tabel 12.1.
Samenvatting
effectbeoordeling

thema	beoordeling varianten	conclusie
hydrodynamica en morfologie	De effecten op gebied van hydrodynamica en morfologie variëren van zeer beperkt voor variant 1 tot beperkt voor variant 3. De beoordeling van deze effecten komt terug bij de andere thema's.	De effecten variëren van zeer beperkt voor variant 1 tot beperkt voor variant 3. De effecten zijn doorvertaald naar de andere thema's.
ecologie	Voor alle varianten geldt dat de effecten voor zowel habitattypen als habitatoorten beperkt zijn. Wel moet er rekening worden gehouden met randvoorwaarden voor de uitvoeringsperiode en -methode	Er zijn voor alle drie de varianten geen significante, negatieve effecten
nautiek	Voor alle drie de varianten geldt dat de drempelverwijdering leidt tot een verbetering van de nautische veiligheid. Deze verbetering is groter voor variant 2 en 3 doordat deze varianten leiden tot grotere tijvensters	Een klein positief effect voor alle drie de varianten met een iets groter effect voor varianten 2 en 3 door een groter tijvenster.
economie	Geen beoordeling van variant 3, omdat deze niet realiseerbaar is binnen het taakstellend budget. Varianten 1 en 2 zijn beide economisch haalbaar met een rentabiliteit van respectievelijk 19 en 10 % en terugverdientijd van respectievelijk 6 en 11 jaar	Variant 3 is niet realiseerbaar binnen het taakstellend budget. Varianten 1 en 2 zijn allebei economisch rendabel, waarbij variant 1 de grootste rentabiliteit heeft.

12.2 Conclusie voorkeursvariant

Variant 2 is opgenomen in de bestuursovereenkomst voor het project drempelverwijdering Boontjes. Uit de effectenstudies blijkt dat deze variant geen significante negatieve effecten heeft en economisch haalbaar is. Variant 3 is onderzocht om inzicht te krijgen in het effect van een grotere ingreep. Het blijkt dat bij een vergroting van de ingreep het benodigde onderhoud wordt beperkt. Deze variant heeft echter grotere (negatieve) effecten op gebied van ecologie en hydrodynamica. Daarnaast is variant 3 niet realiseerbaar binnen het beschikbare budget.

Variant 1 is onderzocht om inzicht te krijgen in de effecten bij een kleinere ingreep. Uit de economische analyse blijkt deze variant de grootste rentabiliteit te hebben door de lagere kosten bij een kleinere ingreep. De verschillen in effecten op hydrodynamica, morfologie en ecologie ten opzichte van variant 2 zijn beperkt.

De effectenstudies geven geen aanleiding om af te wijken van de variant zoals benoemd in de bestuursovereenkomst. Deel I van dit projectplan Waterwet gaat daarom uit van variant 2.

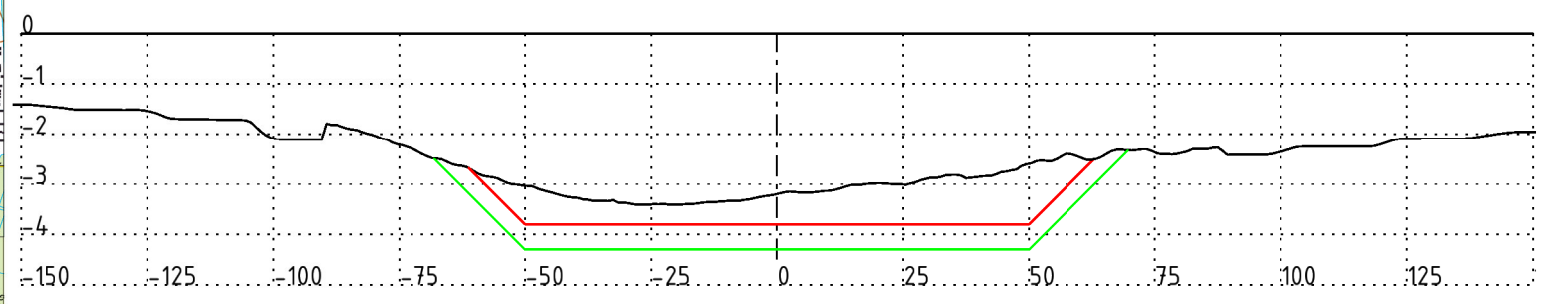
Deel III: Bijlagen

Bijlage A Ontwerp drempelverwijdering



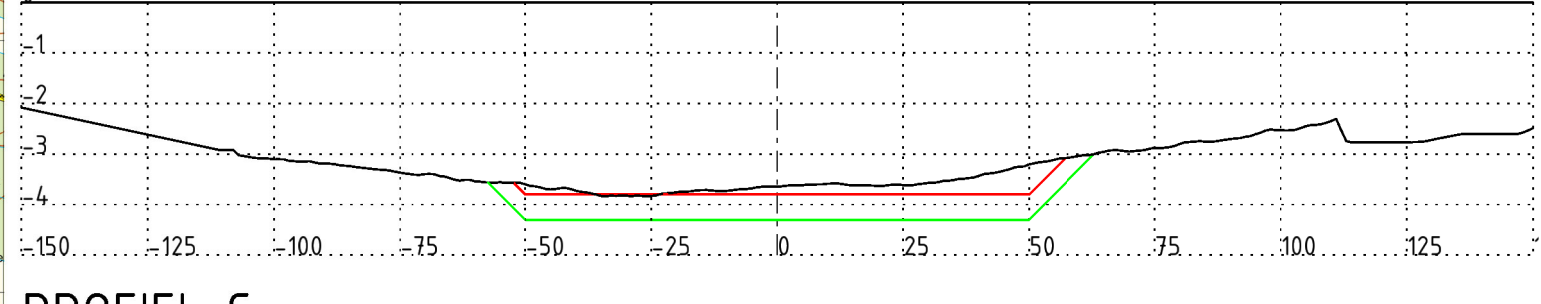
PROFIEL A

Horizontale schaal 1:500
Verticale schaal 1:50



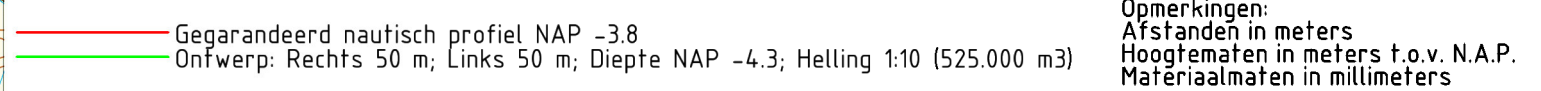
PROFIEL B

Horizontale schaal 1:500
Verticale schaal 1:50



PROFIEL C

Horizontale schaal 1:500
Verticale schaal 1:50



— Gegarandeerd nautisch profiel NAP -3.8
— Ontwerp: Rechts 50 m; Links 50 m; Diepte NAP -4.3; Helling 1:10 (525.000 m3)

Opmerkingen:
Afstanden in meters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.
Materiaalmaten in millimeters

PROVINCIE FRYSLAN DREMPELVERWIJDERING BOONTJES

Ontwerp
Baggerdiepte -4.3

Witteveen **Bos**

Postbus 10095
1301 AB Almere
Telefoon 036 548 29 00
Telefax 036 533 38 83

Getekend M. 't Hart
Gecontroleerd E.D.P. Eijnhoven
Goedgekeurd R. Lohrmann
Datum 04-08-2011

G	
F	
E	
D	
C	
B	
A	
Wijzigingen	
Schaal	1:30000
LMR19.3.1004	
Formaat	A3

Bijlage B Golfoverschrijdingstabel

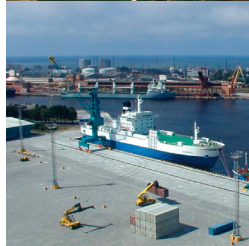
Significant wave height - month - cumulative exceedance diagram

Project: LMR19-3-10
 Script: lmr19_3_10_knmi2golven_NAP1m.m

cumulative exceedance of wave height												
	month											
wave height [m]	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
0,1	0,9	0,91	0,91	0,89	0,92	0,9	0,89	0,88	0,87	0,91	0,92	0,88
0,2	0,71	0,76	0,71	0,67	0,76	0,72	0,74	0,69	0,67	0,69	0,76	0,7
0,3	0,58	0,65	0,59	0,52	0,62	0,59	0,61	0,58	0,54	0,56	0,62	0,57
0,4	0,49	0,56	0,48	0,39	0,47	0,47	0,49	0,45	0,44	0,47	0,51	0,47
0,5	0,39	0,44	0,36	0,25	0,31	0,32	0,33	0,3	0,33	0,38	0,4	0,37
0,6	0,32	0,34	0,26	0,16	0,19	0,2	0,21	0,2	0,24	0,3	0,31	0,29
0,7	0,24	0,25	0,16	0,09	0,11	0,1	0,12	0,1	0,15	0,22	0,21	0,21
0,8	0,16	0,16	0,1	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,08	0,14	0,12	0,13
0,9	0,09	0,09	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,07	0,06	0,08
1	0,04	0,04	0,02	0	0	0,01	0	0	0,01	0,03	0,02	0,03
1,1	0,01	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01
1,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bijlage C Economische analyse

Actualisatie economische baten drempelverwijdering Boontjes



Actualisatie economische baten drempelverwijdering Boontjes

referentie	projectcode	status
LMR19-3/schs5/032	LMR19-3	definitief
projectleider	projectdirecteur	datum
B.A.J. Meeuwissen MSc	mw. ir. C.M. Sluis	16 november 2011

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	B.A.J. Meeuwissen MSc	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	1
1.1. Inleiding	1
1.2. Methodiek economische analyse	1
1.3. Kosten	2
1.4. Baten	2
1.5. Gevoeligheid Economische resultaten	5
1.6. Resultaten economische analyse	6
2. PROGNOSE GOEDERENTRANSPORT OP BOONTJES	9
2.1. Lange termijn scenario's en prognoses	9
2.2. Prognose goederentransport Lorentzsluizen/Boontjes	9
2.3. Prognose en lokale ontwikkelingen	11
3. WACHTTIJDEN	13
3.1. Passages	13
3.2. Passage tijden Lorentzsluis	13
3.3. Invloedfactoren getijdenster	14
3.4. Benodigde waterdiepte	17
3.5. Getijdenster	18
3.6. Berekening wachttijden en kosten	18
3.7. Effecten op recreatievaart	22
3.8. Overige baten drempelverwijdering	23
4. KOSTEN BATEN ANALYSE DREMPELVERWIJDERING	25
4.1. Initiële en jaarlijkse baggerkosten	25
4.2. Samenvatting KBA	25
laatste bladzijde	26
BIJLAGEN	aantal blz.
I Passages Lorentzsluizen 2006-2010 (bron: RWS DVS)	1
II Voorbeeld 4-wekelijkse variatie in waterstanden	1
III Toelichting berekening wachttijden	3
IV Brugdraaiing Lorentzsluizen	1
V Nuttig aanwenden zand, berekening kostenbesparing	1

1. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

1.1. Inleiding

De huidige financiële crisis heeft geleid tot een economische krimp (-3,9 % van het bbp in 2009), een lage economische groei (onder 2 %) in 2008 en 2010, en ook in 2011 is de economische onrust evident. Dit vormt een scherp contrast met de optimistische economische groei verwachting van voor de crisis. Deze ontwikkeling heeft ook een groot effect op de transportsector. De initiatiefnemer heeft daarom gevraagd opnieuw de economische haalbaarheid van de drempelverlaging te beoordelen, en vast te stellen of bijvoorbeeld een fasering van de uitvoering hierop een gunstig effect heeft.

De studie naar de economische baten vormt de basis voor de nut en noodzaak paragraaf in het project plan. De doelstelling van deze rapportage is een beknopte update van een eerdere studie uitgevoerd door Ecorys¹. De consistentie van deze en de eerdere studie is gewaarborgd doordat Ecorys commentaar geleverd heeft op een eerdere versie van dit rapport, hetgeen in de voorliggende versie verwerkt is.

1.2. Methodiek economische analyse

In deze economische analyse voor de drempelverwijdering Boontjes worden de relevante kosten en baten geïdentificeerd, waar mogelijk gekwantificeerd, en in de tijd uitgezet met een vooruitzicht voor 30 jaar. Vervolgens wordt het economische rendement van de drempelverwijdering berekend, en de haalbaarheid beoordeeld. De moeilijk kwantificeerbare baten worden omschreven en kwalitatief bij de beoordeling betrokken.

De kosten van de drempel verwijdering zijn:

- initiële bagger kosten;
- onderhouds bagger kosten.

De baten worden mede bepaald door het aantal scheepspassages. De ontwikkeling hiervan hangt samen met de economische groei. Deze is in deze studie gebaseerd op WLO scenario's en de door DVS in 2009 opgestelde prognoses voor de passages door de Lorentzsluis. De scenario's en prognoses kennen een aanzienlijke bandbreedte, waardoor deze prognoses door het CPB ondanks de huidige financiële crisis als relevant beoordeeld zijn.

Baten van de drempelverwijdering zijn:

- reductie van wachttijden vrachtvervoer;
- minder lading meegenomen door vrachtschepen;
- model shift effect (toename vervoer over water in plaats van over de weg);
- verbetering veiligheid;
- nuttig hergebruik van het gebaggerde materiaal uit Boontjes op andere locaties;
- reductie van wachttijden recreatievaart.

De drempelverwijdering heeft minimale invloed op het bestaande proces van schaalvergroting in de binnenvaart.

¹ Economische baten van drempelverwijdering Boontjes, quick scan van bestaande studies aangevuld met nieuwste inzichten, Ecorys, 2007.

De resultaten van de economische analyse zijn gevoelig voor een aantal factoren, met name:

- de te hanteren kielspeling voor schepen;
- de vermijdbaarheid van de wachttijden bij Boontjes;
- de kosten van het onderhouds baggeren.

De in de inleiding genoemde kosten, baten en gevoeligheden worden hieronder kort samengevat. Opgemerkt wordt dat het zwaartepunt van de vraagstelling voor deze studie de beoordeling betreft van de wachttijden en de relevantie van de WLO economische groei scenario's.

1.3. Kosten

De initiële baggerkosten zijn geraamd op EUR 1.176.000,00 voor -0,5 m baggeren, en EUR 2.873.000,00 voor -1,0 m baggeren, bij een eenheidsprijs van respectievelijk 5,20 en 5,50 EUR/m³.

De kosten voor het jaarlijks onderhouds baggeren betreffen EUR 111.000,00 en EUR 63.000,00 bij respectievelijk -0,5 en -1,0 m drempelverwijdering.

1.4. Baten

Prognose goederenvervoer over Boontjes

In 2009 heeft DVS op basis van nieuwe inzichten bij de planbureaus de regionalisatie van de WLO goederenvervoer-prognose herzien. Dit resulteerde in prognoses voor specifieke telpunten, waaronder de Lorentzsluizen, voor het vrachtvervoer, groei laadvermogen, gepasseerd laadvermogen en vervoert gewicht, met als basisjaar 2008. De onderliggende gegevens voor deze analyse betreffen de economische ontwikkelingen per COROP¹ gebied, alsmede specifieke ontwikkelingen die een groot effect hebben op transport. Hierbij zijn met name te noemen zandwinning uit zee in plaats van uit de Maas, de productie van biobrandstoffen, de sluiting van de kolenmijnen en de sterk toegenomen handel met China wat tot een sterke groei in containerstromen heeft geleid.

DVS gebruikt de WLO scenario's 'Global Economy' (optimistisch) en 'Regional Communities' (pessimistisch), en presenteert de onderstaande prognoses voor de Lorentzsluis in 2020 en 2040.

Tabel 1.1. DVS prognose vervoerd gewicht via de Lorentzsluis

	totaal tonnen	bulk tonnen	containers tonnen	container TEU
in 2008	1.183.000	972.000	209.000	17.400
global economy				
2020	1.556.000	1.172.000	382.000	31.800
2040	2.270.000	1.484.000	784.000	65.300
regional communities				
2020	1.135.000	915.000	218.000	18.100
2040	1.067.000	836.000	229.000	19.000

¹ COROP komt van Coördinatie Commissie Regionaal OnderzoeksProgramma.

Uit deze cijfers blijkt ten eerste de ruime bandbreedte die tussen de twee scenario's gehanteerd wordt. Uitgaande van het gemiddelde van de twee extreme scenario's wordt 25.000 TEU in 2020 bereikt, en groeit dit aantal verder door. De toename van bulk overslag is naar verwachting beperkt.

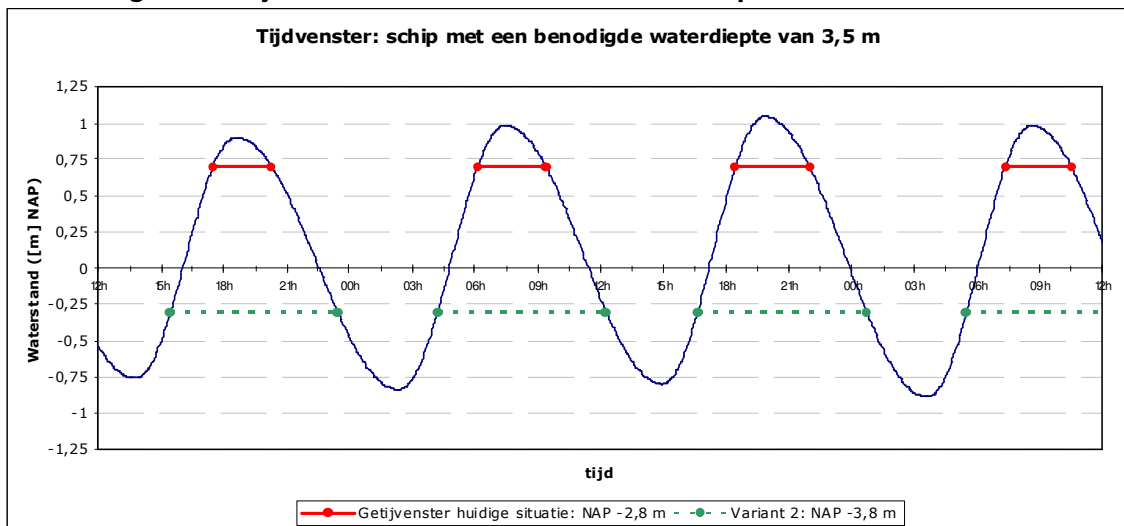
Reductie van wachttijden vrachtvervoer

De wachttijd die optreedt in verband met de huidige drempel in Boontjes (NAP -2,8 m) hangt af van:

- het dagelijks getij (eb en vloed);
- de maandelijkse getijde cyclus (doodtij, springtij);
- op- en afwaaiing;
- type schip (diepgang);
- beladingsgraad;
- gewenste/noodzakelijke kielspeling.

Onder een getij venster wordt de periode verstaan waarin een schip Boontjes gedurende een getij cyclus kan passeren. Dit is in afbeelding 1.1 voor een periode van twee dagen geïllustreerd voor een CEMT IV schip (M6) dat voor 100 % is beladen. In deze specifieke situatie kan dit schip in de getij cyclus van ongeveer twaalf uur ongeveer drie uur passeren. Tevens is in de afbeelding 1.1 het effect van 1 m drempelverlaging geïllustreerd waardoor de meeste schepen ongehinderd kunnen doorvaren.

Afbeelding 1.1. Getijvenster illustratie voor een M6 schip



Het getij venster en de wachttijd op een specifieke dag zijn echter tevens afhankelijk van de maandelijkse getijde cyclus en van de wind. Op basis van twintig jaar waterstanden is berekend dat voor dit schip met een diepgang van -3,0 m en een minimale benodigde waterdiepte van 3,15 m (minimale kielspeling van 5 %) voor Boontjes de 'beschikbaarheid' 38 % bedraagt met een gemiddelde wachttijd van bijna 3,5 uur.

De wachttijden voor passages van Boontjes zijn berekend. Startpunt hiervoor is het aantal passages Lorentzsluizen voor diverse scheepsklassen in 2010 (bron: RWS-DVS)¹. Vervolgens zijn per klasse schip beladen en onbeladen, en voor de situatie met en zonder drempel de volgende gegevens bepaald:

- benodigde waterdiepte (m) in combinatie met de kielspeling;
- % passages met (en zonder) wachttijd;
- gemiddeld aantal uren wachttijd;
- totaal uren wachttijd;
- wachtkosten per uur per type schip;
- totale wachtkosten.

In tabel 1.2 worden de baten wachttijd (vermindering van wachtkosten) in 2010, 2020 en 2040 gepresenteerd voor een drempelverwijdering van 0,5 en 1,0 m, bij een kielspeling van minimaal 5 %.

Tabel 1.2. Baten uit vermindering wachttijd door drempelverwijdering (EUR x 1.000, constante prijzen)

	variant 1 (- 0,5 m)			variant 2 (- 1,0 m)		
	beladen	onbeladen	totaal	beladen	onbeladen	totaal
huidige situatie	338	4	343	338	4	343
met drempelverwijdering	121	0	121	35	0	35
baten wachttijd in 2010			222			308
baten wachttijd in 2020:						
- optimistisch			271			377
- verwacht			235			326
- pessimistisch			198			276
baten wachttijd in 2040:						
- optimistisch			339			471
- verwacht			249			346
- pessimistisch			160			221

Een belangrijk uitgangspunt bij deze berekening is dat het gewenste tijdstip van afvaart richting Boontjes kent een uniforme (willekeurige) verdeling. Vanwege diverse fysieke, logistieke en knelpunten in de regelgeving is het voor de vervoerders niet mogelijk om een planning te maken waarbij wachttijden voor Boontjes vermeden kunnen worden.

Minder lading meegenomen

In de huidige situatie bij een combinatie van doortij (minimaal hoogwater) en aanhoudende oostenwind kan het voor volgeladen container schepen onmogelijk zijn Boontjes te passeren binnen één getijdencyclus. Voor deze schepen wordt dit soms opgelost door met name de zware containers af te laden en per as (of in sommige gevallen vanuit Heerenveen over water) naar Rotterdam te vervoeren. Ongeveer twee keer per maand worden circa tien zware containers van het schip afgeladen en per as naar Rotterdam vervoerd. De totale jaarlijkse kosten hiervoor worden berekend op EUR 55.000,00. In deze kosten zijn ook begrepen het omladen van diverse containers op het schip, en de extra kosten op de terminal die het inhuren van personeel met zich meebrengt opdat het schip alsnog Boontjes tijdig kan passeren.

Voor Klasse IV en Va bulk schepen laden, afhankelijk van het maandelijks getij, niet 100 % vol. De hiermee samenhangende jaarlijkse kosten worden geraamd op EUR 60.000,00

¹ Zie bijlage I voor detailgegevens.

(2008). Voor de overige vrachtschepen wordt ervan uitgegaan dat deze 100 % beladen zijn.

Modal shift

Lagere kosten en betrouwbaardere dienstverlening maken het aantrekkelijker voor verladers om over te stappen van transport per as naar water. Dit geldt met name voor container transport. De baat van de wachttijdvermindering door drempelverwijdering is berekend op 2 % van de totale vervoerskosten (omzet) van het containerschip (enkele reis Harlingen-Rotterdam). Indien deze kosten besparing volledig doorberekend zou worden in lagere transporttarieven, resulteert dit dus slechts in een relatief kleine prijsverlaging, en daarmee naar verwachting tot een beperkt modal shift effect. Een feitelijke kwantificering van dit modal shift effect is echter moeilijk te onderbouwen. Dit effect wordt geacht meegenomen te zijn in de inschatting van het optimistische Global Economy scenario voor container transport.

Verbeterde veiligheid in de vaarweg

Ruimere tijdvensters leiden tot een betere spreiding van de passages bij de Lorentzsluis en Boontjes. Hierdoor neemt zowel het risico van aanvaringen af als het aantal schepen dat met minimale kielspeling Boontjes passeert.

Nuttige aanwending van uit Boontjes gebaggerd zand

Voor het nuttig hergebruik van het zand uit Boontjes op andere locaties zijn de uitgespaarde kosten berekend op EUR 576.000,00 bij 1 m drempelverwijdering. Deze baat is echter niet meegenomen in de kosten-baten-analyse.

Recreatievaart

Voor de recreatievaart is de drempelverwijdering eveneens van belang. De hinder die deze sector ondervindt blijkt onder meer uit het uitwijk gedrag van de recreatievaart voor de Lorentzsluis/Boontjes. Statistieken laten zien dat bij den Oever in de afgelopen jaren sprake is van een sterke toename van passages, terwijl deze bij de Lorentzsluis/Boontjes al lange tijd constant gebleven is. De drempelverwijdering Boontjes komt het recreatieve product van Friesland ten goede, hetgeen gezien de (inter)nationale concurrentie in de watersport van belang is. De jachthaven van Harlingen heeft in het bijzonder belang bij de drempelverwijdering.

1.5. Gevoeligheid Economische resultaten

De volgende uitgangspunten hebben een belangrijk effect op de economische beoordeling van de drempelverwijdering:

De vermijdbaarheid van de wachttijden bij Boontjes

In de berekening van de wachttijden voor Boontjes is aangenomen dat het tijdstip van afvaart richting Boontjes een statistisch 'normale verdeling' kent. Vanwege diverse fysieke en logistieke beperkingen en knelpunten in de regelgeving is het voor de meeste vervoerders niet mogelijk om een planning te maken waarbij significante wachttijden voor Boontjes vermeden kunnen worden. Dit uitgangspunt is door sommige betrokkenen in gesprekken benadrukt. De feitelijke mogelijkheden om door goede planning de wachttijden (deels) te vermijden is moeilijk te verifiëren. Om deze reden is voor dit uitgangspunt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

Kielspeling voor vrachtschepen

De vereiste water diepte wordt bepaald door de diepgang van het schip en de kielspeling. Er blijkt voor de gehanteerde kielspeling een discrepantie te bestaan tussen de RVW richt-

lijnen en de praktijk van de beroepsvaart. Op basis van RVW2005 wordt, gelet op het feit dat op de Waddenzee relatief hoge windgolven voorkomen (lange strijk lengten), tenminste 30 % kielspeling aanbevolen. In de praktijk blijkt echter dat schepen Boontjes ook passeren met een veel kleinere, soms minimale kielspeling. Dit resulteert enerzijds tot een ruimer tijvenster voor de beroepsvaart en anderzijds tot mogelijke veiligheidsrisico's.

De wachttijd berekeningen zijn uitgevoerd met een percentage van minimaal 5 %. Dit resulteert in wachttijden die corresponderen met in de praktijk van de beroepsvaart herkenbare tijden.

Onderhoudskosten baggeren

De belangrijkste aanname voor de inschatting van het onderhoudsbaggerwerk is dat de aan- en afvoer van sediment in evenwicht is. De eventuele invloed van een niet-erodeerbare drempel (sedimenttransportcapaciteit groter dan optredend sedimenttransport) wordt op deze manier buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is aangenomen dat de resultaten voor de dwarsraai representatief zijn voor de gehele geul. Dit betekent dat het 'verwachte' kosten betreft, die in de praktijk zowel lager als hoger uit kunnen vallen. Meer conservatieve uitgangspunten leiden tot substantieel hogere kosten, en hebben daarmee een groot effect op de economische haalbaarheid.

1.6. Resultaten economische analyse

De resultaten van de drempelverwijdering waarbij kosten en baten weergegeven zijn op basis van nominale prijzen (aangepast voor inflatie) worden samengevat in tabel 1.3.

Tabel 1.3. Samenvatting KBA drempelverwijdering Boontjes, verwacht scenario, nominale prijzen ¹ (EUR)

variant 1: 0,5 m drempelverwijdering					
		2010	2020	2030	2040
Kosten initieel baggeren	-1,176,000				
Baten wachttijd		222,000	319,000	479,000	623,000
Besparing i.v.m. containers		55,000	94,000	163,000	281,000
Besparing i.v.m. belading bulk		60,000	86,000	136,000	174,000
Kosten onderhoudsbaggeren		-111,000	-144,000	-189,000	-251,000
Netto baten		226,000	355,000	589,000	827,000
Terugverdientijd initiële kosten	5 jaar				
IRR	24 %				

variant 2: 1,0m drempelverwijdering					
		2010	2020	2030	2040
Kosten initieel baggeren	-2,873,000				
Baten wachttijd		308,000	443,000	663,000	864,000
Besparing transport en terminal kosten		55,000	94,000	163,000	281,000
Besparing i.v.m. belading bulk		60,000	86,000	136,000	174,000
Kosten onderhoudsbaggeren		-163,000	-216,000	-287,000	-383,000
Netto baten		260,000	407,000	675,000	936,000
Terugverdientijd initiële kosten	9				
IRR	13.0 %				

¹ Rekening houden met inflatie.

De drempelverwijdering wordt op basis van deze kengetallen als economisch haalbaar beoordeeld.

Voor wat betreft 0,5 m drempelverlaging geldt dat indien planning in de transportketen resulteert in feitelijke wachttijden die 90 % lager uitvallen, de IRR daalt naar 5 %. Voor wat betreft 1,0 m drempel verlaging ligt deze grenswaarde op 60 % lagere wachttijden. Indien deze vermijdbare wachtkosten nog hoger zouden liggen, dan daalt de IRR onder de 5 %. Hierdoor zou het project in principe als economisch niet-haalbaar beoordeeld kunnen worden.

Opgemerkt dient echter te worden dat de als PM aangeduide moeilijk te kwantificeren baten zoals de scheepvaart veiligheid, de voordelen voor de recreatievaart sector en het modal shift effect voor het goederenvervoer, in deze cijfers niet meegenomen zijn. De relevantie van deze effecten kunnen reden zijn om de economische bijdrage van het project toch als positief te beoordelen ondanks een laag of negatief berekeningsresultaat.

Ook is in deze berekening geen rekening gehouden met het kostenvoordeel door een nuttige aanwending van materiaal uit Boontjes op andere locaties (EUR 576.000,00 bij 1 m verdieping).

2. PROGNOSE GOEDERENTRANSPORT OP BOONTJES

2.1. Lange termijn scenario's en prognoses

In 2004 hebben het Centraal Planbureau (CPB), het Ruimtelijke Planbureau (RPB) en het Milieu en Natuurplanbureau (MPB) vier lange-termijnsenario's gepresenteerd voor Welvaart en Leefomgeving (WLO). Deze scenario's zijn vertaald naar goederenstromen. De twee voor de goederenstromen uiterste scenario's, te weten Regional Communities (RC, het pessimistische scenario) en Global Economy (GE, het optimistische scenario) zijn in recente studies naar vaarwegen in Friesland gebruikt. Dit geldt ook voor de prognoses in de studie 'Economische baten van drempelverwijdering Boontjes'. In de uitwerking van de WLO-scenario's is een onderscheid gemaakt in de gevolgen voor de Randstad, de omliggende regio's en overig Nederland. Fryslân valt in de laatste categorie. De WLO-scenario's zijn uitgewerkt tot het jaar 2040.

De financiële crisis, met voornamelijk 2009 als nadrukkelijk dieptepunt, heeft echter de vraag opgeroepen of de WLO prognoses nog steeds valide zijn, temeer gezien de sterke effecten op de transportsector. Deze vraag is in een tweetal (gerelateerde) studies recentelijk beantwoord.

In 'De financiële crisis en de beleidsopgaven volgens de WLO' (CPB memorandum 19 januari 2010) wordt geconcludeerd dat:

'Gezien de relatief korte duur van de verwachte huidige recessie adviseren de planbureaus nu (december 2009) om de investeringsopgave van de WLO, die toch al een grote breedte kent, nog niet aan te passen. De financiële crisis bevestigt vooral het belang van het gebruik van de verschillende bestaande scenario's. Investeringsopgaven dienen tegen de achtergrond van zowel de hogere als de lagere groeiscenario's beoordeeld te worden.'

In de beleidsstudie 'Bestendigheid van de WLO scenario's door het Planbureau voor de Leefomgeving' uit 2010 wordt een conclusie van gelijke strekking getrokken.

Rijkswaterstaat (DVS) heeft in 2005 een vertaling gemaakt van de vier WLO scenario's naar goederenstromen per type goed (NSTR codering) en regio (COROP). Daarvoor is de economie module van het goederenvervoersmodel SMILE gebruikt. Er is een vertaling gemaakt van de WLO scenario's naar de belangrijkste verklarende variabelen voor het goederenvervoer: productie, consumptie, invoer en uitvoer en deze zijn geregionaliseerd op COROP niveau. Met behulp van deze studie zijn de prognoses voor de goederenstromen opgesteld. In 2009 heeft DVS op basis van nieuwe inzichten bij de planbureaus deze regionalisatie herzien. Dit alles resulteerde in prognoses voor specifieke telpunten, waaronder de Lorentzsluizen, voor het vrachtvervoer, groei laadvermogen, gepasseerd laadvermogen en vervoert gewicht, met als basisjaar 2008. De onderliggende gegevens voor deze analyse betreffen de economische ontwikkelingen per COROP gebied, alsmede specifieke ontwikkelingen die een majeur effect hebben op transport. Hierbij zijn met name te noemen zandwinning uit zee in plaats van uit de Maas, de productie van biobrandstoffen, de sluiting van de kolenmijnen sterk toegenomen handel met China wat voor een enorme ontwikkeling van containerstromen heeft geleid.

2.2. Prognose goederentransport Lorentzsluizen/Boontjes

De prognose voor goederentransport via de Lorentzsluizen uit de DVS studie worden gepresenteerd in tabel 2.1. Het betreft resultaten voor zowel het GE optimistisch en het RE pessimistisch scenario in 2020 en 2040.

Tabel 2.1. Prognose voor goederentransport via de Lorentzsluizen voor de 'optimistisch' en 'pessimistisch' scenario's (vervoerd gewicht in tonnen)

	totaal	zand, grind, klei (61)	zout en overige mineralen (62, 63)	overige bulk	stukgoed (999)	containers (tonnen)	containers (TEU)
in 2008	1.183.000	218.000	377.000	183.000	194.000	209.000	17.417
global economie							
toename per jaar	2,3 %	- 0,1 %	2,3 %	1,6 %	1,7 %	5,1 %	5,1 %
2020	1.556.000	215.000	497.000	222.000	238.000	382.000	31.833
toename per jaar	1,9 %	0,8 %	1,3 %	0,7 %	1,6 %	3,7 %	3,7 %
2040	2.270.000	253.000	645.000	257.000	329.000	784.000	65.333
regional communiteiten							
toename per jaar	- 0,3 %	1,4 %	0,1 %	0,6 %	- 0,6 %	0,3 %	0,3 %
2020	1.135.000	183.000	383.000	169.000	180.000	218.000	18.167
toename per jaar	- 0,3 %	- 1,0 %	0,1 %	- 1,2 %	- 0,4 %	0,2 %	0,2 %
2040	1.067.000	149.000	389.000	133.000	165.000	229.000	19.083

Uit de tabel blijkt in de eerste plaats de grote bandbreedte van de twee scenario's. Terwijl het optimistische GE scenario een redelijke groei laat zien, vertoont het pessimistische RC scenario een lichte krimp.

De snelste groei wordt voorzien voor containers, in het GE scenario verdubbelt dit transport bijna tot 32.000 TEU in 2020 (12 ton = 1 TEU), equivalent aan 204 passages met het containerschip. Ook in het pessimistische RE scenario wordt nog een lichte groei van container transport voorzien tot ruim 18.000 TEU.

Voor bulk wordt, afhankelijk van het scenario en het type, een lichte groei of krimp verwacht.

In tabel 2.2 is wordt een prognose gegeven van het aantal en type vrachtvervoerende schepen in de binnenvaart.

Tabel 2.2. Prognose aantal en type vrachtvervoerende schepen via de Lorentzsluizen

	2008	2015	2020	2030	2040
CEMT Klasse					
II	88	82	78	67	58
III	472	446	429	378	333
IV	456	437	424	384	347
Va	340	411	471	571	693
onbekend	252	219	185	112	11
totaal binnenvaart	1.609	1.596	1.587	1.512	1.441
zeevaartvracht 1)	43	43	43	43	43
zeevaart, visserij 1)	808	808	808	808	808
binnenvaart, niet vrachtvervoerend 2)	1.126	1.207	1.269	1.402	1.548
recreatievaart 3)	38.759	41.555	43.675	48.244	53.291
totaal	42.345	45.209	47.381	52.008	57.132

1. geen prognose beschikbaar
2. charterschip, 1 % jaarlijkse groei voor recreatievaart
3. 1 % jaarlijkse groei voor recreatievaart

Bij deze prognose is uitgegaan van DVV prognoses voor aantallen schepen voor zowel bulk en containertransport. Voor de uitsplitsing in type bulkschepen zijn aannames gemaakt uitgaande van de trend in schaalvergroting.

2.3. Prognose en lokale ontwikkelingen

Vergeleken met de eerdere WLO prognoses leidt de studie tot lichte verschuivingen in de vervoersstromen tussen regio's. Vergeleken met de eerder gehanteerde goederentransport prognose voor 'overig Nederland' uit 2004 worden eveneens kleine veranderingen geconstateerd.

Ten aanzien van aanpassing van deze op basis van WLO gegenereerde groeicijfers vanwege lokale ontwikkelingen wordt het volgende opgemerkt. Positieve groeicijfers voor het goederenvervoer op de lange termijn veronderstellen investeringen in bedrijfsterreinen, fabrieken et cetera, die deze toename in vervoersstromen genereren. Ook al door de lange termijn van de prognoses dient zeer kritisch beoordeeld te worden of specifieke lokale ontwikkelingen zouden moeten leiden tot een aanpassing van de WLO gebaseerde groeicijfers. Aanpassing van cijfers kan resulteren in een 'dubbeltelling'. Een situatie echter waarin de prognose voor bijvoorbeeld zout transport een daling laat zien, terwijl lokaal nadrukkelijk geïnvesteerd wordt in productiecapaciteit, zou bijvoorbeeld aanleiding kunnen geven tot het aanpassen van de WLO gebaseerde groeicijfers.

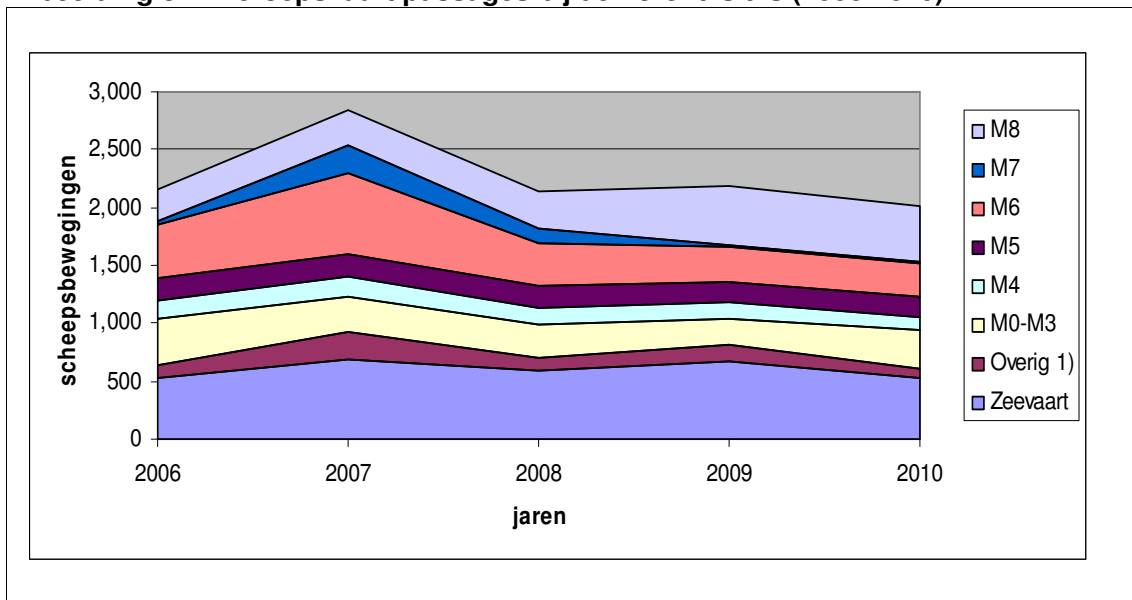
HCL (Harlingen Container Lines) heeft recentelijk ook in Heerenveen een terminal geopend. Dit kan een impuls geven aan container afvaarten via Harlingen door doorvoer van containers uit Heerenveen via Harlingen. Door MCS wordt in samenwerking met Campina een terminal geopend in Leeuwarden. Dit betekent een concurrent in het achterland van de terminal in Harlingen. Het vervoer van afval voor de verbrandingsoven in Harlingen gaat vooralsnog (voor een periode van twee jaar) via de weg. Deze ontwikkelingen geven geen aanleiding tot het aanpassen van de WLO gebaseerde DVS prognoses.

3. WACHTTIJDEN

3.1. Passages

Afbeelding 3.1 laat de ontwikkeling van de beroepsvaart passages bij de Lorentzsluis zien. In bijlage I is een uitsplitsing naar beladen en leeg toegevoegd.

Afbeelding 3.1. Beroepsvaart passages bij de Lorentzsluis (2006-2010)



Opvallend is vooral het hoge aantal schepen in 2007 en de teruglopende aantallen in samenhang met de economische crisis. Het lage aantal passages in 2010 is onder andere toe te schrijven aan de lange vorstperiode in januari, februari en december. Daarnaast is de toename van M8 (CEMT Va) schepen en de afname van M6 (CEMT IV) schepen opvallend, waarbij de toename van containertransport over water met name bepalend is in M8 passages. Het aandeel van schepen kleiner dan M6 en de zeescheepvaart is betrekkelijk stabiel.

3.2. Passage tijden Lorentzsluis

In onderstaande tabel worden voor sluisen op het traject Harlingen-Rotterdam de passeertijden vergeleken. De NIS statistieken hebben betrekking op schepen die binnen de norm tijd (10 - 120 minuten) de sluis passeren. Van registraties die lager of hoger zijn worden verondersteld dat fouten gemaakt zijn; deze metingen vallen buiten de statistiek.

Tabel 3.1. Passage tijden Lorentzsluis vergeleken (2009*)

	gepasseerd binnen norm-tijd (10 - 120 minuten)	gemiddelde passeertijd	maximale passeertijd
Lorentzsluizen, sluis (301)	73 %	30	99
Krabbersgatsluizen, sluis (251)	96 %	21	69
Oranjesluizen, sluis (233)	92 %	21	77
Prinses Irenesluis, sluis (225)	90 %	33	104
Prins Bernardsluis, sluis (225)	84 %	31	98
Gemiddeld Amsterdam N.Nederland	87 %	28	97

Bron: DVS, NIS

Voor 73 % van de passages is de gemiddelde tijd 30 minuten, hetgeen niet afwijkt van het gemiddelde voor Noord Nederland. Ook ligt de maximale passage tijd (binnen de normtijd van 120 minuten) op een gemiddeld niveau. Dit kan opvallend genoemd worden gezien het grote aantal recreatie schepen dat de Lorentzsluizen passeert.

In samenhang met de problematiek van de ondiepte in Boontjes kan geconcludeerd worden dat de schepen niet zozeer wachten voor de sluis, maar in Harlingen, Kampen of in een andere haven. Schepen kunnen eventueel ook 'niet-vaargereed' wachten voor de sluis, maar dit blijkt betrekkelijk weinig voor te komen.

3.3. Invloedfactoren getijdenster

Deze paragraaf beschrijft de invloedfactoren op het getijdenster op de beroepsvaart.

Diepgang en benodigde waterdiepte scheepvaart

De benodigde waterdiepte wordt bepaald door de diepgang per scheepsklasse, de belading en de benodigde kielspeling. In onderstaande tabel is een kielspeling van 5 % gebruikt. Dit sluit aan bij de praktijk van de beroepsvaart op Boontjes (zie toelichting hieronder), alhoewel RWS een aanmerkelijk ruimere richtlijn voor de kielspeling hanteert (30 %).

Tabel 3.2. Diepgang schepen per CEMT klasse bij 5 % kielspeling (bron AVV-2002 classificatie)

CEMT klasse	diepgang schip (m)		benodigde diepgang bij beladingsgraad (m)	
	leeg	vol	0 %	100 %
I	1,2	2,5	1,3	2,6
II	1,4	2,6	1,5	2,7
III	1,5	2,7	1,6	2,8
IV	1,6	3	1,7	3,2
Va ¹⁾	1,8	3,5	1,9	3,7

1. De afgeladen diepgang van klasse Va schepen kan variëren tussen 3,50 en 4,50 m.

Uit de gegevens die door Rijkswaterstaat DVS beschikbaar zijn gesteld, volgt wel of een schip beladen of leeg is, maar niet de beladingsgraad van het schip.

25 % van de in Harlingen haven met zand en grind beladen schepen hebben een maximaal laadvermogen van 1.750 ton (klasse IV); dit type schip is in het algemeen het grootste schip dat voor zand en grind gebruikt wordt. Deze schepen worden in verband met de drempel niet volledig (1.500-1.600 ton) afgeladen. De overige voor dit type transport gebruikte schepen hebben minder diepgang en worden maximaal afgeladen (bron: Spaansen, Harlingen).

Voor zout transport vanuit Harlingen worden schepen van maximaal 3.500 ton laadvermogen (CEMT Va) ingezet. 100 % beladen hebben deze schepen een diepgang van -4,0 m, hetgeen ook op het IJsselmeer en in de sluisen een knelpunt oplevert. Hierdoor worden deze schepen niet maximaal beladen. De drempel in de Boontjes vormt echter een verdergaande beperking (bron: Spaansen, Harlingen).

Het klasse Va containerschip, dat een groot aandeel heeft in de klasse Va schepen op Boontjes, heeft een gemiddelde diepgang hebben van (slechts) - 3,0 m, met een maximum

van - 3,3 m (bron: HOV Harlingen). Deze schepen zijn wat betreft diepgang derhalve beter te vergelijken met een klasse IV schip.

Bovendien blijkt er voor wat betreft de kiel-speling een discrepantie te bestaan tussen de RVW richtlijnen en de praktijk van de beroepsvaart. Op basis van RVW2005 wordt, gelet op het feit dat op de Waddenzee hoge windgolven voorkomen (lange strijklengten), tenminste 30 % kielspeling aanbevolen. In de praktijk wordt, in incidentele gevallen wanneer omstandigheden daar aanleiding toe geven, ook gevaren met een minimale kielspeling. Dit resulteert zowel tot een ruimer tijvenster voor de beroepsvaart als tot mogelijke veiligheidsrisico's.

Diepgang bij Boontjes

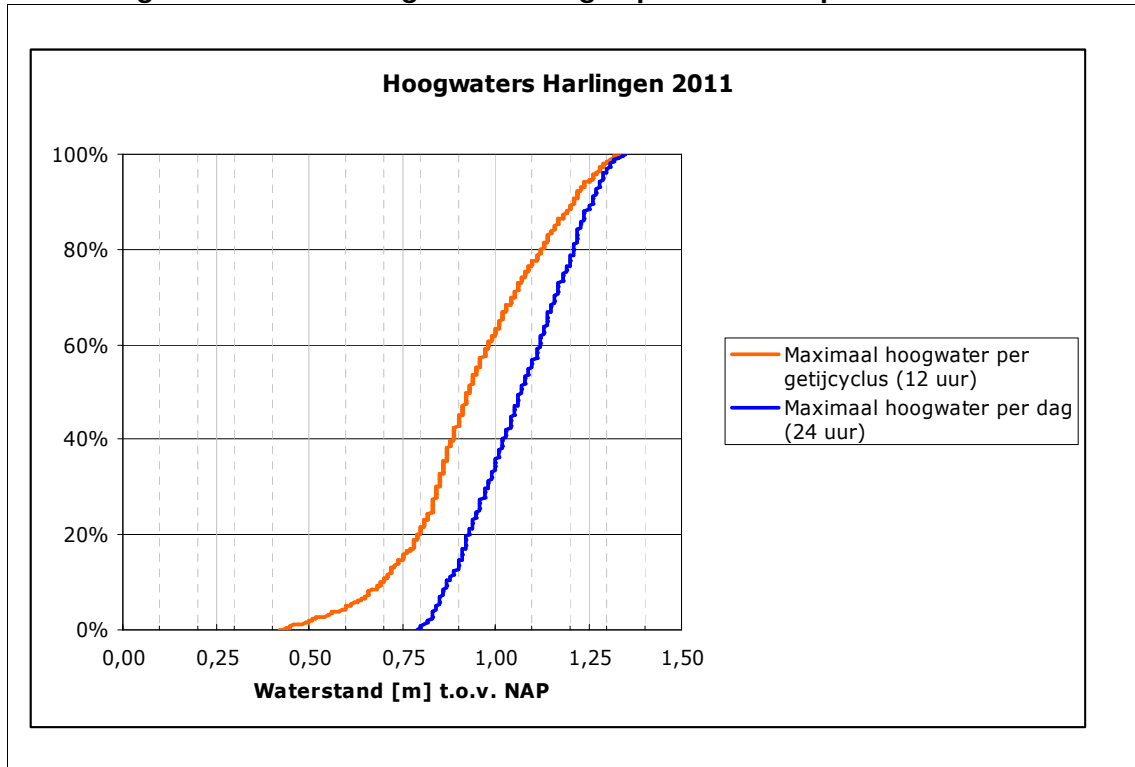
De drempel bij Boontjes bevindt zich in de Waddenzee ten zuidwesten van Harlingen. In de huidige situatie bevindt de waterbodem zich op NAP -2,8 m. Twee varianten worden onderzocht:

- een waterdiepte van NAP -3,3 m;
- een waterdiepte van NAP -3,8 m.

Getij

In Harlingen en dus ook Boontjes is een dubbeldaagsgetij. Dieper stekende schepen kunnen slechts bij vloed Boontjes passeren. De waterstand bij vloed verschilt voor de twee hoogwaters en in een maandelijksse cyclus (doodtij en springtij). De maximale waterhoogtes per getijcyclus (12 uur) en per dagelijkse cyclus (24 uur) zijn weergegeven in afbeelding 3.2. Uit de grafiek volgt dat er op natuurlijke wijze bij 10 % van de getijden minder dan 3,50 m water op de drempel staat. Bij een kielspeling van 10 % betekent dit dus een af-laaddiepte van slechts 3,15 m. Dat is voor de grootste schepen een probleem.

Afbeelding 3.2. Maximaal hoogwater Harlingen per 12 uur en per 24 uur

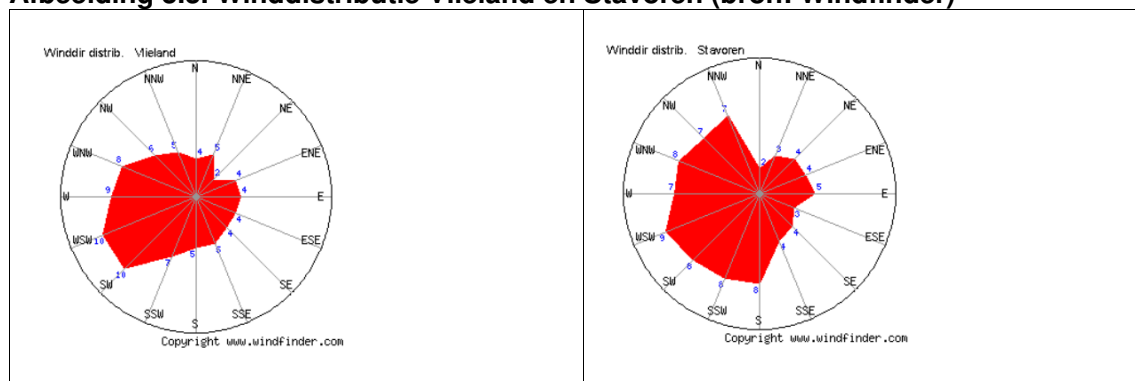


Voor laagwater geldt een soortgelijke curve. De amplitudes behorende bij Laag Water Spring (LLWS) en Lowest Astronomical Tide (LAT) zijn respectievelijk NAP -1,18 m en NAP -1,34 m.

Wind

De waterdiepte bij Boontjes wordt vooral beïnvloed door het getij en in mindere mate door op- en afwaaiing. Met name langdurig aanhoudende (zuid)oostenwind resulteert in afwaaiing met een sterk water verlagend effect.

Afbeelding 3.3. Winddistributie Vlieland en Stavoren (bron: Windfinder)



In afbeelding 3.3 zijn twee windrozen weergegeven voor Vlieland en Stavoren. Deze windrozen geven de verdeling aan van de windrichting over een heel jaar. Een oosten- en zuid-oostenwind heeft in Boontjes afwaaiing en de bijbehorende waterstandsverlaging tot gevolg. Uit de afbeelding volgt dat wind uit deze richtingen niet veelvuldig voorkomt. Tevens is de wind uit deze richtingen minder krachtig dan westenwind.

Vooraf een combinatie van doodtij (minimaal hoogwater) en aanhoudende oostenwind kan er voor zorgen dat volgeladen schepen Boontjes niet kunnen passeren binnen één getijdencyclus, waardoor de wachttijd langer wordt dan twaalf uur. Uit een analyse van gegevens over de laatste 34 jaar blijkt dat bij een vereiste waterdiepte van 3,3 m gemiddeld 5,9 keer per maand voorkomt. In de huidige situatie wordt dit soms opgelost door schepen die vanuit Harlingen vertrekken minder vol te laden, waardoor deze minder diepgang hebben.

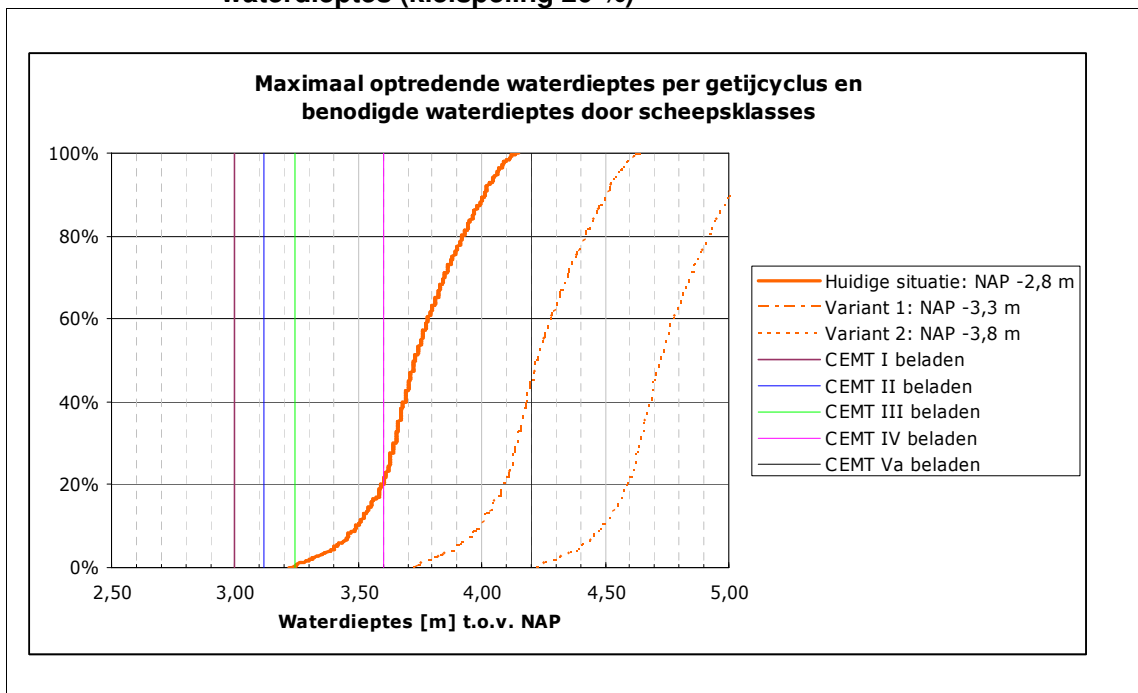
De aanzienlijke variatie die zich voordoet door zowel het maandelijks getij als de wind wordt verder geïllustreerd door weergave van de waterstanden over een periode van vier weken (zie bijlage II).

3.4. Benodigde waterdiepte

Een manier om het effect van de drempelverlaging is aan te tonen is door te laten zien welke scheepsklassen vol beladen door Boontjes kunnen varen voor de verschillende varianten.

Afbeelding 3.5 illustreert hoe de benodigde waterdiepte per klasse zich verhoudt tot de maximaal optredende waterdieptes per getijdencyclus. In de afbeelding staan de verticale lijnen voor benodigde waterdiepte voor een vol geladen schip. De oranje lijnen geven aan welke maximale waterdiepte per getijdencyclus optreedt. Deze afbeelding is berekend bij een kielspel van 20 %. Er is geen rekening gehouden met een afwaaiingseffect.

Afbeelding 3.3. Optredende maximale waterdiepte per getijdencyclus tegen benodigde waterdieptes (kielspel 20 %)



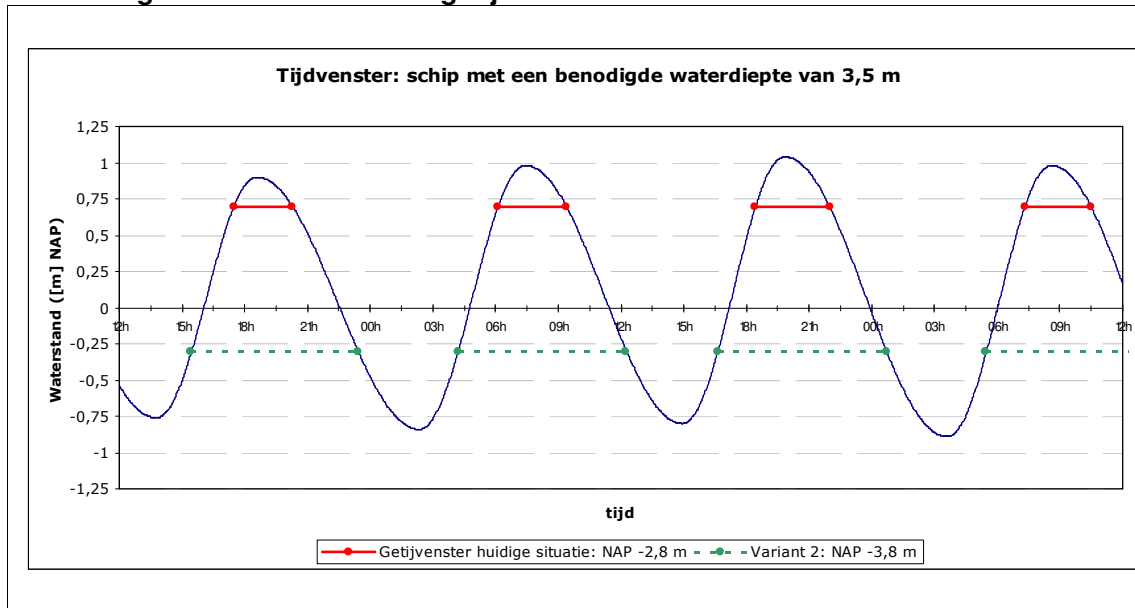
Een tot de maximum diepgang van het IJsselmeer (3,50 m) afgeladen schip met een kielspel van 20 % heeft 4,20 m waterdiepte nodig. Uit de grafiek blijkt dat deze situatie nooit voorkomt. Zoals eerder opgemerkt hebben de meeste Va containerschepen gemiddeld een diepgang van (slechts) -3,0 m. Zoals de lijn voor het CEMT IV schip laat zien is met dit schip Boontjes in de huidige situatie wel te passeren.

Indien de drempel wordt verlaagd tot NAP -3,8 m, dan kunnen ook alle Va klasse met -4,2 benodigde diepgang (20 % kielspeling) ieder getijcyclus passeren.

3.5. Getijdenster

Onder een getijdenster wordt de periode verstaan waarin een schip Boontjes gedurende een getijcyclus kan passeren. Het berekenen van getijdensters is complex door de aanwezig van het groot aantal aanwezige parameters. Ter illustratie is onderstaande grafiek weergegeven voor een schip met een benodigde waterdiepte van 3,5 m (diepgang van het schip van 2,80 met een kielspeling van 20 %).

Afbeelding 3.4. Voorbeeld: duur getijdenster



In de grafiek is zichtbaar dat bij de huidige drempelhoogte Boontjes bevaren kan worden voor een periode van ongeveer drie uur per getijcyclus (en dus ongeveer negen uur niet passeerbaar). In het voorbeeld wordt het tijdvenster door de drempelverlaging verlengd naar ongeveer acht uur en een downtime van vier uur.

3.6. Berekening wachttijden en kosten

Startpunt voor de berekening van de wachttijd voor passages op Boontjes is het aantal passages Lorentzsluizen voor diverse scheepsklassen in 2010 (bron: RWS-DVS). Vervolgens zijn per klasse schip beladen en onbeladen, en voor de situatie met en zonder drempel de volgende gegevens bepaald:

- benodigde waterdiepte (m);
- % passages met (en zonder) wachttijd;
- gemiddeld aantal uren wachttijd;
- totaal uren wachttijd;
- wacht kosten per uur;
- totale wacht kosten.

De wachttijd (uren) op een specifieke dag zijn echter sterk afhankelijk van de maandelijkse getijcyclus en van de wind. Op basis van twintig jaar waterstanden is berekend ¹ dat voor dit schip met een diepgang van 3,0 m bij een minimale kielspeling van 5 % voor Boontjes de 'beschikbaarheid' 38 % bedraagt bij en een gemiddelde wachttijd van bijna 3,5 uur. Een toelichting op deze gehanteerde methodiek is opgenomen in bijlage III.

De wachtkosten per uur variëren per type schip. Deze kosten zijn ontleend aan de studie 'kosten kengetallen binnenvaart' (NEA, 2008). Aannames zijn gemaakt ten aanzien van het type schip per klasse (bulk droog, nat, containers). Tevens zijn de gehanteerde aannames van belang voor de schepen in de categorie 'onbekend' en 'zeevaart'.

Tabel 3.3. Uitgangspunt voor de berekening van de wachttijd per type schip

type schip	droge bulk		nat dubbelwandig		container	
	kosten algemeen wachten p. uur	schepen	kosten algemeen wachten p. uur	schepen	kosten algemeen wachten p. uur	schepen
M2, BO2	44	80 %	63	20 %		
M3, M4, M5, BO3, BO4	60	80 %	82	20 %		
M6, M7, BI	93	80 %	117	20 %		
M8, BII-1, BIIa-1, BIIl-1	73	20 %	140		238	80 %
onbekend, zie M6, M7, M8						
zeevaart, zie M8, BII-1, BIIa-1, BIIl-1						

De berekening van de 'algemene wachtkosten' voor volle en onbeladen schepen, met en zonder drempel, is opgenomen in de onderstaande tabellen. Tevens is uitgegaan van de gemiddelde wachttijden per categorie schip op basis van de analyse van 20 jaar waterstanden, en een benodigde waterdiepte corresponderend met een minimale kielspeling 5 %.

¹ De cumulatieve waterstanden voor een jaar zijn samengesteld; een 'normale verdeling' wordt verondersteld.

Tabel 3.4. De berekening van de algemene wacht zonder drempelverwijdering vaarweg Boontjes (EUR 1.000,00)

Passages beladen									
Klasse		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	passages met wachttijd	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
II	M2, BO2	2.7	31	44%		1	44	48	2.1
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	2.8	218	49%		2	375	64	24.0
IV	M6, M7, BI	3.2	339	62%		3	1,169	98	114.2
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIIIL-1	3.7	0	87%		24	0	205	0.0
Va	idem 1)	3.2	228	62%		3	787	205	161.3
Onbekend		3.2	64	62%		3	222	98	21.7
Zeevaart*		3.2	22	62%		3	74	205	15.2
Totaal			902				2,670		338.5
Passages onbeladen									
Klasse		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	passages met wachttijd	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
II	M2, BO2	1.5	58	99%		0.0	1	48	0.0
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	1.6	254	98%		0.0	4	64	0.3
IV	M6, M7, BI	1.7	117	96%		0.1	6	98	0.6
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIIIL-1	1.9	38	90%		0.1	2	205	0.4
Va	idem 1)	1.5	75	96%		0.1	10	205	2.0
Onbekend		1.5	188	96%		0.1	9	98	0.9
Zeevaart*		1.9	22	96%		0.1	1	205	0.2
Totaal			751				33		4.5
Totaal beladen en onbeladen									342.9

1) Dit betreft containerschepen die zo diep steken als een Klasse IV schip, en bulk schepen die niet volledig beladen zijn

Tabel 3.5. De berekening van de algemene wacht kosten voor variant 1 (-0,5 m) vaarweg Boontjes (EUR 1.000,00)

Passages beladen									
Klasse		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	passages met wachttijd	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
II	M2, BO2	2.7	31	34%		0.5	15	48	0.7
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	2.8	218	39%		0.6	135	64	8.6
IV	M6, M7, BI	3.2	339	41%		1.2	418	98	40.8
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIIIL-1	3.7	0	63%		3.6	0	205	0.0
Va	idem 1)	3.2	228	41%		1.2	281	205	57.7
Onbekend		3.2	64	41%		1.2	79	98	7.7
Zeevaart*		3.2	22	41%		1.2	27	205	5.4
Totaal			902				954		121.0
Passages onbeladen									
Klasse		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	passages met wachttijd	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
II	M2, BO2	1.5	58	0%		0.0	0	48	0.0
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	1.6	254	0%		0.0	0	64	0.0
IV	M6, M7, BI	1.7	117	0%		0.0	0	98	0.0
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIIIL-1	1.9	38	0%		0.0	0	205	0.0
Va	idem 1)	1.5	75	0%		0.0	0	205	0.0
Onbekend		1.5	188	0%		0.0	0	98	0.0
Zeevaart*		1.9	22	0%		0.0	0	205	0.0
Totaal			751				0		0.0
Totaal beladen en onbeladen									121.0
Baten 0,5 meter drempelverwijdering									222

1) Dit betreft containerschepen die zo diep steken als een Klasse IV schip, en bulk schepen die niet volledig beladen zijn

Tabel 3.6. De berekening van de algemene wacht kosten voor variant 2 (-1,0 m) vaarweg Boontjes (EUR 1.000,00)

Passages beladen		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	over- schrijdings kans	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
Klasse									
II	M2, BO2	2.7	31	5%		0.1	2	48	0.1
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	2.8	218	8%		0.1	22	64	1.4
IV	M6, M7, BI	3.2	339	21%		0.4	124	98	12.1
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIII-1	3.7	0	42%		1.3	0	205	0.0
Va	idem 1)	3.2	228	21%		0.4	84	205	17.1
Onbekend	0	3.2	64	21%		0.4	24	98	2.3
Zeevaart*		3.2	22	21%		0.4	8	205	1.6
Totaal			902				263		34.7
Passages onbeladen									
Passages onbeladen		benodigde waterdiepte (m)	aantal passages in 2010	over- schrijdings kans	maximaal uren wachttijd	gem. uren wachttijd	totaal uren wachttijd	wacht kosten p.uur	wacht kosten (*1000 Euro)
Klasse									
II	M2, BO2	1.5	58	0%		0.0	0	48	0.0
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	1.6	254	0%		0.0	0	64	0.0
IV	M6, M7, BI	1.7	117	0%		0.0	0	98	0.0
Va	M8, BII-1, BIIa-1, BIII-1	1.9	38	0%		0.0	0	205	0.0
Va	idem 1)	1.5	75	0%		0.0	0	205	0.0
Onbekend		1.5	188	0%		0.0	0	98	0.0
Zeevaart*		1.9	22	0%		0.0	0	205	0.0
Totaal			751				0		0.0
Totaal beladen en onbeladen									34.7
Baten 1,0 meter drempelverwijdering									308
1) Dit betreft containerschepen die zo diep steken als een Klasse IV schip, en bulk schepen die niet volledig beladen zijn									

In tabel 3.7 wordt de baten van de wachttijd vermindering door drempel verwijdering samengevat. De baten zijn berekend op basis van de kosten voor wachttijd met drempel minus de kosten wachttijd zonder drempel. In 2010 is de berekening uitgevoerd op basis van de feitelijke passages Lorentzsluis. De baten wachttijd voor 2020 en 2040 zijn eveneens berekend op basis van wachttijd kosten met drempel minus de wachttijd kosten zonder drempel. Onderliggend aan deze berekeningen zijn DVS prognoses voor goederenvervoer (tonnen) en de ontwikkeling in de scheepsklassen. De DVS prognoses 2020 en 2040 worden gegeven voor het optimistisch en het pessimistische scenario; het verwacht scenario is hier het gemiddelde van. De berekeningen voor 2020 en 2024 zijn uitgevoerd met constante prijzen.

Tabel 3.7. Baten uit vermindering wachttijd door drempelverwijdering voor -0,5 en -1,0 m vaarwegverdieping (constante prijzen)

	variant 1 (- 0,5 m)			variant 2 (- 1,0 m)		
	beladen	onbeladen	totaal	beladen	onbeladen	totaal
huidige situatie	338	4	343	338	4	343
met drempelverwijdering	121	0	121	35	0	35
baten wachttijd in 2010			222			308
baten wachttijd in 2020:						
- optimistisch			271			377
- verwacht			235			326
- pessimistisch			198			276
baten wachttijd in 2040:						
- optimistisch			339			471
- verwacht			249			346
- pessimistisch			160			221

Belangrijke uitgangspunten bij deze berekening zijn:

- de vrachtschepen zijn in principe volledig afgeladen. Voor de beladingsgraad van bulk schepen (zand, grint en zout) klasse IV en Va wordt echter aangenomen deze schepen gemiddeld voor 90 % beladen zijn;
- het gewenste tijdstip van afvaart richting de Bontjes kent een 'normale verdeling'. Vanwege diverse fysieke, logistieke en knelpunten in de regelgeving is het voor de vervoerders niet mogelijk om een planning te maken waarbij wachttijden voor Boontjes vermeden kunnen worden. Sommige van deze knelpunten kunnen naar de toekomst toe wellicht opgelost worden.

Het tweede uitgangspunt is door sommige betrokkenen in gesprekken naar voren gebracht. Omdat dit moeilijk te verifiëren is, wordt hierop een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd.

3.7. Effecten op recreatievaart

Het Friese meren gebied is nationaal en internationaal marktleider op het gebied van watersport. Deze positie is echter nadrukkelijk aan concurrentie onderhevig. De buitenlandse watersportmarkt bestaat bijvoorbeeld voor circa 95 % uit Duitse watersporters. De afgelopen tien jaar is gebleken dat de groei in het watertoerisme in de Duitse watersportgebieden Mecklenburg-Vorpommern en Brandenburg groter is geweest dan in Fryslân. Deze beide Duitse gebieden zijn opkomende groeimarkten, en de Duitse Oostzee wordt steeds meer een populair zeilgebied en vormt daarmee een geduchte concurrent voor het IJsselmeer en het Wad.

Om de kwaliteit van het watersport product in Friesland te verbeteren, is het Friese Meren Project gestart in 2000. Hier binnen zijn diverse programma's en projecten gedefinieerd, waarvan het verdiepen van de vaarwegen en de vergroting van de toegankelijkheid van meren en vaarten een essentiële component vormen. De noodzaak hiertoe wordt versterkt door de trend in de recreatievaart van groter wordende schepen (gemiddeld 9,6 m), waardoor meer diepte vereist is.

Kornwerderzand en Den Oever zijn de belangrijkste toegangspoorten naar de Waddenzee. De passages van de sluisen bij Kornwerderzand stabiliseren rond de 40.000 sinds 1990. Het is vooral de Stevinsluis in Den Oever waar globaal sinds 2000 het aantal passages naar de Waddenzee sterk is toegenomen¹. Volgens het overlegplatform jachthavens IJsselmeergebied², ligt de oorzaak van dit verschil in het feit dat Kornwerderzand een capaciteitsprobleem heeft alsmede de problemen met de diepgang in Boontjes. Den Oever daarentegen heeft voldoende capaciteit en sinds deze sluis 24 uur per dag draait, nemen de passages toe. Deze toestroom is mede het uitwijkgedrag van schepen voor de passage Kornwerderzand/Boontjes. Hieruit mag blijken dat een substantieel aantal watersporters een alternatief kiezen voor de passage Kornwerderzand/Boontjes, omdat de beperkingen op dit traject als hinderlijk ervaren worden. De verdieping van Boontjes draagt dus bij aan de oplossing van dit knelpunt, en verbetert het watersport product in Friesland.

Bij extreme drukte op het water en op de weg (meest in het weekend en tijdens de spits) wordt er op de Lorentzsluis maximaal één keer per uur gedraaid met de bruggen. De tijdsduur van de draaiing is dan maximaal 15 tot 18 minuten, waarvan 6 minuten voor het ope-

1 Een scherpe daling in het aantal passages in 2010 Den Oever wordt toegeschreven aan stemmingen voor zout metingen in april en mei.

2 Overlegplatform jachthavens IJsselmeergebied, februari 2009.

nen en sluiten van de bruggen, dus 9 tot 12 minuten voor de doorvaart van schepen. Dit betreft ongeveer 35 zeiljachten vanaf de sluis naar Waddenzee en 35 van Waddenzee richting sluis doorvaart. Op de snelweg zal er doordeweeks een rij auto's tot een 500 m op beide banen, en in het weekend tot een 1.000 m staan te wachten. Meer informatie over de tijdsduur van de brug draaiing, aantallen schepen en files op de weg zijn opgenomen in bijlage IV.

Voor de jachthavens in Harlingen is nog geen visie uitgewerkt door de gemeente. In maart 2010 is het rapport 'Havenvisie wadden, verantwoord varen op het wad' uitgegeven. In deze studie maakt Harlingen deel uit van het 'centrale cluster' van wadden havens, en wordt aangegeven dat binnen dit cluster ruimte bestaat om het aantal ligplaatsen uit te breiden, mede om onveilige situaties te mitigeren. Het is op dit moment echter nog niet duidelijk op welke manier deze visie verder geïmplementeerd gaat worden in Harlingen.

3.8. Overige baten drempelverwijdering

Deze betreffen voor wat betreft de beroepsvaart:

- Container vaart. In de huidige situatie in een combinatie van doortijd (minimaal hoogwater) en aanhoudende oostenwind kan het voor volgeladen container schepen onmogelijk zijn Boontjes te passeren binnen één getijdencyclus. Voor deze schepen wordt dit soms opgelost door met name de zware containers af te laden en per as (of in sommige gevallen vanuit Heerenveen over water) naar Rotterdam te vervoeren. Ongeveer twee keer per maand worden circa tien zware containers van het schip afgeladen en per as naar Rotterdam vervoerd. De totale jaarlijkse kosten hiervoor worden berekend op EUR 55.000. In deze kosten zijn ook begrepen het omladen van diverse containers op het schip, en de extra kosten op de terminal die het inhuren van personeel met zich meebrengt zodat het schip tijdig Boontjes kant passeren;
- beladingsgraad bulk schepen (zand, grint en zout). Voor deze schepen wordt aangenomen dat 25 % van de schepen in de klasse IV en Va vallen, en dat deze schepen vanwege de Boontje gemiddeld 10% van hun lading laten staan. Bij een transport prijs van 4 EUR per ton resulteert dit in jaarlijkse kosten van EUR 60.000,00 in 2010;
- modal shift. Lagere kosten en betrouwbaardere dienstverlening maken het aantrekkelijker voor verladers om over te stappen van transport per as naar water. Dit geldt met name voor container transport. De baten van de wachttijdvermindering door drempelverwijdering worden berekend op 2 % van de vervoerskosten (omzet) van het containerschip (enkele reis Harlingen-Rotterdam). Indien deze baten doorberekend wordt naar lagere transporttarieven, dan zal dit slechts een relatief kleine prijsverlaging leiden, en naar verwachting een beperkt modal schift effect. Een kwantificering van dit effect is echter moeilijk te onderbouwen. Dit effect wordt echter geacht meegenomen te zijn in de inschatting van het optimistische GE scenario voor container transport;
- verbeterde veiligheid en minder verstoring rond de vaarweg. Ruimere tijdvensters leiden tot een betere spreiding van de passage bij de Lorentzsluis en Boontjes. Hierdoor neemt zowel het risico van aanvaringen af als ook de verstoring die optreedt doordat schepen droog komen te liggen in de vaarweg. Deze baten zijn niet gekwantificeerd;

Tevens zijn berekeningen uitgevoerd met betrekking tot het nuttig hergebruik van het zand uit Boontjes op andere locaties. De uitgespaarde kosten EUR 576.000,00 bij 1 m drempelverwijdering, zijn niet meegenomen in de kosten-baten-analyse. De berekeningen zijn uitgewerkt in bijlage V.

De drempelverwijdering heeft geen invloed op het bestaande proces van schaalvergroting in de binnenvaart. Er zullen straks geen grotere schepen door Boontjes kunnen varen dan nu al het geval is. De maximale afmetingen van de schepen op het traject liggen vast en

worden bepaald door de sluisen en bodemdiepte van het IJsselmeer. De maximale aflaaddiepte blijft na de ingreep gelijk, maar de betrouwbaarheid neemt toe doordat deze diepte ook bij dood tij wordt gegarandeerd. Voor schepen met een aflaaddiepte kleiner dan het maximaal toelaatbare levert de drempelverwijdering wel een impuls op om op te schalen. Dit is in de analyse niet als baat meegenomen omdat dit voordeel (deels) weer gecompenseerd wordt door hogere wachttijden voor de Boontjes.

4. KOSTEN BATEN ANALYSE DREMPELVERWIJDERING

Hieronder worden de kosten vergeleken met enkele baten van de drempelverwijdering.

4.1. Initiële en jaarlijkse baggerkosten

De initiële bagger kosten zijn geraamde op EUR 1.176.000,00 voor -0,5 m baggeren, en EUR 2.873.000,00 EUR voor -1.0 m baggeren. De kosten voor het jaarlijks onderhouds baggeren betreft EUR 111.000,00 en EUR 163.000,00 bij respectievelijk -0,5 en -1,0 m drempelverwijdering. Voor deze berekening is aangenomen dat het een vierjaarlijkse uitvoering van baggeren betreft. Hierdoor worden de (de-) mobilisatie kosten over vier jaar verdeeld.

De belangrijkste aanname voor de inschatting van het onderhoudsbaggerwerk is dat de aan- en afvoer van sediment in evenwicht is. De eventuele invloed van een niet-erodeerbare drempel (transportcapaciteit groter dan optredend transport) wordt op deze manier buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is aangenomen dat de resultaten voor de dwarsraai representatief zijn voor de gehele geul. Dit betekent dat het 'verwachte' kosten betreft, die in de praktijk zowel lager als hoger uit kunnen vallen. Meer conservatieve uitgangspunten leiden tot substantieel hogere kosten, en hebben daarmee een groot effect op de economische haalbaarheid.

4.2. Samenvatting KBA

Een samenvatting van de baggerkosten en de diverse baten (kostenbesparingen) worden in tabel 4.1 voor het verwachte scenario gepresenteerd voor beide varianten.

In de berekening is uitgegaan van:

- een inflatie van 3,1 % (de historische inflatie in de GWW sector¹);
- een jaarlijkse stijging van 0,5 % van de wachttijden door toedoen van de schaalvergroting;
- voor wat betreft de besparing op container terminal en wegvervoer transportkosten is tevens rekening gehouden met een jaarlijkse toename van 2,5 % van het container transport.

Tabel 4.1. Samenvatting KBA drempelverwijdering Boontjes, verwacht scenario, nominale prijzen ² (EUR)

variant 1: 0.5 m drempelverwijdering					
		2010	2020	2030	2040
Kosten initieel baggeren	-1,176,000				
Baten wachttijd		222,000	319,000	479,000	623,000
Besparing i.v.m. containers		55,000	94,000	163,000	281,000
Besparing i.v.m. belading bulk		60,000	86,000	136,000	174,000
Kosten onderhoudsbaggeren		-111,000	-144,000	-189,000	-251,000
Netto baten		226,000	355,000	589,000	827,000
Terugverdientijd initiële kosten	5 jaar				
IRR	24 %				

¹ Dit is de historische prijsontwikkeling in de GWW sector voor de afgelopen tien jaar. Voor de transportsector en de binnenvaart bestaan geen specifieke indexcijfers.

² Rekening houden met inflatie.

variant 2: 1,0 m drempelverwijdering					
		2010	2020	2030	2040
Kosten initieel baggeren	-2,873,000				
Baten wachttijd		308,000	443,000	663,000	864,000
Besparing transport en terminal kosten		55,000	94,000	163,000	281,000
Besparing i.v.m. belading bulk		60,000	86,000	136,000	174,000
Kosten onderhoudsbaggeren		-163,000	-216,000	-287,000	-383,000
Netto baten		260,000	407,000	675,000	936,000
Terugverdientijd initiële kosten	9				
IRR	13.0 %				

De drempelverwijdering zowel voor variant 1 als 2 wordt op basis van deze kengetallen als economisch haalbaar beoordeeld.

Uitgangspunt voor de berekening van de wachtkosten is onder meer dat de afvaarten van schepen een normale verdeling kennen, omdat de schippers het tijvenster moeilijk in kunnen plannen gezien de vele, diverse knelpunten die zich op de route en in de bedrijfsvoering voordoen. Niet uitgesloten is echter dat planning in de transportketen tot op zekere hoogte toch mogelijk is. Hierop wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd

Voor wat betreft -0,5 m drempel verlaging geldt dat indien planning in de transportketen resulteert in feitelijke wachttijden die 90 % lager uitvallen, de IRR daalt naar 5 %. Voor wat betreft -1,0 m drempel verlaging ligt deze grenswaarde op 60 % lagere wachttijden. Indien deze vermijdbare wachtkosten in feite nog hoger liggen, dan daalt de IRR onder de 5 %. Hierdoor zou het project in principe als economisch niet-haalbaar beoordeeld kunnen worden.

Opgemerkt dient echter te worden dat de als PM aangeduide moeilijk te kwantificeren baten zoals de scheepvaart veiligheid, de voordelen voor de recreatievaart sector en het modal shift effect voor het goederenvervoer, in deze cijfers niet meegenomen zijn. De relevantie van deze effecten kunnen reden zijn om de economische bijdrage van het project toch als positief te beoordelen ondanks een laag of negatief berekeningsresultaat.

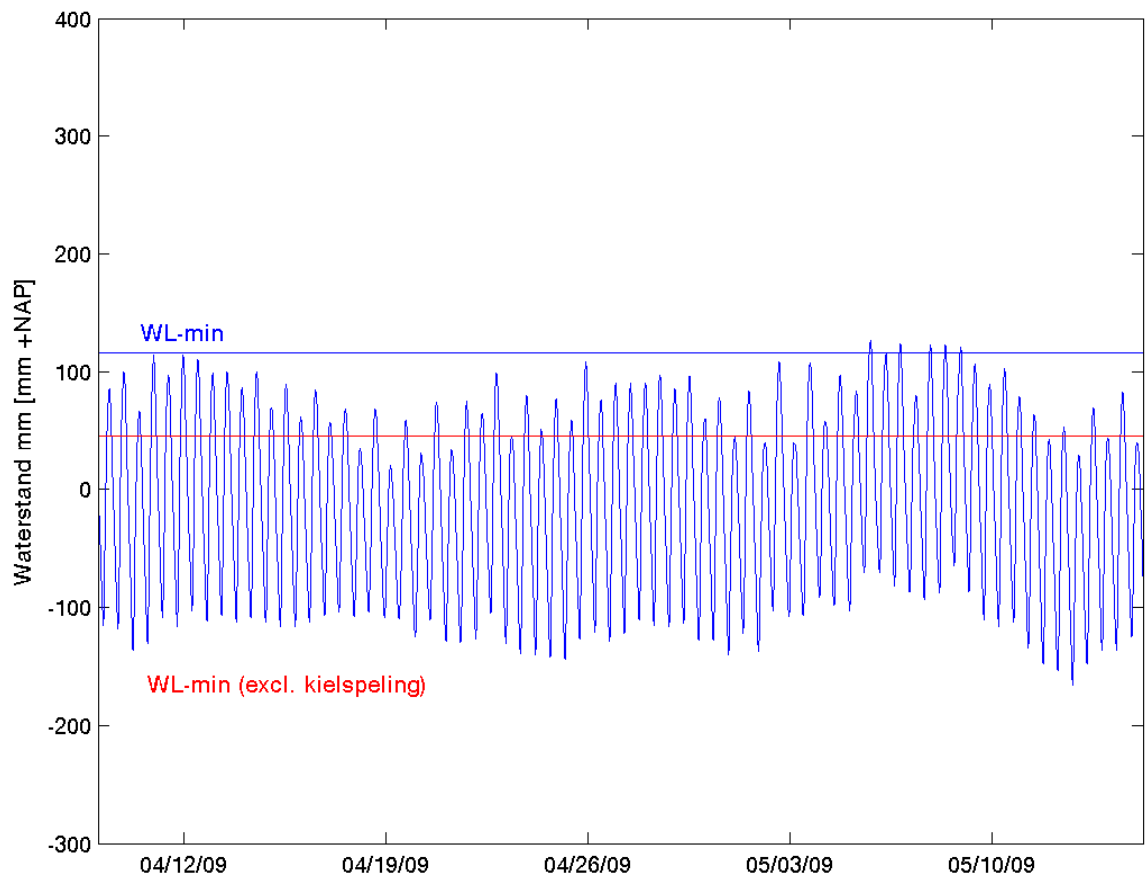
Ook is in deze berekening geen rekening gehouden met het kostenvoordeel door een nuttige aanwending van zand uit Boontjes op andere locaties (EUR 576.000,00 bij 1 m verdieping).

BIJLAGE I PASSAGES LORENTZSLUIZEN 2006-2010 (BRON: RWS DVS)

CEMT	AVV	lading	2006	2007	2008	2009	2010
I	M1, BO1	beladen	6	6	0	0	0
		leeg	9	6	2	0	0
		subtotaal	15	12	2	0	0
II	M2, BO2	beladen	25	35	34	18	21
		leeg	41	48	63	46	32
		subtotaal	66	83	97	64	53
III	M3, M4, M5, BO3, BO4	beladen	411	329	247	233	246
		leeg	279	330	287	288	340
		subtotaal	690	659	534	521	586
IV	M6, M7, BI	beladen	370	609	384	235	188
		leeg	144	355	132	94	126
		subtotaal	514	964	516	329	314
Va	M8, BII-1, BI- la-1, BIIL-1	beladen	194	219	258	415	361
		leeg	138	192	127	169	166
		subtotaal	332	411	385	584	527
onbekend		beladen	69	115	72	6	99
		leeg	385	269	212	140	244
		subtotaal	454	384	284	146	343
totaal binnenvaart			2.194	2.679	1.946	1.729	1.718
zeevaart*		beladen	119	219	161	149	106
		leeg	405	473	424	526	415
		subtotaal	524	692	585	675	521
totaal			2.718	3.371	2.531	2.404	2.239

* Van de zeevaart zijn geen afmetingen bekend.

BIJLAGE II VOORBEELD 4-WEKELIJKSE VARIATIE IN WATERSTANDEN



BIJLAGE III TOELICHTING BEREKENING WACHTTIJDEN

Witteveen+Bos
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
telefoon 010 244 28 00
telefax 010 244 28 88

onderwerp bevaarbaarheid Boontjes
projectcode LMR 19-3
referentie LMR 19-3/smei/025
opgemaakt door BRAP
datum opmaak 26 augustus 2011
bijlagen -

aan JANM14, QUIP
kopie ROUA, BURA

1. BEVAARBAARHEID DREMPEL BIJ BOONTJES

1.1. Omschrijving

In deze memo worden overschrijdingskansen en wachttijden voor de scheepvaartroutes Den Helder - Harlingen en IJsselmeer - Harlingen onderzocht. Ter hoogte van Boontjes (ten westen van Harlingen) ligt een drempel die bij laagwater het bevaren van deze routes voor scheepsklassen II tot en met Va onmogelijk maakt (zie tabel 1.1). Ten behoeve van een betere bevaarbaarheid wordt overwogen de drempel te verdiepen. In deze memo worden met behulp van een statistische analyse van waterstandreeksen de overschrijdingskansen van verschillende waterdiepten en wachttijden bepaald.

De overschrijdingskans wordt gedefinieerd als de kans dat een schip bij een bepaalde streefdiepte van de drempel, de drempel kan passeren. De gemiddelde wachttijd is de gemiddelde tijd dat een schip moet wachten, voordat hij de drempel kan passeren.

Tabel 1.1. Benodigde waterdiepte per scheepsklasse (kielspeling=0.2*diepgang)

scheepsklasse (CEMT)	diepgang	kielspeling	waterdiepte
II	2,60	0,52	3,12
III	2,70	0,54	3,24
IV	3,00	0,60	3,60
Va	3,50	0,70	4,20

1.2. Aanpak

Voor de statistische analyse is een tijdreeks van 30 jaar gekozen (1979-2010). Het gaat hierbij om een waterstandmeting bij Harlingen met een interval van 10 minuten (voor de laatste 20 jaar). In de analyse wordt een onderscheid gemaakt tussen 4 scheepsklassen (zie tabel 1.1). Samen met de streefdiepte kan de minimale waterstand en daarmee ook de overschrijdingskans bepaald worden. Er zijn 5 streefdiepten bepaald: 2.8 m, 3.3 m, 3.8 m, 4.3 m en 4.4 m.

Tabel 1.2. Minimale benodigde waterstand in [m + NAP]

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	0,32	- 0,18	- 0,68	- 1,18	- 1,28
III	0,44	- 0,06	- 0,56	- 1,06	- 1,16
IV	0,80	0,30	- 0,20	- 0,70	- 0,80
Va	1,40	0,90	0,40	- 0,10	- 0,20

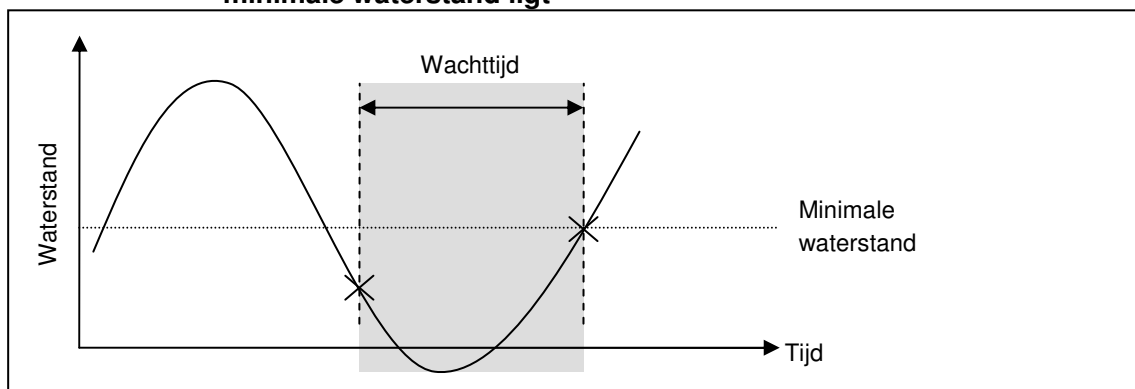
1.3. Resultaten

In tabel 1.2 zijn de onderzochte waterstanden te vinden. Op basis van de waterstandreeks kunnen de overschrijdingskansen bepaald worden. Bij het bepalen van de overschrijdingskans is gelet op het voorkomen van een bepaalde waterstand, niet op de duur van deze waterstand. Deze zijn weergegeven in tabel 1.3. De overschrijdingskansen nemen toe voor een grotere streefdiepte en nemen af voor een hogere scheepsklasse.

Tabel 1.3. Overschrijdingskansen voor beladen schepen

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	40 %	60 %	80 %	97 %	99 %
III	34 %	55 %	76 %	95 %	97 %
IV	16 %	40 %	61 %	81 %	85 %
Va	2 %	12 %	36 %	57 %	61 %

De gemiddelde wachttijd is bepaald met de waterstandreeks van de afgelopen 20 jaar (reeks van 10 minuten interval). Hiervoor zijn een N aantal aankomst tijdstippen random gekozen met Matlab. De schepen komen dus op een random tijdstip aan, niet afhankelijk van de waterstand. Het aantal random tijdstippen (N) is dermate groot gekozen, dat het aantal geen invloed heeft op de gemiddelde wachttijd. Bij een waterstand boven de minimale waterstand, wordt een wachttijd van 0 min aangenomen. Voor de tijdstippen waarbij de waterstand onder de minimale waterstand ligt, is de tijdsduur bepaald totdat de waterstand boven de minimale waterstand komt (zie afbeelding 1.1). Een middeling van alle wachttijden per waterstand en per scheepsklasse leidt tot de gemiddelde wachttijden in tabel 1.4.

Afbeelding 1.1. Voorbeeld: wachttijd waarbij de waterstand bij aankomst onder de minimale waterstand ligt

Tabel 1.4. Gemiddelde wachttijd voor beladen schepen in minuten voor N=100.000 random aankomst tijdstippen

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	194	69	20	1,6	0,7
III	260	87	29	3,6	1,8
IV	1034	186	67	19	13
Va	22803	1734	237	80	67

1.4. Bevaarbaarheid voor onbeladen schepen

In deze sectie zijn de overschrijdingskansen en wachttijden nogmaals bepaald, maar dan voor onbeladen schepen. de resultaten zijn te vinden in tabel 1.5 tot en met tabel 1.8.

Tabel 1.5. Benodigde waterdiepte voor onbeladen schepen

scheepsklasse (CEMT)	diepgang	kielspeling	waterdiepte
II	1,40	0,28	1,68
III	1,50	0,30	1,80
IV	1,60	0,32	1,92
Va	1,80	0,36	2,16

Tabel 1.6. Minimale benodigde waterstand in m [m + NAP]

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	- 1,12	- 1,62	- 2,12	- 2,62	- 2,72
III	- 1,00	- 1,50	- 2,00	- 2,50	- 2,60
IV	- 0,88	- 1,38	- 1,88	- 2,38	- 2,48
Va	- 0,64	- 1,14	- 1,64	- 2,14	- 2,24

Tabel 1.7. Overschrijdingskansen voor onbeladen schepen

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	96 %	100 %	100 %	100 %	100 %
III	93 %	100 %	100 %	100 %	100 %
IV	88 %	99 %	100 %	100 %	100 %
Va	79 %	97 %	100 %	100 %	100 %

Tabel 1.8. Gemiddelde wachttijd voor onbeladen schepen in minuten voor N=100.000 random aankomst tijdstippen

CEMT	streefdiepte 2,8 m	streefdiepte 3,3 m	streefdiepte 3,8 m	streefdiepte 4,3 m	streefdiepte 4,4 m
II	2	0,1	0	0	0
III	5	0,1	0	0	0
IV	10	0,4	0,0	0	0
Va	23	2,1	0,1	0	0

BIJLAGE IV BRUGDRAAIING LORENTZSLUIZEN

De tijdsduur van de totale brugdraaiing betreft in principe: bruggen open (drie minuten) en bruggen sluiten (drie minuten) plus de doorvaarttijd scheepvaart. In het hoogseizoen bestaat een groter aanbod van zeiljachten en charterschepen die gebruik maken van de brugopening waardoor de doorvaart tijd toeneemt.

Situatie op de Lorentzsluizen in het hoogseizoen:

Extreme drukte op het water en op de weg (meest in het weekend en tijdens de spits): er wordt maximaal één keer per uur gedraaid met de bruggen. De tijdsduur van de draaiing is maximaal 15 tot 18 minuten, waarvan 6 minuten voor het openen en sluiten van de bruggen, dus 9 tot 12 minuten voor de doorvaart van schepen. Dit betreft ongeveer 35 zeiljachten vanaf de sluis naar Waddenzee en 35 van Waddenzee richting sluis doorvaart. Op de snelweg zal er doordeweeks een rij auto's tot een 500 m op beide banen, en in het weekend tot een 1.000 m staan te wachten.

Bij normale drukte op snel en vaarweg. Indien er veel plezier, beroeps en chartervaart de bruggen passeren wordt er gemiddeld tot maximaal drie maal in het uur de bruggen kort geopend voor de scheepvaart. In dat geval duurt een draaiing maximaal 10 minuten waarbij 6 minuten ervan afgehaald kan worden voor openen en sluiten dus 4 minuten doorvaart van scheepvaart. Op de snelweg zal er doordeweeks een rij auto's tot ongeveer 250 m op beide banen en in het weekend een van 500 m staan te wachten.

Lange files ontstaan door toedoen van een ongeluk of motorpech tussen de wachtende rij auto's, of bij een technische storing aan de bruggen zelf.

BIJLAGE V NUTTIG AANWENDEN ZAND, BEREKENING KOSTENBESPARING

Boontjes

Kosten zand winning van offshore locatie

Aanname: 20 nautische mijlen van zandwinlocatie tot eindbestemming

Schip, Sleephopperzuiger type: Shoreway Sospan / Volvox Anglia

Productie en kosten

TSHD type	5,600 m3	1,000 m3
subtot kosten	536,109 EUR/week	153,125 EUR/week
productie	102,025 m3/week	18,338 m3/week
prijs	5.25 EUR/m3	8.35 EUR/m3

eenmalig:

mob/demob	100,818 EUR	23,438 EUR
installatie	13,125 EUR	8.75 EUR
extra voor opspuiten Griend	30,000 EUR	20,000 EUR

Hoeveelheden (m3):

Zuidwalleiding	235,000
Schoorwallen	200,000
Griend	200,000

Beschikbaar uit de Boontjes (m3): 290,000

Uitgespaarde kosten voor aanvoeren zand uit Noordzee:

Zuidwalleiding	1,349,000 EUR	1,986,000 EUR
Schoorwallen	EUR	1,693,000 EUR
Griend	1,195,000 EUR	1,713,000 EUR

Kosten baggeren Boontjes

Referentieontwerp, - 1.0 m.

A 2,873,000 Toelichting:

Kosten Noordzee zand voor de Schoorwallen:

1,693,000
4,566,000

VKA 1, incl. zand Schoorwallen

B 3,990,000

VKA 2, incl. zand Griend

5,971,000

Conclusie, VKA1 het goedkoopst:

Uitgespaarde kosten bij VKA1

C 1,693,000

Kosten drempelverwijdering bij uitvoering VKA1

D=B-C 2,297,000

Toelichting:

Noordzee zand voor Schoorwallen

Lagere kosten door hergebruik zand

A-D 576,000

De shoreway kan beladen de haven van Harlingen bereiken via Blauwe slenk en vaargeul langs Pollendam.

Daarmee kan evt. Griend opgespoten worden en leiding nabij de vaargeul afgedekt

De 1000m3 Sleephopperzuiger kan ook de gebieden nabij de afsluitdijk bereiken

voor het opspuiten van schoorwallen bijvoorbeeld.

Bijlage D Deelrapport hydrodynamica en morfologie

Opdrachtgever: provincie Fryslân

Drempelverwijdering Boontjes

Effecten op hydrodynamica en morfologie

CONCEPT

Auteurs: Sonja Ouwerkerk
Vincent Vuik

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Deze studie	1
1.3	Projectorganisatie	2
1.4	Leeswijzer	2
2	Systeembeschrijving	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Westelijke Waddenzee	5
2.3	Historische ontwikkeling bodemligging rond Boontjes	10
2.3.1	Ontwikkeling van het gebied rond Boontjes	10
2.3.2	Ontwikkeling van de vaargeul Boontjes	17
3	Varianten en scenario's	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Varianten	21
3.3	Scenario's	22
4	Uitgangspunten modellering	25
4.1	Inleiding	25
4.2	Hydrodynamica	25
4.2.1	Rekenrooster	25
4.2.2	Bodem	26
4.2.3	Overige modelinstellingen	27
4.2.4	Validatie gedetailleerd model	29
4.2.5	Gevoeligheidsanalyse	32
4.3	Golven	33
4.3.1	Modelschematisatie	33
4.3.2	Stationaire hindcastmomenten	33
4.3.3	Randvoorwaarden model	34
4.3.4	Fysische en numerieke instellingen model	35
4.3.5	Convergentie berekeningen	35
4.4	Zoet-zoutpatronen	36
4.5	Verspreiding havenslib uit Harlingen	37
4.5.1	Verspreidingslocaties, -materiaal en -volumes	37
4.5.2	Modellering van slibverspreiding	38
4.6	Verspreiding materiaal uit Boontjes	38
4.6.1	Verspreidingslocaties, -materiaal, -methoden en -volumes	38
4.6.2	Modellering van de verspreiding van het materiaal	40
4.7	Onderhoudsbaggerwerk	41
5	Effecten op hydrodynamica en golven	45
5.1	Inleiding	45
5.2	Hydrodynamica	45
5.2.1	Waterstanden in de geul	45
5.2.2	Waterstanden op de platen	49
5.2.3	Stroomsnelheden in de geul	51

5.2.4	Stroomsnelheden op de platen	56
5.2.5	Debiet door de geul.....	61
5.2.6	Bodemschuifspanningen door stroming.....	66
5.3	Golfcondities.....	69
5.3.1	Significante golfhoogte	69
5.3.2	Bodemschuifspanningen door golfwerking	74
6	Effecten op morfologie	79
6.1	Inleiding.....	79
6.2	Ontwikkeling van de vaargeul Boontjes	79
6.2.1	Sedimenttransport in Boontjes.....	79
6.2.2	Bodemveranderingen in Boontjes.....	86
6.2.3	Onderhoudsbaggerwerk.....	97
6.2.4	Conclusies.....	99
6.3	Plaatareaal	100
6.3.1	Opbouw en afbraak van platen	100
6.3.2	Drempelverwijdering Boontjes en de plaathoogte.....	101
6.3.3	Ontwikkeling van de plaathoogte op lange termijn	102
6.3.4	Conclusies.....	103
6.4	Grootschalig morfologisch systeem.....	103
6.4.1	Morfologische stabiliteit van getijdebekkens	104
6.4.2	Beschrijving methode van de Kreeke et al (2008)	105
6.4.3	Toepassing theorie Van de Kreeke et al. (2008).....	105
6.4.4	Beschouwing van modelresultaten.....	107
6.4.5	Conclusies.....	107
7	Effecten op zoet-zoutpatronen	109
7.1	Inleiding.....	109
7.2	Resultaten.....	109
7.3	Conclusies.....	112
8	Effecten op slibverspreiding	113
8.1	Inleiding.....	113
8.2	Resultaten.....	113
8.3	Conclusie	115
9	Verspreiding materiaal uit Boontjes	117
9.1	Inleiding.....	117
9.2	Resultaten TRIWAQ	117
9.3	Conclusies.....	124
10	Conclusies	125
10.1	Hydrodynamica en golven	125
10.2	Morfologie	125
10.3	Zoet-zoutpatronen.....	126
10.4	Verspreiding slib uit de haven van Harlingen.....	127
10.5	Verspreiding materiaal uit Boontjes	127
11	Referenties	129
	Bijlage A: Gevoeligheidsanalyse	135

A1 - Spuidebiet Kornwerderzand	135
A2 - Roosterfijnheid	137
Bijlage B: Slibmodellering.....	139
Bijlage C: Overzicht golfberekeningen	141
Bijlage D: Resultaten golfmodellering	145
Bijlage E: Statistische analyse golfwerking	151
Bijlage F: Kalibratie rekenmodel onderhoudsbaggerwerk.....	157

Lijst van tabellen

Tabel 3-1 – Beschrijving varianten ontwerp drempelverwijdering.	21
Tabel 3-2 – Potentiële windsnelheden en openwaterwindsnelheden voor verschillende richtingen.....	23
Tabel 4-1 – Snelheden in Boontjes rond hoogwater bij springtij en doortij volgens getijatlas 2011 (The Netherlands Hydrpgraphic Service, HP33D NL Tides, edition 2100)	31
Tabel 4-2 – Eigenschappen Pollendam in SWAN model.	33
Tabel 4-3 – Eigenschappen geselecteerde hindcastmomenten per windrichting en per variant	34
Tabel 4-4 – Verspreidingswerkzaamheden: locatie, methode, materiaal en volumes per tijdseenheid. Mediane diameter slib 20 μm , fijn zand: 140 μm	40
Tabel 5-1 – Gemiddeld oppervlak in de geul en boven de platen waarbinnen de bodemschuifspanning meer dan 0,1 N/m ² of 1% verschilt ten opzichte van de referentiesituatie, onderscheiden per variant en per windconditie.	77
Tabel 5-2 – Gemiddelde relatieve en absolute verandering van de bodemschuifspanningen onder golven in de geul en op de platen per variant en per windconditie.	77
Tabel 6-1 – Invoerparameters TRANSPOR2004	80
Tabel 6-2 – Verhouding tussen bodemtransport en suspensietransport (kolommen 2, 3, 5 en 6) en de verhouding tussen vloed en eb (kolommen 4 en 7) bij gemiddeld getij en springtij, in de referentiesituatie, voor de 10 locaties (kolom 1) uit het WAQUA-model (zie Figuur 5-1).	81
Tabel 6-3 – Specifieke transporten [$\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$] en totale transporten [m^3s^{-1}] bij vloed tijdens springtij bij de uitvoerlocaties 1 t/m 10 (zie Figuur 5-1); absolute waarde, absoluut verschil t.o.v. de referentiesituatie en relatief verschil t.o.v. de referentiesituatie.	85
Tabel 6-4 – Gebruikte randvoorwaarden berekeningen bodemveranderingen.....	87
Tabel 6-5 – Golfkarakteristieken voor een gemiddeld jaar, bepaald met de formules van Bretschneider op basis van de windkarakteristieken van Terschelling over de periode 1976-1996	89
Tabel 6-6 – Inschatting jaarlijkse aanzandingsvolume per variant ten opzichte van de referentiesituatie	98
Tabel 6-7 – Parameters in numerieke simulaties Brouwer (2006)	105
Tabel 6-8 – Vergroting van het stroomvoerende oppervlak over het wantij bij de verschillende varianten.....	106
Tabel 9-1 – Diepte en getijkarakteristieken per verspreidingslocatie.....	121

Lijst van figuren

Figuur 2-1 – Geulen en platen in de Westelijke Waddenzee, situatie 2002 (uit: Oost, 2003)	5
Figuur 2-2 – Impressie van de voortplanting van de getijdeweg voor (links) en na (rechts) de afsluiting van de Zuiderzee door Thijssen (1972), uit Elias (2006)	6
Figuur 2-3 – Bodemligging Westelijke Waddenzee volgens vaklodingen 1926.....	7
Figuur 2-4 – Bodemligging Westelijke Waddenzee volgens vaklodingen 2009.....	7
Figuur 2-5 – Jaarlijks gemiddeld hoogwater en laagwater bij Harlingen voor de periode 1895 tot en met 2005, uit: Cleveringa en Grasmeijer (2010)	8
Figuur 2-6 – Berekende hydrodynamische wantijen, uit: Van Geer (2007)	10
Figuur 2-7 – Bodemligging rond Boontjes volgens vaklodingen 1926 (Afsluitdijk in 1926 nog niet aanwezig)	12
Figuur 2-8 – Bodemligging rond Boontjes volgens vaklodingen 2009.....	12
Figuur 2-9 – Vaklodingen Waddenzee tussen 1926 en 2010. Lege delen van figuren zijn het gevolg van het ontbreken van data in de beschouwde periode.	14
Figuur 2-10 – Locatie polygoon rond Boontjes, zoals gebruikt in de analyse van de bodemontwikkeling rond Boontjes tussen 1926 en 2009.	15
Figuur 2-11 – Hypsometrische curves voor het gebied rond Boontjes, geldig voor het gebied binnen de polygoon zoals weergegeven in Figuur 2-10; pijl geeft trend weer	16
Figuur 2-12 – Het verloop in de tijd van het percentage van het oppervlak van de polygoon uit Figuur 2-10 onder enkele discrete bodemniveaus.....	16
Figuur 2-13 – Langsdoorsnede langs de as van de vaargeul Boontjes. De bodemhoogte is uitgezet tegen de afstand in meters (van noord naar zuid) vanaf het nulpunt nabij Harlingen (RD-km-punt 155.68,576.26).....	18
Figuur 2-14 – Locatie dwarsdoorsnedes van vaargeul bij Boontjes.....	19
Figuur 2-15 – Dwarsdoorsnede 4, $y = 574,0$ km; pijlen geven trend weer.....	20
Figuur 2-16 – Dwarsdoorsnede 6, $y = 573,0$ km; pijlen geven trend weer.....	20
Figuur 3-1 – Doorsnede van de huidige bodemligging langs de as van Boontjes, met een schematische weergave van de varianten	22
Figuur 3-2 – Dwarsdoorsnedes van Boontjes voor de referentie en de verschillende varianten ter plaatse van de drempel	22
Figuur 3-3 – Drie windrichtingen.....	23
Figuur 3-4 – Snelheidsverloop (openwaterwindsnelheid) voor verschillende windrichtingen. Tijd in minuten vanaf het begin van de simulatieperiode.	24
Figuur 4-1 – Rekenroosters grootschalige model (blauw) en gedetailleerd model (rood).....	26
Figuur 4-2 – a) Bodemprofiel van huidige situatie (rode ovaal geeft locatie van de drempel weer), b) Bodemprofiel van variant 1, c) Bodemprofiel van variant 2, d) Bodemprofiel van variant 3.....	27
Figuur 4-3 – Schematisatie Pollendam	28
Figuur 4-4 – Variabele windschuifspanningscoëfficiënt	28
Figuur 4-5 – Stroomsnelheden in het kuststrook-fijn-model, ebstroming.....	30
Figuur 4-6 – Stroomsnelheden in het gedetailleerde model, ebstroming.....	30
Figuur 4-7 – Waterstanden bij Harlingen uit het Kuststrook-fijn-model en het gedetailleerde model. Referentiesituatie zonder wind.	31
Figuur 4-8 – Stroomsnelheden in het model vergeleken met de data uit Tabel 4-1 voor doortijd (boven) en springtijd (onder). De grotere marker komt overeen met de waarde bij Hoog Water (HW) uit de getijatlas, zie Tabel 4-1.....	32
Figuur 4-9 – Convergentiegedrag significante golfhoogte, berekening 20, zie bijlage C.....	35
Figuur 4-10 – Convergentiegedrag gemiddelde golfperiode, berekening 20, zie bijlage C.....	36
Figuur 4-11 – Saliniteit bij Harlingen, referentiesituatie, resultaten Kuststrook-fijn-model.....	37

Figuur 4-12 – Verspreidingslocatie Kimstergat (gele marker), Pollendam (rode marker) en Zuid-Boontjes (roze marker), weergegeven met bodemhoogte [m+NAP] en een deel van de uitvoerlocaties	39
Figuur 5-1 – Uitvoerlocaties in Boontjes, van noord naar zuid Boontjesl1_1 tot en met Boontjesl1_25.....	46
Figuur 5-2 – Waterstandsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de situatie zonder wind bij uitvoerlocatie nummer 6.....	47
Figuur 5-3 – Waterstandsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de situatie met zuidwestenwind bij uitvoerlocatie nummer 6.....	47
Figuur 5-4 – Waterstanden bij verschillende varianten en windrichtingen bij hoogwater (HW) en laagwater (LW) onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.	48
Figuur 5-5 – Waterstandsverschillen ten opzichte van de referentiesituatie bij verschillende varianten en windrichtingen bij hoogwater (HW) en laagwater (LW) onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.	49
Figuur 5-6 – Waterstanden in de referentiesituatie tijdens laagwater bij springtij zonder wind.....	50
Figuur 5-7 – Waterstanden bij variant 3 tijdens laagwater bij springtij zonder wind.....	50
Figuur 5-8 – Waterstandsverschillen tussen variant 3 en de referentiesituatie tijdens laagwater bij springtij zonder wind.....	51
Figuur 5-9 – Snelheidsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de situatie zonder wind bij uitvoerlocatie nummer 6. Positieve snelheden gedurende eb (noord naar zuid in de geul), negatieve snelheden gedurende vloed (zuid naar noord in de geul)	52
Figuur 5-10 – Snelheidsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de situatie met zuidwestenwind bij uitvoerlocatie nummer 6. Positieve snelheden gedurende eb (noord naar zuid in de geul), negatieve snelheden gedurende vloed (zuid naar noord in de geul).....	52
Figuur 5-11 – Verschil in snelheidsverloop (figuur boven) bij uitvoerlocatie 6 ten opzichte van de referentie voor alle varianten. Condities: geen wind, gemiddeld getij.....	53
Figuur 5-12 – Verschil in snelheidsverloop (figuur boven) bij uitvoerlocatie 6 ten opzichte van de referentie voor alle varianten. Condities: zuidwestenwind (230 gr), 8.9 m/s, gemiddeld getij.	53
Figuur 5-13 – Stroomsnelheden bij verschillende varianten en windrichtingen bij uitvoerlocatie 6 bij eb en vloed onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.	54
Figuur 5-14 – Absolute (boven) en procentuele (onder) stroomsnelheidsverschillen ten opzichte van de referentiesituatie bij uitvoerlocatie 6, bij verschillende varianten en windrichtingen, bij eb en vloed onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.	55
Figuur 5-15 – Stroomsnelheden in de referentiesituatie tijdens springtij zonder wind	57
Figuur 5-16 – Stroomsnelheden bij variant 3 tijdens springtij zonder wind.....	57
Figuur 5-17 – Snelheidsverschillen tussen variant 1 en de referentiesituatie tijdens springtij zonder wind	58
Figuur 5-18 – Snelheidsverschillen tussen variant 2 en de referentiesituatie tijdens springtij zonder wind	58
Figuur 5-19 – Snelheidsverschillen tussen variant 3 en de referentiesituatie tijdens springtij zonder wind	59
Figuur 5-20 – Snelheidsverschillen tussen variant 3 en de referentiesituatie tijdens springtij, noordwesterstorm	59

Figuur 5-21 – Absoluut (boven) en procentueel (onder) verschil in stroomsnelheden bij vloed tijdens springtij ten opzichte van de referentiesituatie voor de drie varianten. Doorsnede boven de verwijderde drempel, (roosterlijn m=425 in WAQUA).....	60
Figuur 5-22 – Locatie dwarsdoorsneden.....	61
Figuur 5-23 – Debiet door Boontjes, doorsnede C3, gemiddeld getij zonder wind. Positief: ebdebiet, negatief: vloeddebiet	62
Figuur 5-24 – Verschil in debiet door Boontjes, doorsnede C3, gemiddeld getij zonder wind. Positief: toename debiet stromend van noord naar zuid.....	63
Figuur 5-25 – Debietverschil per roostercel in WAQUA t.o.v. referentie voor de drie varianten. Situatie: vloed tijdens springtij.....	63
Figuur 5-26 – Grootte van het debiet bij verschillende varianten en windrichtingen bij eb en vloed, onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en bij doortij (DT). Positief: ebdebiet, negatief: vloeddebiet. Doorsnede C3.	64
Figuur 5-27 – Verschil in grootte van het debiet ten opzichte van de referentie bij verschillende varianten en windrichtingen bij eb en vloed, onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en bij doortij (DT). Positief: toename debiet stromend van noord naar zuid. Doorsnede C3.	65
Figuur 5-28 – Bodemschuifspanningen door stroming in de referentiesituatie bij springtij zonder wind	67
Figuur 5-29 – Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in variant 1 ten opzichte van de referentiesituatie bij springtij zonder wind.....	68
Figuur 5-30 – Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in variant 2 ten opzichte van de referentiesituatie bij springtij zonder wind.....	68
Figuur 5-31 – Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in variant 3 ten opzichte van de referentiesituatie bij springtij zonder wind.....	69
Figuur 5-32 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordwestenwind, gemiddelde condities en laagwater.....	70
Figuur 5-33 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordwestenwind, gemiddelde condities en hoogwater.....	70
Figuur 5-34 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordenwind, stormcondities en hoogwater bij springtij.....	71
Figuur 5-35 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordenwind, stormcondities en laagwater bij springtij	71
Figuur 5-36 – Groepssnelheid als functie van de waterdiepte bij een golfperiode van 5 s.....	72
Figuur 5-37 – Verdeling tussen platen (blauw) en geulen (bruin) in de statistische analyse van de golfhoogte	74
Figuur 5-38 – Bodemschuifspanning door golfwerking bij de 10 uitvoerlocaties in Boontjes (zie Figuur 5-2), in de referentie en de 3 varianten, tijdens gemiddelde condities en stormcondities.	76
Figuur 6-1 – Sedimenttransporten bij de uitvoerlocaties 1 t/m 10 (zie Figuur 5-1) voor de referentie en de drie varianten bij vloed tijdens springtij. Rode lijn: bodemligging in de referentiesituatie.	84
Figuur 6-2 – Sedimenttransporten bij de uitvoerlocaties 1 t/m 10 (zie Figuur 5-1) voor de referentie en de drie varianten bij eb tijdens springtij. Rode lijn: bodemligging in de referentiesituatie.	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Figuur 6-3 – Stroombeeld bij maximale stroomsnelheid bij vloed tijdens springtij, stroomsnelheden in m/s. Uitvoerlocatienummering overeenkomstig met Figuur 5-1 en de horizontale as van Figuur 6-1. De grijze lijnen geven de contouren van de bodemligging weer.....	82
Figuur 6-4 – Stroombeeld bij maximale stroomsnelheid bij eb tijdens springtij, stroomsnelheden in m/s. Uitvoerlocatienummering overeenkomstig met	

Figuur 5-1 en de horizontale as van Figuur 6-2. De grijze lijnen geven de contouren van de bodemligging weer.....	83
Figuur 6-5 – Modelas stroombuis langs Boontjes en modelas stroombuis dwars over geul	86
Figuur 6-6 – Bodemligging langs de geul, referentiesituatie. Afstand toenemend van noord naar zuid langs de geulas.....	90
Figuur 6-7 Bodemligging langs de geul, varianten 1 (boven), 2 (midden) en 3 (onder). Afstand toenemend van noord naar zuid langs de geulas.	92
Figuur 6-8 - Bodemligging dwars over de geul, referentiesituatie, afstand toenemend van west naar oost	93
Figuur 6-9 – Bodemligging dwars over de geul, varianten 1(boven), 2 (midden) en 3 (onder), afstand toenemend van west naar oost dwars over de geul	96
Figuur 6-10 – Keuze voor de ligging van het wantij (rode lijn) ter bepaling van de lengte van het wantij en het stroomvoerende oppervlak over het wantij	106
Figuur 7-1 – Saliniteit rond Boontjes in de referentiesituatie (hoog water, geen wind).....	110
Figuur 7-2 – Verschil in saliniteit in variant 2 ten opzichte van de referentiesituatie (hoog water, geen wind).....	110
Figuur 7-3 – Tijdsverloop van de saliniteit bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) voor de referentiesituatie en variant 2, beide zonder wind	111
Figuur 7-4 – Tijdsverloop van het verschil in saliniteit in variant 2 bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) ten opzichte van de referentiesituatie bij de situatie zonder wind en bij zuidwestenwind (gemiddelde condities)	111
Figuur 8-1 – 2D concentratieveld op een willekeurig moment in de getijcyclus (vloed, NW-wind, 8,1 m/s) in de referentiesituatie	113
Figuur 8-2 - Verschil in slibconcentratie in variant 3 ten opzichte van de referentiesituatie op een willekeurig moment in de getijcyclus (vloed, NW-wind, 8,1 m/s).....	114
Figuur 8-3 – Tijdreeks slibconcentratie bij uitvoerlocatie 6 voor de referentie en variant 3	115
Figuur 9-1 – Kimstergat, spuiten van zand: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld	118
Figuur 9-2 – Kimstergat, klappen van zand: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld	118
Figuur 9-3 – Kimstergat, klappen van slib: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld	119
Figuur 9-4 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib in het Kimstergat. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.....	119
Figuur 9-5 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib bij de Pollendam. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.....	120
Figuur 9-6 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib in Zuid-Boontjes. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.....	120

Samenvatting

Sinds vele jaren vormt de dieptebeperking van Boontjes, de vaarweg tussen Harlingen en Kornwerderzand, een probleem voor het scheepvaartverkeer. Het voorliggende rapport vormt een onderdeel van de studie naar de effecten van de verwijdering van de huidige drempel in de geul.

Dit rapport heeft betrekking op de volgende ondersteunende *deelstudies* naar de effecten van de drempelverwijdering:

1. Hydrodynamica, inclusief golven
2. Lange-termijn morfologie
3. Onderhoudsbaggerwerk
4. Zoet-zoutpatronen
5. Verspreiding van slib, afkomstig uit de haven van Harlingen
6. Verspreiding van materiaal rond verspreidingslocaties, afkomstig uit de drempel in Boontjes

De volgende *drie varianten* voor het ontwerp van de geul met verwijderde drempel zijn beschouwd:

1. De drempel wordt over een lengte van ca. 2 km verwijderd tot een diepte van -3,8 m+NAP en over een breedte van 100 m.
2. De drempel wordt over een lengte van ca. 5 km verwijderd tot een diepte van -4,3 m+NAP en over een breedte van 100 m.
3. De drempel wordt verwijderd over een lengte van ca. 5 km tot een diepte van -4,3 m+NAP en over een breedte van 150 m.

Hierbij is 3,8 m de gewenste nautische diepte onder NAP, en 4,3 m gelijk aan deze nautische diepte plus een overdiepte van 0,5 m.

De verschillende deelstudies hebben geleid tot onderstaande conclusies voor de verschillende mogelijke effecten van de drempelverwijdering.

1. *Hydrodynamica, inclusief golven*

Het effect van de drempelverwijdering op de *waterstanden* is niet significant, omdat de droogvalduur van de platen niet noemenswaardig verandert door de waterstandsveranderingen.

De drempelverwijdering versterkt de *stroomsnelheden in de geul* zowel bij eb als bij vloed met circa 0,01 m/s (3%) bij variant 1 tot maximaal ongeveer 0,025 m/s (7%) bij variant 3.

De drempelverwijdering zorgt voor een afname van de *stroomsnelheden op de platen*. De afname bedraagt direct naast de geul tijdens vloed bij springtij ongeveer 0,005 m/s (2%) bij variant 1, 0,007 m/s (2,5%) bij variant 2 en 0,012 m/s (4%) bij variant 3. Verder van de geul af neemt de invloed af.

De *debiëten door de geul* nemen zowel bij eb als bij vloed toe door de drempelverwijdering. De toename bedraagt bij rustig weer bij vloed circa 35 m³/s (5%), 70 m³/s (10%) en 120 m³/s (16%) bij respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Bij eb is dit respectievelijk circa 20 m³/s (5%), 40 m³/s (10%) en 65 m³/s (16%).

Ten gevolge van de drempelverwijdering neemt de *significante golfhoogte* tijdens stormcondities toe in de as van de geul en licht af op de platen. Lokaal zijn de veranderingen tijdens stormcondities circa 5 cm. Op grotere afstand van de geul neemt de grootte van verandering snel af.

De resultaten van de analyse naar de effecten op hydrodynamica dienen als input voor de analyse naar de effecten op de (lange-termijn) morfologie.

2. Lange-termijn morfologie

De ontwikkeling van de omgeving van Boontjes is in de afgelopen decennia sterk beïnvloed door de aanleg van de Afsluitdijk. In de periode tussen de afsluiting in 1932 en heden is er netto sedimentatie opgetreden in het gebied rond Boontjes. Omdat deze sedimentatie ook de vaardiepte in Boontjes beïnvloedde, is in 1956 eenmalig onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. De drempel in Boontjes was ook al voor de afsluiting van de Zuiderzee aanwezig. De diepte van de geul lijkt zich de laatste decennia te stabiliseren, waarbij de breedte van de geul enigszins afneemt.

Uit de beschouwing van de *sedimenttransporten* door de geul in de huidige situatie volgt dat de morfologische activiteit ter plaatse van de drempel in Boontjes gering is. Dit is ook het geval na verwijdering van de drempel. Bij vloed tijdens springtij zijn de transporten door de geul duidelijk het grootst. Tijdens dit moment in de getijdencyclus nemen de over de breedte van de geul gesommeerde sedimenttransporten, gemiddeld over het beschouwde deel van Boontjes, met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. Het extra aangevoerde sediment komt vooral op de platen terecht door de sterke plaat-geuluitwisseling van de stroming ten zuiden van de drempel in Boontjes. De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen in variant 1 en 2 af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe.

De som van de afnemende sedimentatie ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee en de permanente sedimentatie ten gevolge van de zeespiegelstijging zal door de drempelverwijdering initieel versterkt worden met ongeveer 0,5% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). Deze versterking zal vervolgens na verloop van tijd enigszins afnemen door de verwachte lichte aanzanding in Boontjes. Bij de plaatranden zal initieel naar verwachting enige herverdeling van het bodemmateriaal optreden, waardoor de taludhelling afneemt.

Er is geen enkele aanwijzing dat de drempelverwijdering het karakter van het *grootschalige morfologische systeem* van de getijdebekkens van het Vlie en het Marsdiep zal beïnvloeden.

3. Onderhoudsbaggerwerk

Sediment zet zich voornamelijk af aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens de maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul. Op basis van de verandering in de varianten ten opzichte van de referentiesituatie van enerzijds de dwarstransporten en anderzijds de sedimenttransportcapaciteit in langsrichting zijn baggervolumes per variant ingeschat. Het baggervolume is ingeschat op 21.700 m³/jaar voor variant 1, 32.400 m³/jaar voor variant 2 en 13.700 m³/jaar voor variant 3. Deze volumes zijn naar verwachting conservatief ingeschat.

4. Zoet-zoutpatronen

De contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit verschuiven door de drempelverwijdering (variant 2) in noordoostelijke richting over een afstand in de orde van slechts enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes neemt de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie toe met ongeveer 0,5% in de situatie zonder wind en 1% in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.

Verlaging van de drempel in Boontjes leidt bij de huidige spuicapaciteit tot een lichte toename van de saliniteit in Boontjes. Deze trend zal ook aanwezig zijn indien bij Kornwerderzand meer water wordt gespuid vanuit het IJsselmeer. Daarom geven de resultaten geen enkele aanleiding om te verwachten dat de drempelverwijdering in het geval van een verhoging van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal leiden tot een grotere doordringing van het zoete water (verlaagde saliniteit) in Boontjes dan in het geval met aanwezigheid van de drempel.

5. Verspreiding van slib, afkomstig uit de haven van Harlingen

De effecten van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte materiaal, afkomstig uit de haven van Harlingen, zijn niet significant.

6. Verspreiding van materiaal rond verspreidingslocaties, afkomstig uit de drempel in Boontjes

Door het klappen of spuiten van *zand* treedt met uitzondering van de directe nabijheid van het verspreidende baggerschip geen vertroebeling op. Binnen enkele honderden meters afstand is al het zand neergeslagen.

Alleen bij het klappen van *slib* treedt enige vertroebeling op rond de stortlocatie. De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de verspreidingslocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75% ($0,06 \text{ kg/m}^3$) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van $0,08 \text{ kg/m}^3$. Deze verhoging bedraagt ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (ca. $0,8 \text{ kg/m}^3$) slechts 7,5%. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen. Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden.

De geringe diepte en doorstroming ten noorden van de Pollendam leidt tot de grootste concentratieverhogingen rond deze verspreidingslocatie. In het Kimstergat zijn de concentraties lager vanwege de combinatie van goede doorstroming en een wat grotere diepte. Bij Zuid-Boontjes is de diepte zodanig groot, dat de menging groot is, met relatief lage concentraties tot gevolg.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Sinds vele jaren vormt de dieptebeperking van Boontjes, de vaarweg tussen Harlingen en Kornwerderzand, een probleem voor het scheepvaartverkeer. Er is veel over de vaarweg Boontjes gesproken en geschreven, maar er is nog geen gerichte studie uitgevoerd naar de effecten van drempelverwijdering.

Tot 2006: tijdens een bezoek van de toenmalige minister Peijs aan Harlingen is het initiatief genomen om na te gaan of het mogelijk is Boontjes beperkt te verdiepen. Een combinatie van opdrachtgevers heeft vervolgens een Voorstudie (ACRB, 2007) laten uitvoeren naar de technische en ecologische haalbaarheid van de verwijdering van de drempel in de vaarweg Boontjes. In deze voorstudie is geconcludeerd dat de drempelverwijdering haalbaar is en naar alle waarschijnlijkheid niet leidt tot significante negatieve effecten op het biotisch en/of abiotisch milieu. Daarnaast is een Economische Quickscan (Bückmann, 2007) uitgevoerd, waaruit volgde dat de drempelverwijdering voldoende positieve economische effecten heeft.

De resultaten van de Voorstudie hebben ertoe geleid dat op 19 juni 2009 een bestuursovereenkomst is getekend tussen het ministerie van Verkeer en Waterstaat en de provincie Fryslân. Met het tekenen van deze overeenkomst zijn afspraken gemaakt tussen beide partijen ten aanzien van taakverdeling en kosten voor het uitvoeren van de werkzaamheden.

De eerstvolgende stap richting uitvoering betreft het opstellen van een projectplan en van een passende beoordeling ten behoeve van de vergunningsverlening voor het verwijderen van de drempel uit Boontjes. De provincie Fryslân heeft in december 2010 de opdracht voor het opstellen van deze documenten gegund aan het consortium Witteveen+Bos, HKV [LIJN IN WATER](#) en Altenburg & Wymenga.

1.2 Deze studie

In de nieuwe Waterwet is vastgelegd dat een projectplan alle informatie dient te bevatten die noodzakelijk is voor zorgvuldige besluitvorming. Om de effecten van drempelverwijdering zo goed mogelijk in kaart te brengen zijn verschillende ondersteunende studies uitgevoerd.

Dit rapport heeft betrekking op de volgende ondersteunende deelstudies naar de effecten van drempelverwijdering op hydrodynamica en morfologie:

Deelstudie	Omschrijving
Hydrodynamica	Als de drempel wordt verwijderd, heeft dit mogelijk een effect op waterstanden, stroomsnelheden en golven. Inzicht in de hydrodynamische veranderingen is belangrijk om een uitspraak te kunnen doen over het effect op sublitorale mosselbanken. Daarnaast worden de resultaten van deze deelstudie gebruikt in de deelstudie 'lange termijn morfologie'.
Onderhoudsbaggerwerk	Inzicht in het onderhoudsbaggerwerk is nodig om de kosten van drempelverwijdering in kaart te brengen.
Lange-termijn morfologie	Inzicht in de lange termijn morfologie is nodig om in de passende beoordeling een uitspraak te kunnen doen over het effect van drempelverwijdering op het areaal aan litorale en sublitorale platen, en daarmee het foerageergebied voor diverse soorten in de Waddenzee. De lange termijn morfologie wordt mede bepaald door hydrodynamica en golven en de daarmee samenhangende sedimentatie- en erosiepatronen.
Zoet-zoutpatronen	Als de drempel wordt verwijderd kan de zoete bel in de Doove Balg met opkomend water zich wellicht verder naar het noorden verplaatsen. Inzicht in de saliniteit is belangrijk om in de passende beoordeling een uitspraak te kunnen doen over het effect van drempelverwijdering op bestaande soorten in de Waddenzee.
Verspreiding havenslib	Als de drempel wordt verwijderd kan de baggerspecie uit de haven van Harlingen, dat gestort wordt in het Kimstergat en bij de Pollendam, zich verder richting het zuiden verspreiden. Inzicht in de verspreiding van dit slib is nodig om in de passende beoordeling een uitspraak te kunnen doen over het effect van drempelverwijdering op de waterkwaliteit.
Verspreiding materiaal rond verspreidingslocaties	Bij het verwijderen van de drempel komt materiaal vrij. Dit materiaal zal worden teruggebracht in de Waddenzee. In deze deelstudie zal inzicht worden verkregen in de verspreiding van het vrijkomende materiaal rond de verschillende mogelijke verspreidingslocaties.

1.3 Projectorganisatie

Dit rapport zal worden gebruikt ter onderbouwing van het projectplan en de passende beoordeling, die worden opgesteld door Witteveen+Bos. Verschillende partijen hebben een bijdrage geleverd aan dit rapport:

- HKV [LIJN IN WATER](#) is verantwoordelijk voor de bepaling van de hydrodynamische effecten (waterstanden en stroomsnelheden), de effecten op slibverspreiding uit de haven van Harlingen, de verspreiding van het vrijkomende materiaal afkomstig uit de drempel rond de verspreidingslocaties, de effecten op zoet-zoutpatronen en de morfologische analyses. De interne review is verzorgd door Saskia van Vuren en Paul Termes;
- Witteveen+Bos is verantwoordelijk voor de bepaling van de effecten van drempelverwijdering op de golfeigenschappen;
- Bram van Prooijen en Zheng Bing Wang (TU Delft) hebben meegedacht over de uitgangspunten voor de hydrodynamische modellering en voeren een review uit op het hoofdstuk 'morfologische effectbepaling'.

1.4 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: hoofdstuk 2 begint met een beschrijving van het systeem. In dit hoofdstuk worden de karakteristieken ten aanzien van hydrodynamica en morfologie van de westelijke Waddenzee beschreven, waarbij specifiek wordt ingezoomd op Boontjes. Dit hoofdstuk beschrijft hoe dit gebied zich de afgelopen decennia heeft ontwikkeld. Vervolgens geeft hoofdstuk 3 een beschrijving van de varianten en scenario's, die beschouwd zijn in deze deelstudie. Dit wordt gevolgd door een beschrijving van de uitgangspunten voor de modellering in hoofdstuk 4. De effecten van de drempelverwijdering op de hydrodynamica worden gepresen-

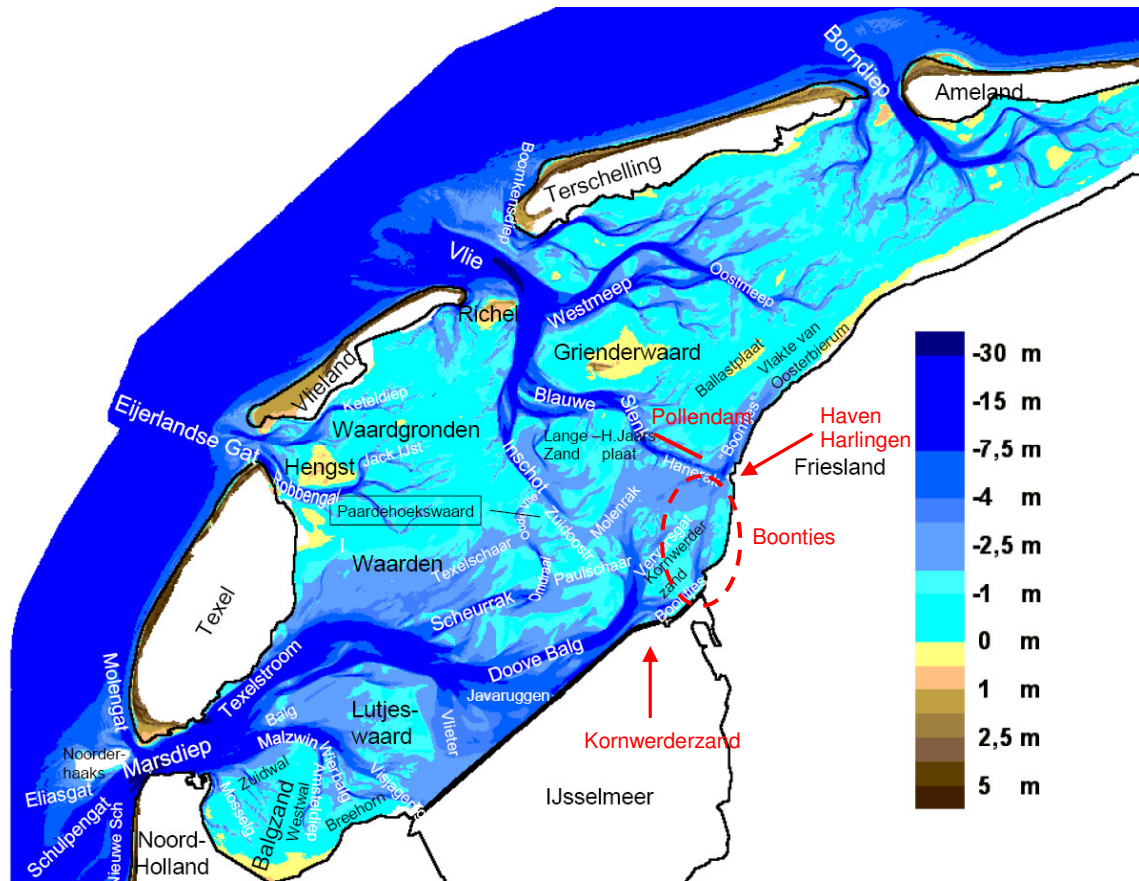
teerd in hoofdstuk 5; gevolgd door een analyse van de effecten van de drempelverwijdering op de morfologie op korte en lange termijn in hoofdstuk 6. Deze analyse bevat eveneens een schatting van het onderhoudsbaggerwerk en de effecten van de drempelverwijdering op het grootschalige morfologische systeem. In hoofdstuk 7 zijn de effecten op de zout-zoetpatronen rond Boontjes geanalyseerd. Het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib vanuit de haven van Harlingen is in hoofdstuk 8 behandeld. De verspreiding van materiaal vanuit de verwijderde drempel komt aan de orde in hoofdstuk 9. Hoofdstuk 10 sluit af met conclusies en aanbevelingen.

2 Systeembeschrijving

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een systeembeschrijving van de westelijke Waddenzee (paragraaf 2.2) en, op kleinere schaal, van de omgeving rond Boontjes (paragraaf 2.3). De beschrijving is gebaseerd op de historische ontwikkeling van het gebied op basis van beschikbare literatuur en bodemmetingen vanaf 1926. Doel van de systeembeschrijving is inzicht te geven in de historische bodemontwikkeling in en rondom de vaargeul Boontjes.

Boontjes is de vaargeul tussen de spuisluizen bij Kornwerderzand in de Afsluitdijk en de haven van Harlingen. De geul verbindt de Doove Balg met het Hanerak en het Kimstergat. De belangrijkste geulen en platen (situatie in 2002) zijn weergegeven in Figuur 2-1. De vaargeul Boontjes (zie markering in Figuur 2-1) wordt voornamelijk gebruikt voor scheepvaartverkeer tussen de haven van Harlingen en het sluisencomplex bij Kornwerderzand.



Figuur 2-1 – Geulen en platen in de Westelijke Waddenzee, situatie 2002 (uit: Oost, 2003)

2.2 Westelijke Waddenzee

Deze paragraaf beschrijft de karakteristieken van de westelijke Waddenzee aan de hand van een overzicht van de historische ontwikkeling van het gebied. De systeembeschrijving blijft beperkt tot de karakteristieken van de getijdebekkens zelf. De getijdebekkens Vlie en Marsdiep (zie Figuur 2-1) staan daarbij centraal, omdat Boontjes op de grens van deze twee bekkens ligt.

Andere elementen van het systeem, zoals de buitendelta en de aangrenzende kustgebieden, worden buiten beschouwing gelaten, aangezien deze geen rol van betekenis spelen in het hydro-morfologisch gedrag van Boontjes.

De beschrijving van de historische ontwikkeling van de westelijke Waddenzee blijft beperkt tot de periode vanaf de situatie kort voor de afsluiting van de Zuiderzee door middel van de Afsluitdijk in 1932 tot heden. Een beschrijving van de ontwikkeling van de westelijke Waddenzee vóór de afsluiting van de Zuiderzee is bijvoorbeeld te vinden in Oost & Kleine Punte (2003).

In 1932 werd de Zuiderzee gescheiden van de Waddenzee door de 32 kilometer lange Afsluitdijk. De aanleg van deze dijk heeft plaatsgevonden tussen 1927 en 1932. Het tracé van de Afsluitdijk doorsnijdt diverse grote getijdgeulen, waardoor het kombergingsgebied van de Zuiderzee met de aanleg van de Afsluitdijk is afgesloten van de Noordzee. Figuur 2-1 geeft een impressie van Thijsse (1972) over de getijbeweging voor en na de afsluiting van de Zuiderzee.



Figuur 2-2 – Impressie van de voortplanting van de getijdegolf voor (links) en na (rechts) de afsluiting van de Zuiderzee door Thijsse (1972), uit Elias (2006)

In 1926, voorafgaand aan de afsluiting, zijn er vaklodingen verricht van de gehele Waddenzee. De bodemligging volgens deze vaklodingen is weergegeven in Figuur 2-3. Het doorsnijden van het geulenpatroon is duidelijk zichtbaar. Het wegvallen van het kombergingsgebied ten zuiden van de Afsluitdijk had en heeft nog steeds grote gevolgen voor de morfologische ontwikkeling van de westelijke Waddenzee. Figuur 2-4 toont de bodemligging in de Waddenzee volgens de vaklodingen van 2009. In de doorsneden geulen heeft forse sedimentatie plaatsgevonden. De geul vanuit het Vlie richting de Zuiderzee is sterk teruggetrokken, ten koste van de geulen die in directe verbinding staan met het Marsdiep (Cleveringa en Grasmeyer, 2010).

Voor de afsluiting was het gezamenlijke bergende oppervlak van de bekkens van het Marsdiep en het Vlie ongeveer 4000 km² groot. De bekkenlengtes bedroegen circa 130 kilometer. Door de afsluiting is het gezamenlijke bekkenoppervlak gereduceerd tot 712 km²; de bekkenlengte tot ongeveer 30 kilometer. De interactie tussen beide bekkens is ook sterk verminderd. Er is een

wantij ontstaan tussen de bekkens, waarover slechts een klein residueel transport tussen de bekkens plaatsvindt. De grootte van de uitwisseling wordt door Ridderinkhof (1988) geschat op 1% van de amplitude van het gezamenlijke transport door de inlaten Vlie en Marsdiep.



Figuur 2-3 – Bodemligging Westelijke Waddenzee volgens vaklodingen 1926, bron: OpenEarth

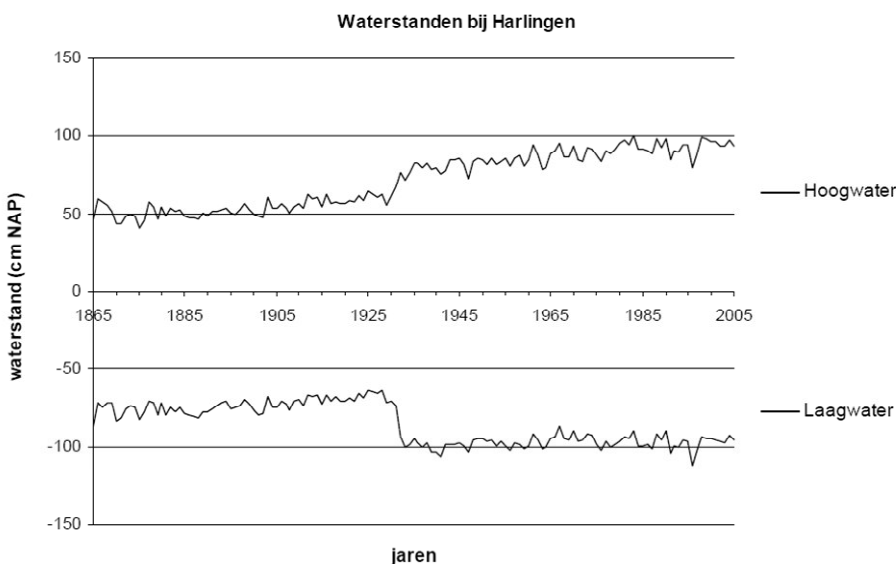


Figuur 2-4 – Bodemligging Westelijke Waddenzee volgens vaklodingen 2009, bron: OpenEarth

Het afsluiten van de Zuiderzee heeft geleid tot een forse toename van de getijslag in de bekkens. Figuur 2-5 toont de hoogte van het gemiddeld hoogwater en het gemiddeld laagwater voor de periode tussen 1895 en 2005. De afsluiting in 1932 heeft geleid tot een forse toename van het gemiddeld hoogwater van ongeveer 0,5 m + NAP naar ongeveer 0,9 m + NAP. Het gemiddeld hoogwater is abrupt toegenomen direct na de sluiting, maar toont ook nog een geleidelijke toename in de daarop volgende periode. Ook het gemiddeld laagwater is abrupt veranderd van ongeveer -0,7 m + NAP naar ongeveer -1,0 m + NAP. Het verschil tussen beide: de gemiddelde getijslag, is hierdoor lokaal met ongeveer 50% toegenomen. Opgemerkt wordt dat deze toename binnen de Waddenzee maximaal is bij Harlingen (Cleveringa en Grasmeijer, 2010).

Voor de afsluiting was sprake van een deels staande golf, die uitdempte door de grote lengte van het bekken (ongeveer gelijk aan de halve golflengte). De bodemwrijving had een aanzienlijke invloed op de voortplanting van de getijgolf. Hierdoor was de aan de zuidzijde van de Zuiderzee gereflecteerde getijgolf aanzienlijk lager dan de inkomende getijgolf. Het samenspel van de inkomende en de gereflecteerde getijgolf resulteerde in een getijbeweging met een lopend karakter bij de inlaten en een stand karakter nabij de zuidrand van de Zuiderzee.

Door de afsluiting is de lengte van het bekken sterk gereduceerd, tot ongeveer 20 procent van de getijgolflengte. Daarnaast is de gemiddelde diepte van het nieuw ontstane bekken groter dan die van het oorspronkelijke bekken. De invloed van de bodemwrijving is hierdoor duidelijk minder belangrijk geworden. Doordat de Afsluitdijk is aangelegd iets ten noorden van de buik van de getijgolf, is het karakter van de getijbeweging veranderd in een min of meer staande golf van een kwart golflengte (Oost & Kleine Punte, 2003 en Kragtwijk, 2001). De combinatie van een afgenomen effect van de bodemwrijving en een toegenomen stand karakter van de getijgolf resulteerde in de beschreven toename van de getijslag.



Figuur 2-5 – Jaarlijks gemiddeld hoogwater en laagwater bij Harlingen voor de periode 1895 tot en met 2005, uit: Cleveringa en Grasmeijer (2010)

Een empirische relatie voor de grootte van het getijprisma P wordt gegeven door

$$P = A \cdot H - V_f, \quad (2.1)$$

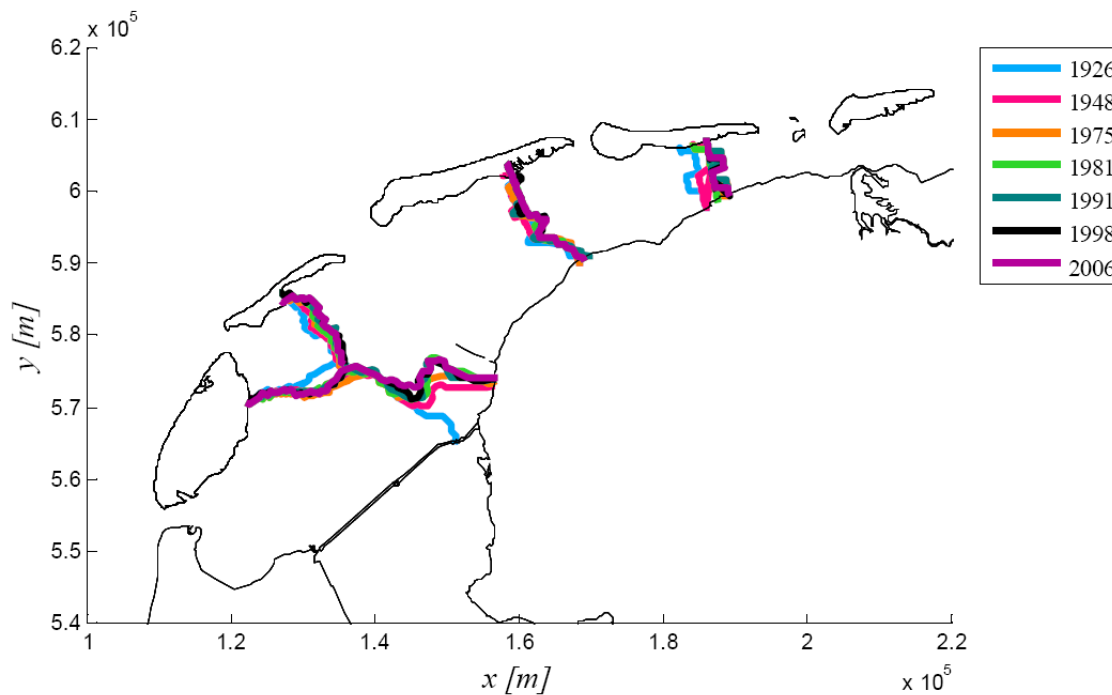
waarin A het bergende oppervlak is, H de getijslag en V_f het volume van de platen. Het getijprisma is het volume water dat gedurende een getijcyclus in en uit een zeearm beweegt. De afsluiting van de Zuiderzee heeft geleid tot een drastische afname van het bergende oppervlak en een toename van de getijslag. Toch heeft de afsluiting van de Zuiderzee geleid tot een toename van het gezamenlijke getijprisma van de bekkens Vlie en Marsdiep van ongeveer 26 procent. De conclusie op basis hiervan is dat een groot deel van het bergende oppervlak van de Zuiderzee voor de afsluiting niet actief betrokken was bij de uitwisseling van water met de Waddenzee (Elias, 2006).

De beschreven hydrodynamische veranderingen hadden en hebben nog steeds ingrijpende gevolgen voor de morfologische ontwikkeling van de Westelijke Waddenzee. De voornaamste

ontwikkelingen traden op binnen de bekkens. Zoals ook uit de vergelijking tussen Figuur 2-3 en Figuur 2-4 blijkt, zijn diverse grote geulen sterk gemigreerd. De geulen die voorheen verantwoordelijk waren voor de uitwisseling van water tussen de Zuiderzee en de Waddenzee zijn grotendeels verzand. Het geulenstelsel dat ontspringt vanuit het Marsdiep is in oostelijke richting verschoven. Het vertakkende geulenpatroon vanuit het Marsdiep is tegenwoordig ook in de omgeving van Boontjes en de Pollen zichtbaar. De geulen vanuit het Vlie hebben zich teruggetrokken. De oppervlakte van het bekken van het Marsdiep is in oppervlakte toegenomen ten koste van het bekken van het Vlie. De grootschalige ontwikkelingen binnen de getijdebekken ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee lijken volgens Louters en Gerritsen (1994) ongeveer ten einde te zijn. Een uitzondering geldt voor de uiteinden van het Marsdiepsysteem, in het wantijgebied. Hier zijn de gevolgen van de afsluiting nog niet geheel ten einde (Oost & Kleine Punte, 2003).

Door de toename van het getijprisma is de vraag naar sediment in de bekkens toegenomen. Elias (2006) beschrijft een totale toename van de sedimentinhoud van beide bekkens van ruim $400 \times 10^6 \text{ m}^3$ in de periode van 1932 tot 2003. Deze sedimentatie heeft voornamelijk plaatsgevonden in de diepere delen van de bekkens.

Er is veel discussie over de ligging van het wantij tussen de getijdebekken van het Marsdiep en het Vlie. Van Straaten (1964) beschrijft een wantij als de zone waar de watermassa's die door de zeegaten naar binnen stromen elkaar ontmoeten. Er is sprake van een zone, omdat de locatie kan variëren, afhankelijk van de getij-, wind- en golfcondities. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen het morfologische wantij en het hydrodynamische wantij. Het hydrodynamische wantij komt overeen met de definitie van Van Straaten (1964). Vroom (2011) beargumenteert dat een exacte positie van een (hydrodynamisch) wantij niet bestaat, ondanks dat deze gedachte bij veel ingenieurs leeft. Er is geen plaats aan te wijzen waar de stroomsnelheden tot nul reduceren. Evenals Van Geer (2007) definieert Vroom (2011) het hydrodynamische wantij daarom als de plaats waar de standaardafwijking van de stroomsnelheid minimaal is over een bepaalde periode. Figuur 2-6 toont de hydrodynamische wantijen, zoals deze zijn berekend door Van Geer (2007) voor bodemliggingen zoals deze zijn bepaald in verschillende jaren. Het morfologische wantij (niet getoond in de figuur) is de begrenzing die op basis van de bodemligging kan worden bepaald. In veel gevallen wijkt de instantane positie van het morfologische wantij af van de positie van het hydrodynamische wantij.



Figuur 2-6 – Berekende hydrodynamische wantijen, uit: Van Geer (2007)

Uit Figuur 2-6 blijkt dat er een significante verschuiving van het wantij tussen de bekkens van het Marsdiep en het Vlie heeft plaatsgevonden in noordoostelijke richting. Er bestaat een verband tussen het getijprisma door en de dwarsdoorsnede van een geul. Vanwege dit verband hebben Cleveringa en Grasmeijer (2010) de verandering van de dwarsdoorsnedes van diverse geulen rond het wantij geanalyseerd. Ook op basis van deze analyse wordt duidelijk dat het Marsdiep terrein heeft gewonnen ten opzichte van het Vlie. De analyse leverde echter geen exacte positie van het wantij op. Aan de hand van de geuldoorsnedes stellen zij wel vast dat het wantij na ongeveer 1950 redelijk stabiel is gebleven.

2.3 Historische ontwikkeling bodemligging rond Boontjes

Daar waar in de vorige paragraaf de historische ontwikkeling van de gehele westelijke Waddenzee werd geschetst, is in deze paragraaf de focus gelegd op het gebied rond Boontjes en de geul Boontjes zelf.

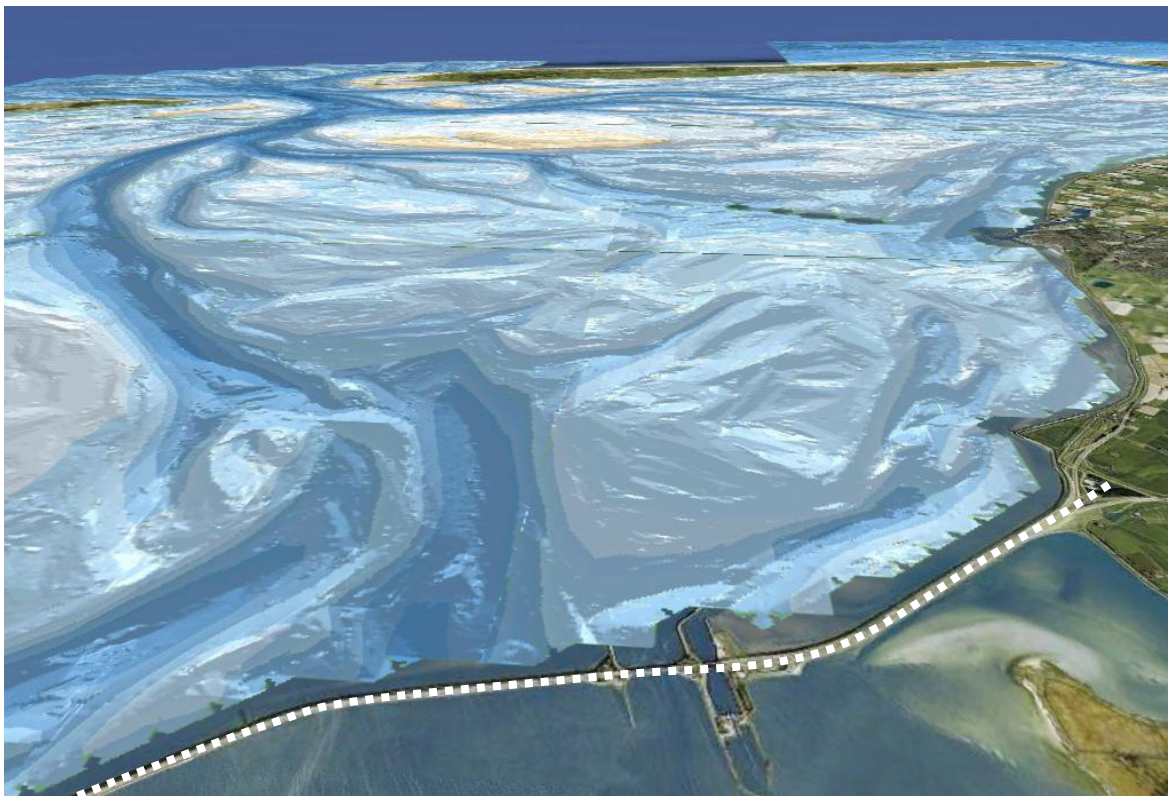
2.3.1 Ontwikkeling van het gebied rond Boontjes

Figuur 2-7 toont de bodemligging rond Boontjes in 1926, de situatie voor de aanleg van de Afsluitdijk. In deze figuur is duidelijk zichtbaar dat de drempel in de geul in 1926 al aanwezig was. Dezelfde conclusie is getrokken door Oost & Kleine Punte (2003) op basis van een hydrografische kaart uit 1911 (RWS Friesland, 1978). Er is geen rechtstreekse verbinding tussen de Doove Balg en Boontjes aanwezig. Figuur 2-8 toont de meest recente bodemligging (grotendeels ingemeten in 2009), waarin de geul meer uitgesproken aanwezig is. Daarnaast kan Boontjes op dit moment beschouwd worden als een aftakking van de Doove Balg. De platen in de omgeving van Boontjes zijn duidelijk hoger komen te liggen in de periode tussen 1926 en 2009.

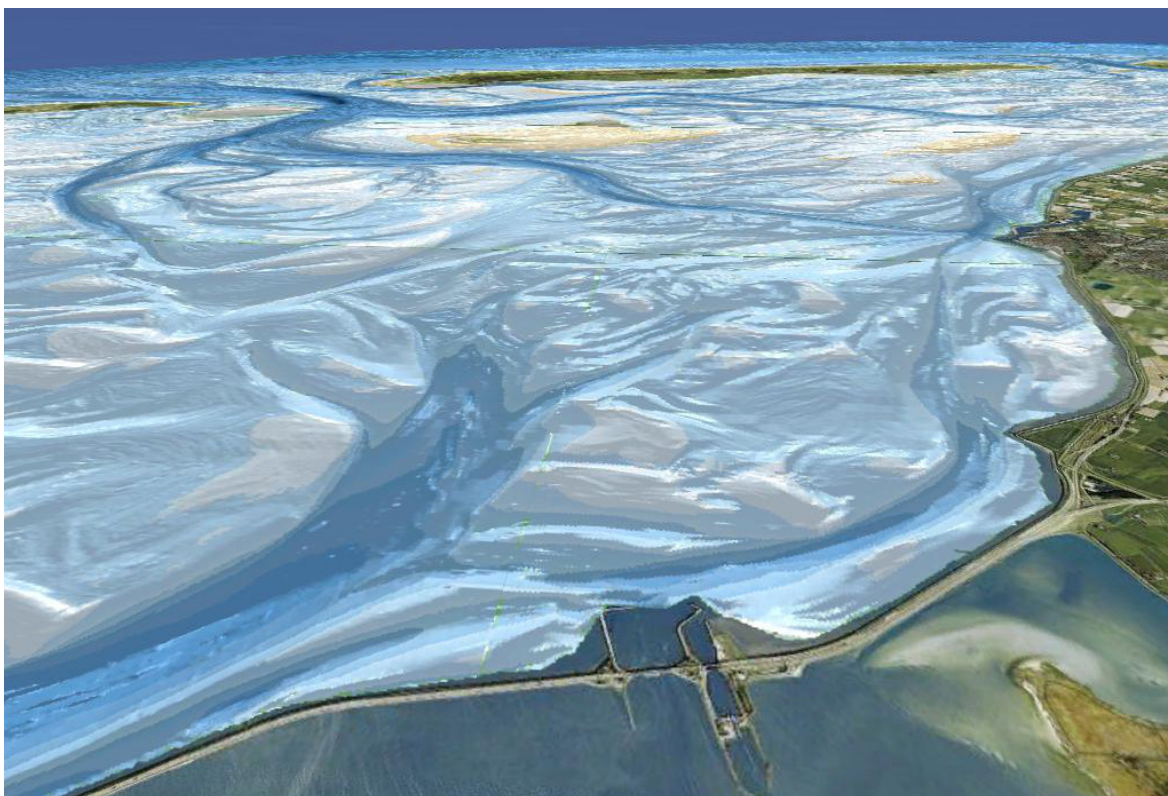
Figuur 2-9 toont alle beschikbare vaklodingsgegevens tussen 1926 en 2009 voor het gebied rond Boontjes. Hierin is (evenals in Figuur 2-7 en Figuur 2-8) zichtbaar dat:

- het vertakkende geulenstelsel vanuit het Vlie zich steeds verder terugtrekt (zie de rode markering aan het uiteinde van het Zuidostrak in de figuren met de lodingen);
- Boontjes in deze periode markanter zichtbaar is geworden als een geul door de omliggende platen heen (vergelijk bijvoorbeeld de lodingen voor 1950 met die na 1990);
- Boontjes een directe aansluiting heeft gekregen met de Doove Balg (zie markeringen in de figuren met lodingen uit 1948 en 1997);
- het plaatareaal rond Boontjes hoger is komen te liggen (vergelijk geeltint in de lodingen uit 1926 met die uit 2009).

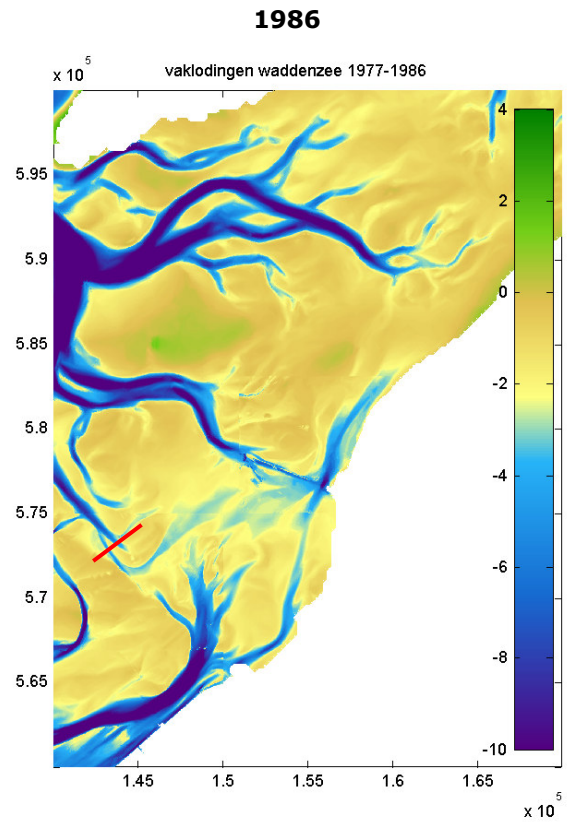
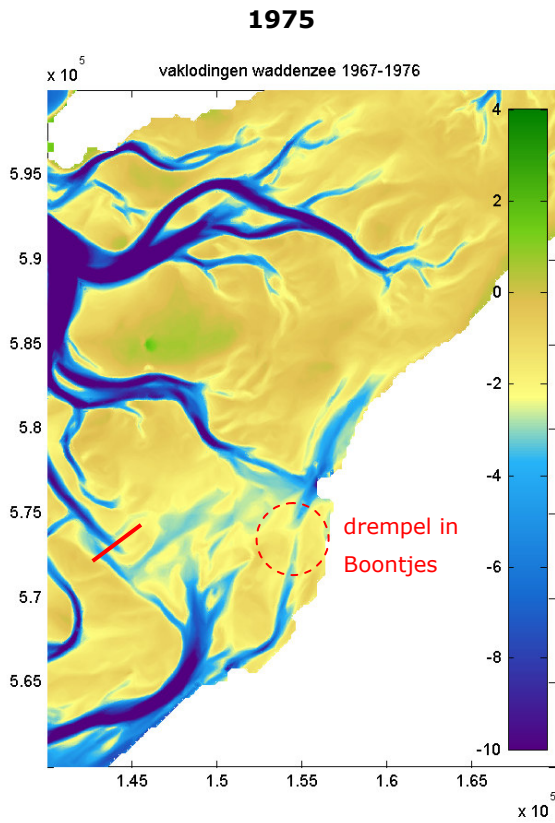
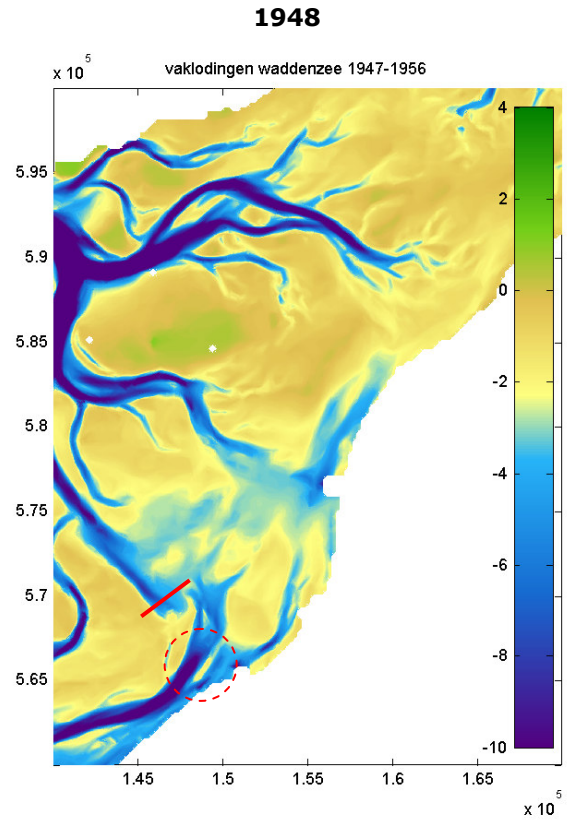
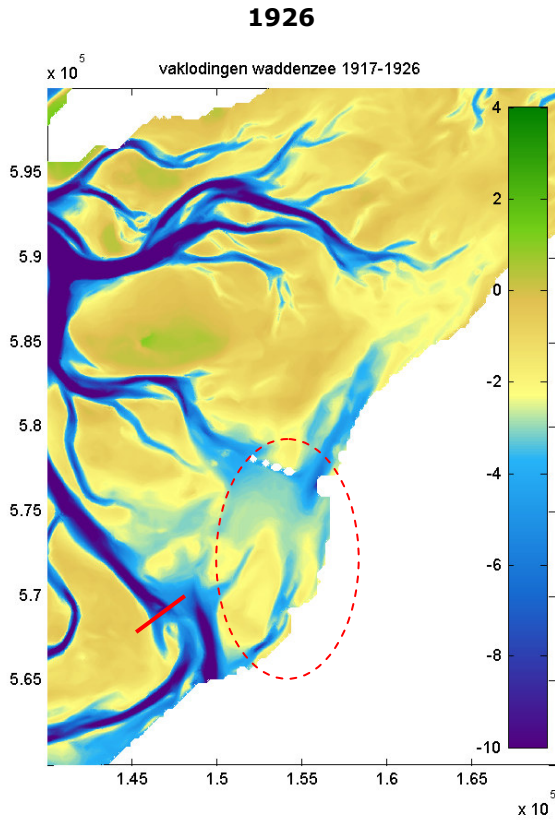
Door de afsluiting van de Zuiderzee werd Boontjes min of meer afgesloten van haar kombergingsgebied. Er trad een sterke sedimentatie op in de periode tussen 1937 en 1949. Na de aanleg van de Afsluitdijk traden er grote stroomsnelheden op in de Doove Balg en langs Kornwerderzand. Omdat gevreesd werd voor stabiliteitsproblemen bij de Afsluitdijk door een vergroting en een translatie van de Doove Balg, is een krib naast de Afsluitdijk aangelegd. De geleiding van de stroming door de Afsluitdijk en de opwekking van turbulentie benedenstrooms van de krib hebben ertoe geleid dat het Breezand doorbrak, waardoor er een verbinding tussen de Doove Balg en Boontjes ontstond. In 1982 werd geconstateerd dat de grootste veranderingen rond Boontjes ten einde waren gekomen. Ook in latere studies werd dit bevestigd. Boontjes maakt in de huidige situatie deel uit van het geulenstelsel van het Marsdiep. Boontjes ligt rond het wantij tussen het bekken van het Vlie en het bekken van het Marsdiep, hoewel de exacte locatie van het wantij (zoals beschreven in de voorgaande paragraaf) niet bekend is. Behalve de vloedstroom vanuit het Marsdiep (de sterkste component) leveren ook de ebstroom naar het Vlie en de afvoer van water vanuit de spuisluizen bij Kornwerderzand een bijdrage aan de stroming door Boontjes (Oost & Kleine Punte, 2003). Er is geen locatie aan te wijzen waar de vloedstroom vanuit het Marsdiep de vloedstroom vanuit het Vlie ontmoet, en waar sprake is van een zuiver hydrodynamisch wantij. Toch wordt ook het gebied rond Boontjes tot het wantijgebied gerekend in het vervolg van dit rapport. Dit om twee redenen. Allereerst omdat het volume water dat door Boontjes beweegt slechts een fractie is van het getijprisma van de inlaten Vlie en Marsdiep. Zoals uitgelegd is in paragraaf 2.2 is de plaats van een wantij niet gelijk aan de plaats waar de stroomsnelheid naar nul nadert, maar kan een wantij beter worden gedefinieerd als de zone waarin de tijdsgemiddelde standaardafwijking van de stroming minimaal is. Ten tweede omdat Boontjes wisselend in interactie staat met deze twee inlaten, en daardoor duidelijk asymmetrisch gedrag vertoont.

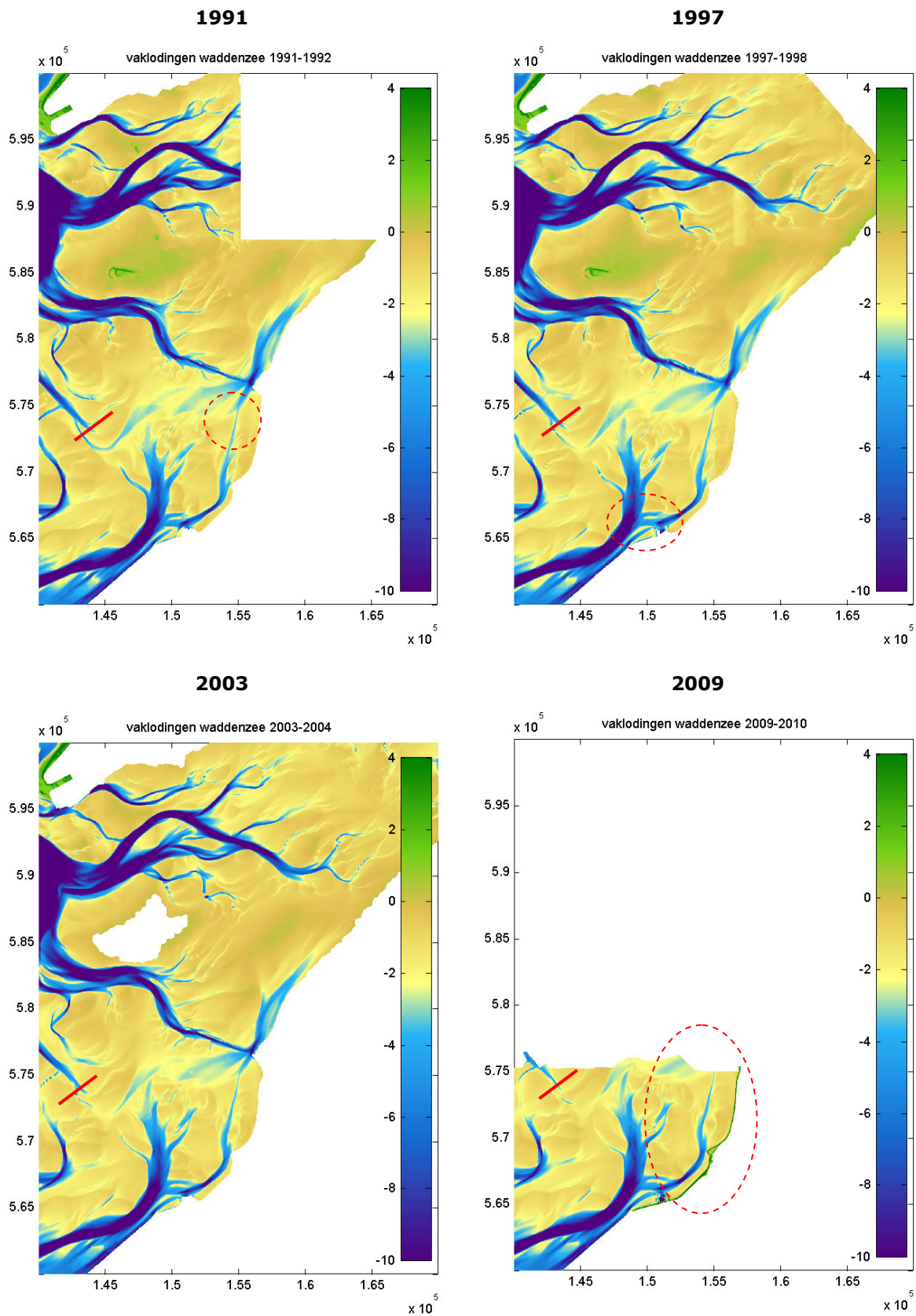


Figuur 2-7 – Bodemligging rond Boontjes volgens vaklodingen 1926 (Afsluitdijk in 1926 nog niet aanwezig), bron: OpenEarth



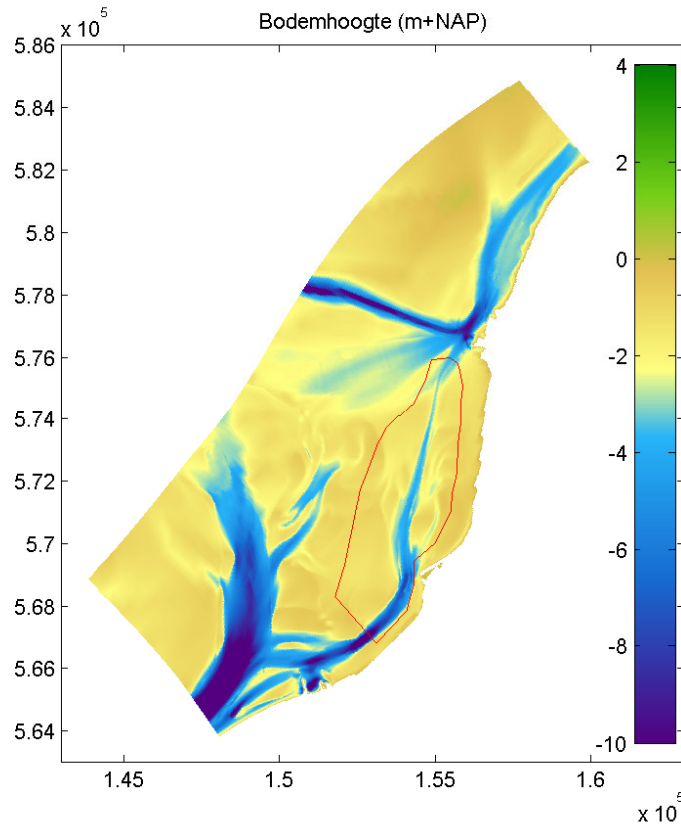
Figuur 2-8 – Bodemligging rond Boontjes volgens vaklodingen 2009, bron: OpenEarth





Figuur 2-9 – Vaklodingen Waddenzee tussen 1926 en 2010. Lege delen van figuren zijn het gevolg van het ontbreken van data in de beschouwde periode. Figuren gebaseerd op OpenEarth.

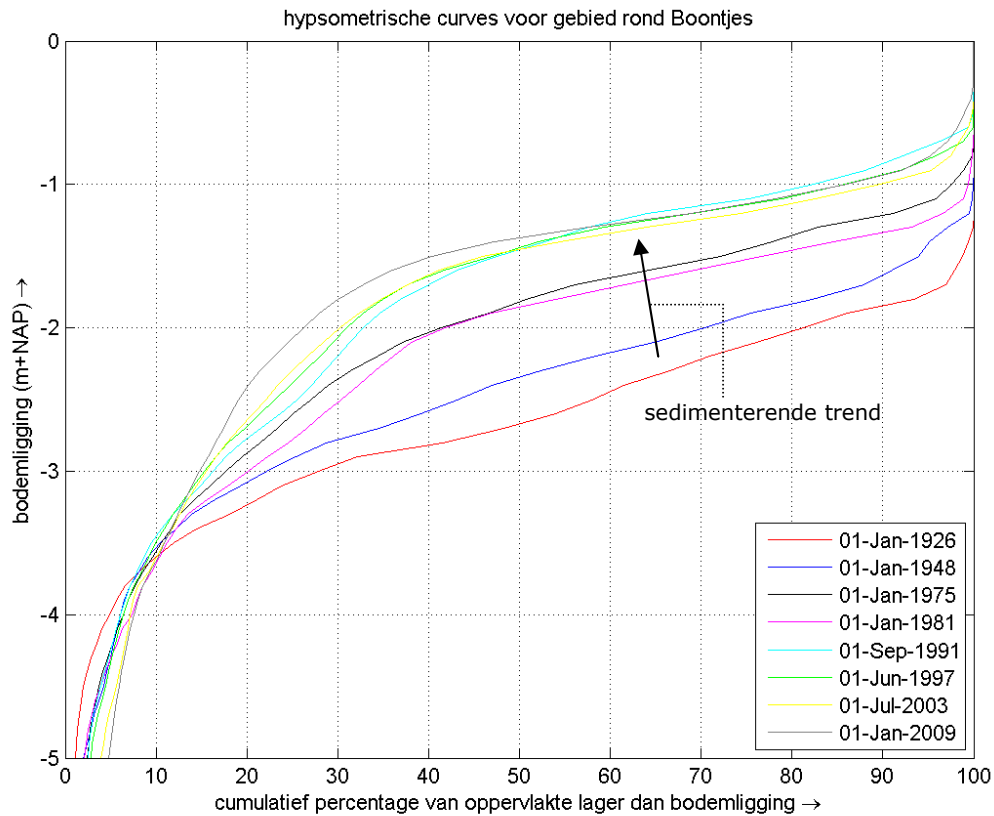
Om de ontwikkeling van het gebied nader te beschouwen, is een polygoon rond Boontjes geselecteerd, zie Figuur 2-10. Met deze polygoon zijn de platen rondom Boontjes bij de analyse betrokken. Voor het uitvoeren van de analyse is gebruik gemaakt van Matlabscripts uit de OpenEarth-database. De platen die dicht bij andere geulen liggen zijn evenals het gebied zeer dicht langs de Friese kust buiten de analyse gelaten.



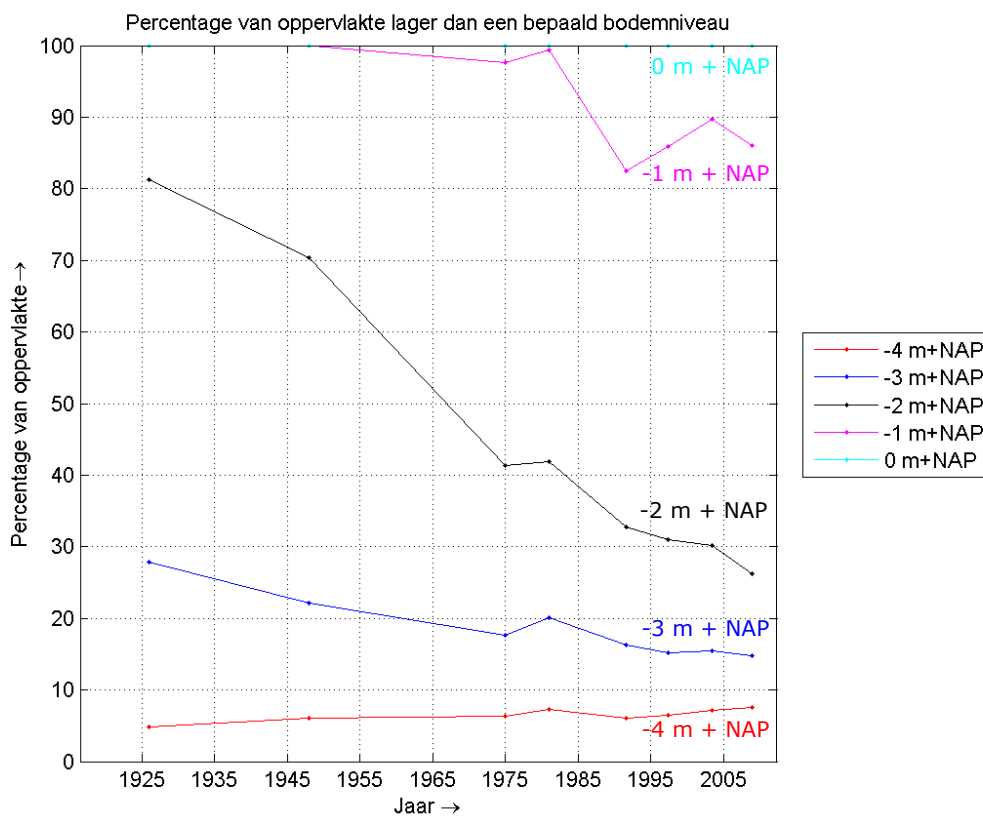
Figuur 2-10 – Locatie polygoon rond Boontjes, zoals gebruikt in de analyse van de bodemontwikkeling rond Boontjes tussen 1926 en 2009.

Er kan worden bepaald welk percentage van de oppervlakte binnen de polygoon onder een bepaald bodemniveau ligt. Dit resulteert in de hypsometrische curves voor verschillende jaren in Figuur 2-11. Een hypsometrische curve is een cumulatieve verdelingsfunctie van bodemhoogtes binnen een bepaald gebied. Hierin wordt het percentage van de oppervlakte van het gebied onder een bepaalde bodemligging getoond. Ook in deze figuur is zichtbaar dat er sprake is van netto sedimentatie in het gebied. Daarnaast was er voor 1980 nauwelijks plaatareaal boven $-1,0$ m + NAP aanwezig. Vanaf 1991 heeft 15 à 20 procent van het oppervlak een bodemhoogte tussen $-1,0$ en $0,0$ m + NAP. Bij laagwater, en dan met name bij springtij, vallen deze delen droog.

Het verloop in de tijd van de percentages van het oppervlak onder -4 , -3 , -2 , -1 en 0 m + NAP wordt getoond in Figuur 2-12. Het percentage van het oppervlak onder een bepaalde bodemhoogte is uitgezet in de tijd. De afstand tussen twee lijnen geeft het percentage van de oppervlakte tussen twee bodemniveaus. Een toenemende afstand tussen twee lijnen is equivalent met een toenemende oppervlaktefractie met een bodemligging tussen de betreffende twee bodemniveaus.



Figuur 2-11 – Hypsometrische curves voor het gebied rond Boontjes, geldig voor het gebied binnen de polygoon zoals weergegeven in Figuur 2-10; pijl geeft trend weer



Figuur 2-12 – Het verloop in de tijd van het percentage van het oppervlak van de polygoon uit Figuur 2-10 onder enkele discrete bodemniveaus.

Uit Figuur 2-12 blijkt dat het percentage van het oppervlakte dat dieper ligt dan -4 m+NAP (de diepere geulen) niet significant is veranderd tussen 1926 en 2003. Er is met name een verschuiving zichtbaar tussen delen met een diepte tussen -2 en -4 m + NAP naar delen tussen -2 en -1 m+NAP. Daarnaast zijn er gebieden ontstaan met een bodemligging tussen -1 en 0 m+NAP. Deze delen vallen droog bij lagere laagwaters. Bodemliggingen hoger dan NAP zijn binnen deze polygoon niet aanwezig (100% ligt lager).

2.3.2 Ontwikkeling van de vaargeul Boontjes

De tekst en figuren uit de voorgaande subparagraaf geven een beeld van de karakteristieken van het gebied rond Boontjes als geheel. In deze subparagraaf wordt de focus verplaatst naar de geul Boontjes zelf.

Ongeveer 2,5 tot 3 km ten zuidwesten van Harlingen bevindt zich een drempel in de bodem van Boontjes: de te verwijderen drempel waar in deze studie onderzoek naar is verricht. Deze drempel was al voor de afsluiting van de Zuiderzee aanwezig, wordt geconcludeerd door Oost & Kleine Punte (2003) op basis van een hydrografische kaart uit 1911 (RWS Friesland, 1978). Ook de vaklodingen van 1926 tonen de drempel al (zie Figuur 2-7). Na de aanleg van de Afsluitdijk is er rond Boontjes een forse verzanding opgetreden. Dit heeft ertoe geleid dat de diepte in 1956 was gereduceerd tot 2,4 m onder NAP, waarop besloten is de geul uit te baggeren. In 1957 was de diepte hierdoor toegenomen tot 3,1 m onder NAP (Oost, 2003). In een periode van ongeveer 10 jaar is vervolgens flinke aanzanding opgetreden, waardoor de bodem in 1967 op ongeveer $-2,8$ m + NAP kwam te liggen (Economisch Technologisch Instituut voor Friesland, jaartal onbekend). Deze diepte lijkt zich vervolgens te handhaven (RWS DNN, 2001). De geul wordt wel smaller door aanzanding van de platen aan weerszijden van de geul. Oost & Kleine Punte (2003) concludeert op basis van de vertraagde ontwikkeling van de geul dat er sprake is van een evenwichtssituatie in de geul, waarbij Boontjes onderdeel is geworden van het kombergingsgebied van het Marsdiep en nu de functie vervult van getijgeul vanaf het wantij.

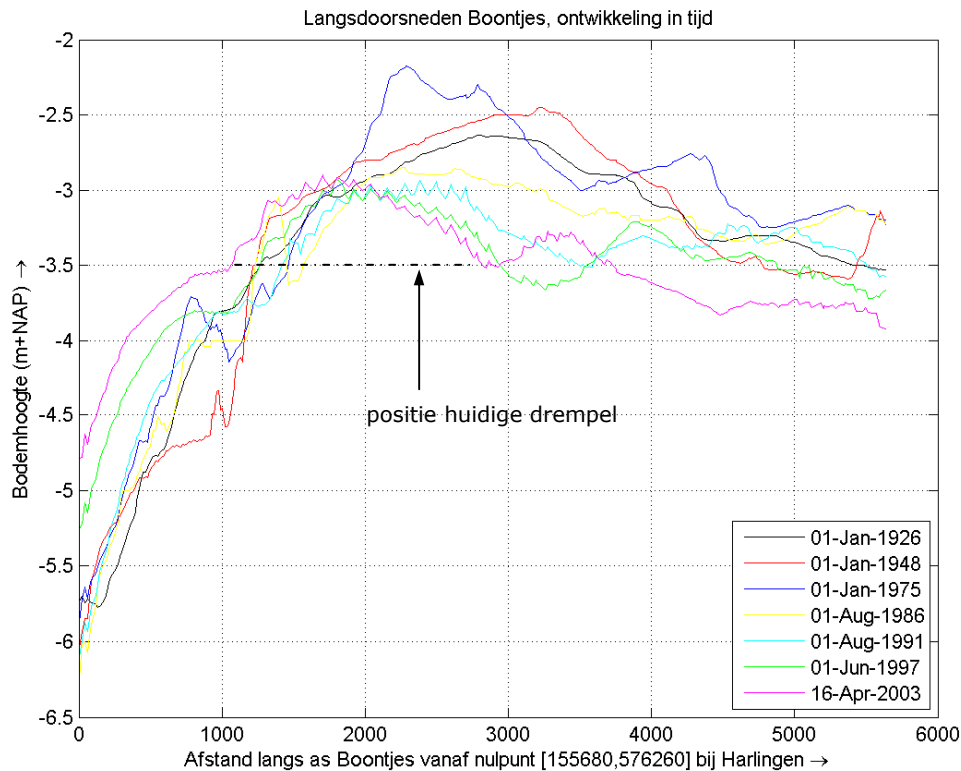
In 1987 is er een kleinschalige baggerproef verricht in Boontjes. Er is toentertijd een lokale verdieping van ongeveer 50 cm aangebracht. Na ongeveer een jaar bleek deze verdieping weer te zijn gevuld met sediment uit de omgeving. Op basis van deze proef is door Oost & Kleine Punte (2003) geconcludeerd dat een verdieping van de geul alleen met behulp van continue baggerinspanning gehandhaafd zal kunnen worden. In de voorstudie (ACRB, 2007) is weerlegd dat de baggerproef aan zou tonen dat een drempelverwijdering zinloos is door direct optredende, forse aanzanding. De proef was te kleinschalig om het effect van een complete drempelverwijdering te kunnen representeren. De bovenkant van de kleilaag lijkt bij de baggerproef eerder te zijn gevolgd dan afgegraven. Alleen het zand op de kleilaag is lokaal verwijderd. Daarnaast valt op dat aan beide zijden van de geul een verdieping is aangebracht, maar dat de drempel zelf niet is weggebaggerd. De verdieping is uitgevoerd door middel van waterinjectiebaggeren. Dat de 'putten' aan beide kanten van de drempel weer snel vol lopen is niet verrassend. Daar kan echter niet uit worden afgeleid dat ook de drempel zich weer snel zou herstellen na groot-schaligere verwijdering.

Om de conclusies en waarnemingen uit de literatuur nader te onderzoeken, zijn de vaklodingen van Boontjes zelf nader bestudeerd. Figuur 2-13 toont voor verschillende jaren de bodemhoogte langs de (huidige) as van de vaargeul bij Boontjes. Enkele waarnemingen op basis van deze langdoorsneden zijn:

- De diepte door de aanleg van de Afsluitdijk is afgenomen, blijkt uit vergelijking van de langdoorsneden uit 1926 en 1948.

- In 1957 is er baggerwerk verricht aan de geul. Er zijn echter enkel vaklodingen beschikbaar van 1948 en 1975. Zoals beschreven was het effect van de baggerwerkzaamheden in 1967 al flink gereduceerd. Opvallend is de grote hoogte van de drempel in 1975: slechts $-2,2$ m + NAP.
- Vanaf 1986 is de maximale hoogte van de drempel niet veel meer veranderd. Ten zuiden van de drempel is de geul langzaam dieper geworden. Dit kan het gevolg zijn van de geleidelijke toename van de getijslag, zoals beschreven in paragraaf 2.2.

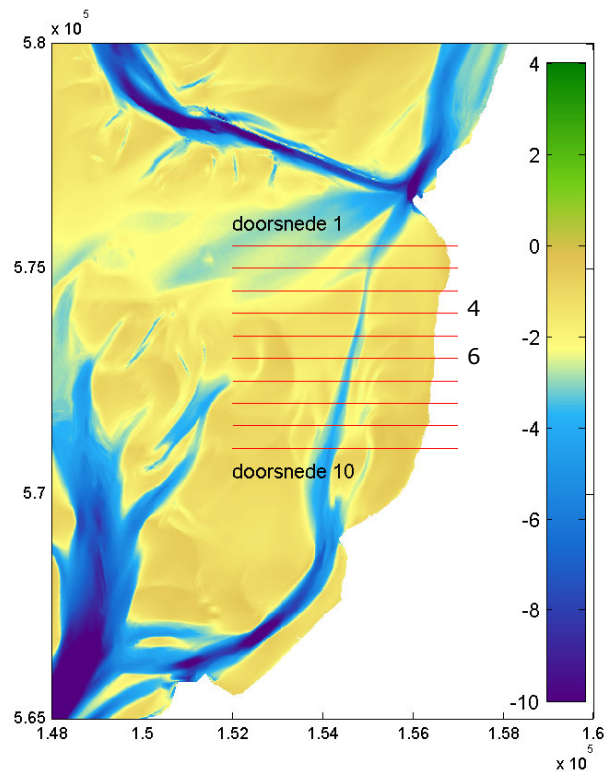
De conclusies komen alle overeen met de beschrijvingen in de literatuur. Alleen de geringe diepte in 1975 is opvallend. In deze context moet worden opgemerkt dat recentelijk een discussie is ontstaan over de bruikbaarheid van de gegevens uit de vaklodingen voor het doen van kwantitatieve conclusies over de bodemligging (Cleveringa en Grasmeijer, 2010). De oorzaak hiervan is het optreden van schijnbare veranderingen die het gevolg zijn van gewijzigde hoogte- en dieptemetingen en de plaatsbepaling (NAM, 2009). De opname van 2004 bijvoorbeeld ligt door een structureel andere wijze van data-inwinning gemiddeld een decimeter lager dan de oudere opnames (Lekkerkerk et al., 2006). Er kan dan ook niet worden uitgesloten dat de afwijkende bodemliggingsgegevens voor 1975 het gevolg zijn van een meetfout.



Figuur 2-13 – Langsdoorsnede langs de as van de vaargeul Boontjes. De bodemhoogte is uitgezet tegen de afstand in meters (van noord naar zuid) vanaf het nulpunt nabij Harlingen (RD-km-punt 155.68,576.26)

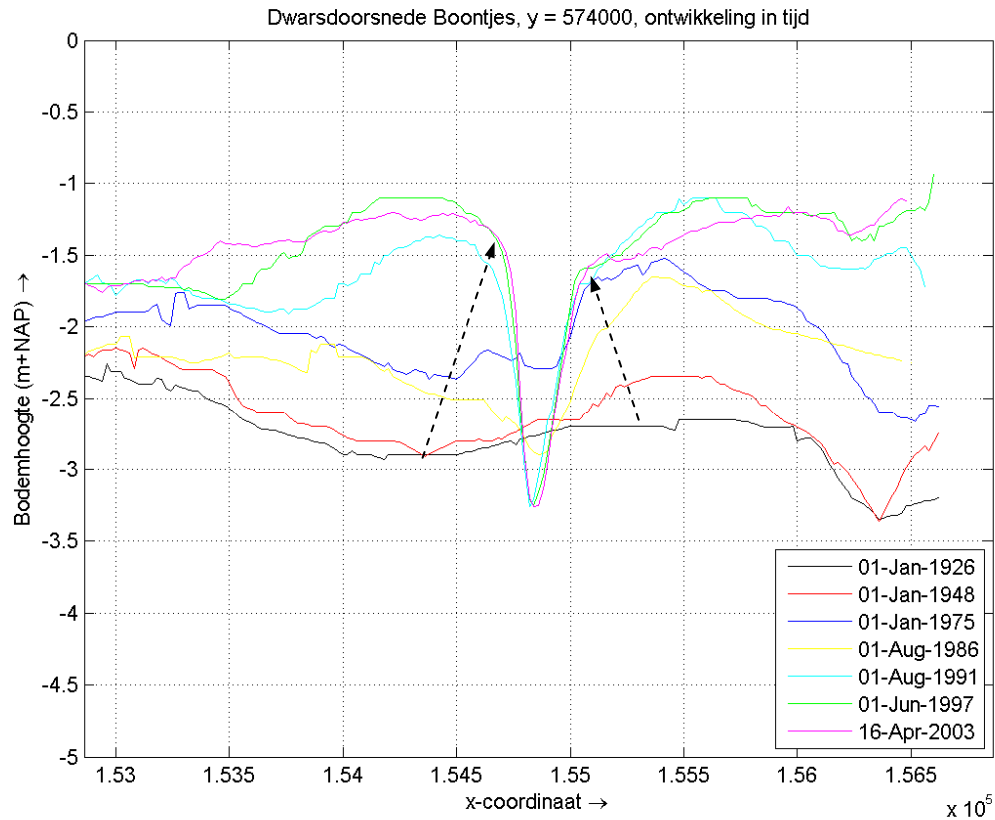
Om meer inzicht te krijgen in de ontwikkeling in de tijd van het dwarsprofiel van de vaargeul, zijn twee dwarsprofielen weergegeven. De locatie van alle dwarsprofielen is weergegeven in Figuur 2-14. In dit rapport is de ontwikkeling van de bodemligging voor de doorsneden 4 (Figuur 2-15) en 6 (Figuur 2-16) getoond. Merk op dat de dwarsdoorsneden niet geheel haaks op de geul staan, maar een vaste y-coördinaat (RD) hebben. De breedte van de geul is dus iets

kleiner dan getoond in de dwarsdoorsneden. De afwijking (gelijk aan de cosinus van de hoek tussen de richting van de geul en de verticaal) is echter gering (0,98 bij 10 graden en 0,94 bij 20 graden).

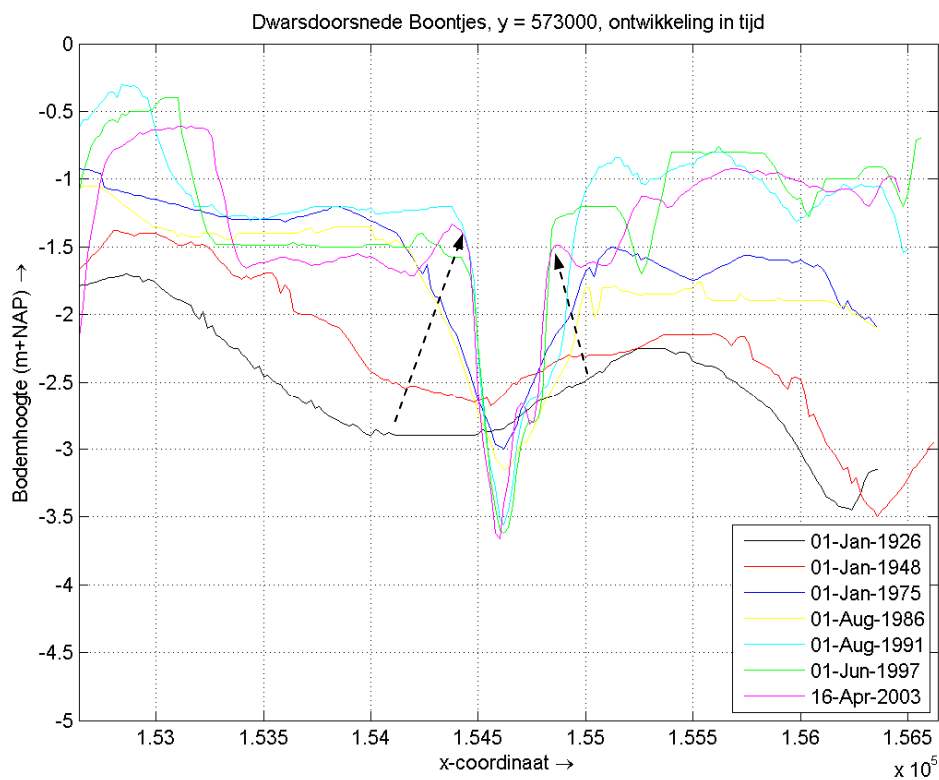


Figuur 2-14 – Locatie dwarsdoorsneden van vaargeul bij Boontjes

Uit beide dwarsdoorsneden blijkt (let op het verschil in schaling tussen beide assen) dat de geul steeds smaller is geworden, zoals ook wordt geconcludeerd in Oost & Kleine Punte (2003). De gebieden aan weerszijden van de geul waren in 1926 nog ongeveer even diep als de geul zelf. In 2003 zijn er aan weerszijden van de geul flinke ondieptes zichtbaar. Het totaalbeeld is in overeenstemming met de eerdere conclusie, dat er sprake is van een netto stijging van het bodemniveau van het gebied rond de vaargeul bij Boontjes.



Figuur 2-15 – Dwarsdoorsnede 4, y = 574,0 km; pijlen geven trend weer



Figuur 2-16 – Dwarsdoorsnede 6, y = 573,0 km; pijlen geven trend weer

3 Varianten en scenario's

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de varianten, waarvan de hydrodynamische en morfologische effecten bepaald zijn (paragraaf 3.2). Elk van de varianten is beschouwd bij verschillende scenario's; deze zijn beschreven in paragraaf 3.3. In het gehele rapport is de huidige situatie aangeduid als 'referentiesituatie'.

3.2 Varianten

De notitie 'opbouw varianten en uitvoeringsmogelijkheden drempelverwijdering' (Witteveen+Bos, 2011) definieert de volgende bouwstenen voor het ontwerp van de drempelverwijdering:

- Bouwsteen A: geulafmetingen;
- Bouwsteen U: uitvoeringsmethode;
- Bouwsteen P: uitvoeringsperiode;
- Bouwsteen S: verspreidingslocaties.

Per bouwsteen is een aantal varianten beschouwd. Voor de achtergronden ten aanzien van de keuze van de varianten en een beschrijving van de varianten zelf wordt verwezen naar (Witteveen+Bos, 2011).

Dit rapport brengt het effect van verschillende ontwerpen van de drempelverwijdering op hydrodynamica en morfologie in kaart (bouwsteen A). Naast de referentiesituatie zijn drie varianten voor het ontwerp van de geul met verwijderde drempel beschouwd (zie Tabel 3-1). De varianten verschillen in diepte en breedte van het bodemprofiel. De diepte is in variant 1 gelijk aan de gewenste nautische diepte van -3,8 m+NAP. In de varianten 2 en 3 zal ten opzichte van deze gewenste nautische diepte ook nog een overdiepte van 0,5 m worden aangebracht, waarmee de diepte op -4,3 m+NAP uitkomt. Het talud van het bodemprofiel is voor alle varianten gelijk aan 1:10. Dit is te zien in een van de willekeurige dwarsdoorsneden ter plaatse van de drempel, zoals weergegeven in Figuur 3-2.

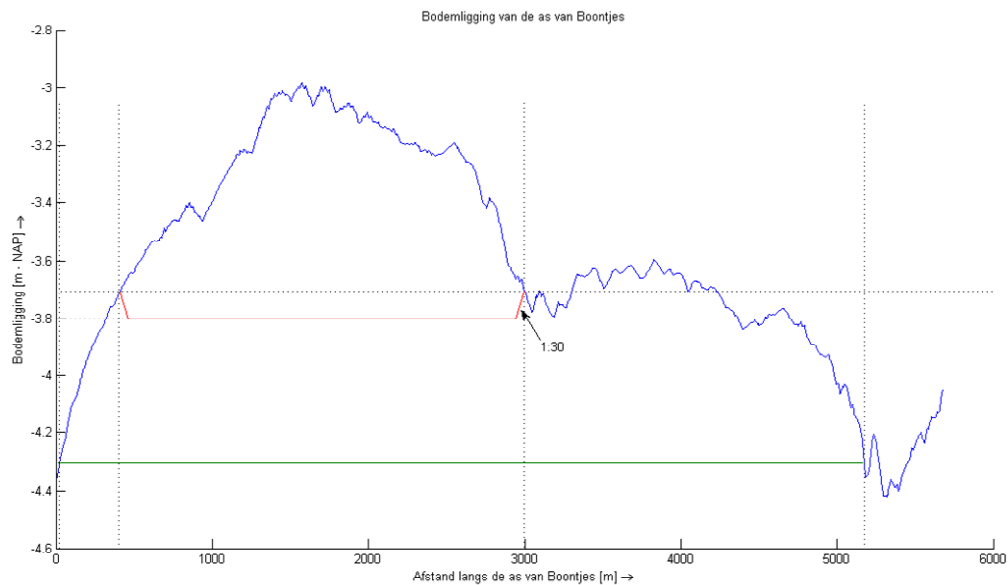
Id	Beschrijving variant
Variant 1	De drempel wordt over een lengte van ca. 2 km verwijderd tot een diepte van -3,8 m + NAP en over een breedte van 100 m, aangegeven met een rode lijn in Figuur 3-1.
Variant 2	De drempel wordt over een lengte van ca. 5 km verwijderd tot een diepte van -4,3 m + NAP en over een breedte van 100 m, aangegeven met een groene lijn in Figuur 3-1.
Variant 3	De drempel wordt verwijderd over een lengte van ca. 5 km tot een diepte van -4,3 m + NAP en over een breedte van 150 m, aangegeven met een groene lijn in Figuur 3-1.

Tabel 3-1 – Beschrijving varianten ontwerp drempelverwijdering.

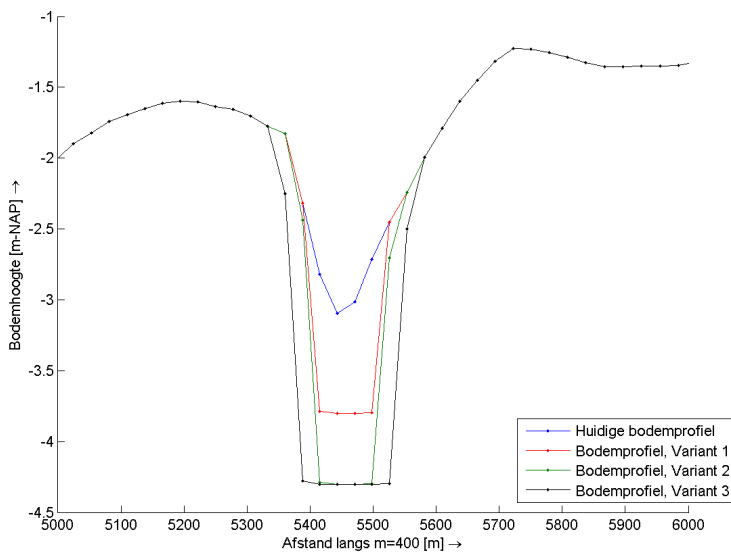
De bij de drempelverwijdering weg te baggeren volumes per variant zijn:

- Variant 1: 225.000 m³
- Variant 2: 525.000 m³
- Variant 3: 900.000 m³

Daarnaast beschrijft dit rapport de effecten van de verspreiding van vrijkomend materiaal rond verspreidingslocaties. Deze studie heeft betrekking op de bouwsteen S.



Figuur 3-1 – Doorsnede van de huidige bodemligging langs de as van Boontjes, met een schematische weergave van de varianten

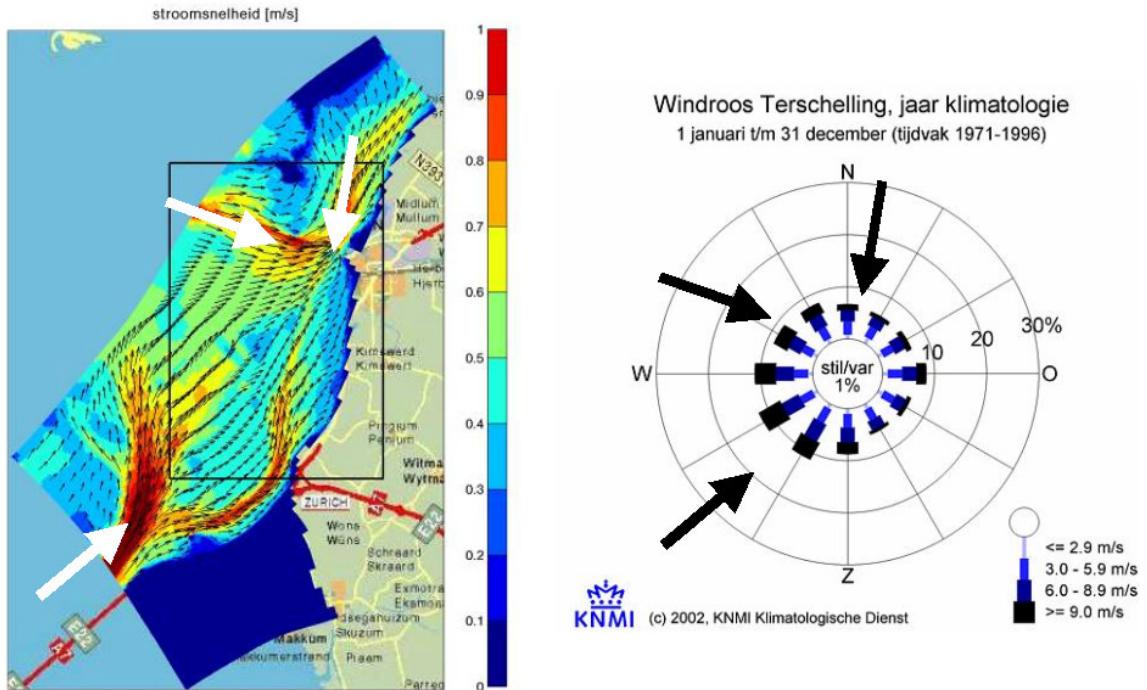


Figuur 3-2 – Dwarsdoorsneden van Boontjes voor de referentie en de verschillende varianten ter plaatse van de drempel

3.3 Scenario's

Voor de referentiesituatie en de drie geulvarianten zijn de volgende scenario's doorgerekend:

1. Gehele getijcyclus (springtij en doodtij ~ 14 dagen) zonder wind met een inspeeltijd van 4 dagen
2. Dezelfde periode met een uniform verdeeld windveld in drie richtingen, zie Figuur 3-3 (hoeken in graden ten opzichte van het noorden):
 - a. Zuidwestelijke sector: 230 graden
 - b. Noordwestelijke sector: 290 graden
 - c. Noordelijke sector: 10 graden



Figuur 3-3 - Drie windrichtingen

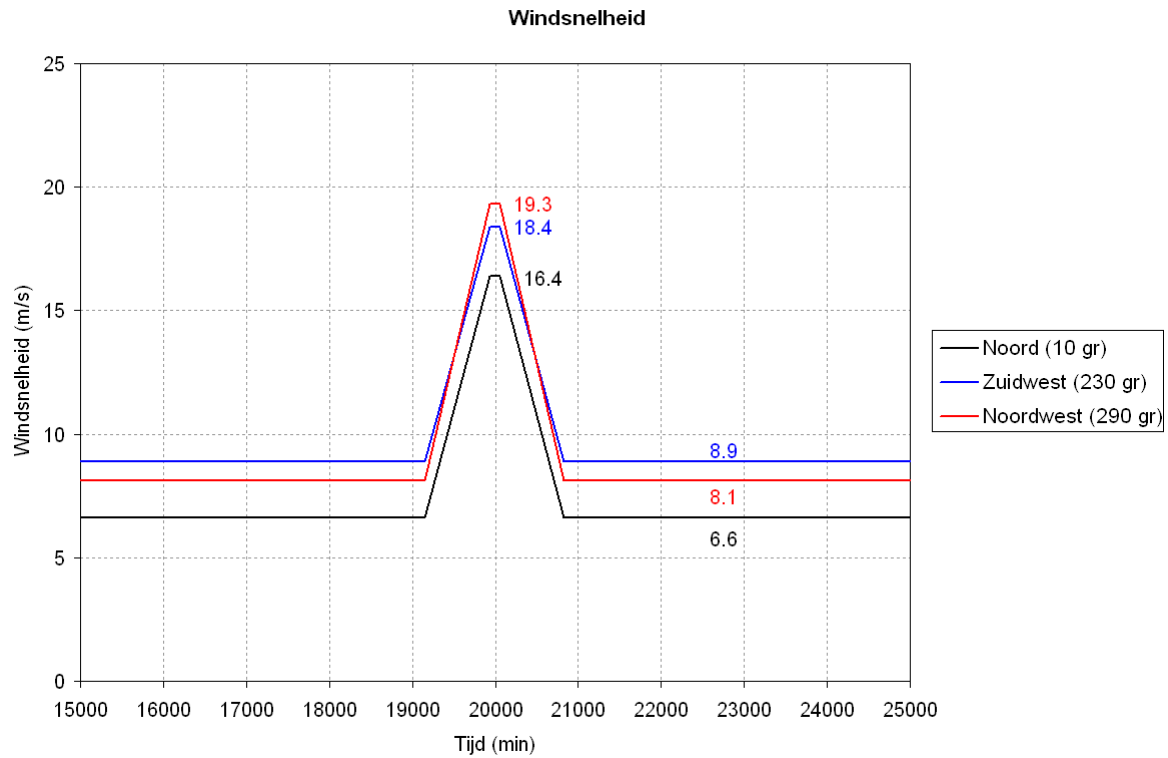
Potentiële windsnelheden zijn gebaseerd op de windstatistieken van het KNMI, meetstation Terschelling. Het windverloop per richting loopt van de windsnelheid die 50% van de tijd wordt overschreden (gemiddelde windcondities) in 13 uur op naar de top met een lengte van 2 uur, met de windsnelheid die 99% van de tijd wordt overschreden (jaarlijkse maximale stormcondities). Vervolgens neemt de windsnelheid weer in 13 uur af naar de windsnelheid die 50% van de tijd wordt overschreden (zie Figuur 3-4). De percentages zijn gebaseerd op de totale tijd met een windrichting uit de betreffende sector.

De potentiële windsnelheid is vervolgens omgezet in een openwaterwindsnelheid. In zowel WAQUA als SWAN dient namelijk een openwaterwindsnelheid opgegeven te worden. De potentiële windsnelheid is gebaseerd op een ruw oppervlak op het land. De ruwheid van water is zeker bij lage windsnelheden aanzienlijk kleiner dan de ruwheid van land, waardoor openwaterwindsnelheden hoger liggen dan potentiële windsnelheden. De omzetting gebeurt overeenkomstig de methode zoals beschreven in De Waal (2003).

De potentiële windsnelheden zoals afgeleid uit de windstatistieken van het KNMI en de daarop gebaseerde openwaterwindsnelheden zijn opgesomd in Tabel 3-2 en weergegeven in Figuur 3-4.

Richting [gr. t.o.v. N]	50% potentiële windsnelheid [m/s]	50% openwater windsnelheid [m/s]	99% potentiële windsnelheid [m/s]	99% openwater windsnelheid [m/s]
10	5,9	6,6	15,0	16,4
230	7,9	8,9	16,9	18,4
290	7,2	8,1	17,7	19,3

Tabel 3-2 – Potentiële windsnelheden en openwaterwindsnelheden voor verschillende richtingen



Figuur 3-4 - Snelheidsverloop (openwaterwindsnelheid) voor verschillende windrichtingen. Tijd in minuten vanaf het begin van de simulatieperiode.

4 Uitgangspunten modellering

4.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft de uitgangspunten voor de modellering weer. De uitgangspunten voor de volgende onderdelen komen in dit hoofdstuk aan de orde:

- Paragraaf 4.2: hydrodynamica (WAQUA)
- Paragraaf 4.3: golven (SWAN)
- Paragraaf 4.4: zoet-zoutpatronen (WAQUA)
- Paragraaf 4.5: verspreiding havenslib uit de haven van Harlingen (WAQUA)
- Paragraaf 4.6: verspreiding materiaal rond verspreidingslocaties (TRIWAQ)
- Paragraaf 4.7: onderhoudsbaggerwerk (SEDTUBE)

4.2 Hydrodynamica

Voor het bepalen van het effect van drempelverwijdering op waterstanden en stroomsnelheden is gebruik gemaakt van het 2D-stromingsmodel WAQUA. In een 2D-model worden alle grootheden (zoals snelheid en concentratie) gemiddeld over de diepte. Wat resteert is een dieptegemiddelde waterbeweging in het horizontale vlak. Vanwege de geringe diepte zijn de horizontale componenten van de stroming vele malen groter dan de verticale componenten. Daarnaast voldoet het bestuderen van de verandering van de horizontale stromingspatronen voor het uitvoeren van de morfologische analyse in deze studie, waardoor 2D resultaten van WAQUA voldoende informatie bieden.

In de modellering is gebruik gemaakt van twee modellen: een grootschalig model en een gedetailleerd model. De locatie van het gedetailleerde model binnen het grootschalige model is zichtbaar in Figuur 4-1.

1. Grootschalig model

Hiervoor is het kuststrook-fijn-model van Rijkswaterstaat gebruikt. Dit model beslaat het totale Nederlandse kuststrookgebied en heeft een kromlijng rooster met roosterafmetingen afhankelijk van de locatie. Ter plaatse van Boontjes is het rooster ongeveer 300 bij 200 m. Op de zeerand van het model is het getij met de verschillende getijcomponenten opgelegd.

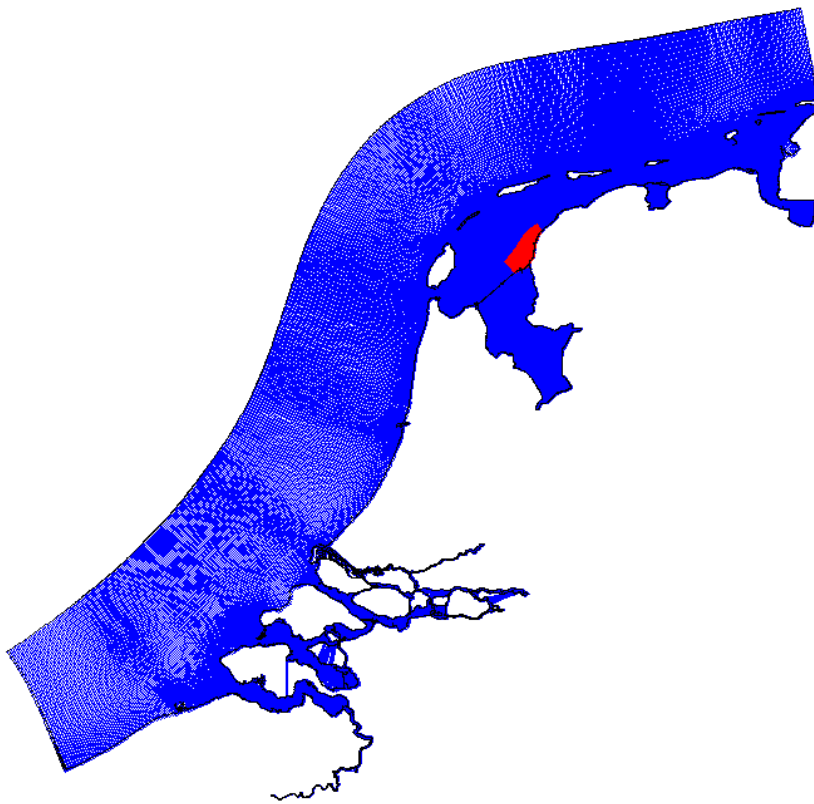
2. Gedetailleerd model

In het op het kuststrook-fijn-model gebaseerde detailmodel is alleen de hydrodynamica in de omgeving van Boontjes berekend op een rekenrooster dat een factor 10 verfijnd is ten opzichte van het grootschalige model. Door middel van nesting is op de randen de waterbeweging vanuit het grootschalige model opgelegd. Bij nesting is sprake van eenzijdige beïnvloeding. De waterbeweging uit het grootschalige model is bepalend voor de waterbeweging in het gedetailleerde model, maar in omgekeerde richting wordt er geen informatie overgedragen. In de hierop volgende paragrafen zijn de eigenschappen van het gedetailleerde model in meer detail beschreven.

4.2.1 Rekenrooster

De rekenroosters van het kuststrook-fijn-model (blauw) en het gedetailleerde model (rood) zijn weergegeven in Figuur 4-1. Het rekenrooster van het gedetailleerde model is gelijk aan het rooster uit het kuststrook-fijn-model in de omgeving van Boontjes, maar dan met een factor 10

verfijnd in beide richtingen. Dit betekent dat de roosterafmetingen ter plaatse van Boontjes ongeveer 30 bij 20 m zijn. Door deze verfijning is de dwarsdoorsnede van de geul Boontjes op het rooster weergegeven met ten minste 4 tot 5 roostercellen.



Figuur 4-1 – Rekenroosters grootschalige model (blauw) en gedetailleerd model (rood)

4.2.2 Bodem

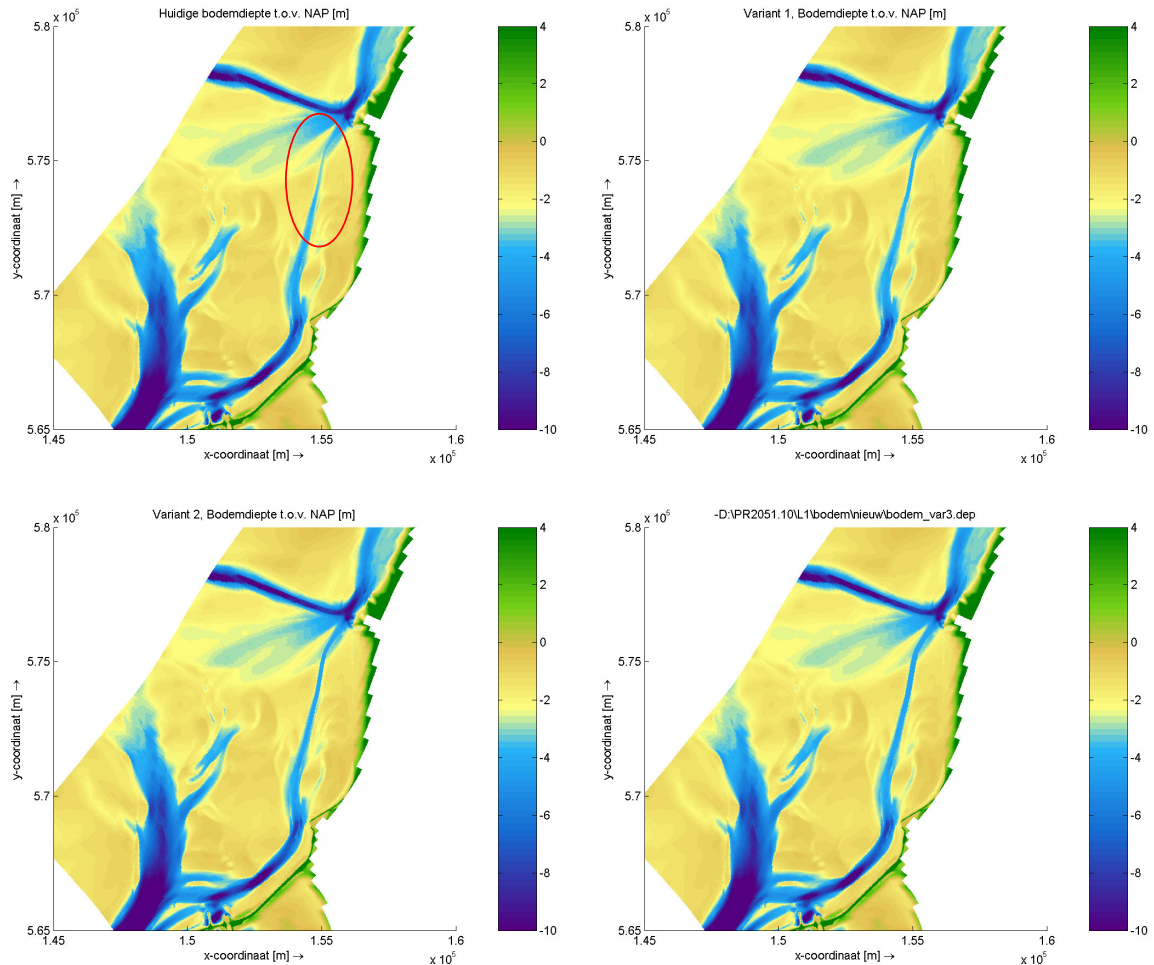
De bodemligging in het gedetailleerde model is gebaseerd op de volgende bodemmetingen, zoals aangeleverd door Rijkswaterstaat:

1. Vaklodgingen van de gehele Waddenzee (opnamedatum ongeveer augustus 2009)
2. Meer gedetailleerde metingen van de bodemligging van de volgende geulen:
 - a. Boontjes Boontjes100215tm22_mb_1mgrid_gev.pts
 - b. Doove Balg Doove Balg100310tm18_xyz_sb.pts
 - c. Kimstergat Kimstergat_100301_02_xyz_sb.pts
 - d. Molenrak Molenrak100223tm25_xyz_sb.pts
 - e. Verversgat Verversgat100223_24_xyz_sb.pts
 - f. Hanerak en Pollen Vapoldam_vablasle100111tm22_1mgrid.pts

De resulterende bodemligging in het gedetailleerde model is weergegeven in Figuur 4-2a. De varianten zijn verwerkt in de bodemligging. Figuur 4-2 b, c en d geven de bodemligging met respectievelijk de varianten 1, 2 en 3 weer. Voor een beschrijving van deze varianten wordt verwezen naar paragraaf 3.1.

Daarnaast zijn de varianten verwerkt in de bodemligging van het kuststrook-fijn-model, zodat de randvoorwaarden voor het geneste model per variant zijn gedefinieerd. Het volume van de ingreep in het kuststrook-fijn-model is daarbij gelijk gesteld aan het volume van de ingreep in

het gedetailleerde model. De verschillen tussen deze randvoorwaarden voor het gedetailleerde model zijn overigens marginaal.



Figuur 4-2 - a) Bodemprofiel van huidige situatie (rode ovaal geeft locatie van de drempel weer), b) Bodemprofiel van variant 1, c) Bodemprofiel van variant 2, d) Bodemprofiel van variant 3

4.2.3 Overige modelinstellingen

Ruwheid

De ruwheid in dit deel van de Waddenzee is (evenals in het kuststrook-fijn-model) gelijk genomen aan $n = 0,026 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (Manning definitie).

Spuidebiet Kornwerderzand

Evenals in het kuststrook-fijn-model is een constant spuidebiet bij Kornwerderzand opgelegd, met een grootte van $400 \text{ m}^3/\text{s}$. In werkelijk is er sprake van een variabele afvoer over een getijdencyclus en over de seizoenen. Deze variatie is van ondergeschikt belang voor het bepalen van de effecten van de drempelverwijdering. In een gevoeligheidsanalyse is de gevoeligheid van de resultaten voor deze parameter onderzocht, zie paragraaf 4.2.5.

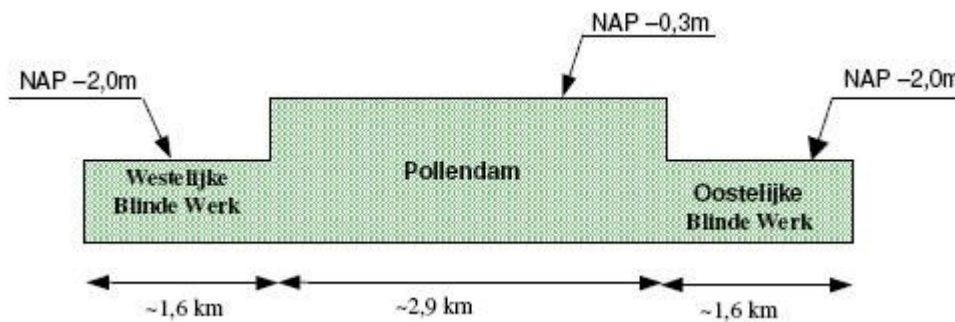
Spuidebiet Harlingen

Het spuidebiet van de Tsjerk Hiddessluis is niet opgenomen in het kuststrook-fijn-model. Bij het wetterskip Fryslân zijn gegevens opgevraagd met betrekking tot de grootte van deze spuidebieten [Mail H. Westerhof, wetterskip Fryslân d.d. 12 januari 2011 16.18u]. Zij zijn gemiddeld

kleiner dan $5 \text{ m}^3/\text{uur}$ ($\approx 0,0014 \text{ m/s}$) en maximaal $100 \text{ m}^3/\text{uur}$ ($\approx 0,03 \text{ m/s}$) in een periode van 7 jaar. Deze debieten hebben een verwaarloosbaar kleine invloed op de waterbeweging en de zoet-zoutpatronen in het gebied. Dit spuidebiet is daarom niet meegenomen in de modelberekeningen.

Schematisatie Pollendam

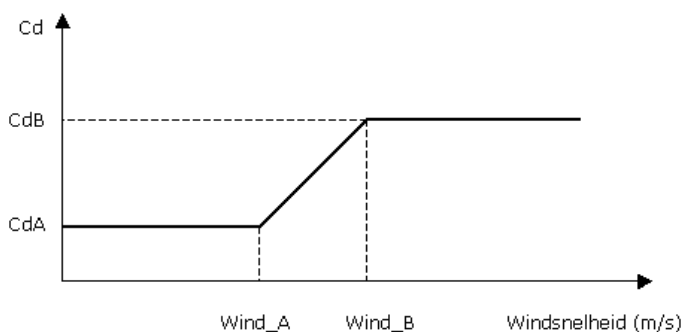
De Pollendam is een stortstenen dam langs het Hanerak, zie Figuur 2-1. Deze dam is te smal om in de bodemligging van het model meegenomen te worden. Om de dam met de juiste kruinhoogte op te nemen in het model is de Pollendam geparametriseerd als een serie overlaten. Dit is zowel in het kuststrookfijnmodel als in het detailmodel gedaan. Voor de exacte locatie geometrie van de Pollendam is gebruik gemaakt van een recente peiling van Rijkswaterstaat van maart 2006, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de Pollendam en het Blinde Werk (zie Figuur 4-3).



Figuur 4-3 – Schematisatie Pollendam

Windschematisatie

Voor de windrichtingen en windsnelheden wordt verwezen naar hoofdstuk 3 (Figuur 3-4). De schuifspanning die de wind op het wateroppervlak uitoefent, is berekend met behulp van een variabele windschuifspanningscoëfficiënt C_D (Bak en Vlag, 1999). Zie Figuur 4-4, waarin $C_{dA}=0,0014$, $C_{dB}=0,0037$, $wind_A=11,1 \text{ m/s}$ en $wind_B=50,0 \text{ m/s}$. Deze waarden zijn gebaseerd op nominale waarden voor enkele empirische constanten uit Bak en Vlag (1999).



Figuur 4-4 – Variabele windschuifspanningscoëfficiënt

Tijdstap

De tijdstap in het kuststrook-fijn-model is gelijk aan 1 minuut; voor het detailmodel is de tijdstap – evenredig met de roosterafmetingen - verkleind naar 0,1 minuten (6 sec). Deze tijdstap is vastgesteld op basis van stabiliteitsredenen.

Turbulente viscositeit

De waarde van de horizontale turbulente viscositeit is overgenomen uit het gekalibreerde kuststrook-fijn-model: $10 \text{ m}^2/\text{s}$. De viscositeit is op deze manier identiek in het grootschalige model en het gedetailleerde model.

Diffusiviteit

De horizontale diffusiviteit is constant gekozen en bedraagt $30 \text{ m}^2/\text{s}$, in overeenstemming met het kuststrook-fijn-model. Deze diffusiviteit is van belang voor de verspreiding van saliniteit en opgeloste stoffen. De invloed van stratificatie op de diffusiviteit is buiten beschouwing gelaten, omdat de stratificatie in Boontjes verwaarloosbaar klein is. Resultaten uit een 3D-modelstudie voor het project 'Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk' (Hartsuiker en van Banning, 2002) tonen ter plaatse van Boontjes zeer geringe tot geen verschillen tussen de saliniteit nabij het wateroppervlak en nabij de bodem. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van de menging door wind en de geringe diepte van Boontjes en het gebied daaromheen.

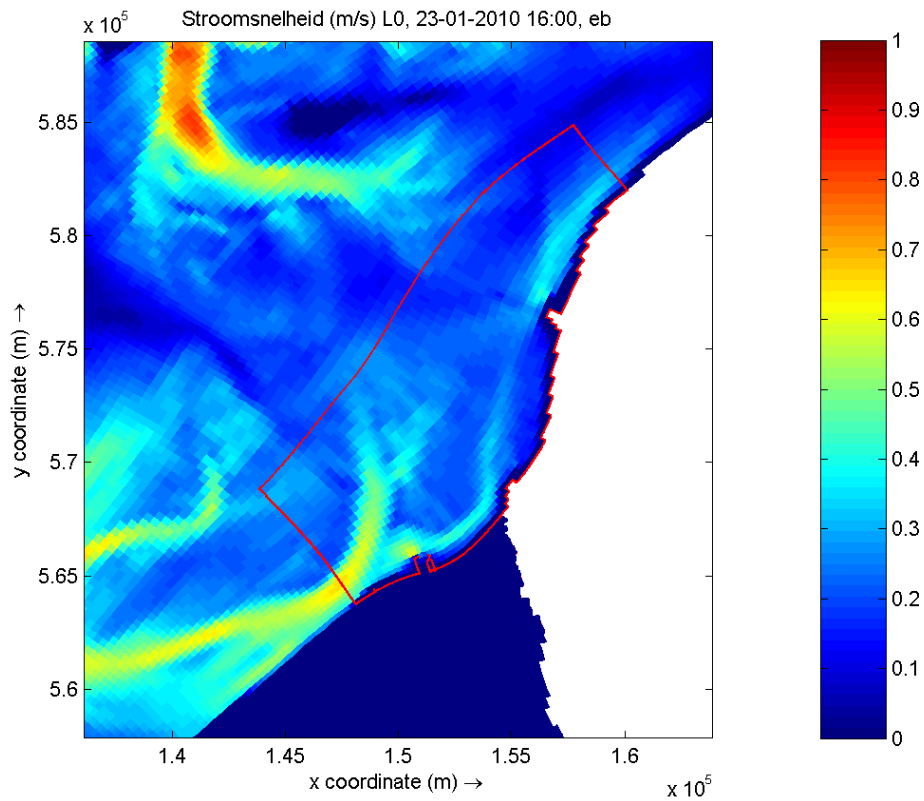
4.2.4 Validatie gedetailleerd model

Het kuststrook-fijn-model is een gekalibreerd model. Het gedetailleerde model rond Boontjes, zoals dat is gebruikt in deze studie, is gebaseerd op dit model, maar niet daadwerkelijk gekalibreerd. Om deze reden zijn de volgende controles uitgevoerd om vertrouwen te krijgen in de prestaties van het detailmodel.

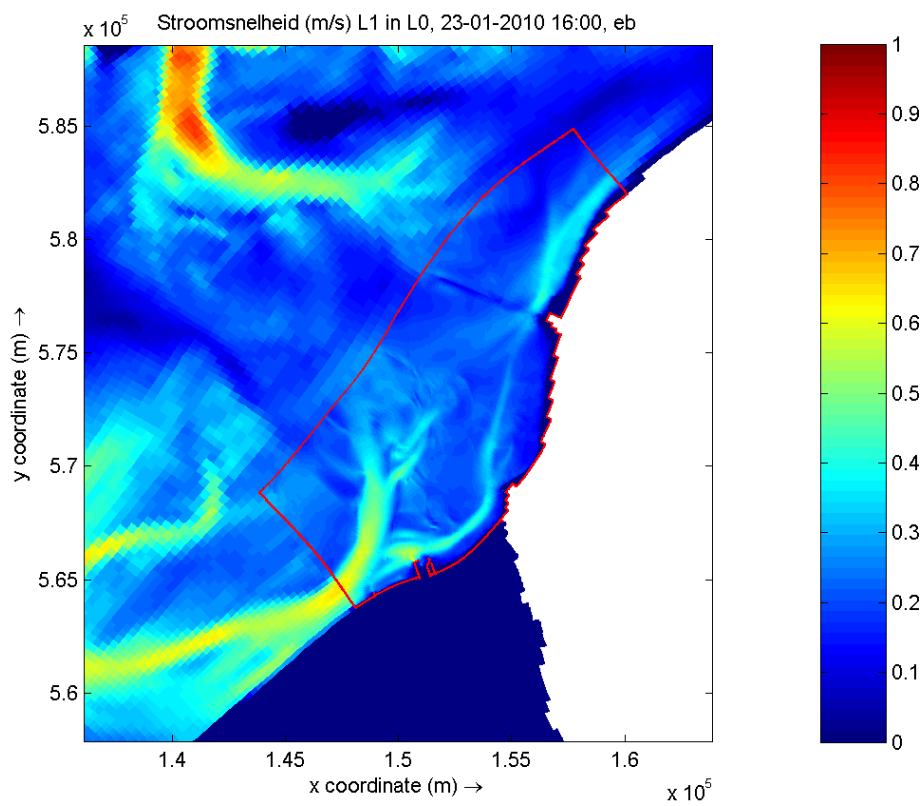
1. Overeenkomst in stromingspatronen tussen het kuststrook-fijn-model en het gedetailleerde model.
2. Representatie van waterstandsdata bij Harlingen door het gedetailleerde model.
3. Representatie van stroomsnelheidsgegevens nabij Boontjes door het gedetailleerde model.

Figuur 4-5 toont de stroomsnelheden tijdens eb in het kuststrook-fijn-model (situatie zonder invloed van de wind). Figuur 4-6 toont dezelfde figuur, waarin de stroomsnelheden binnen de aangegeven grens zijn vervangen door de stroomsnelheden uit het gedetailleerde model. Hierin valt op dat de stromingspatronen overeenkomen en dat de randvoorwaarden correct zijn opgelegd.

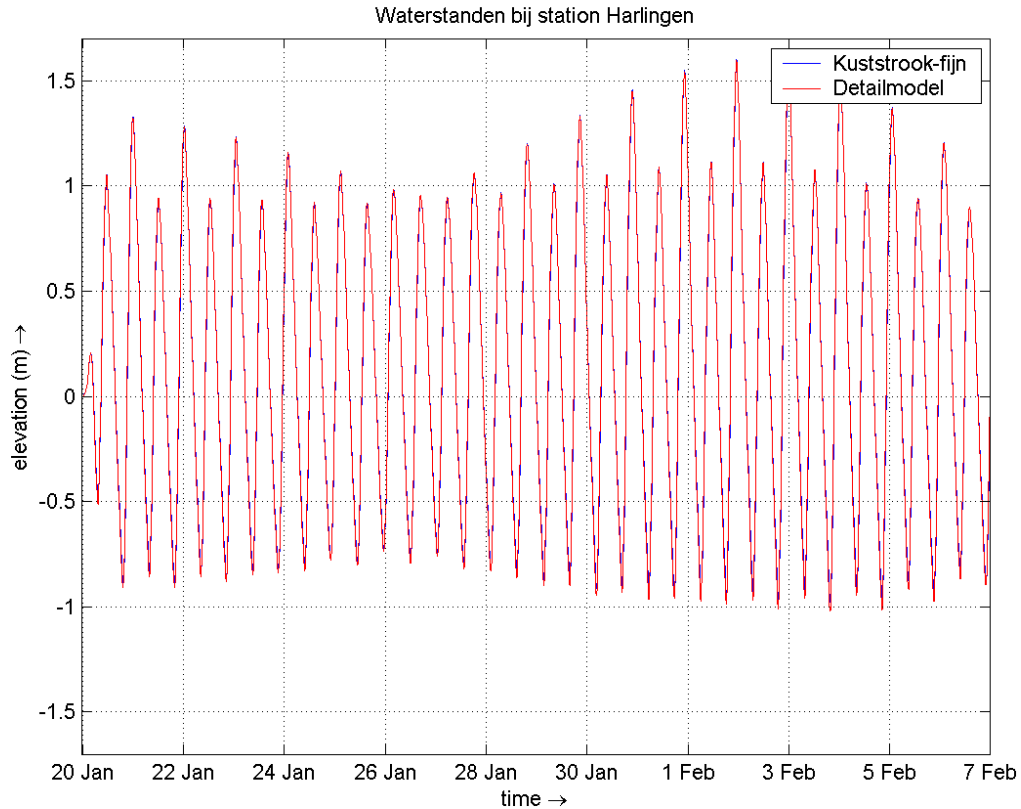
Uit Figuur 2-5 valt af te leiden dat het jaargemiddeld hoogwater bij Harlingen op ongeveer $0,9 \text{ m} + \text{NAP}$ ligt. Het jaargemiddeld laag water heeft een niveau van circa $-0,9 \text{ m} + \text{NAP}$. Figuur 4-7 toont de modelresultaten voor dit station, zowel de resultaten uit het gekalibreerde kuststrook-fijn-model als de resultaten uit het gedetailleerde model. Deze komen zeer goed overeen. Binnen deze korte periode ligt gemiddeld hoogwater op ongeveer $1,1 \text{ m} + \text{NAP}$ en gemiddeld laagwater op ongeveer $-0,9 \text{ m} + \text{NAP}$. Deze waarden komen redelijk overeen met de jaargemiddelde data.



Figuur 4-5 – Stroomsnelheden in het **kuststrook-fijn-model**, ebstroming



Figuur 4-6 – Stroomsnelheden in het **gedetailleerde model**, ebstroming

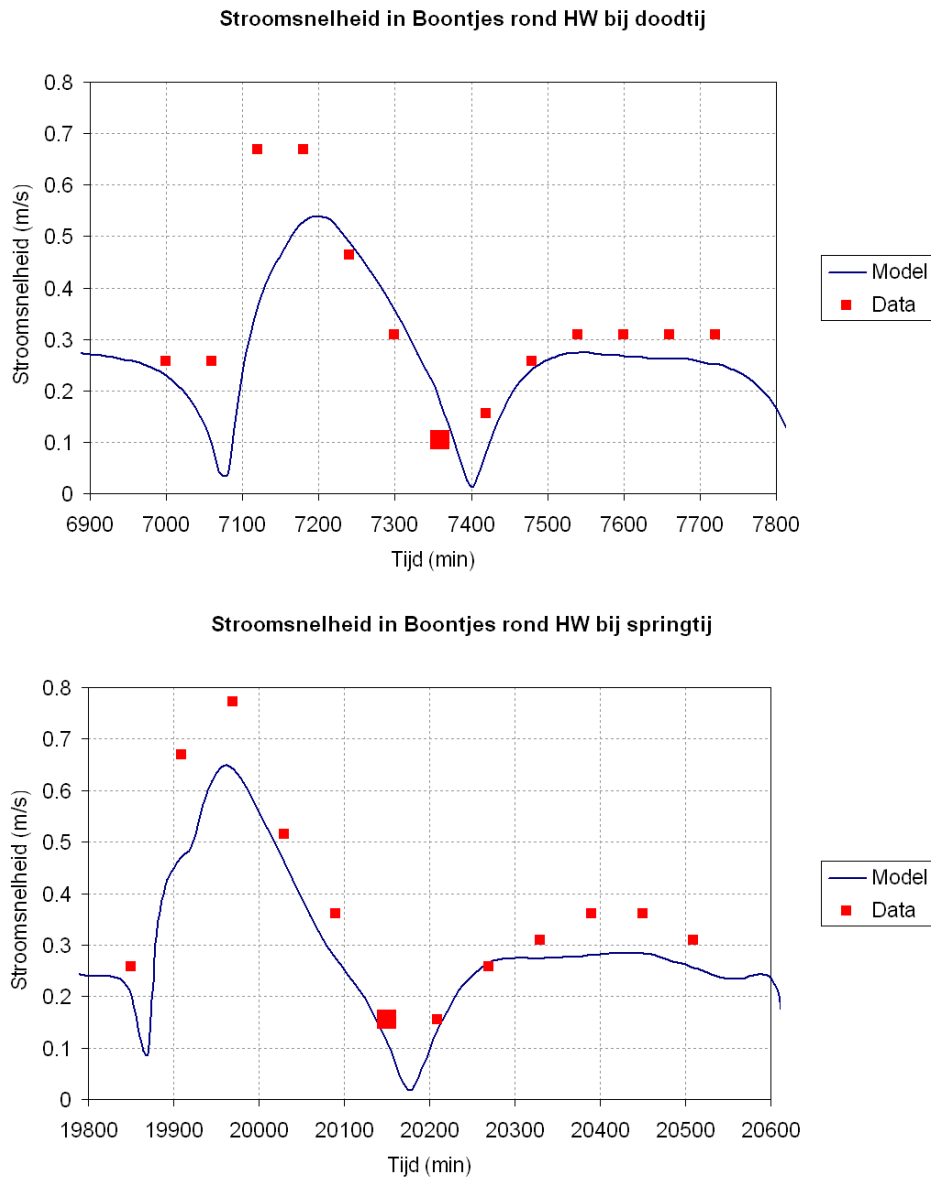


Figuur 4-7 – Waterstanden bij Harlingen uit het Kuststrook-fijn-model en het gedetailleerde model. Referentiesituatie zonder wind.

Tabel 4-1 toont stromingsgegevens volgens de Getijatlas 2011 (The Netherlands Hydrographic Service, HP33D NL Tides, edition 2011) voor een locatie in Boontjes die het best overeenkomt met uitvoerlocatie 8 uit het WAQUA-model (zie Figuur 5-1). In Figuur 4-8 worden de modelresultaten rond hoogwater bij springtij en doortij naast de data uit de Getijatlas gelegd. De modelresultaten (situatie zonder wind) komen behoorlijk goed overeen met de data, ook gezien het feit dat de data uit de Getijatlas impliciet beïnvloed wordt door lange termijn gemiddelde windinvloeden. Dit is een mogelijke oorzaak voor de grotere gemeten stroomsnelheden bij vloed. De overeenkomst is echter sterk genoeg om de relatieve effecten van de drempelverwijdering te kunnen onderzoeken.

Tijd [uren t.o.v. HW]	-6	-5	-4	-3	-2	-1	HW	+1	+2	+3	+4	+5	+6	
Snelheden [kn]	Springtij	0,7	0,5	1,3	1,5	1,0	0,7	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6
	Doodtij	0,5	0,5	1,3	1,3	0,9	0,6	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6

Tabel 4-1 – Snelheden in Boontjes rond hoogwater bij springtij en doortij volgens getijatlas 2011 (The Netherlands Hydrographic Service, HP33D NL Tides, edition 2100)



Figuur 4-8 – Stroomsnelheden in het model vergeleken met de data uit Tabel 4-1 voor doottij (boven) en springtij (onder). De grotere marker komt overeen met de waarde bij Hoog Water (HW) uit de getijatlas, zie Tabel 4-1.

4.2.5 Gevoeligheidsanalyse

De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd ter aanvulling op paragraaf 4.2.4 om gevoel te krijgen voor de bandbreedte van de uitkomsten.

1. Spuidebiet vanuit de sluizen bij Kornwerderzand. In het model is gerekend met een constant, gemiddeld spuidebiet. In werkelijkheid is het spuivolume waterstandsafhankelijk en seizoensafhankelijk. Er zijn daarom twee uitersten beschouwd: de situatie zonder spuidebiet ($Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$) en de situatie met een maximale waarde voor het spuidebiet ($Q=1372 \text{ m}^3/\text{s}$).
2. Roosterfijnheid. Om te onderzoeken of de varianten met voldoende nauwkeurigheid worden weergegeven op het rekenrooster, zijn er simulaties uitgevoerd met een rooster dat in beide richtingen met een factor 1,5 is verfijnd.

De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in Bijlage A: Gevoeligheidsanalyse. Variatie van het spuidebiet toont aan dat met de gebruikte waarde van 400 m³/s een voldoende representatief spuidebiet voor het onderzoek naar het effect van de drempelverwijdering is gevonden. Variatie van de roosterfijnheid toont aan dat verdere verfijning van het rooster niet tot significante andere uitkomsten leidt voor de stroomsnelheden.

4.3 Golven

Om de verandering in golfcondities te bepalen is gebruik gemaakt van het spectrale golfenergiemodel SWAN¹. Met SWAN zijn de golfprocessen in de Waddenzee beschreven, waaronder lokale windgroei, golfbreking, whitecapping, refractie, golftransmissie en reflectie. Uit Witteveen+Bos (2010) blijkt dat golven in de Waddenzee lokaal worden opgewekt en vrij snel tot verzadiging komen qua golfhoogte en periode. Daarom voldoet een lokaal SWAN-model van de regio voor deze studie.

De studie naar de golfcondities dient ten eerste om de veranderingen van de golfcondities door de drempelverwijdering te onderzoeken. Daarnaast geven de berekeningen inzicht in de golfcondities rondom Boontjes. Dit inzicht is van belang voor de analyse naar sedimenttransporten en bodemveranderingen.

4.3.1 Modelschematisatie

Het rekenrooster en de bodemligging in het SWAN model zijn overgenomen uit het detailmodel van WAQUA (zie paragraaf 4.2.1 en paragraaf 4.2.2). De Pollendam is in het model geschematiseerd als lijnobsakel (obstacle), waarbij is uitgegaan van een reflectiecoëfficiënt van 0,3 (gemiddeld voor een dergelijke dam) en de transmissieformulering volgens d'Angremond et al (1996). Hiervoor is de hoogte, het talud en de breedte van de kruin opgegeven. De eigenschappen van de dam zijn weergegeven in Tabel 4-2.

deel van dam	X,Y coördinaten begin (m)	X,Y coördinaten eind (m)	hoogte kruin (m +NAP)	helling (°)	breedte kruin (m)
1	151270,578503	151810,578300	- 2,14	20	6
2	151810,578300	153590,577590	- 0,30	35	3
3	153590,577590	154550,577210	- 0,55	35	3
4	154550,577210	155360,576890	- 2,14	20	6

Tabel 4-2 – Eigenschappen Pollendam in SWAN model.

4.3.2 Stationaire hindcastmomenten

Om de verandering in golfcondities te bepalen is een aantal stationaire SWAN-berekeningen uitgevoerd.

In totaal zijn voor drie windrichtingen en voor twee windsnelheden (normale condities en tijdens storm) berekeningen uitgevoerd voor verschillende momenten in de getijcyclus (hoogwater, laagwater, maximale stroomsnelheden bij eb en vloed ter plaatse van Boontjes). In totaal zijn dit 24 berekeningen per ontwerpvariant (3 windrichtingen, 2 windsnelheden per windrichting en

¹ SWAN (Simulating WAVes Nearshore). SWAN is een 2D, derde generatie spectraal golfmodel. Voor deze studie is de meest recente SWAN versie 40.81 gebruikt. Copyright © 2004 Delft University of Technology.

4 momenten in de getijcyclus). De berekeningen zijn uitgevoerd voor de verschillende ontwerpvarianten (één referentiesituatie en drie varianten). Totaal zijn er dus 96 berekeningen uitgevoerd.

De geselecteerde hindcastmomenten hebben ieder specifieke kenmerken. Deze zijn weergegeven in Tabel 4-3. De weergegeven tijdstippen zijn in minuten vanaf het begintijdstip van de WAQUA-simulaties. Daarnaast zijn de momenten met maximale wind gekozen tijdens de piek van de storm, waarbij de waterstanden en de stroomsnelheden maximaal zijn.

Tijdstip hindcast-moment (min)	Eigenschappen hindcastmoment
1920	laag water, normale windomstandigheden, minimale stroomsnelheden
1680	eb, normale windomstandigheden, maximale stroomsnelheden
12720	hoog water, normale windomstandigheden, minimale stroomsnelheden
17040	vloed, normale windomstandigheden, maximale stroomsnelheden
19980	vloed, storm, maximale stroomsnelheden
20160	hoog water, storm, minimale stroomsnelheden
20400	eb, storm, maximale stroomsnelheden
20610	laag water, storm, minimale stroomsnelheden

Tabel 4-3 – Eigenschappen geselecteerde hindcastmomenten per windrichting en per variant

Bovenstaande hindcastberekeningen zijn stationair uitgevoerd per uniforme windrichting. De uitgevoerde berekeningen zijn samengevat in Bijlage C: Overzicht golfberekeningen. Daarnaast is in deze bijlage een grafische weergave gegeven van de hindcast momenten in de tijdreeks. In de laatstgenoemde bijlage zijn de uitvoermomenten van WAQUA met zwarte bolletjes aangegeven.

4.3.3 Randvoorwaarden model

Waterstanden en stroomsnelheden

Het SWAN-model is gevoed met waterstands- en stromingsvelden uit het 2D-stromingsmodel.

Golven

Op de rand van het model is een initieel golfspectrum opgelegd. Deze golfrandvoorwaarden zijn bepaald met behulp van de golfgroei formulering volgens Young & Verhagen (1996) op basis van de openwaterwindsnelheid, een effectieve strijklengte en een gemiddelde waterdiepte. Voor iedere rand, en voor iedere windrichting en -snelheid zijn golfrandvoorwaarden bepaald. Bijlage C bevat een overzicht van de gehanteerde golfrandvoorwaarden alsmede de strijklengte en gemiddelde diepte per berekening.

Het golfspectrum aan de rand is parametrisch opgelegd als een JONSWAP spectrum met een 'peak-enhancement' parameter gamma van 3,3. Deze gehanteerde methode leidt ertoe dat randeffecten verwaarloosbaar zijn in Boontjes.

Windschematisatie

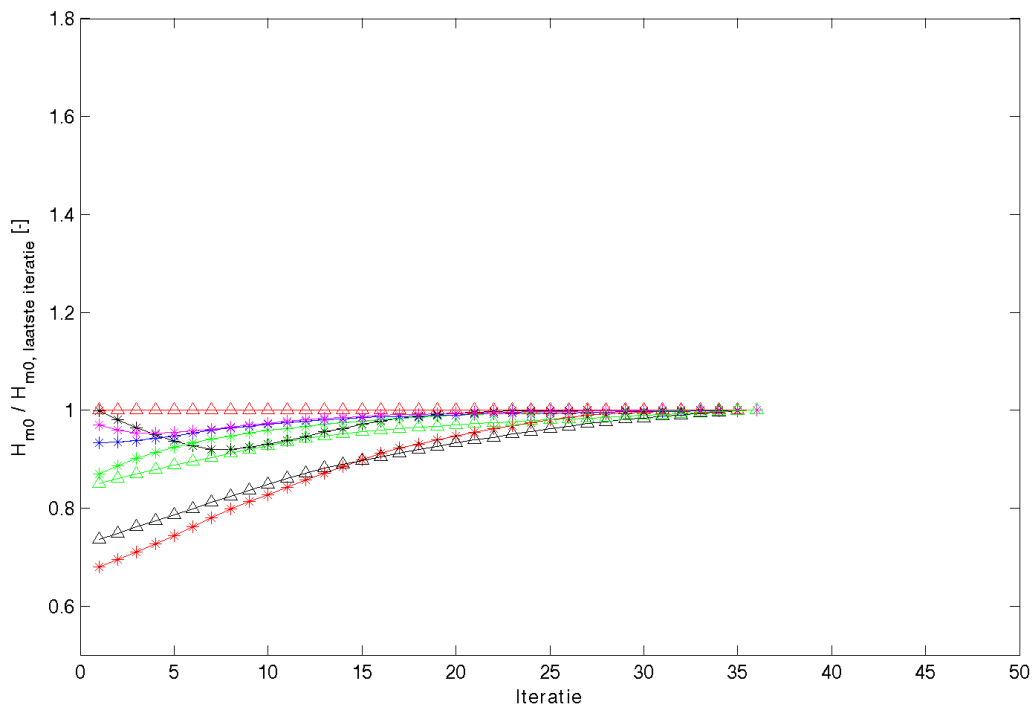
In SWAN is met de openwaterwindsnelheden gerekend (zie verder paragraaf 3.3).

4.3.4 Fysische en numerieke instellingen model

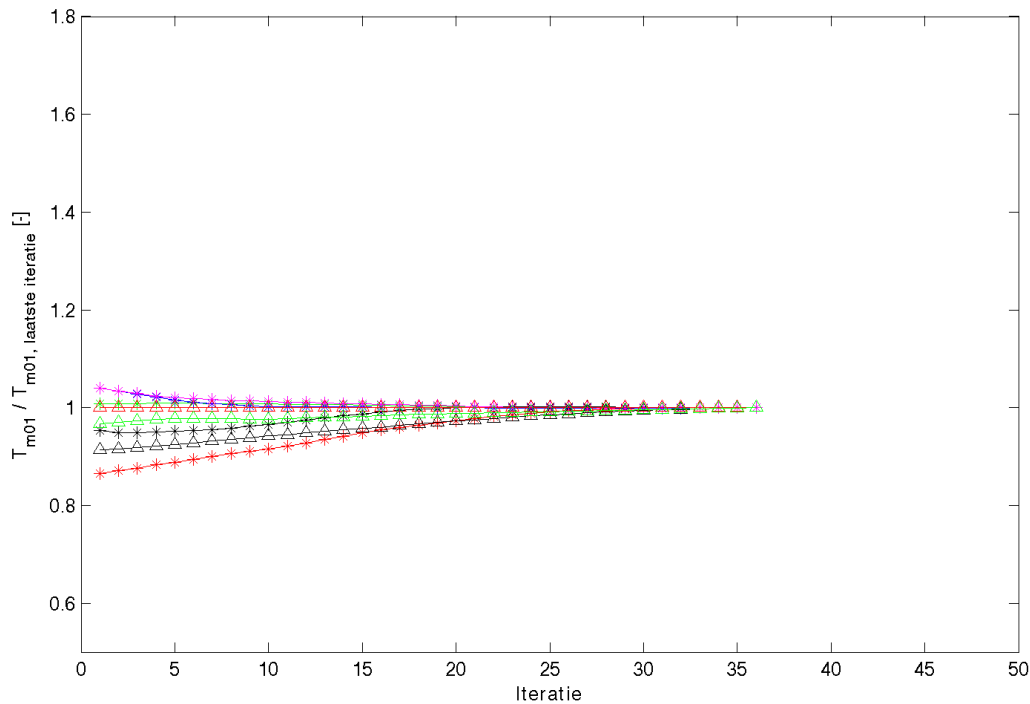
De fysische instellingen voor het model zijn overgenomen uit (Witteveen+Bos, 2010). Met deze instellingen zijn onder andere recentelijke verbeteringen in de modellering van lokale golfgroei (Van der Westhuysen 2009, 2010ab), en golf-stroming interactie (Deltares, 2010) meegenomen.

4.3.5 Convergentie berekeningen

De modelnauwkeurigheid is dusdanig ingesteld dat een hoge mate van convergentie wordt gegarandeerd: een afwijking van 0,01% voor de significante golfhoogte en de gemiddelde golfperiode voor 99,5% van de gridcellen of een maximum aantal van 50 iteraties. Zie ter illustratie Figuur 4-9 en Figuur 4-10 voor het convergentiegedrag van een berekening voor de referentiesituatie.



Figuur 4-9 – Convergentiegedrag significante golfhoogte, berekening 20, zie bijlage C



Figuur 4-10 – Convergentiegedrag gemiddelde golfperiode, berekening 20, zie bijlage C

4.4 Zoet-zoutpatronen

Voor de analyse van zoet-zoutpatronen is onderzocht of de verwijdering van de drempel in Boontjes leidt tot een andere saliniteit in en rond Boontjes dan in de huidige situatie. Deze paragraaf gaat in op de uitgangspunten die specifiek van toepassing zijn op het bepalen van het effect van de drempelverwijdering op de zoet-zoutpatronen.

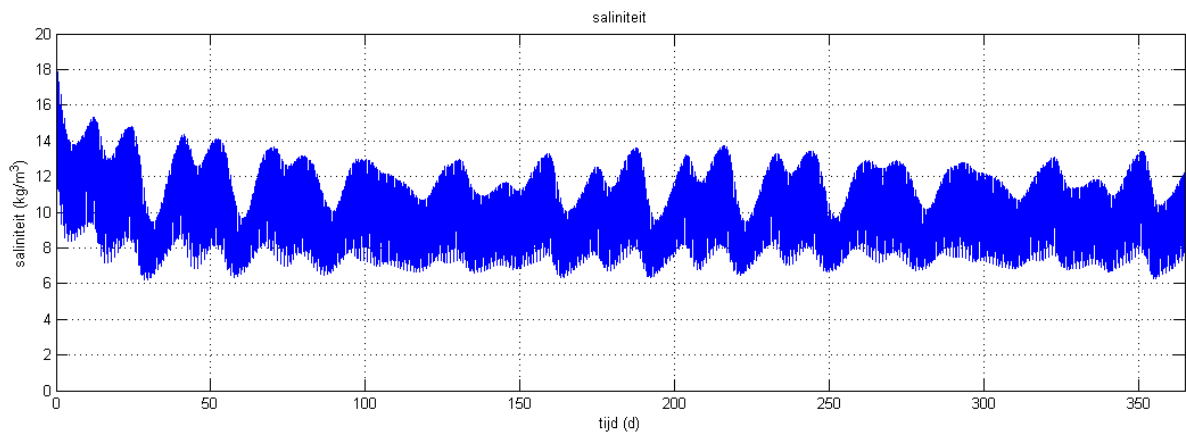
Voor de bepaling van de effecten van de drempelverwijdering op de zoet-zoutpatronen in de omgeving van Boontjes zijn aanvullende WAQUA-simulaties uitgevoerd. De enige verschillen met het WAQUA-model zoals beschreven in paragraaf 4.2 zijn de lengte van de inspeelperiode (1 maand met het Kuststrookfijnmodel en vervolgens 2 weken met het gedetailleerde model) en de simulatielengte (2 weken). Er is gekozen voor een 2D (dieptegemiddelde) aanpak, omdat op basis van Hartsuiker en Van Banning (2002) geen ter zake doende stratificatie in de directe omgeving van Boontjes te verwachten is.

Alleen de referentiesituatie en variant 2 (met een bodembreedte van 100 m en een bodemdijpte van NAP $-4,8$ m) zijn geanalyseerd. Er is een analyse gedaan van de situatie zonder wind en van de situatie met zuidwestenwind. Wind heeft een sterke invloed op de menging van zoet en zout water in barotrope (gelaagde) stromingen. In barokliene (volledig gemengde) stromingen zoals bij Boontjes is de invloed van de wind op de zoet-zoutpatronen gering. De verwachting is dat in de 2D-modellering met WAQUA alleen de dieptegemiddelde stroomsnelheid en de waterstand in beperkte mate beïnvloed worden door de windschuifspanning. Verwacht wordt dan ook dat er slechts een zeer beperkte invloed is van de wind op het relatieve effect van de drempelverwijdering op de saliniteit. Deze verwachting is op basis van de sommen met zuidenwind (het scenario waarbij het meeste zoetwater door Boontjes gaat) getoetst. Alleen gemiddelde windcondities zijn bij de analyse betrokken.

Er is uitgegaan van een constant spuidebiet bij Kornwerderzand van $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figuur 4-11 toont de saliniteit bij Harlingen voor een simulatie van het Kuststrookfijnmodel, met een simulatielengte van een jaar. Omdat het getijprisma continu varieert door de interactie van diverse getijcomponenten, treedt er ook een onregelmatig patroon op in de hoeveelheden zout water die de Waddenzee binnendringen. De mengingsprocessen van zoet en zout water verlopen langzaam, waardoor de saliniteit ter plaatse van Boontjes slechts langzaam varieert. Deze variaties houden met name verband met de springtij- doortijcyclus. Op deze variatie met een grotere tijdschaal is een variatie gesuperponeerd met de tijdschaal van het dagelijks getij. Vanwege het onregelmatige karakter van het tijdsverloop van de saliniteit is het niet mogelijk om exact aan te geven wanneer de inspeelperiode is verstreken. Op basis van Figuur 4-11 schatten wij deze periode op een maand.

Aan het eind van deze inspeelperiode zijn er velden voor snelheid, waterstand en saliniteit uit het Kuststrook-fijn-model gehaald. Deze velden zijn via interpolatie op het fijne rooster van het gedetailleerde model rond Boontjes geprojecteerd en als initiële velden gebruikt. Via nesting zijn de tijdreeksen uit het Kuststrook-fijn-model opgelegd aan het gedetailleerde model. Met het gedetailleerde model is vervolgens een periode van vier weken doorgerekend.



Figuur 4-11 – Saliniteit bij Harlingen, referentiesituatie, resultaten Kuststrook-fijn-model

4.5 Verspreiding havenslib uit Harlingen

Er wordt regelmatig slib gebaggerd in de haven van Harlingen en vlak voor de haven weer gestort. Met behulp van het WAQUA-model (zie beschrijving paragraaf 4.2) is een inschatting gemaakt van de effecten van drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib. Deze paragraaf gaat in op de uitgangspunten die specifiek van toepassing zijn op het bepalen van het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het havenslib.

4.5.1 Verspreidingslocaties, -materiaal en -volumes

De grootte van de baggervolumes zijn bepaald op basis van gegevens van de gemeente Harlingen over de periode 1992 – 2009 [Mail J. Walta, gemeente Harlingen d.d. 11 januari 2011 8.32u met een aanvulling op 11 januari 10.47u]. Deze gegevens worden hieronder beknopt samengevat:

- Gemiddeld jaarlijks totaal baggervolume: 1.371.721 m³/jaar;
- Maximaal jaarlijks totaal baggervolume: 1.719.245 m³/jaar;

Deze volumes betreffen vloeibaar slib met een dichtheid van gemiddeld 1200 kg/m^3 . Het zeer fijne materiaal heeft een korreldiameter tussen de 10 en 60 micron. De bijbehorende valsnelheid bedraagt ongeveer $0,0001 \text{ m/s}$. Hiervan wordt jaarlijks $175.000 - 250.000 \text{ m}^3$ verspreid met de Airset². Het overige deel wordt evenredig verdeeld over beide verspreidingslocaties in het Kimstergat:

- Kimstergat 1: $(x,y) = 156353, 577518$; (Kimstergat Oost)
- Kimstergat 2: $(x,y) = 154730, 577195$, (nabij Pollendam)

In de modellering is de bijdrage van de Airset verwaarloosd. Het gemiddelde jaarlijkse totale baggervolume is evenredig verdeeld over beide verspreidingslocaties:

- Kimstergat 1: $685.861 \text{ m}^3/\text{jaar}$;
- Kimstergat 2: $685.861 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

4.5.2 Modelling van slibverspreiding

Per verspreidingslocatie wordt $685.861 \text{ m}^3/\text{jaar}$ slib-water-mengsel gestort, met een dichtheid van gemiddeld 1200 kg/m^3 . Uitgaande van een constante lozing, een dichtheid van 1025 kg/m^3 voor het water en 2650 kg/m^3 voor de vaste stof betekent dit dat per verspreidingslocatie $0,0023 \text{ m}^3/\text{s}$ ($6,21 \text{ kg/s}$) vaste stof in het model wordt gebracht.

Het slib bestaat zoals vermeld in de voorgaande sectie uit zeer fijn materiaal. Bij deze korrelgrootte is het mogelijk om te werken met een advection-diffusie-vergelijking. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van deze methode wordt verwezen naar Bijlage B: Slibmodellering. De valsnelheid van het materiaal is zodanig klein, dat gekozen is voor de benadering zonder valsnelheid zoals deze is geïmplementeerd in WAQUA, zoals beschreven is in Bijlage B: Slibmodellering. Door de valsnelheid te verwaarlozen is een conservatieve waarde gevonden voor de verspreidingsafstand en slibconcentraties.

4.6 Verspreiding materiaal uit Boontjes

Deze paragraaf gaat in op de uitgangspunten voor de effectbepaling van het verspreiden van het gebaggerde materiaal, afkomstig van de drempel in Boontjes. Het gaat hierbij om de bepaling van de slibconcentraties ten gevolge van het spuiten of klappen van het materiaal rond de verspreidingslocaties.

4.6.1 Verspreidingslocaties, -materiaal, -methoden en -volumes

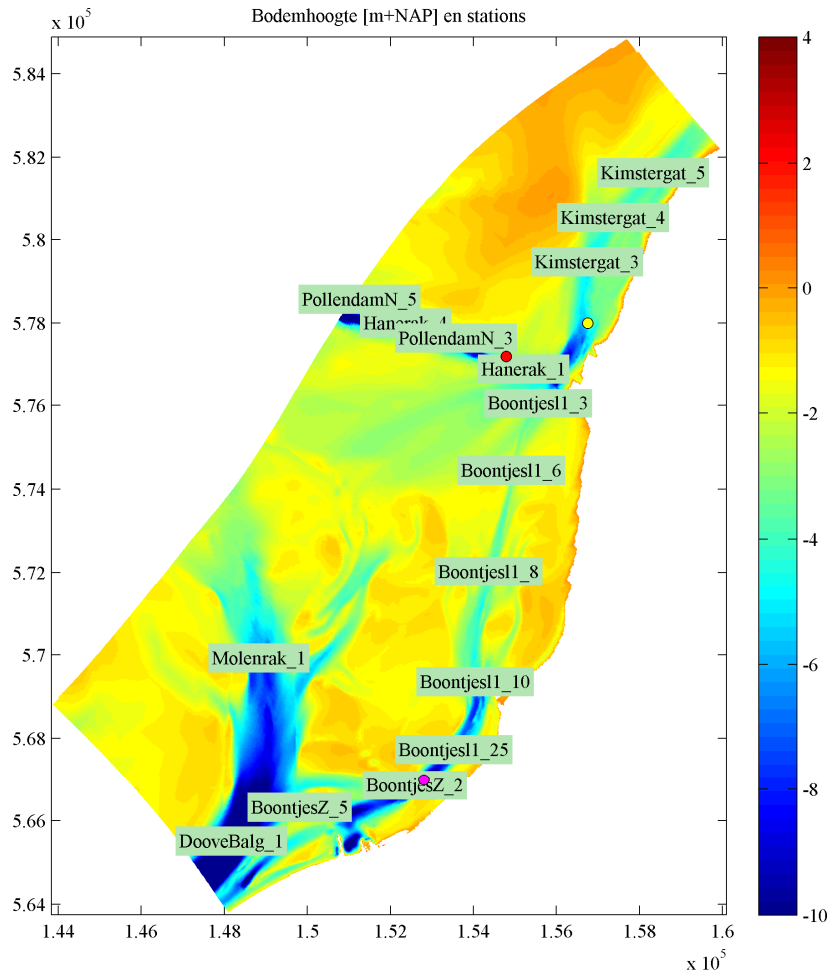
De volgende locaties zijn in beeld als mogelijke verspreidingslocatie:

1. Kimstergat-Oost $X=156.750, Y=578.000 \text{ m}$ (midden in bestaande verspreidingslocatie)
2. Pollendam: $X=154.800, Y=577.200 \text{ m}$ (op de 'Zuidwalleiding')
3. Zuid-Boontjes: $X=152.800, Y=567.000 \text{ m}$ (midden in het diepe gat tussen boeienpaar BO11 en BO12)

Deze mogelijke verspreidingslocaties zijn weergegeven in Figuur 4-12, samen met de in het TRIWAQ-model aanwezige uitvoerlocaties voor de monitoring van de verspreiding van het vrijkomende materiaal.

² De Airset is een zogenaamd injectiebaggervaartuig. Bij afgaan tijd wordt water en lucht in de sliblaag geblazen waardoor het slib gaat 'zweven' en met de stroom mee de haven verlaat.

Er zijn twee mediane korreldiameters beschouwd: $D_{50} = 20 \mu\text{m}$ en $D_{50} = 140 \mu\text{m}$. Materiaal met deze korreldiameters wordt geklassificeerd als respectievelijk gemiddeld fijn slib en fijn zand. De corresponderende valsnelheden zijn volgens de formuleringen uit Van Rijn (2003) respectievelijk 0,0004 m/s en 0,0144 m/s.



Figuur 4-12 – Verspreidingslocatie Kimstergat (gele marker), Pollendam (rode marker) en Zuid-Boontjes (roze marker), weergegeven met bodemhoogte [m+NAP] en een deel van de uitvoerlocaties

Bij de eerste twee locaties uit bovenstaande lijst kunnen zowel klappen als spuiten als verwerkingsmethode worden toegepast. Bij Zuid-Boontjes wordt enkel gebruik gemaakt van klappen. Het klappen houdt in dat het baggermateriaal door middel van de bodemdeuren, bodemscherven of kegelkleppen van de baggerschepen wordt gestort. Het legen van een sleeppopperzuiger met een inhoud van 1000 m^3 slib-water-mengsel duurt met deze methode ongeveer 5 minuten.

Voor het klappen is in de berekeningen uitgegaan van een concentratie vaste stof in het baggerschip van 50% voor zand (80% van het mengsel is zand, met een porositeit van 40%). Slib heeft een lagere concentratie dan zand, omdat overflow niet toegepast wordt bij slib. Voor slib wordt daarom een concentratie vaste stof van 20% gehanteerd.

In het geval van klei wordt ongeveer iedere 80 minuten een lading klei gestort, bij zand iedere 130 minuten. Omdat bij zand wel, en bij slib geen overflow wordt gehanteerd, kan er meer zand dan slib worden geladen in een baggerschip. Dit resulteert in een groter interval tussen de stortwerkzaamheden bij zand.

Het spuiten is ten behoeve van het afdekken van een pijpleiding die bloot ligt, ten noorden van de Pollendam. Er wordt alleen gespoten met fijn zand. Het (mengsel) debiet van verspreiden is dan gelijk aan het zuigdebiet en bedraagt circa 3.500 m³/hr. Dit komt overeen met een hoeveelheid vaste stof van 1.000 m³/hr (mailwisseling met Marijn Huysmans van W+B d.d. 26 mei 2011).

De totale tijd dat er vrijkomend materiaal verspreid wordt bedraagt ongeveer 12 weken. Om dit te bereiken worden er waarschijnlijk 3 sleepopperzuigers ingezet (11 uur per dag, 5 dagen per week).

De volgende acht werkzaamheden zijn onderzocht:

Locatie	Methode	Materiaal	Productie
Kimstergat-Oost	Sputen	Fijn zand	3500 m ³ /h mengsel, 1000 m ³ /h vaste stof
Kimstergat-Oost	Klappen	Fijn zand	elke 130 min 1000 m ³ mengsel in 5 min, 50% vaste stof
Kimstergat-Oost	Klappen	Slib	elke 80 min 1000 m ³ mengsel in 5 min, 20% vaste stof
Pollendam	Sputen	Fijn zand	3500 m ³ /h mengsel, 1000 m ³ /h vaste stof
Pollendam	Klappen	Fijn zand	elke 130 min 1000 m ³ mengsel in 5 min, 50% vaste stof
Pollendam	Klappen	Slib	elke 80 min 1000 m ³ mengsel in 5 min, 20% vaste stof
Zuid-Boontjes	Klappen	Fijn zand	elke 130 min 1000 m ³ mengsel in 5 min, 50% vaste stof
Zuid-Boontjes	Klappen	Slib	1000 m ³ mengsel in 5 min, eens per 80 min

Tabel 4-4 – Verspreidingswerkzaamheden: locatie, methode, materiaal en volumes per tijdseenheid. Mediaan diameter slib 20 µm, fijn zand: 140 µm.

4.6.2 Modelling van de verspreiding van het materiaal

De modellering van slibverspreiding is gebeurd met behulp van de verspreiding van een passieve tracer op basis van het oplossen van een advection-diffusievergelijking. De valsnelheden van met name het zand zijn te groot om te verwaarlozen. Om deze reden is gebruik gemaakt van TRIWAQ-simulaties met 5 lagen in plaats van WAQUA-simulaties. Voor een beschrijving van de slibmodellering in TRIWAQ wordt verwezen naar Bijlage B: Slibmodellering. Materiaal kan in TRIWAQ wel uitzakken, maar blijft dan wel in de onderste laag aanwezig. Om deze reden is de dikte van de onderste laag gelijk aan 1% van de waterdiepte. Van materiaal dat in de deze laag terecht komt, is aangenomen dat het neergeslagen is. Concentraties zijn dan ook bepaald voor de bovenste vier lagen, die evenredig verdeeld zijn over de resterende 99% van de waterdiepte.

Gegeven de mogelijkheden en voorwaarden voor de modellering van slibverspreiding met TRIWAQ, kan worden nagegaan in hoeverre TRIWAQ in staat is om de technieken klappen en spuiten te modelleren.

1. Ontbreken van morfodynamische interactie.

Het spuiten van zand dient om een blootliggende pijpleiding te bedekken. De bodemligging wijzigt ten gevolge van het spuiten. Ook bij het verspreiden van materiaal in de diepe verspreidingslocaties in het Kimstergat en Zuid-Boontjes zal de bodem duidelijk stijgen. Hierdoor wordt de lokale waterbeweging beïnvloed. Ingeschat wordt dat deze beïnvloeding niet van die grootte en ruimtelijke omvang is, dat de uitkomsten van de effectbepaling hierdoor aanzienlijk veranderen. Het ontbreken van morfodynamische interactie in TRIWAQ vormt dan geen probleem.

2. Het gebruikmaken van de benadering met een passieve tracer

De productie bedraagt bij spuiten ongeveer $3500 \text{ m}^3/\text{uur}$. Dit komt neer op circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ mengsel, en $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ vaste stof (uitgaande van een concentratie van 25%). Het storten bij de klappmethode gaat met een productie van 1000 m^3 baggermengsel per 5 minuten. Uitgaande van een concentratie vaste stof van 25% komt dit neer op ongeveer 1 m^3 vaste stof per seconde. De debieten in Boontjes zijn circa $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (eb) tot $800 \text{ m}^3/\text{s}$ (vloed). De debieten in het Hanerak en het Kimstergat zijn nog wat groter dan de debieten in Boontjes. Ook bij getijkenterring is er geen sprake van het compleet wegvallen van de stroming. De concentraties zijn daarmee klein genoeg om de waterbeweging niet significant te beïnvloeden. Aan de belangrijkste voorwaarde voor het toepassen van een passieve tracer in TRIWAQ is hiermee voldaan.

De tijdreeksen voor het klappen van slib en zand, zoals vermeld in Tabel 4-4, zijn opgenomen in het TRIWAQ-model. Elke 80 (slib) of 130 minuten (zand) wordt er gedurende 5 minuten een lading van 1000 m^3 sedimentmengsel gestort. Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat de schepen 's nachts of in het weekend stil kunnen liggen. Dit is dus een conservatieve benadering.

De karakteristieken van beide te onderzoeken verspreidingsmethodieken, klappen en spuiten, kunnen met TRIWAQ worden geanalyseerd. De resultaten zullen een indicatie geven van de verspreiding van het vrijkomende materiaal. De volgende beperkingen van TRIWAQ moeten op basis van expert judgment meegenomen worden in de analyse, om de kwantitatieve resultaten van TRIWAQ op waarde te kunnen schatten:

1. Er is geen interactie met de bodem. Al het sediment blijft hierdoor aanwezig in het model, tenzij het sediment de modelranden passeert. Ook (semi-empirische) relaties voor het begin van beweging van bodemmateriaal ontbreken.
2. Bodemverhoging door het spuiten of klappen van materiaal wordt niet meegenomen. Zeker na langdurig verspreiden zal de bodemhoogte toenemen, met toenemende stroomsnelheden en een licht toenemende slibverspreiding tot gevolg. Morfodynamische interactie ontbreekt dus in TRIWAQ.
3. De turbulentie die veroorzaakt wordt door het stortproces bij klappen draagt bij aan de verspreiding van het gestorte materiaal. Deze toegenomen turbulentie wordt niet meegenomen in TRIWAQ.

4.7 Onderhoudsbaggerwerk

Idealiter is het onderhoudsbaggerwerk te bepalen aan de hand van een hydromorfologisch model met interactieve koppeling tussen stromingsomstandigheden en bodemveranderingen. Een operationeel model van de Wadenszee is (nog) niet beschikbaar (mondelinge consultatie van dhr. Van Kessel), onder meer door gebrek aan meetgegevens voor het kalibreren van een dergelijk model. Voor een toepassing in het geval van drempelverwijdering in Boontjes zou daarnaast de resolutie van een dergelijk model, net als bij de effectbepaling van stromingsomstandigheden, eerst aanzienlijk vergroot moeten worden. De tijd voor het ontwikkelen en toetsen van een gekoppeld hydraulisch-morfologisch modelinstrumentarium ontbreekt, mede door gebrek aan meetgegevens voor een toetsing. Voor een schatting van het toekomstige onderhoudsbaggerwerk is daarom uitgegaan van de methodiek die ook in de voorstudie (ACRB, 2007) is toegepast. Naast stroming spelen (wind)golven een belangrijke rol in het transport van sediment. Bij de bepaling van het onderhoudsbaggerwerk is de variatie van deze windgolven over het jaar meegenomen.

Voor het berekenen van de volumes van het onderhoudsbaggerwerk om Boontjes na verwijderen van de drempel te onderhouden voor de scheepvaart, is (evenals in de voorstudie) gebruik gemaakt van rekenmethoden van Van Rijn (1993). De rekenmethodes zijn onder de naam SEDTUBE beschikbaar in Excel en zijn te gebruiken om bodemveranderingen in een stroombuis onder stromings- en golfcondities te berekenen. Het SEDTUBE model is in het verleden succesvol toegepast om sedimentatie in vaargeulen te bepalen (zie Van Rijn, 2005), onder meer de sedimentatie van een proefgeul nabij Scheveningen (J.N. Svašek, 1964) en de verkenning van de capaciteit van de Maasgeul (De Ronde et al, 2009). De condities zijn stationair, maar onder die stationaire condities wordt de bodemverandering per tijdstap berekend en de bodemligging aangepast. Het getij is vereenvoudigd meegenomen, door afwisselend stationaire berekeningen onder ebcondities en vloedcondities uit te voeren. Het evenwichtsbodemtransport Q_b (in m^3/s) wordt berekend met de vereenvoudigde bodemtransportformule (formule 7.2.46 uit Van Rijn, 1993),

$$Q_b = 0,005 \cdot b \cdot u \cdot h \cdot \left(\frac{D_{50}}{h} \right)^{1,2} \cdot \left(\frac{u_e - u_{cr}}{\sqrt{\Delta \cdot g \cdot D_{50}}} \right)^{2,4} \quad (4.1)$$

waarin b = breedte stroombuis [m], h = waterdiepte [m], u_e = diepte-gemiddelde effectieve stroomsnelheid [m/s], u_{cr} = kritische stroomsnelheid begin van bewegen [m/s], D_{50} = gemiddelde korrel diameter [m], $\Delta = (\rho_s - \rho) / \rho$ relatieve dichtheid sediment [-], ρ_s = dichtheid sediment [kg/m^3], ρ = dichtheid water [kg/m^3], g = zwaartekrachtsversnelling [m/s^2].

Het evenwichtszwevendtransport Q_s (in m^3/s) wordt berekend met de vereenvoudigde suspensietransportformule (formule 7.3.46 uit Van Rijn, 1993),

$$Q_s = 0,012 \cdot c_r \cdot b \cdot u \cdot h \cdot \left(\frac{D_{50}}{h} \right) \cdot \left(\frac{1}{D_*} \right)^{0,6} \cdot \left(\frac{u - u_{cr}}{\sqrt{\Delta \cdot g \cdot D_{50}}} \right)^{2,4} \quad (4.2)$$

met $D_* = D_{50} (\Delta g \nu^2)^{1/3}$ dimensieloze diameter [-], ν = kinematische viscositeit water [m^2/s] en c_r = reductiefactor afhankelijk van de valsnelheid en stroomsnelheid (circa 0,2) [-]. In de gemiddelde effectieve stroomsnelheid is het effect van korte golven op de stroomsnelheid opgenomen. De effectieve snelheid wordt berekend als de som van de stroomsnelheid u_c en de golfsnelheid u_w ,

$$u_e = u_c + u_w \quad \text{met} \quad u_w = 0,4 \cdot u_{o,\max} \quad (4.3)$$

waarin $u_{o,\max}$ de maximum orbitaalsnelheid is, berekend als,

$$u_{o,\max} = \frac{\pi \cdot H}{T \cdot \sinh(kh)} \quad \text{met} \quad kh = \left(\frac{4,02h}{T^2} \right)^{0,5} \cdot \left(1 + \frac{1}{6} \frac{4,02h}{T^2} + 0,031 \cdot \left(\frac{4,02h}{T^2} \right)^2 \right) \quad (4.4)$$

en T = golfperiode [s]. De kritische stroomsnelheid voor het begin van bewegen van het bodemmateriaal (Shieldsparameter) wordt bepaald met de formulering van de Shieldskromme zoals in Van Rijn (1993) gegeven (formule 4.1.11). De breedte van de stroombuis mag per plaatsstap variëren en is gebruikt om het model zo aan te passen dat het verloop van de

stroomsnelheid overeenkomt met de resultaten van WAQUA. Op deze wijze is impliciet de uitwisseling van water tussen platen en geulen meegenomen, ondanks het opleggen van een uniforme afvoer. De bodemveranderingen worden per tijdstap bepaald met behulp van de continuïteitsvergelijking voor de bodem,

$$\frac{b \cdot \partial z_b}{\partial t} + \frac{\partial (Q_b + Q_s)}{\partial x} = 0, \text{ ofwel numeriek: } \Delta z_b = \frac{\Delta (Q_b + Q_s)}{b \cdot \Delta x} \cdot \Delta t. \quad (4.5)$$

De rekenmethode kan worden gebruikt voor zowel een stroombuis die van zuid naar noord door Boontjes loopt als voor een stroombuis die van west naar oost dwars over Boontjes loopt.

5 Effecten op hydrodynamica en golven

5.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de hydrodynamische effecten van de drempelverwijdering. Het hoofdstuk is onderverdeeld in een paragraaf (5.2) over de hydrodynamica (WAQUA) en een paragraaf (5.3) over de golven (SWAN).

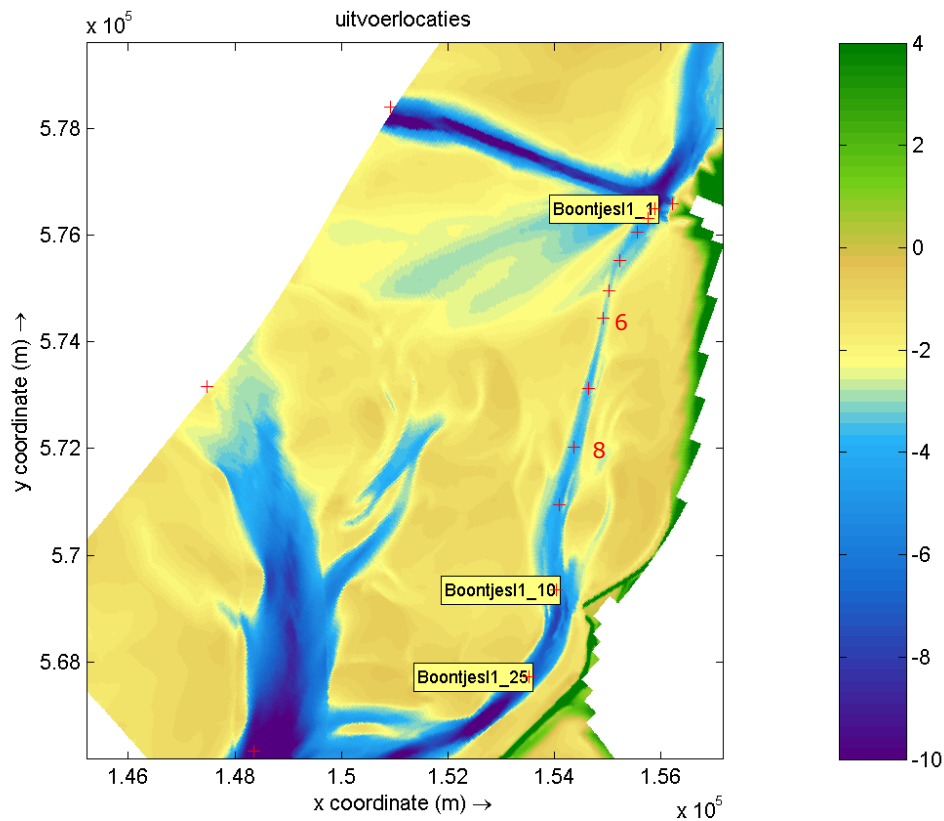
De belastingen van golfwerking en stroming op het bodemmateriaal zijn beide weer te geven door middel van bodemschuifspanningen. Bodemschuifspanningen ten gevolge van de stroming zijn het grootst in de geulen, terwijl de bodemschuifspanningen ten gevolge van de golfwerking op de platen groter zijn dan in de geulen. Dit laatste wordt veroorzaakt door het sterke diepteververschil tussen geulen en platen. Zoals beargumenteerd zal worden in hoofdstuk 6, is de stroming door de getijdegeulen tijdens gemiddelde condities van belang voor de opbouw van de platen. Golfwerking op de platen, met name tijdens stormcondities, zorgt voor de grootste bijdrage aan de erosie of uitschuring van de platen. Het evenwicht tussen beide resulteert op lange termijn in een karakteristiek patroon van geulen en platen. In dit hoofdstuk is daarom voor de presentatie van de stroming uitgegaan van gemiddelde windcondities. Voor de presentatie van de golfcondities is uitgegaan van stormcondities.

5.2 Hydrodynamica

Deze paragraaf geeft een overzicht van het effect van drempelverwijdering op (i) de berekende waterstanden in en rondom Boontjes, (ii) de stroomsnelheden in de geul en op de omliggende platen, (iii) de afvoer door Boontjes en (iv) de bodemschuifspanningen ten gevolge van stroming. Inzicht in deze parameters is nodig om in hoofdstuk 6 een uitspraak te kunnen doen over de te verwachten morfologische effecten.

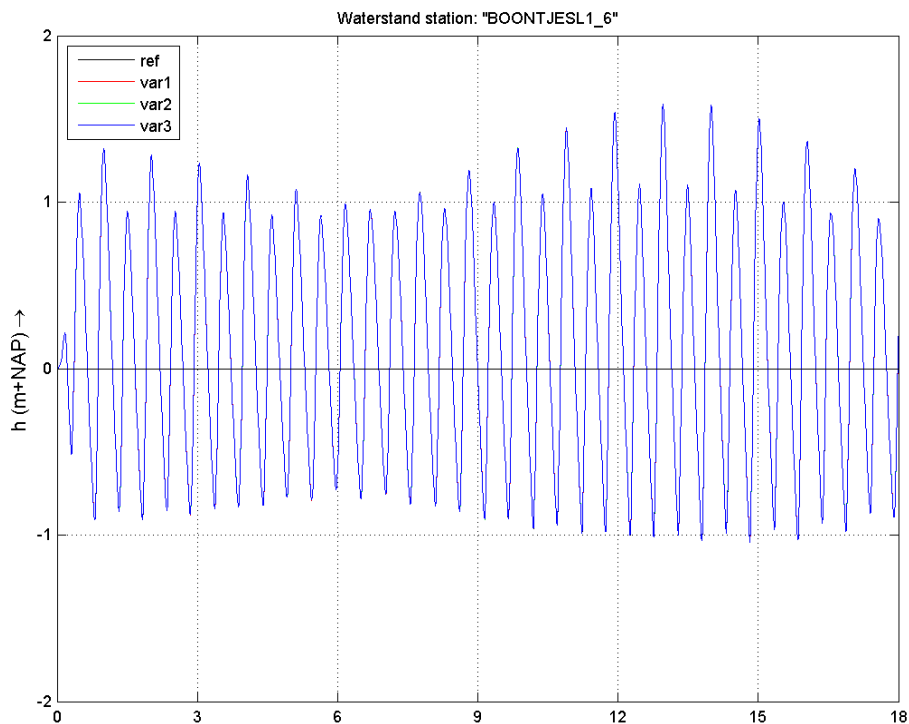
5.2.1 Waterstanden in de geul

Voor alle uitvoerlocaties, varianten en scenario's zijn tijdreeksen geanalyseerd. De locatie van de uitvoerlocaties is getoond in Figuur 5-1.

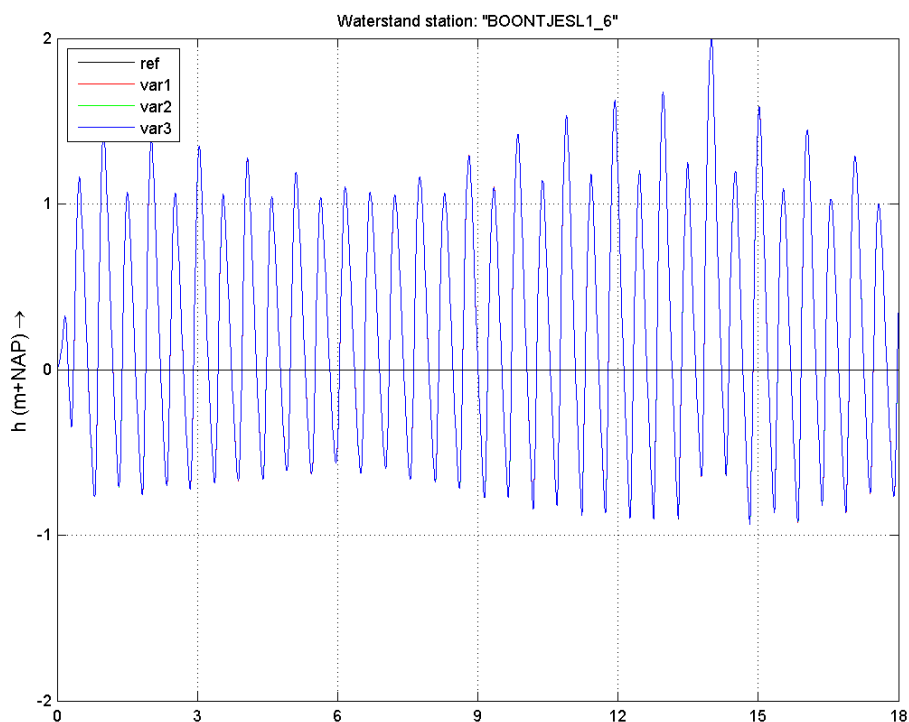


Figuur 5-1 – Uitvoerlocaties in Boontjes, van noord naar zuid Boontjes1_1 tot en met Boontjes1_10. In het deel van Boontjes langs de Afsluitdijk ligt Boontjes1_25

In Figuur 5-2 is een voorbeeld gegeven voor de referentiesituatie (de huidige situatie; dus zonder ingreep) en de drie varianten in de situatie zonder wind bij uitvoerlocatie 6. Dezelfde tijdreeks, maar dan met een windsnelheidsverloop bij zuidwestelijke windrichting, is weergegeven in Figuur 5-3. Figuur 5-3 laat duidelijk zien dat de zuidwestenstorm een opstuwend effect heeft op de waterstanden, zowel bij gemiddelde windsnelheden als jaarlijkse maximale windsnelheden (tussen ongeveer dag 13 en 15). Het effect van de drempelverwijdering op het waterstandsverloop (het waterstandsverschil tussen de varianten en de referentiesituatie) is zodanig klein, dat dit niet zichtbaar is in deze figuren.

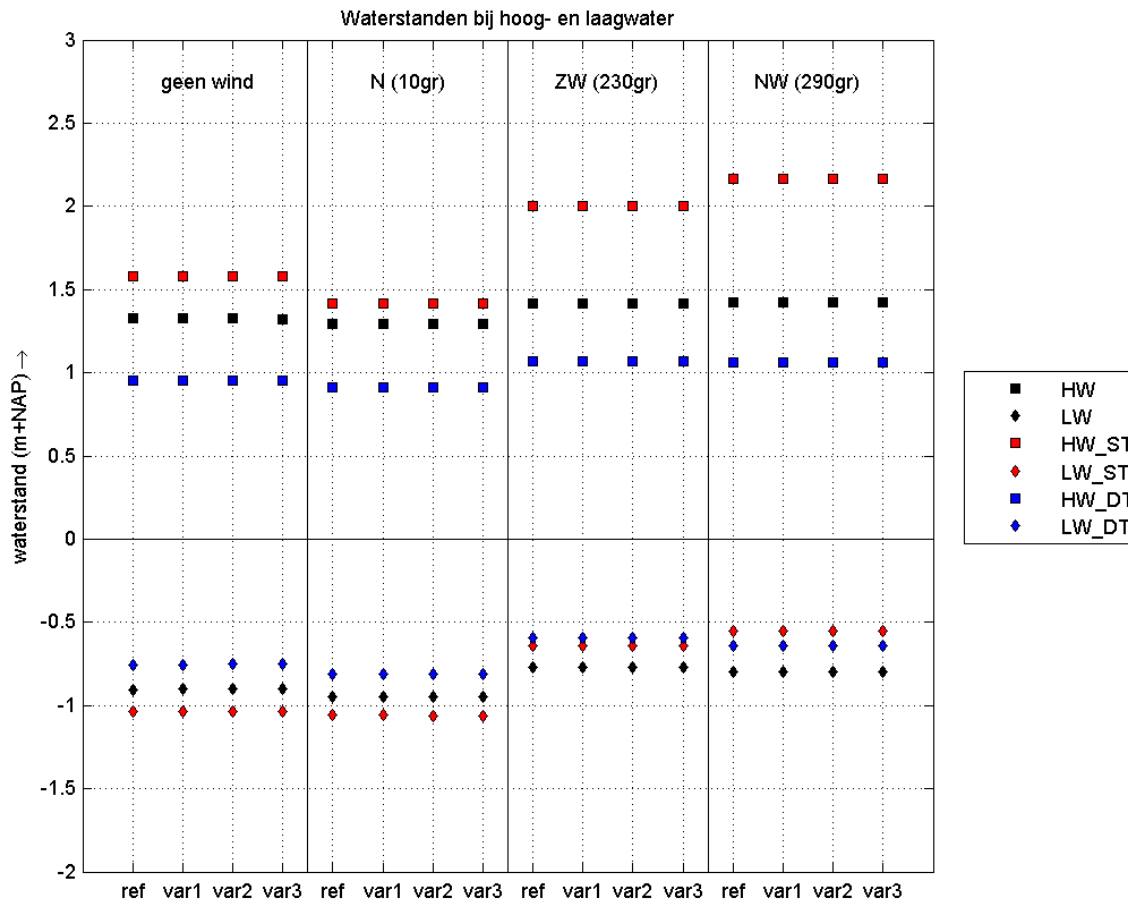


Figuur 5-2 – Waterstandsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de **situatie zonder wind** bij uitvoerlocatie nummer 6.



Figuur 5-3 – Waterstandsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de **situatie met zuidwestenwind** bij uitvoerlocatie nummer 6.

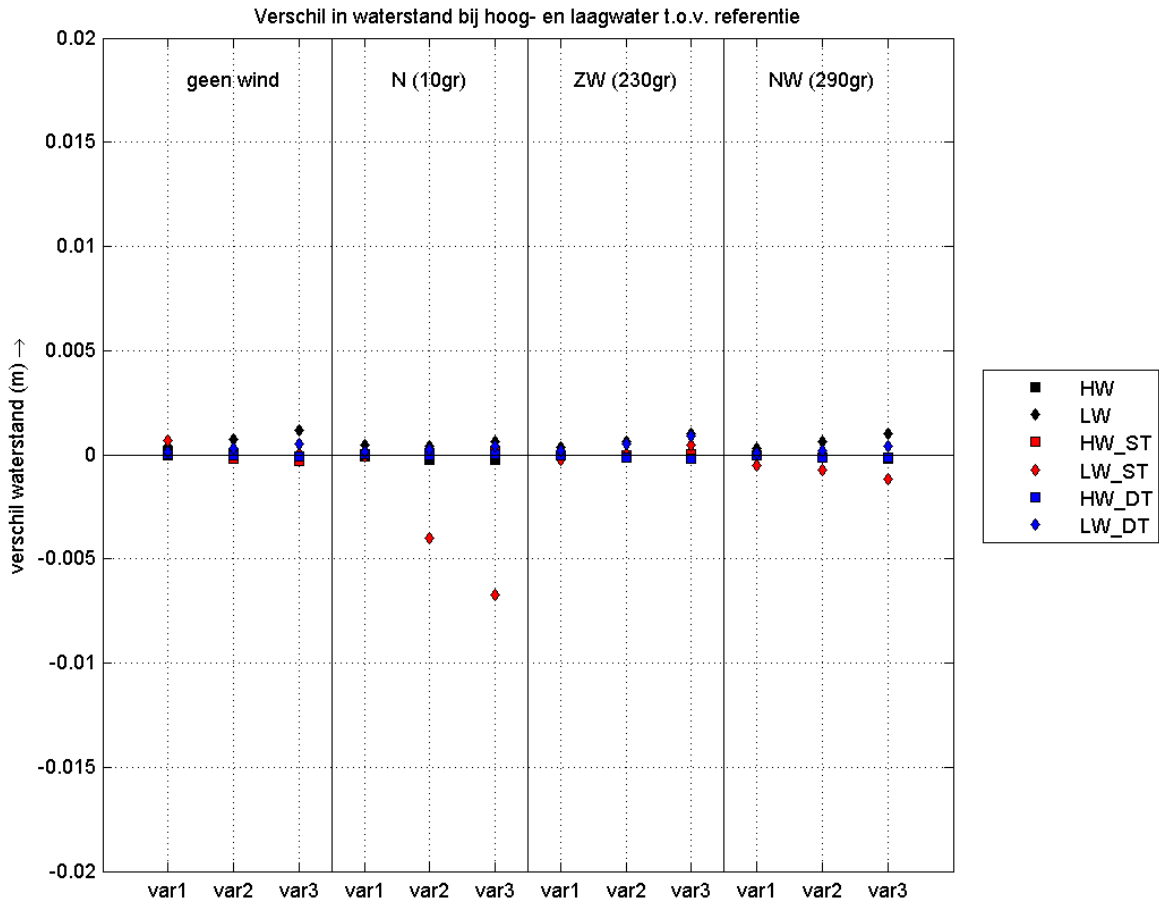
Figuur 5-4 geeft een overzicht van de waterstanden bij uitvoerlocatie 6 (ter plaatse van de drempelverwijdering). Per windrichting zijn de maximale of minimale waterstanden weergegeven voor de referentie en de drie varianten. De verschillende reeksen betreffen hoogwater en laagwater bij gemiddeld getij, doottij en springtij. In deze figuur is duidelijk het verschil te zien tussen de waterstanden bij verschillende windrichtingen. Met name de hoogwaterstanden bij springtij verschillen sterk, omdat deze samenvallen met de storm. Ook uit deze figuur blijkt dat het onderlinge verschil tussen de referentie en de varianten zeer klein is.



Figuur 5-4 – Waterstanden bij verschillende varianten en windrichtingen bij hoogwater (HW) en laagwater (LW) onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doottij (DT). Uitvoerlocatie 6.

Om de geringe verschillen in waterstanden te kwantificeren, zijn op vergelijkbare wijze als in Figuur 5-4 de waterstandsverschillen ten opzichte van de referentiesituatie gepresenteerd. Alle verschillen zijn in orde grootte een millimeter. Alleen in de situatie met laagwater en springtij bij storm vanuit het noorden (10 graden, 16,4 m/s) wordt de waterstand lokaal met ongeveer 7 millimeter verlaagd bij de variant met de maximale dimensies (variant 3). Onder deze extreme condities wordt het water richting het zuiden gestuwd en zorgt bij de meer zuidelijk gelegen uitvoerlocaties 7 tot en met 10 voor een verhoging van de waterstand, met een lokaal maximum van 1,4 cm bij uitvoerlocatie 7 en variant 3.

Conclusie: het effect van de drempelverwijdering op de waterstanden in de geul is niet significant. Tijdens rustig weer is de maximale verandering in de orde van maximaal enkele millimeters. Dit is in de orde van tienden van procenten ten opzichte van de waterstandsfluctuaties. De maximale waterstandsverschillen in de geul treden op tijdens de combinatie van storm en springtij, maar blijven ook dan beperkt tot minder dan 1,5 cm.

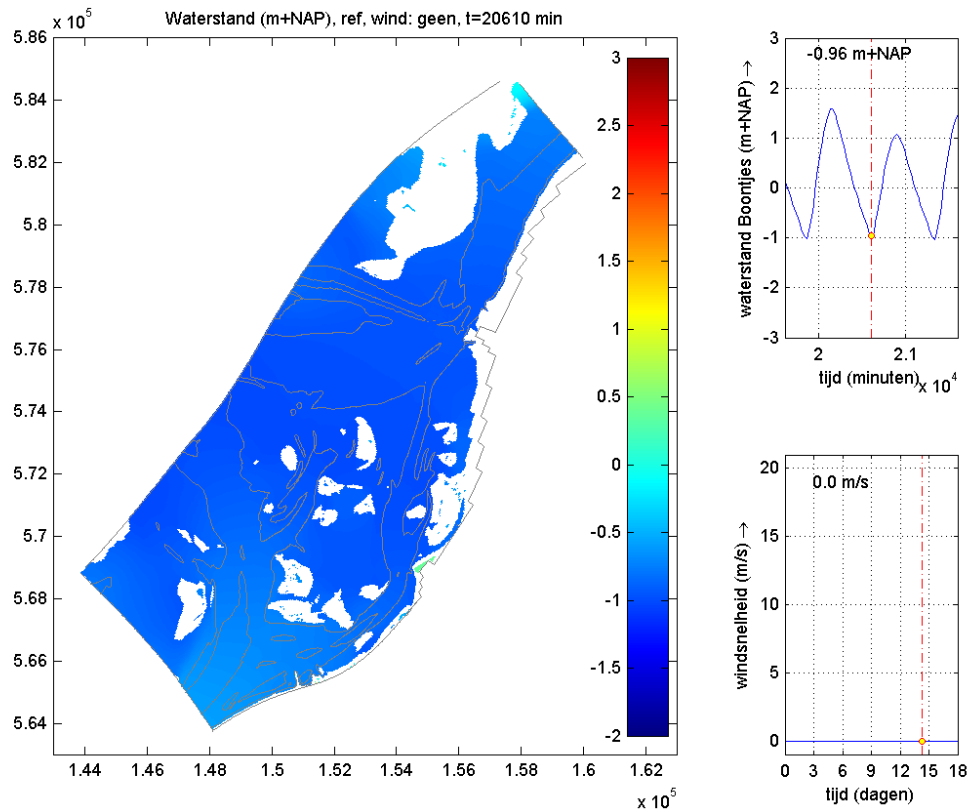


Figuur 5-5 – Waterstandsverschillen ten opzichte van de referentiesituatie bij verschillende varianten en windrichtingen bij hoogwater (HW) en laagwater (LW) onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.

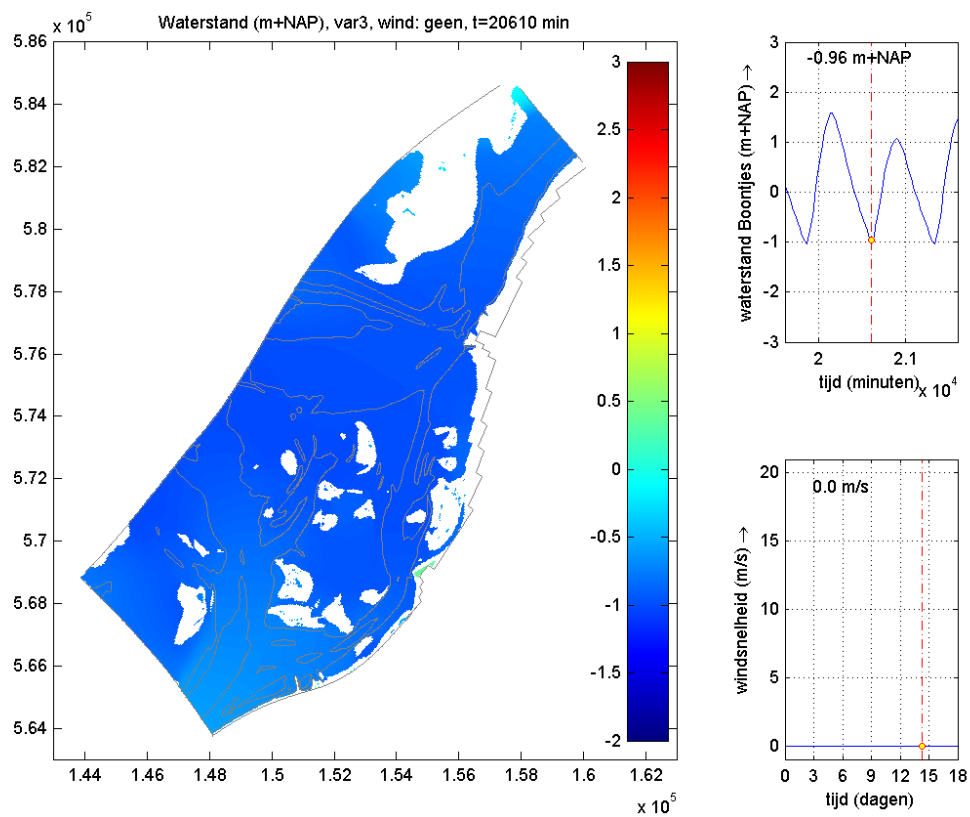
5.2.2 Waterstanden op de platen

De drempelverwijdering heeft ook nauwelijks effect op de waterstanden op de platen. De ver-grote stroomvoerende capaciteit van de geul zorgt ervoor dat (vooral tijdens stormcondities) iets meer uitwisseling van massa kan plaatsvinden tussen de bergende gebieden ten noorden en zuiden van Boontjes. In Figuur 5-6 tot en met Figuur 5-8 is dit getoond voor springtij bij laagwater, zonder wind. Laagwater bij springtij is het enige moment in de getijcyclus waarbij de platen rond Boontjes droogvallen. Figuur 5-6 toont de waterstanden in de referentiesituatie; Figuur 5-7 in de situatie met de maximale variant (variant 3). Het verschil tussen beide is weergegeven in Figuur 5-8. De waterstanden in het noorden nemen licht toe, in het zuiden licht af. De grootte van deze verschillen valt echter overal binnen de whiteband van 1 cm. De droogvalduur van de platen zal door deze minimale veranderingen niet noemenswaardig veranderen. Hetzelfde geldt voor alle andere gesimuleerde randvoorwaarden, waaronder de combinatie van springtij en storm.

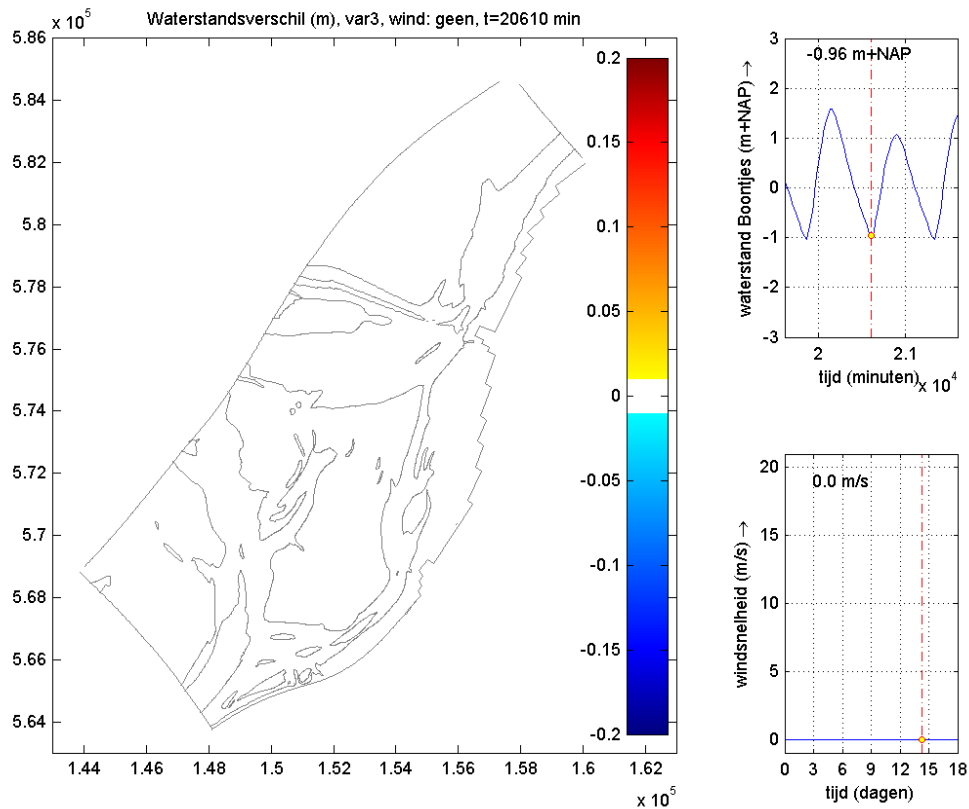
Conclusie: het effect van de drempelverwijdering op de waterstanden op de platen is niet significant, omdat de droogvalduur van de platen niet noemenswaardig verandert door de waterstandsveranderingen. De maximale veranderingen treden op tijdens springtij bij de grootste variant (variant 3). Deze grootste veranderingen blijven (ook in combinatie met storm) overal kleiner dan 1 cm.



Figuur 5-6 – Waterstanden in de **referentiesituatie** tijdens laagwater bij **springtij** zonder wind



Figuur 5-7 – Waterstanden bij **variant 3** tijdens laagwater bij **springtij** zonder wind



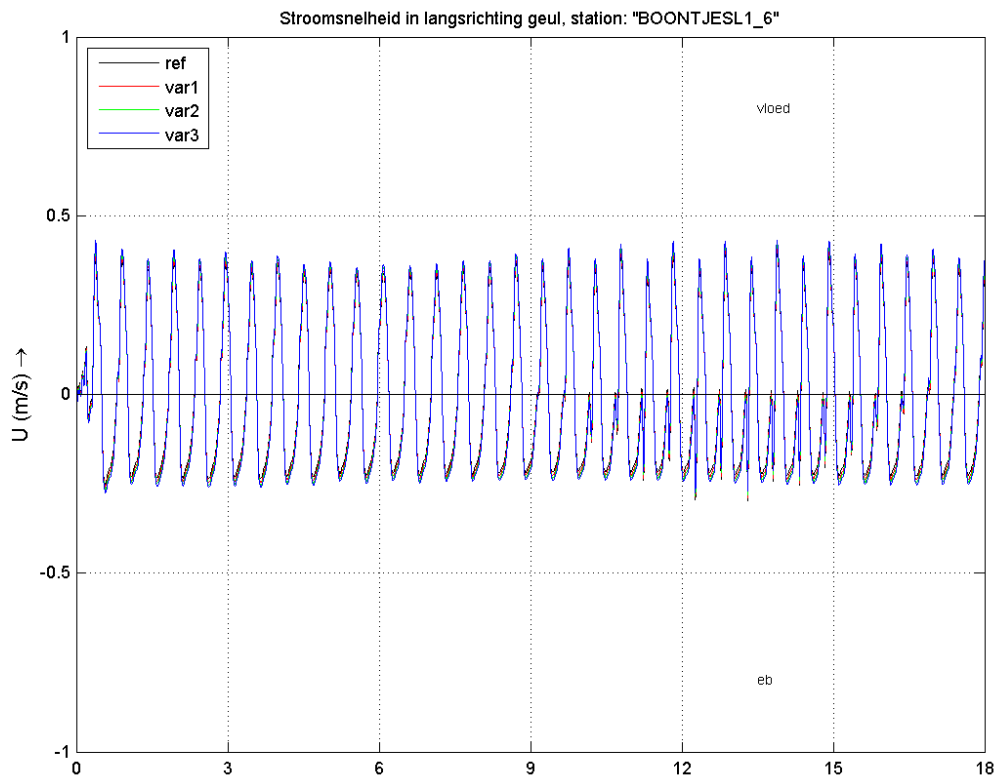
Figuur 5-8 – Waterstandsverschillen tussen variant 3 en de referentiesituatie tijdens laagwater bij **springtij zonder wind**

5.2.3 Stroomsnelheden in de geul

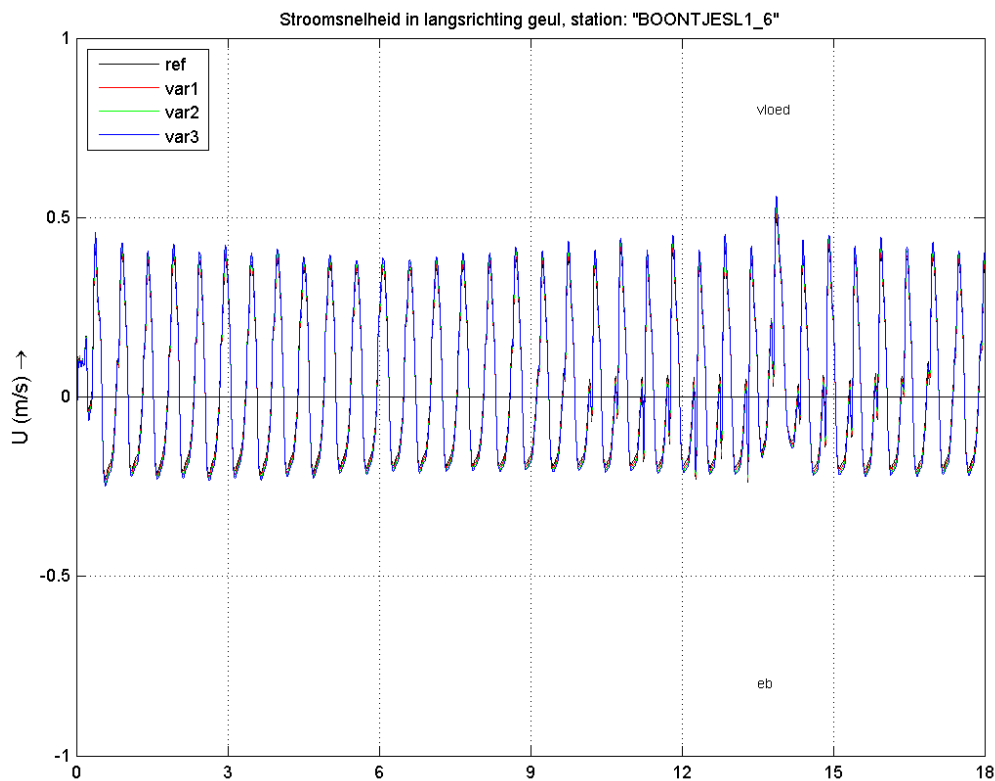
Op dezelfde wijze als voor waterstanden zijn de stroomsnelheden in de geul gepresenteerd. Figuur 5-9 toont het verloop van de stroomsnelheid in de geul bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) in de situatie zonder wind, voor de referentie en de varianten. Positieve snelheden treden op gedurende vloed (stroming van zuid naar noord), negatieve snelheden gedurende eb (stroming van noord naar zuid).

In de figuren is het volgende waar te nemen:

- Stroomsnelheden bij vloed zijn aanzienlijk hoger dan de stroomsnelheden bij eb. De ebperiode duurt aanzienlijk langer dan de vloedperiode.
- In Figuur 5-10 is hetzelfde snelheidsverloop weergegeven voor de situatie met zuidwestenwind. De wind zorgt er duidelijk voor dat ebsnelheden afnemen en vloedsnelheden toenemen. Een windschuifspanning op het wateroppervlak veroorzaakt een toename van de stroomsnelheid in de betreffende windrichting.
- Rond springtij is een discontinuïteit zichtbaar in alle tijdreeksen. Er is sprake van een verhoging van de snelheid rond laagwaterkentering. In de zeegaten is er op dat moment al sprake van vloed. Door het faseverschil tussen de zeegaten Marsdiep en Vlie en het verschil in afstand tot Boontjes, wordt de ebstroom afwisselend sterker via het Hanerak (richting het Vlie) of via Boontjes (via de Doove Balg richting het Marsdiep) afgevoerd. Bij de discontinuïteit treedt een vloedstroom door de Doove Balg tegelijkertijd op met een ebstroom door het Hanerak. Kort daarna dringt de vloedstroom via beide geulen binnen.



Figuur 5-9 – Snelheidsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de **situatie zonder wind** bij uitvoerlocatie nummer 6. Negatieve snelheden gedurende eb (noord naar zuid in de geul), positieve snelheden gedurende vloed (zuid naar noord in de geul)

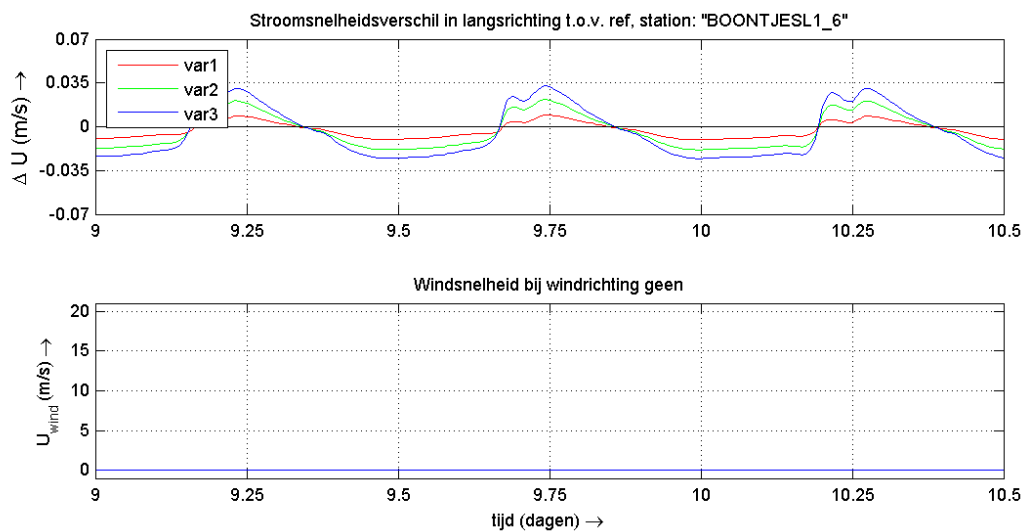


Figuur 5-10 – Snelheidsverloop in de referentiesituatie en voor de varianten in de **situatie met zuidwestenwind** bij uitvoerlocatie nummer 6. Negatieve snelheden gedurende eb (noord naar zuid in de geul), positieve snelheden gedurende vloed (zuid naar noord in de geul)

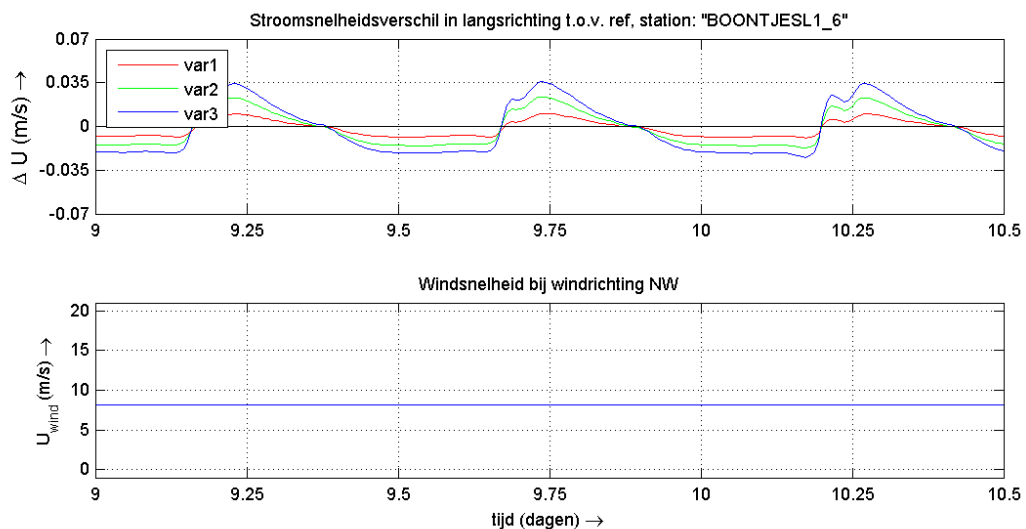
Rond het moment van de maximale stroomsnelheid zijn in bovenstaande figuren verschillen zichtbaar tussen de verschillende varianten en de referentiesituatie. De maximale stroomsnelheden nemen zowel bij eb als bij vloed iets toe ten opzichte van de referentie. Deze toename is groter naarmate de dimensies van de profielverruiming toenemen (maximaal bij variant 3).

In Figuur 5-11 (geen wind) en Figuur 5-12 (zuidwestenwind) is tijdens gemiddeld getij het snelheidsverschil weergegeven ten opzichte van de referentiesituatie. Zowel de ebstroming als de vloedstroming wordt in beide situaties versterkt ten gevolge van de drempelverwijdering.

Bij zuidwestenwind is de versterking van de ebstroming sterker dan in de situatie zonder wind. De verruiming van het dwarsprofiel van de geul zorgt ervoor dat de stroming die tegen de wind in beweegt relatief minder wordt gehinderd. Bij een grotere diepte is de relatieve invloed van de tegenwerkende windschuifspanning namelijk kleiner.



Figuur 5-11 – Verschil in snelheidsverloop (figuur boven) bij uitvoerlocatie 6 ten opzichte van de referentie voor alle varianten. Condities: **geen wind, gemiddeld getij**.

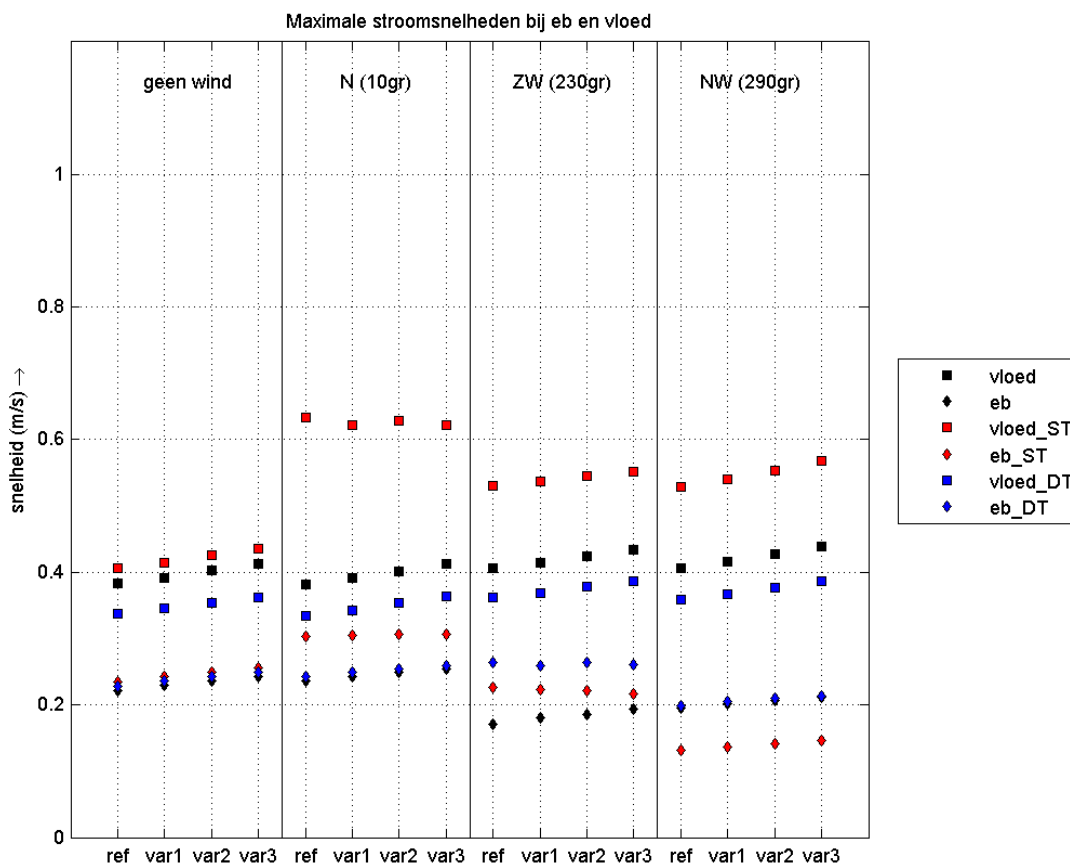


Figuur 5-12 – Verschil in snelheidsverloop (figuur boven) bij uitvoerlocatie 6 ten opzichte van de referentie voor alle varianten. Condities: **zuidwestenwind (230 gr), 8.9 m/s, gemiddeld getij**.

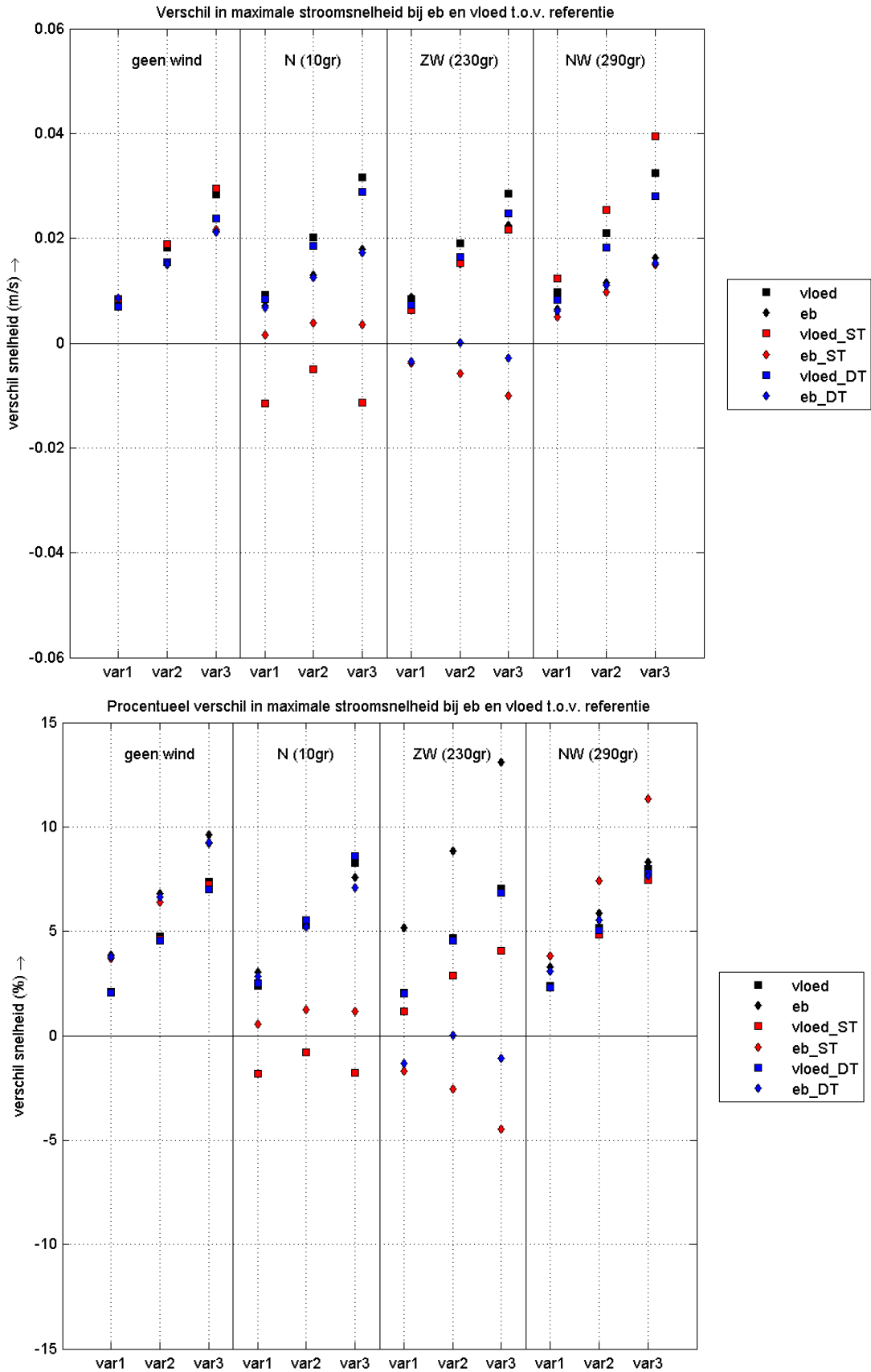
In de figuren Figuur 5-13 en Figuur 5-14 zijn voor uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) de maximale stroomsnelheden weergegeven bij eb en bij vloed. Figuur 5-13 toont de absolute stroomsnelheden; Figuur 5-14 toont de verschillen in stroomsnelheden ten opzichte van de referentiesituatie, zowel absoluut (bovenste figuur) als procentueel (onderste figuur). Er zijn reeksen opgenomen voor gewoon getij, voor springtij en voor doortij. De verschillen tussen de windrichtingen bij springtij zijn groot, omdat springtij samenvalt met de storm.

De stroomsnelheid neemt toe naarmate de dimensies van de geul toenemen. De toename bedraagt ruwweg 0,01 m/s (3%) bij variant 1; 0,02 m/s (5%) bij variant 2 en 0,025 m/s (7%) bij variant 3. Zonder de invloed van de wind is de toename absoluut gezien op verschillende momenten in de getijdencyclus vrijwel constant. Met de invloed van de wind met verschillende snelheden uit verschillende windrichtingen kan de toename zowel versterkt als verzwakt worden. Bij gemiddelde windcondities (doortij en gemiddeld getij) is de invloed van de wind gering. Bij stormcondities (springtij) nemen met name de stroomsnelheden bij vloed in absolute zin sterk toe. Het toenemen van de stroomsnelheden in Boontjes bij een vergroting van het stroomvoerende oppervlak bevestigt de uitspraak uit paragraaf 2.3.1 dat er in Boontjes geen sprake is van een zuiver (hydrodynamisch) wantij.

In enkele gevallen is er een afname van de stroomsnelheid zichtbaar. Bijvoorbeeld bij vloed (springtij) en storm uit noordelijke richting. De stroming, in tegengestelde richting als de windrichting, kent grote stroomsnelheden. De storm versterkt het getijdeverhang over Boontjes, met hoge stroomsnelheden tot gevolg. Bij een profielverruiming blijken deze stroomsnelheden licht (orde 2%) af te nemen.



Figuur 5-13 – Stroomsnelheden bij verschillende varianten en windrichtingen bij uitvoerlocatie 6 bij eb en vloed onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.



Figuur 5-14 – Absolute (boven) en procentuele (onder) stroomsnelheidsverschillen ten opzichte van de referentiesituatie bij uitvoerlocatie 6, bij verschillende varianten en windrichtingen, bij eb en vloed onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en doortij (DT). Uitvoerlocatie 6.

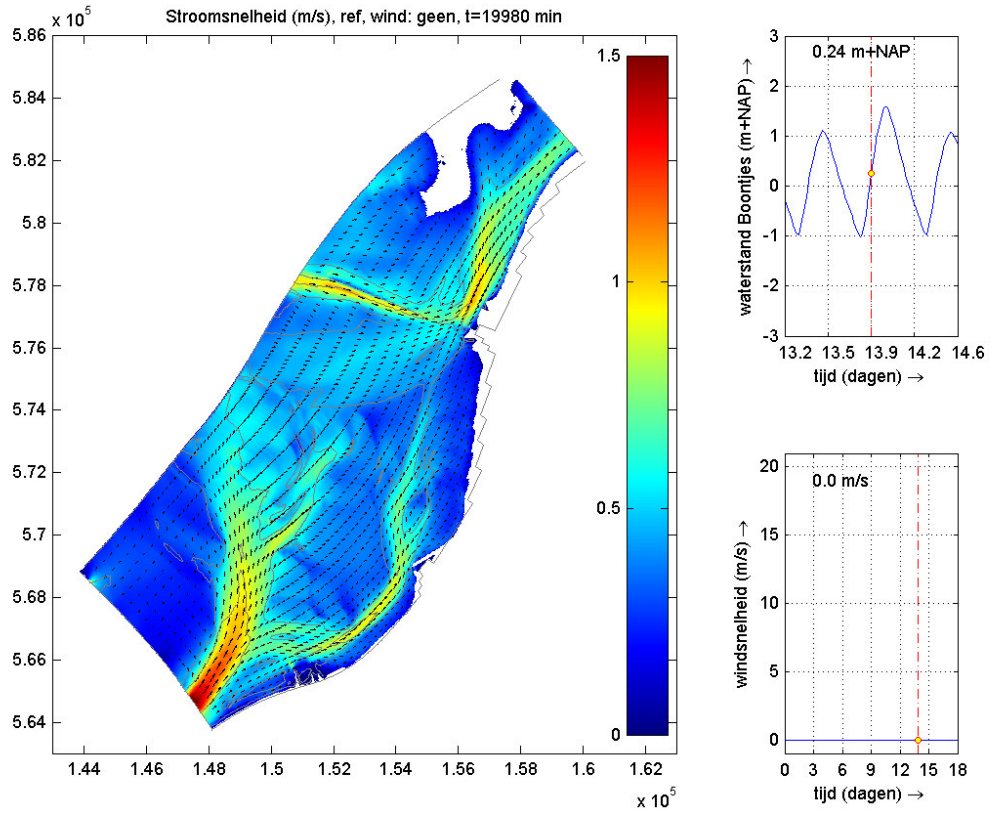
Conclusie: de drempelverwijdering versterkt de stroomsnelheden in de geul onder gemiddelde condities, zowel bij eb als bij vloed, in de orde van 0,01 m/s (3%) bij variant 1 tot maximaal orde 0,025 m/s (7%) bij variant 3. Door wind kan deze toename versterkt of verzwakt worden. Onder stormcondities is er aanzienlijk meer variatie in het effect, maar de grootte van de veranderingen is over het geheel genomen niet significant anders dan onder gemiddelde condities.

5.2.4 Stroomsnelheden op de platen

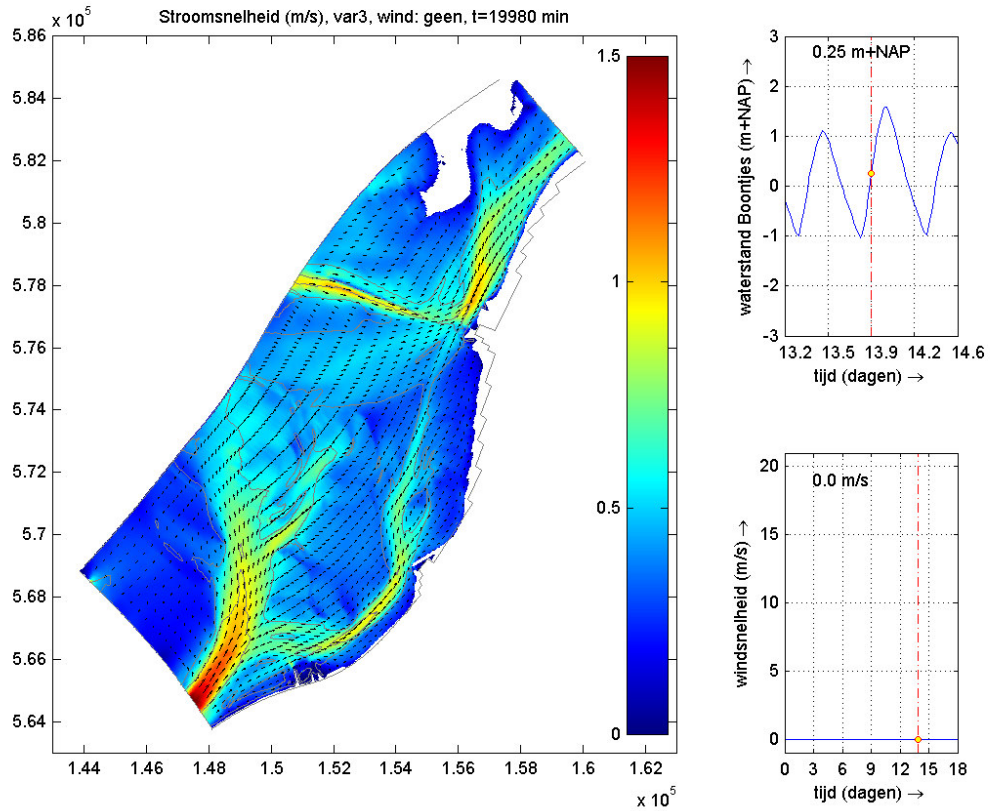
Een significante verandering van de stroomsnelheden op de platen kan leiden tot een verandering in de opbouw- of afbraaksnelheid van het plaatareaal. Figuur 5-15 toont het stroombeeld tijdens vloed bij springtij, in de situatie zonder wind. De stroming beweegt zowel via de Doove Balg en Boontjes als via het Hanerak richting het Kimstergat. Figuur 5-16 toont dezelfde situatie voor de variant met de grootste dimensies (variant 3). De verhoging van de stroomsnelheid in de geul is enigszins zichtbaar, maar op de platen zijn de verschillen alleen zichtbaar in verschilfiguren. Figuur 5-17 tot en met Figuur 5-19 tonen het verschil in stroomsnelheid ten opzichte van de referentie voor respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Voor variant 1 vallen de veranderingen vrijwel geheel binnen de whiteband van 0,01 m/s. Bij variant 2 is een toename van de snelheid zichtbaar in de geul. Op de platen zijn de veranderingen nog steeds kleiner dan 0,01 m/s. Alleen bij variant 3 is een afname van de stroomsnelheden op de platen zichtbaar, in de orde van 0,01 m/s. Daar waar de verruimde geul voor meer uitwisseling tussen de getijdebekkens zorgt, vindt er minder uitwisseling over de platen plaats. Figuur 5-20 toont dezelfde situatie voor variant 3, maar dan voor stormcondities vanuit het zuidwesten. De waterstand is aanzienlijk hoger dan zonder wind. De veranderingen in stroomsnelheid zijn echter niet noemenswaardig anders dan voor de situatie zonder wind.

Om de veranderingen nader te kwantificeren, is in Figuur 5-21 een dwarsdoorsnede van de stroomsnelheden getoond tijdens vloed bij springtij. Het bovenste deel van de figuur toont de absolute verschillen ten opzichte van de referentiesituatie, het onderste deel de procentuele verschillen.

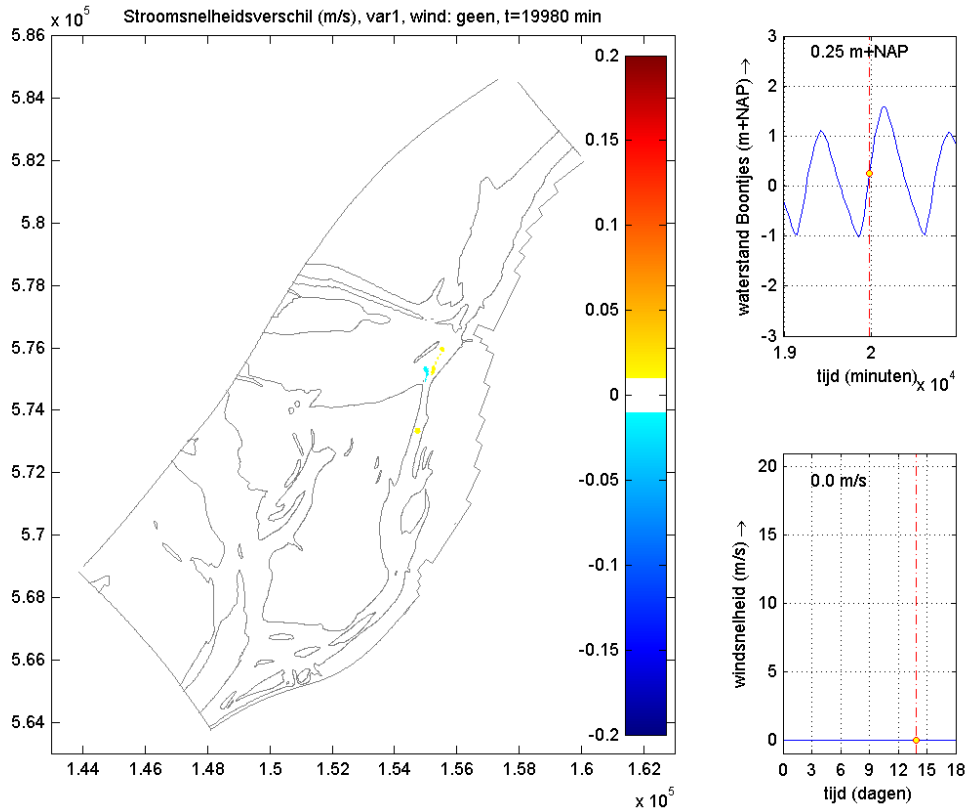
Conclusie: De drempelverwijdering zorgt voor een afname van de stroomsnelheden op de platen, omdat de geul een grotere bijdrage levert aan het transport van water tussen de getijdebekkens aan weerszijden. De mate waarin de stroomsnelheden veranderen hangt af van de grootte van de ingreep: variant 3 laat over een groter oppervlak een effect zien dan variant 1. De afname bedraagt direct naast de geul tijdens vloed bij springtij ongeveer 0,005 m/s (2%) bij variant 1, 0,007 m/s (2,5%) bij variant 2 en 0,012 m/s (4%) bij variant 3. Verder van de geul af neemt de invloed af.



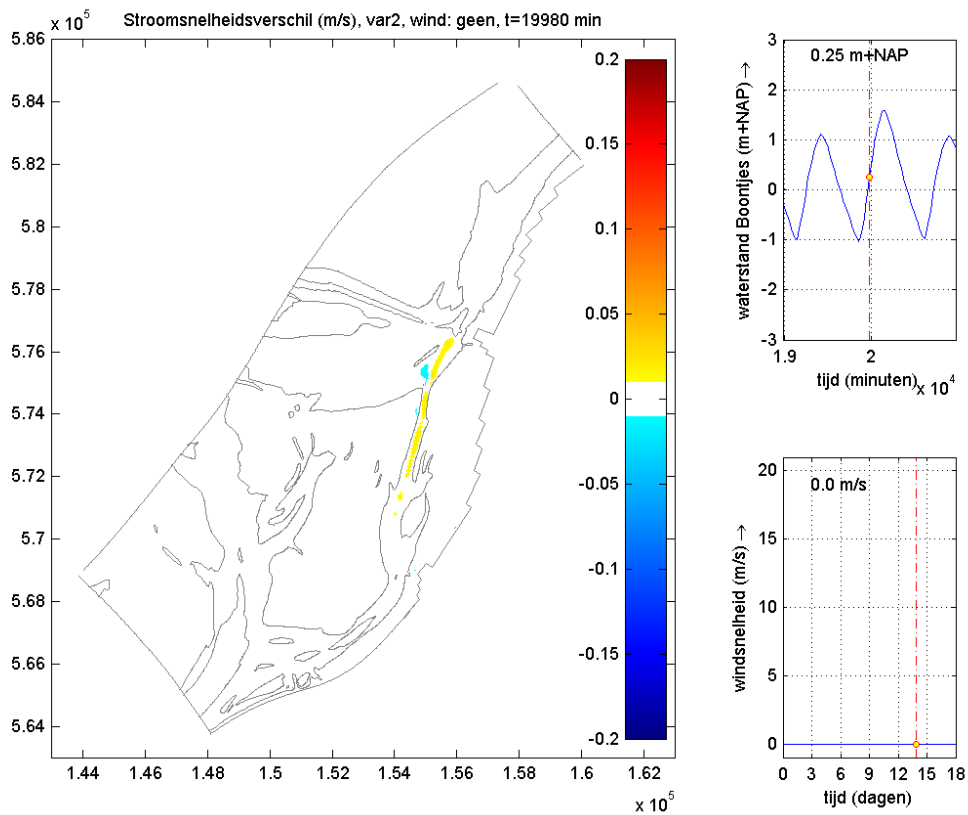
Figuur 5-15 – Stroomsnelheden in de referentiesituatie tijdens springtij zonder wind



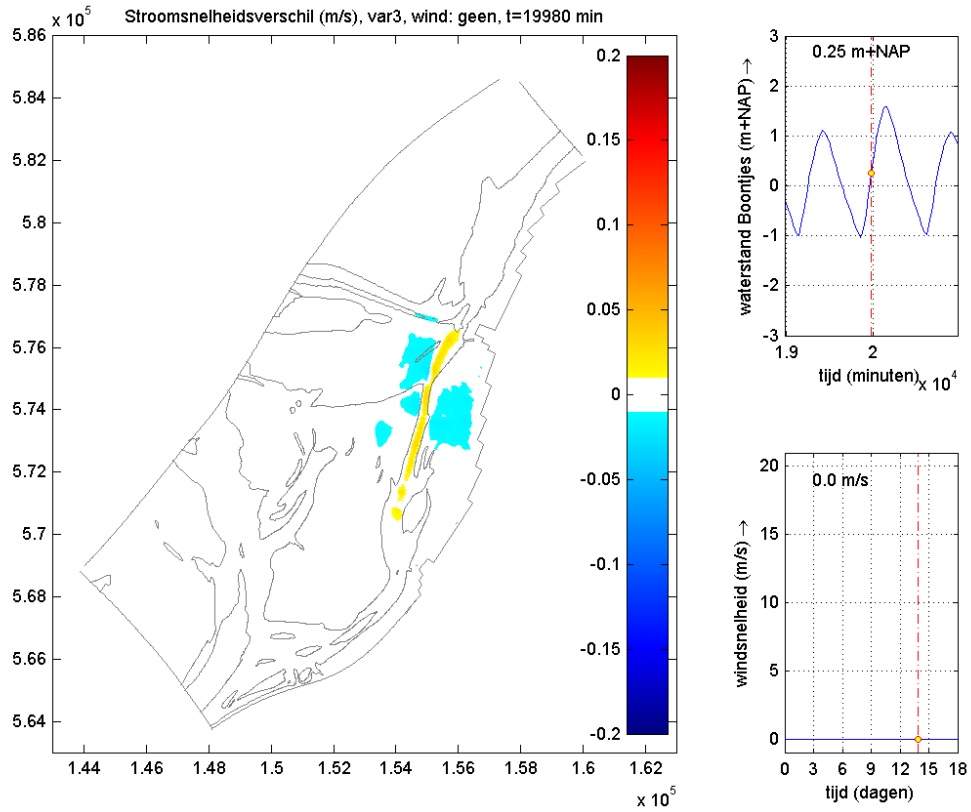
Figuur 5-16 – Stroomsnelheden bij variant 3 tijdens springtij zonder wind



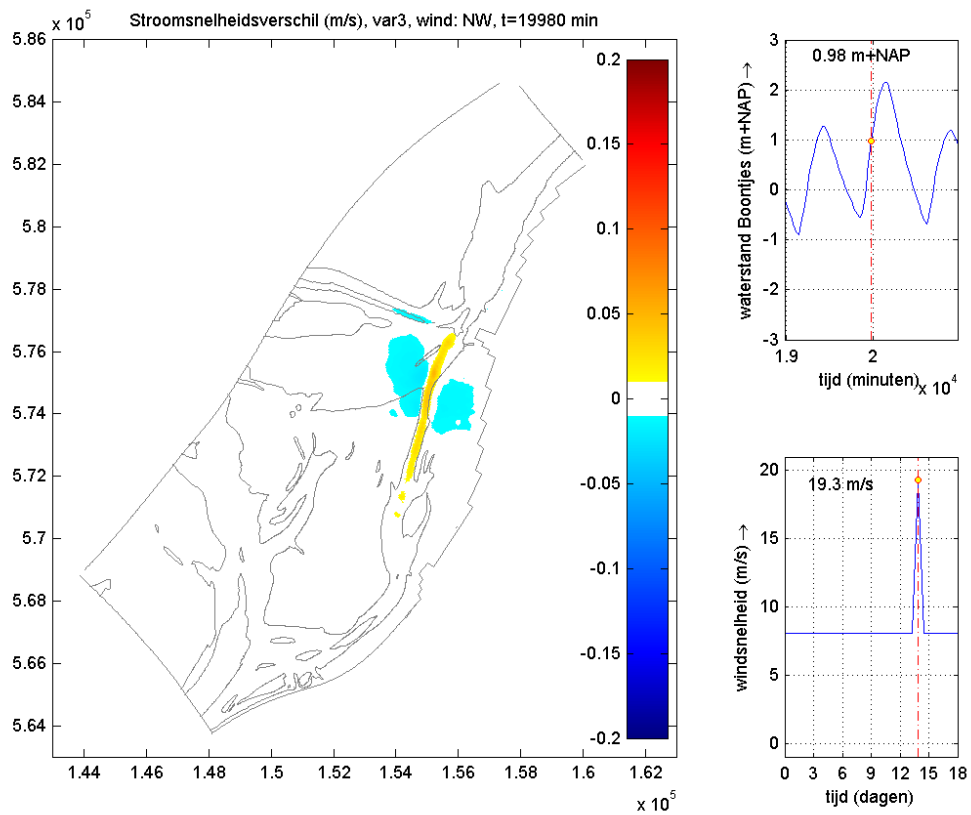
Figuur 5-17 – Snelheidsverschillen tussen **variant 1** en de referentiesituatie tijdens **springtij** zonder wind



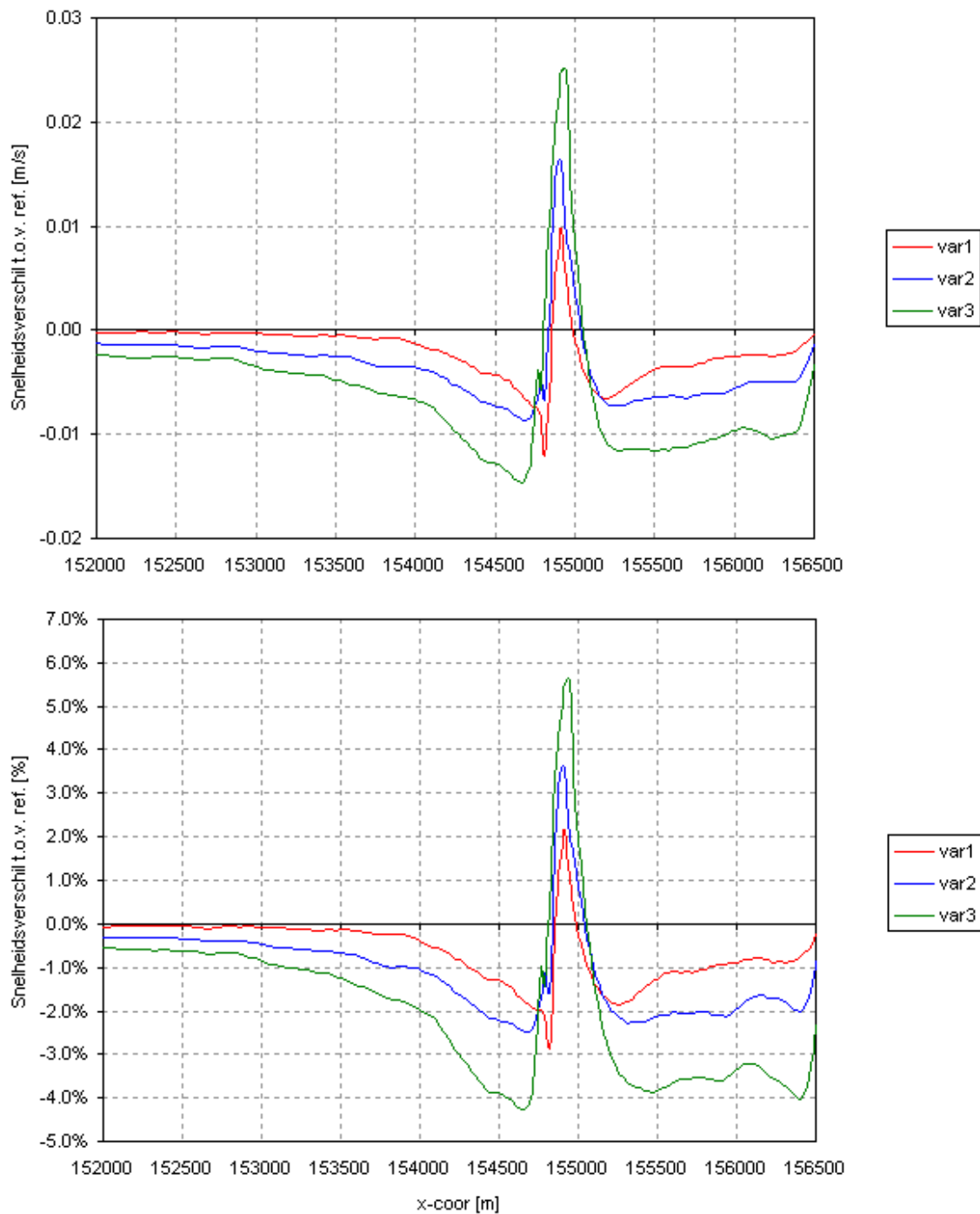
Figuur 5-18 – Snelheidsverschillen tussen **variant 2** en de referentiesituatie tijdens **springtij** zonder wind



Figuur 5-19 – Snelheidsverschillen tussen **variant 3** en de referentiesituatie tijdens **springtij zonder wind**



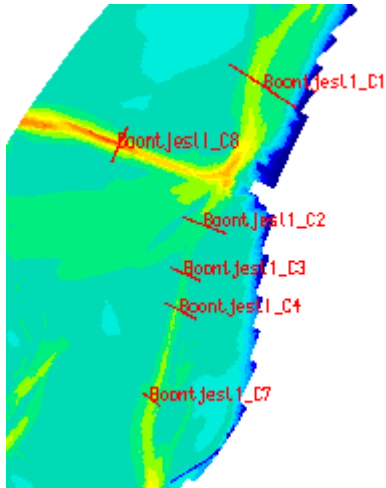
Figuur 5-20 – Snelheidsverschillen tussen **variant 3** en de referentiesituatie tijdens **springtij, noordwesterstorm**



Figuur 5-21 – Absoluut (boven) en procentueel (onder) verschil in stroomsnelheden bij vloed tijdens springtij ten opzichte van de referentiesituatie voor de drie varianten. Doorsnede boven de verwijderde drempel, (roosterlijn m=425 in WAQUA).

5.2.5 Debiet door de geul

Als gevolg van de drempelverwijdering nemen zowel het stroomvoerend oppervlak als de stroomsnelheden in de geul toe. Dit betekent dat de debieten door de geul ook toenemen. Figuur 5-22 toont de locaties van de relevante dwarsdoorsneden waar debieten in de berekeningen zijn weggeschreven. In deze figuur is zichtbaar dat de meetraaien alleen de debieten in de geul zelf weergeven. Debietveranderingen op de platen op wat grotere afstand van de geul zijn buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5-22 – Locatie dwarsdoorsneden

Figuur 5-23 geeft voor de referentie en de varianten de debieten over dwarsdoorsnede C3. Ook in deze figuur is zichtbaar dat er sprake is van een duidelijk asymmetrische getijbeweging door Boontjes. De maximale ebdebieten (positieve waarde) zijn kleiner dan de maximale vloeddebieten (negatieve waarde). De lengte van de ebperiode is echter groter dan de lengte van de vloedperiode. De snelheidsverandering bij hoogwaterkentering is ook aanzienlijk groter dan bij laagwaterkentering.

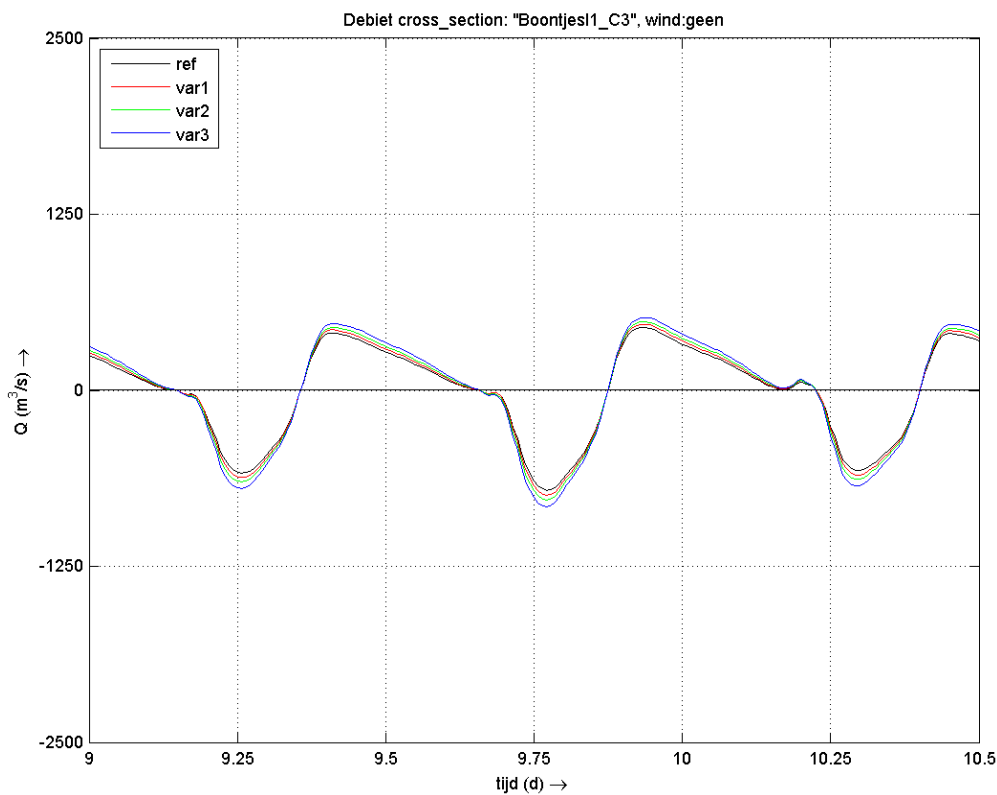
Figuur 5-24 geeft de verschillen in het debiet door de geul tussen de varianten en de referentie. Zowel de maximale grootte van het debiet bij eb als bij vloed neemt toe. De grootte van de verandering neemt toe naarmate de dimensies van de geul groter worden. Dit is het logische gevolg van de combinatie van de eerder gepresenteerde toename van de snelheden en de toename van het dwarsprofiel. Zoals gezegd lopen de doorsneden slechts gedeeltelijk door op de platen. De afname in snelheden op de platen wordt daarom maar gedeeltelijk meegenomen. Vanwege de geringe diepte op de platen is het verschil in debiet op de platen aanzienlijk kleiner dan het verschil in snelheid, vergelijk Figuur 5-25 met Figuur 5-21.

In overeenstemming met de presentatie van de waterstanden en stroomsnelheden zijn ook de debieten door de geul gepresenteerd in Figuur 5-26 (absoluut) en Figuur 5-27 (absolute verschil en procentuele verschil). De debieten in de geul nemen consequent toe ten opzichte van referentie, ongeacht de variant, windrichting of het moment in de getijcyclus. In absolute zin is de toename van het vloeddebiet in alle situaties groter dan de toename van het ebdebiet. Procentueel gezien is er geen duidelijk verschil tussen de toename van de eb- en vloeddebieten te zien. Uit Figuur 5-23 blijkt dat ook de lengte van de eb- en vloedperiode ongewijzigd blijven. Er treedt dus geen significante verandering in de getijasymmetrie op. De procentuele toename van het ebdebiet bij springtij en zuidwesterstorm is aanmerkelijk groter dan in alle andere situaties.

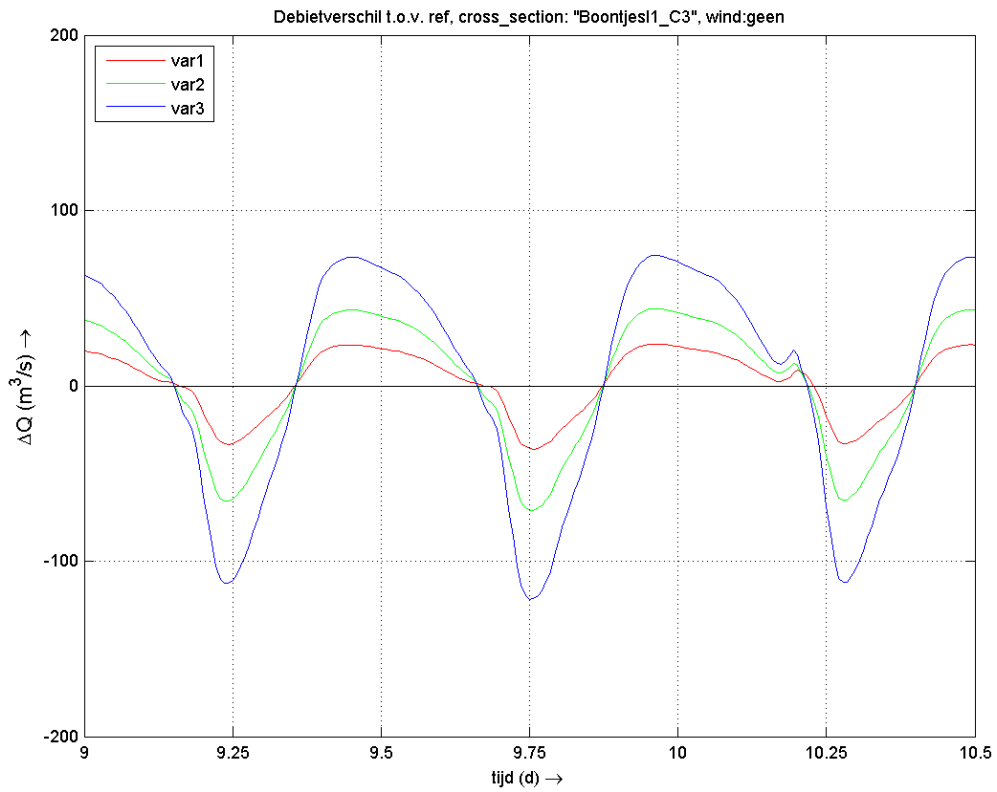
Dit wordt puur veroorzaakt doordat dit debiet erg klein is in de referentiesituatie, zie Figuur 5-26. De tegenwerkende kracht door de grote windschuifspanning uit zuidwestelijke richting wordt relatief gezien kleiner als de diepte toeneemt.

De debietveranderingen in de geul Boontjes ten opzichte van de referentiesituatie tijdens gemiddelde windcondities bedragen bij vloed circa 35 m³/s (5%), 70 m³/s (10%) en 120 m³/s (16%) bij respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Bij eb is dit respectievelijk circa 20 m³/s (5%), 40 m³/s (10%) en 65 m³/s (16%).

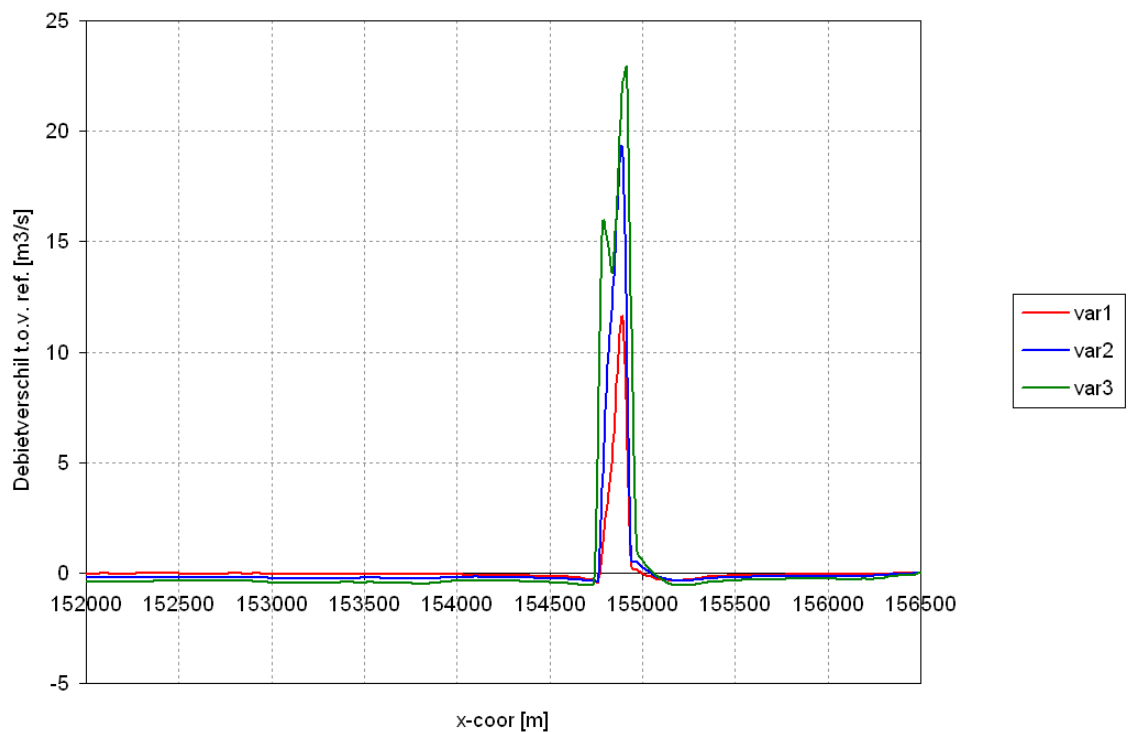
Conclusie: de debieten door de geul nemen zowel bij eb als bij vloed toe. De toename bedraagt bij rustig weer bij vloed circa 35 m³/s (5%), 70 m³/s (10%) en 120 m³/s (16%) bij respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Bij eb is dit respectievelijk circa 20 m³/s (5%), 40 m³/s (10%) en 65 m³/s (16%). Er treedt geen significante verandering in de getijsymmetrie op.



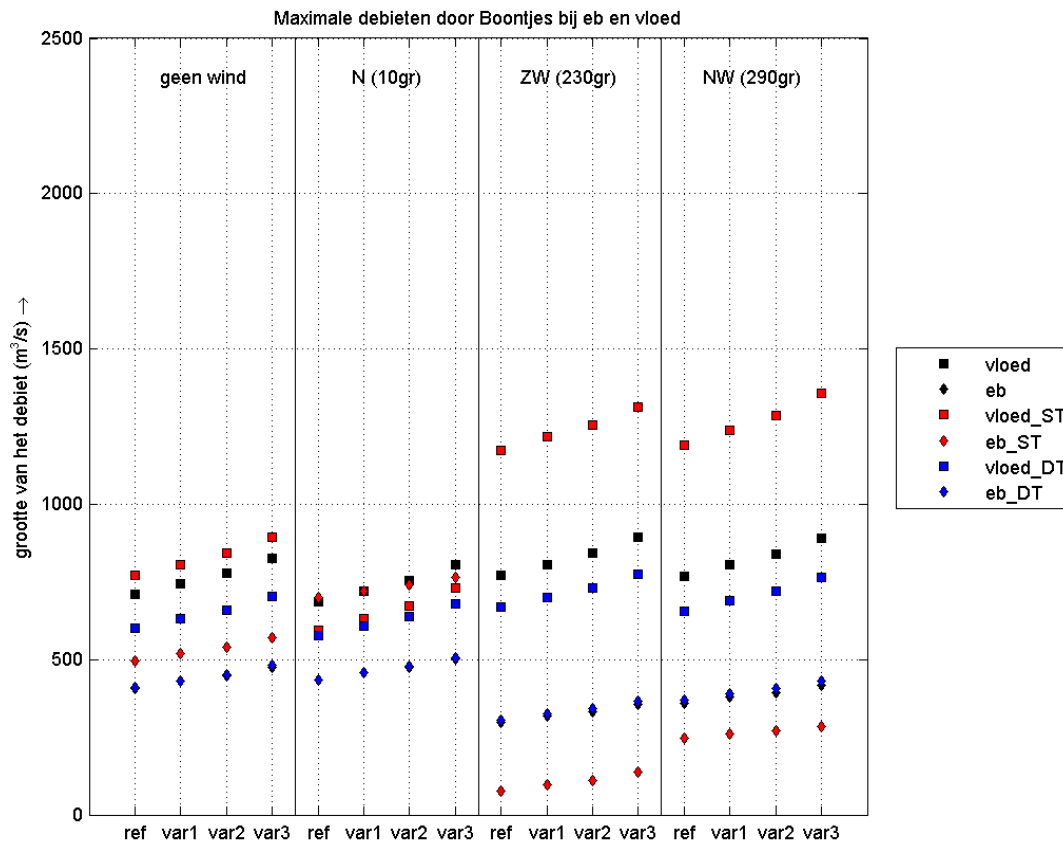
Figuur 5-23 – Debiet door Boontjes, doorsnede C3, **gemiddeld getij zonder wind**. Positief: ebdebiet, negatief: vloeddebiet



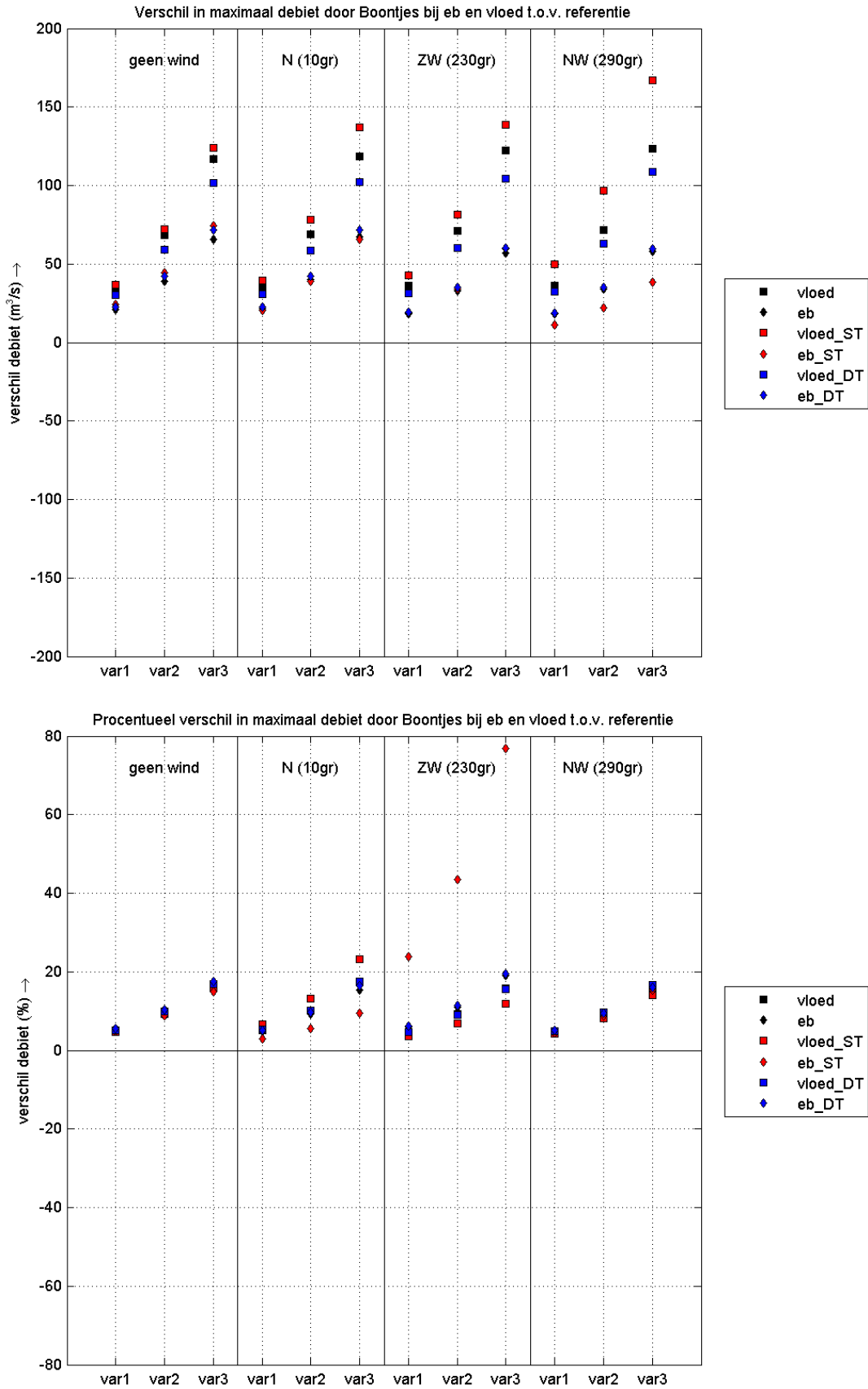
Figuur 5-24 – Verschil in debiet door Boontjes, doorsnede C3, **gemiddeld getij zonder wind**. Positief: toename debiet stromend van noord naar zuid.



Figuur 5-25 – Debietverschil per roostercel in WAQUA t.o.v. referentie voor de drie varianten. Situatie: vloed tijdens springtij.



Figuur 5-26 – Grootte van het debiet bij verschillende varianten en windrichtingen bij eb en vloed, onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en bij doottij (DT). Positief: ebdebiet, negatief: vloeddebiet. Doorsnede C3.



Figuur 5-27 – Vershil in grootte van het debiet ten opzichte van de referentie bij verschillende varianten en windrichtingen bij eb en vloed, onder gemiddelde condities, bij springtij (ST) en bij doottij (DT). Positief: toename debiet stromend van noord naar zuid. Doorsnede C3.

5.2.6 Bodemschuifspanningen door stroming

Op basis van de WAQUA-resultaten voor de diepte, de stroomsnelheid en de bodemruwheid kunnen bodemschuifspanningen ten gevolge van de stroming bepaald worden. In paragraaf 5.3.2 zijn de bodemschuifspanningen ten gevolge van de golfwerking besproken. Golfwerking en stroming hebben een verschillend effect op de morfologische ontwikkeling van een intergetijdegebied. Omdat beide componenten van de bodemschuifspanning op onderscheiden plaatsen dominant zijn en niet op hetzelfde moment hun maximale waarde hebben, zijn de componenten apart behandeld. In het vervolg van deze paragraaf wordt de bodemschuifspanning ten gevolge van stroming kortweg aangeduid als bodemschuifspanning.

Onder de aanname van uniforme stroming is een logaritmischn snelheidsprofiel geldig:

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (5.1)$$

Hierin is u_* de schuifspanningssnelheid, κ de Von Karman constante ($\approx 0,4$), z de afstand vanaf de bodem en z_0 een ruwheidshoogte. Integreren over de diepte d geeft de dieptegemiddelde stroomsnelheid \bar{u} :

$$\bar{u} = \frac{1}{d} \int_0^d \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) dz. \quad (5.2)$$

Integreren leidt tot een uitdrukking voor de schuifspanningssnelheid:

$$u_* = \frac{\bar{u}\kappa}{\ln(d/z_0) - 1}, \quad (5.3)$$

waarin de ruwheidshoogte wordt gegeven door:

$$\begin{aligned} z_0 &\approx \frac{k_s}{30} & \frac{k_s u_*}{\nu} &\gg 1 \\ z_0 &\approx 0.135 \frac{\nu}{u_*} & \frac{k_s u_*}{\nu} &\ll 1 \end{aligned} \quad (5.4)$$

De uniforme ruwheid in WAQUA bedraagt $n = 0,026 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$ (Manning formulering). Omrekenen van deze Manning ruwheidscoëfficiënt n naar een Nikuradse ruwheidshoogte k_s geeft volgens de relatie zoals beschreven in Marriott, M.J. and Jayaratne, R. (2010) een ruwheidshoogte $k_s \approx 0,01 \text{ m}$.

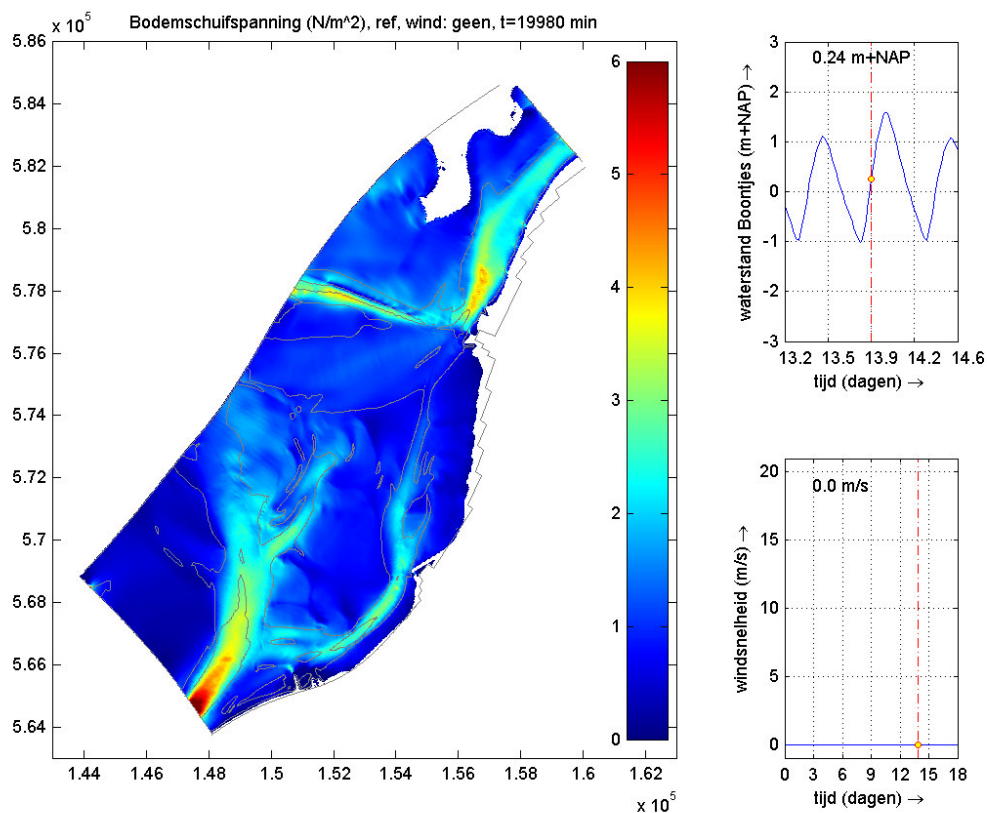
De bodemschuifspanning volgt uit:

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (5.5)$$

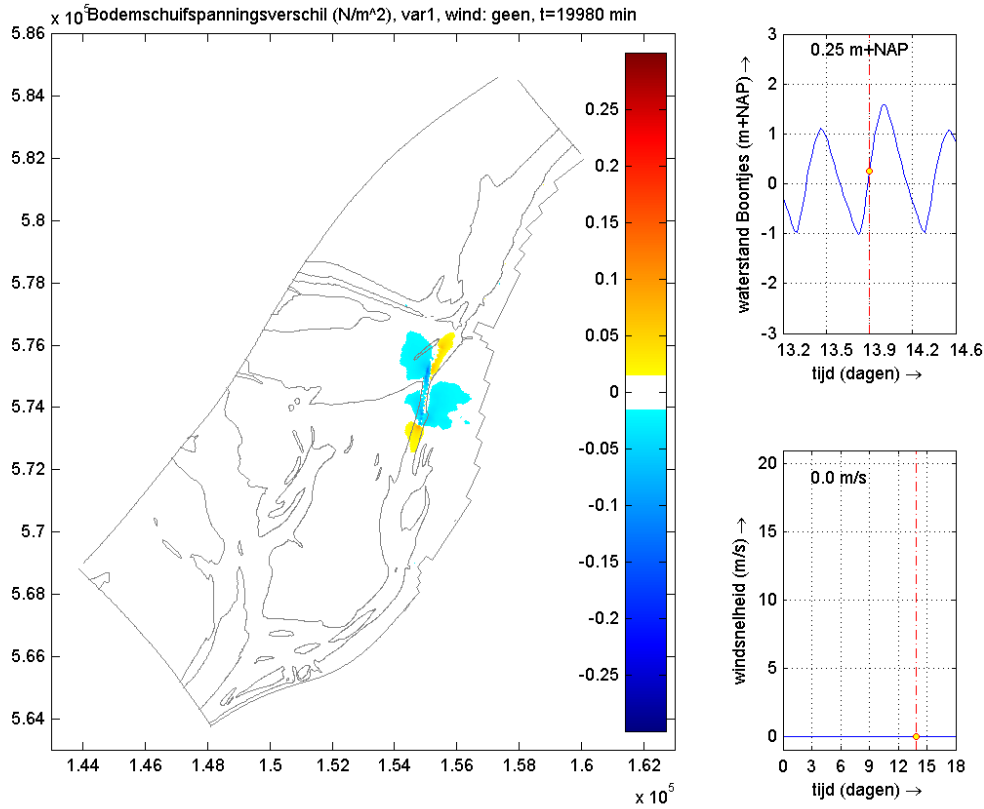
Overeenkomstig met de presentatie van de modelresultaten voor de stroomsnelheid, worden in Figuur 5-28 de bodemschuifspanningen bij vloed tijdens springtij zonder wind weergegeven voor de referentiesituatie. De figuren Figuur 5-29 tot en met Figuur 5-31 geven het verschil voor de varianten 1, 2 en 3 ten opzichte van deze referentiesituatie. De whiteband van 1 N/m^2 bedraagt in overeenstemming met de stroomsnelheden ongeveer 1% van de absolute waarde van de bodemschuifspanningen rond Boontjes.

Daar waar de diepte niet verandert, volgen de verschillen in schuifspanning de snelheidsverschillen. Dit geldt op de platen en in de ongewijzigde delen van de geulen. De Figuur 5-29 tot en met Figuur 5-31 zijn daarom rechtstreeks gerelateerd aan respectievelijk Figuur 5-17 tot en met Figuur 5-19. Het verband tussen schuifspanning en snelheid is kwadratisch, zie de vergelijkingen (5.5) en (5.3). De bodemschuifspanningen op de platen nemen om deze reden af. Dit effect (zowel qua grootte als qua ruimtelijke omvang) wordt sterker bij toenemende dimensies van de ingreep.

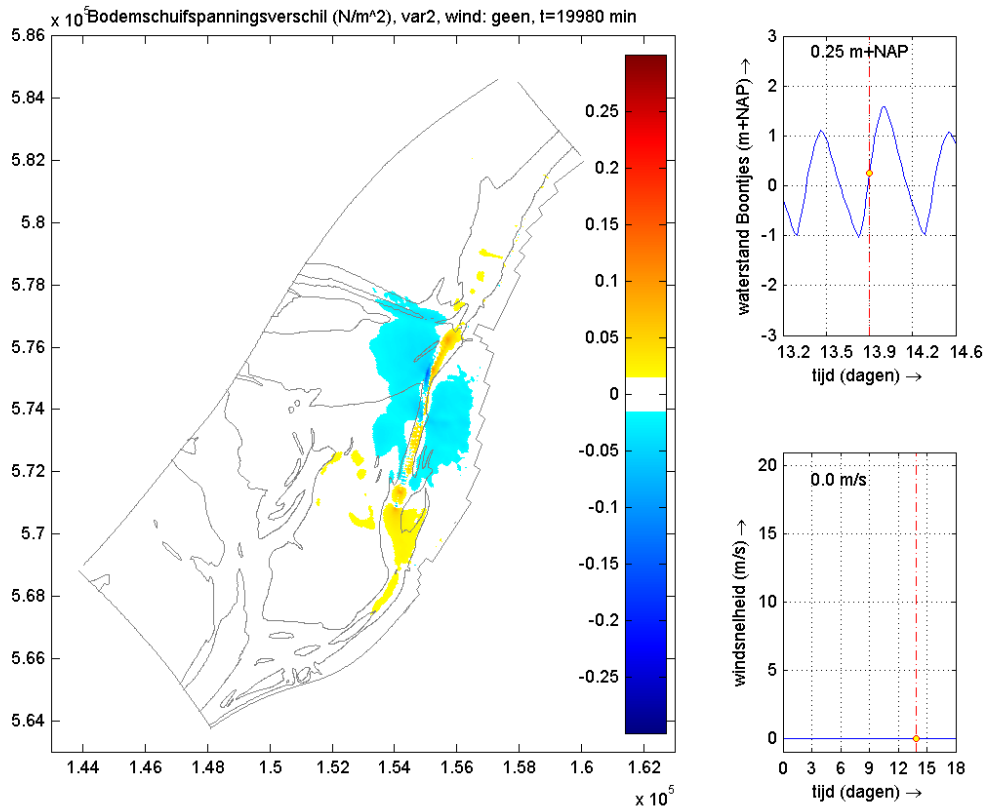
Ter plaatse van de drempelverwijdering speelt ook de veranderde diepte een rol. De grotere diepte zorgt voor een relatief lagere bodemschuifspanning, zie vergelijking (5.3). De verandering van de bodemschuifspanning in Boontjes wordt daarom vergroot door de toenemende stroomsnelheid en verlaagd door de toenemende diepte. In Figuur 5-29 is zichtbaar dat de schuifspanningen ter plaatse van de drempelverlaging afnemen. Het diepte-effect is bij variant 1 blijkbaar dominant. Aan weerszijden van de drempelverlaging nemen de bodemschuifspanningen toe door de toenemende stroomsnelheid. Bij de varianten 2 en 3 (Figuur 5-30 en Figuur 5-31) domineert overwegend het effect van de toenemende stroomsnelheden door de geul. De bodemschuifspanningen nemen bij deze varianten ook boven de verlaagde drempel toe, ondanks de toegenomen diepte.



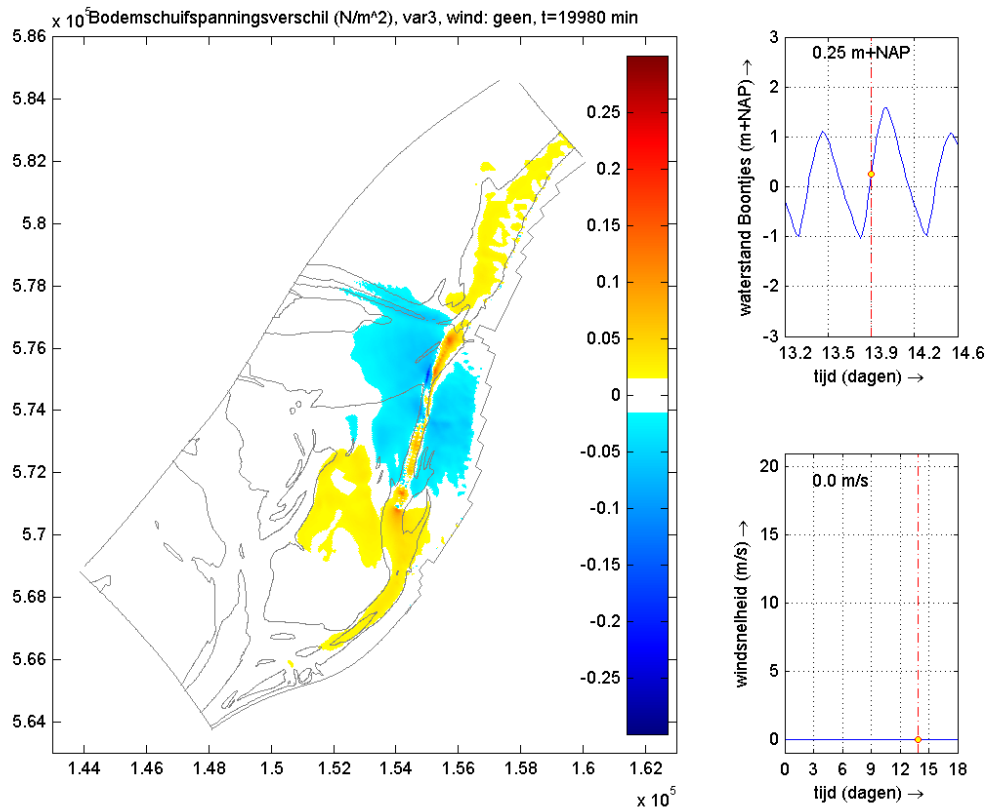
Figuur 5-28 – Bodemschuifspanningen door stroming in de referentiesituatie bij springtij zonder wind



Figuur 5-29 – Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in **variant 1** ten opzichte van de referentiesituatie bij **springtij zonder wind**



Figuur 5-30 - Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in **variant 2** ten opzichte van de referentiesituatie bij **springtij zonder wind**



Figuur 5-31 - Verschil in bodemschuifspanningen door stroming in **variant 3** ten opzichte van de referentiesituatie bij **springtij zonder wind**

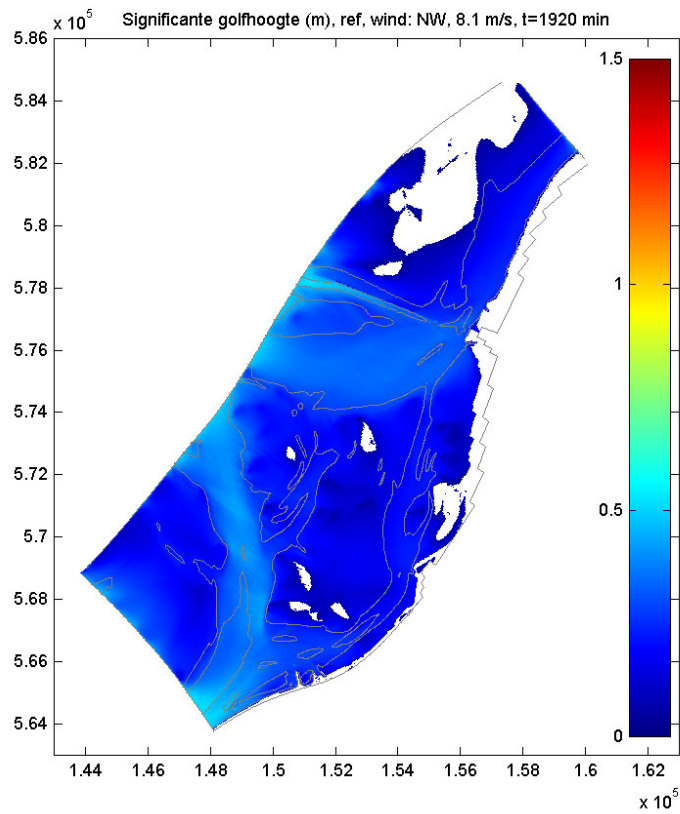
Conclusie: als gevolg van de stroomsnelheidsveranderingen nemen de bodemschuifspanningen door stroming af op de platen en toe in de geul. De grootte en de ruimtelijke dimensies van de veranderingen nemen toe naarmate de dimensies van de ingreep toenemen. Door de profielverruiming nemen de debieten door Boontjes en de daarbij horende bodemschuifspanningen in de geul toe. Alleen in variant 1 nemen de bodemschuifspanningen lokaal, ter plaatse van de verlaagde drempel, af. Op deze locatie is het effect van de toegenomen diepte dominant ten opzichte van het effect van een toegenomen stroomsnelheid. Aan weerszijden van de verlaagde drempel (zie Figuur 3-1) nemen ook in variant 1 de bodemschuifspanningen toe.

5.3 Golfcondities

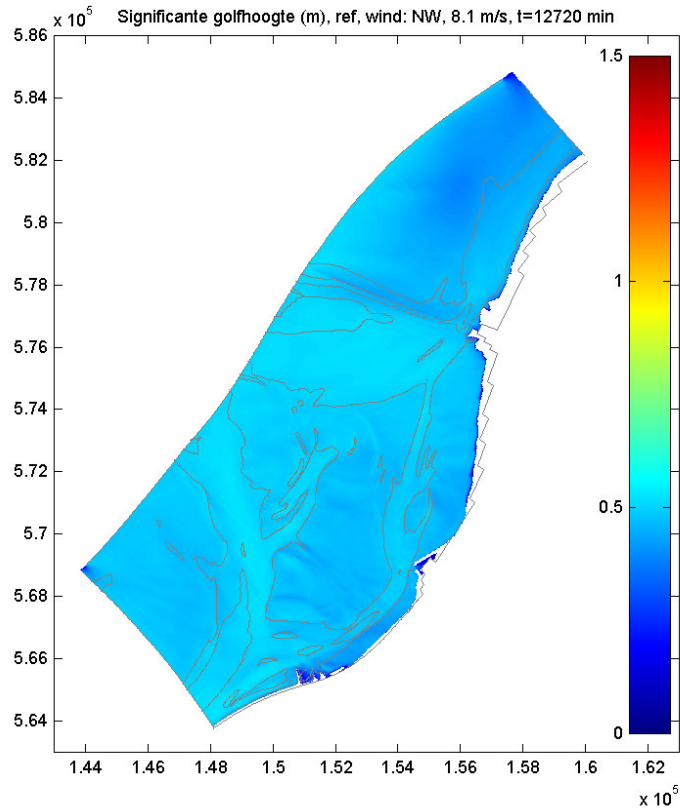
Zoals vermeld in de inleiding zijn voor de golfcondities met name de situaties met hogere windsnelheden van belang. Tijdens stormcondities vindt de grootste afbraak van de platen plaats, en dit vooral ten gevolge van sterke golfbelasting. In deze paragraaf zijn resultaten gepresenteerd voor de significante golfhoogte en voor de bodemschuifspanningen tegen gevolge van de golfwerking.

5.3.1 Significante golfhoogte

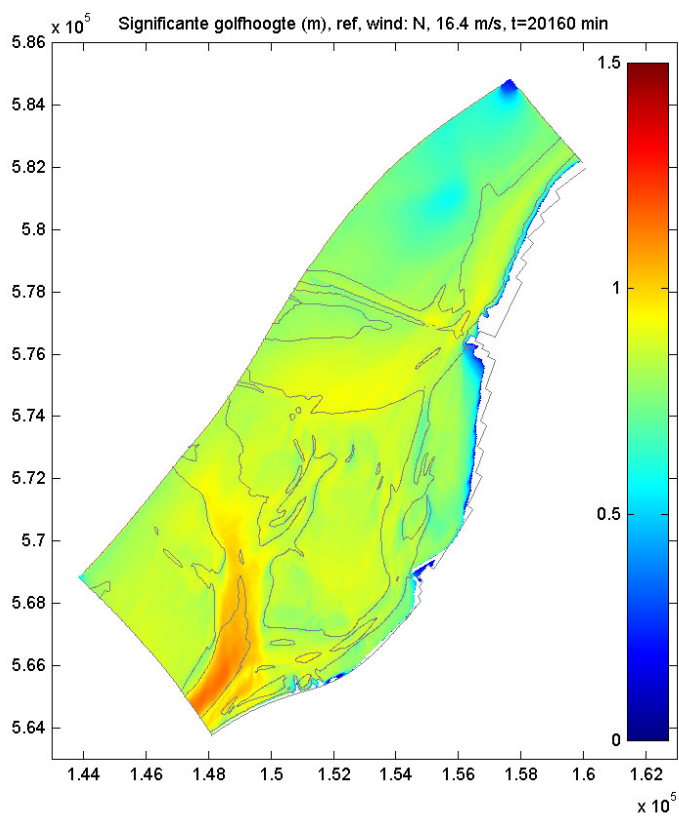
In Figuur 5-32 tot en met Figuur 5-35 zijn resultaten gepresenteerd voor de significante golfhoogte in de referentiesituatie. Figuur 5-32 toont de situatie bij noordwestenwind, laagwater en gemiddelde windsnelheid. Figuur 5-33 toont dezelfde situatie bij hoogwater. Figuur 5-34 geeft de golfcondities bij noordenwind, hoogwater bij springtij en stormcondities. Figuur 5-35 geeft de situatie met noordenwind, laagwater bij springtij en stormcondities.



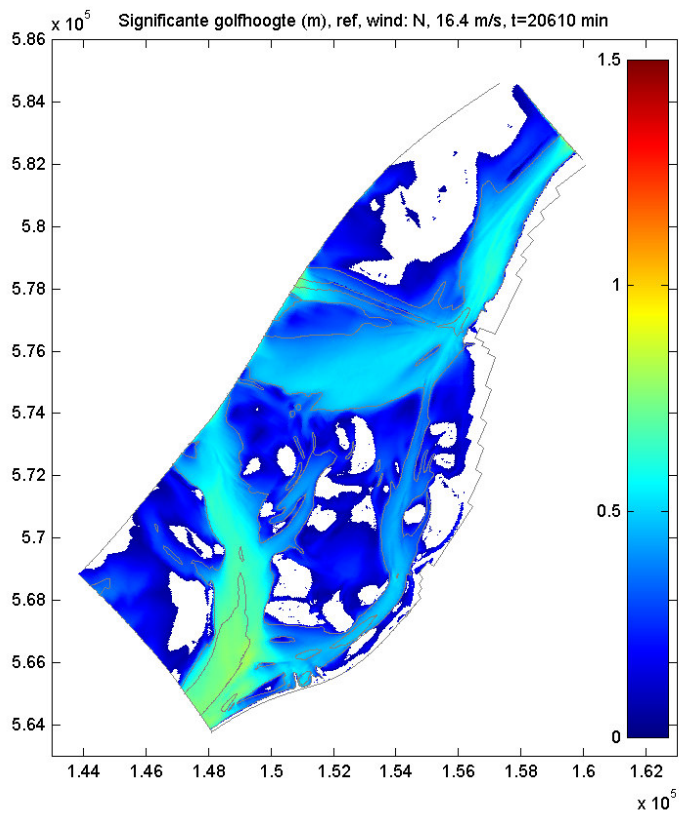
Figuur 5-32 – Significante golfhoogte in **referentiesituatie** bij **noordwestenwind**, **gemiddelde condities** en **laagwater**



Figuur 5-33 – Significante golfhoogte in **referentiesituatie** bij **noordwestenwind**, **gemiddelde condities** en **hoogwater**



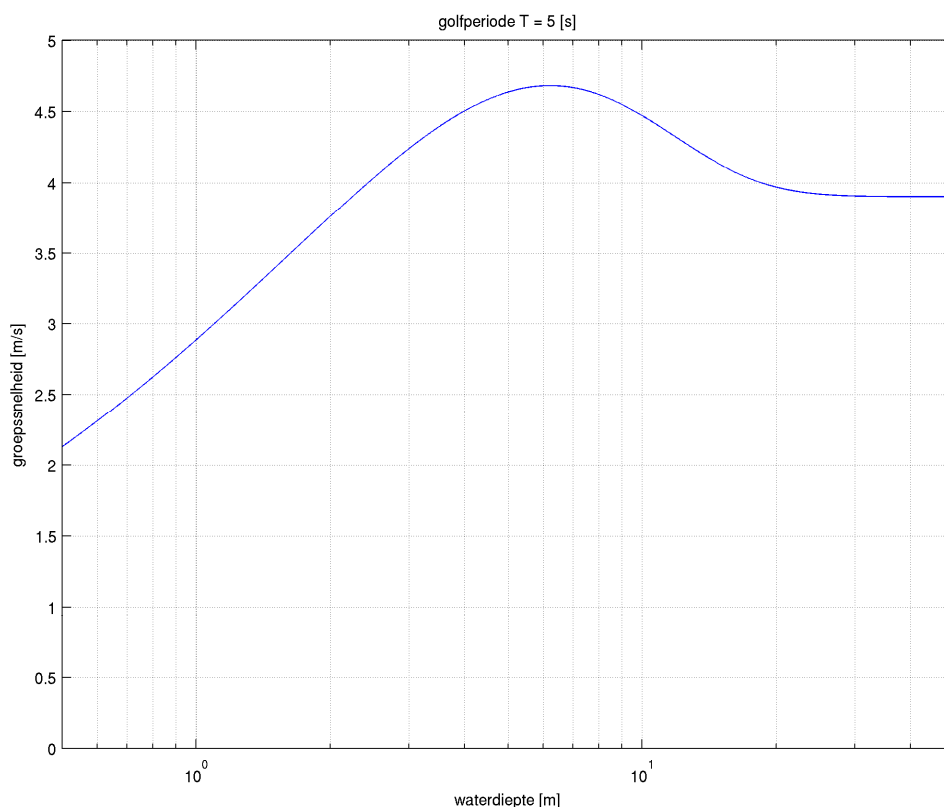
Figuur 5-34 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordenwind, stormcondities en hoogwater bij springtij



Figuur 5-35 – Significante golfhoogte in referentiesituatie bij noordenwind, stormcondities en laagwater bij springtij

Uit deze figuren blijkt dat de golfhoogte in de ondiepe Waddenzee sterk gestuurd wordt door de geometrie. De wind laat de golfenergie toenemen in de diepere delen. In de ondiepere delen wordt de golfhoogte begrensd door golfbreking. Vooral bij laagwater is het verschil in golfhoogte tussen de geulen en de platen groot. Het blijkt dat de golfcondities tijdens gemiddelde omstandigheden zeer mild zijn. Bij laagwater (Figuur 5-32) is de significante golfhoogte ongeveer 0,3 m in Boontjes en 0,2 m op de platen rond Boontjes. Bij hoogwater (Figuur 5-33) is de significante golfhoogte rond Boontjes ongeveer 0,5 m. De grootste golfhoogtes binnen de geselecteerde randvoorwaarden worden gevonden bij stormcondities uit noordelijke richting. Bij hoogwater gedurende springtij (Figuur 5-34) loopt deze op tot 0,8 m rond Boontjes. Bij laagwater gedurende springtij (Figuur 5-35) is dit 0,6 m in de geul en slechts 0,2 m op de platen.

De *veranderingen in golfhoogte* ten gevolge van de drempelverwijdering zijn bij gemiddelde windcondities bij alle varianten kleiner dan ongeveer 1 cm. Figuren met veranderingen bij gemiddelde windcondities zijn om die reden niet weergegeven. In Bijlage D: Resultaten golfmodellering is een overzicht opgenomen van de veranderingen bij variant 2 onder stormcondities. Bij stormcondities resulteert de drempelverlaging in Boontjes in een geringe verlaging van de significante golfhoogte op de platen. Tegelijkertijd treedt een verhoging van de golfhoogte op in het midden van de geul. De veranderingen in golfhoogte in de geul en op de platen zijn te verklaren uit de primaire golfvoortplantingsprocessen shoaling en refractie.



Figuur 5-36 – Groepsnelheid als functie van de waterdiepte bij een golfperiode van 5 s

Shoaling is de verandering van de golfhoogte door de verandering van de groepsnelheid – de snelheid waarmee de golfenergie getransporteerd wordt – bij een variërende waterdiepte. Bij een vaste golfperiode neemt de groepsnelheid eerst iets toe en daarna af, gaande van zeer diep water naar ondiep water, zie Figuur 5-36. Daardoor zal, bij gelijkblijvend golfenergietransport en gaande van zeer diep water naar ondiep water, de golfhoogte eerst iets afnemen en

daarna toenemen. In de ondiepe Waddenzee is alleen de toename van de golfhoogte bij een afnemende diepte van belang.

Refractie is de verandering in golfvoortplantingsrichting door variaties in de groepssnelheid (ten gevolge van variaties in waterdiepte). Komende vanaf de platen zal een golfstraal (gaande in de richting van de golfvoortplanting) in de geul meer parallel gaan lopen aan de as van de geul. De afstand tussen twee parallelle golfstralen zal hierdoor boven de platen groter zijn dan bij de as van de geul. Bij constant golfenergietransport tussen deze twee stralen zal refractie – als afzonderlijk proces – een verhogend effect hebben op de golfhoogte in de as van de geul.³

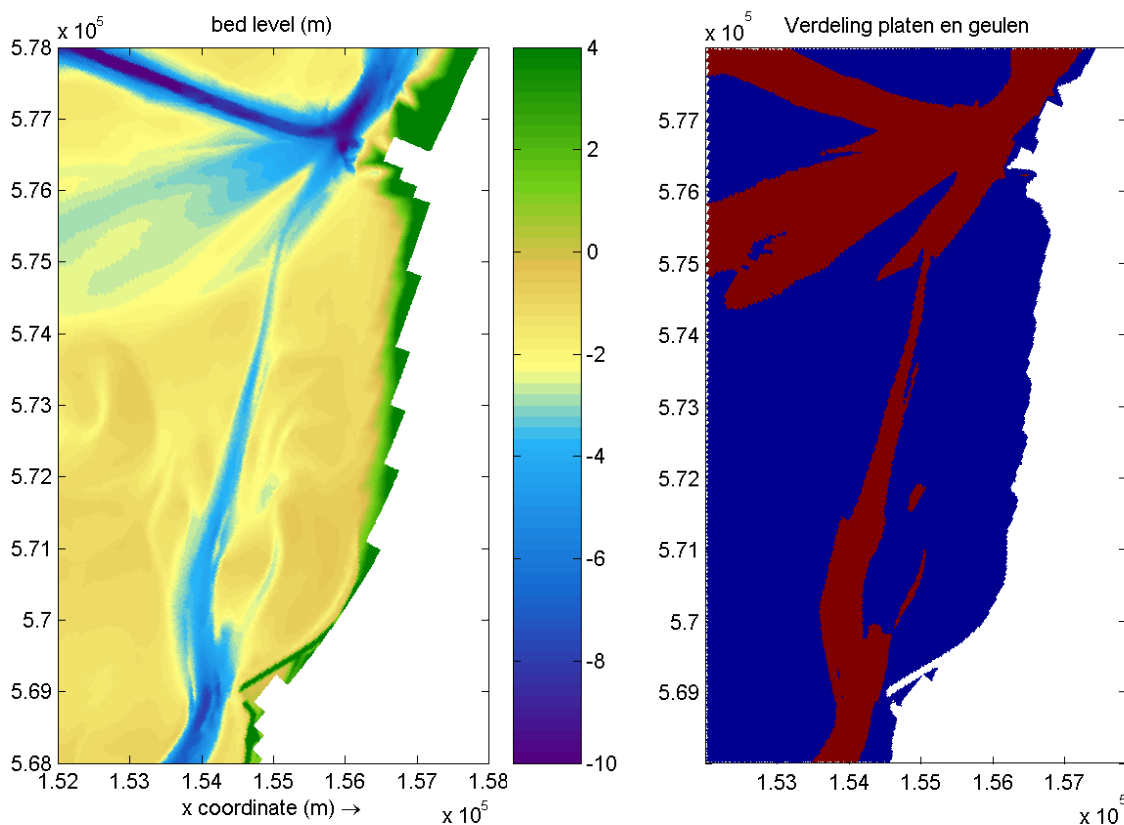
Beide processen spelen tegelijkertijd, omdat beide van de ruimtelijke variaties in lokale groepssnelheid (en dus van de waterdiepte) afhankelijk zijn. Op de platen en nabij de plaatranden overheersen overwegend de shoaling-effecten, en neemt de golfhoogte af door de drempelverwijdering. Nabij de as van de geul overheerst de vernauwing tussen twee parallelle golfstralen door refractie, leidend tot een verhoging van de significante golfhoogte ten gevolge van de drempelverwijdering.

Bij rustige weercondities (buiten de stormperiode) zijn de effecten van de maatregelen op de golfhoogte zeer klein: veranderingen van de significante golfhoogte zijn kleiner dan 2 cm. De verschillen variëren per windrichting. Bij noordwestenwind zijn de verschillen erg klein, omdat deze windrichting ongeveer loodrecht op de richting van Boontjes staat. De verschillen zijn maximaal bij noordenwind. Daarnaast zijn de verschillen groter bij laagwater dan bij hoogwater, omdat bij laagwater het diepteverschil ten gevolge van de drempelverwijdering relatief groot is.

Omdat de ruimtelijke variatie van de verschillen in golfhoogte groot is, is er een statistische analyse uitgevoerd met de golfhoogte op de platen en in de geulen. Deze statistische analyse is verricht volgens de volgende stappen:

1. Er is onderscheid gemaakt tussen geulen en platen. Delen lager dan -2,5 m+NAP zijn beschouwd als geul, delen hoger dan -2,5 m+NAP zijn beschouwd als plaat(rand). Zie Figuur 5-37 voor deze verdeling. Alleen het gebied binnen de RD-coördinaten van Figuur 5-37 is betrokken bij de analyse. De effecten van de drempelverwijdering op de golfhoogte blijven in alle omstandigheden beperkt tot dit gebied.
2. Delen waar de golfhoogte meer dan 5 mm (absoluut) of 1% (relatief) verschilt ten opzichte van de referentiesituatie worden betrokken bij de analyse. Voor deze delen wordt voor platen en geulen per variant en randvoorwaardencombinatie (zie Bijlage C: Overzicht golfberekeningen) bepaald over welk oppervlak er een bepaalde verandering in golfhoogte is gevonden.
3. De statistieken worden ter illustratie voor één variant en randvoorwaardencombinatie gepresenteerd met histogrammen in Bijlage E: Statistische analyse golfwerking.
4. Per variant en randvoorwaardencombinatie leidt dit tot een totaal oppervlak met veranderingen groter dan 5 mm (absoluut) of 1% (relatief) en een gemiddelde verandering over dit oppervlak. Ook de tabellen met deze waarden zijn opgenomen in Bijlage E: Statistische analyse golfwerking.

³ Voor golven met richtingsverspreiding ligt refractie iets gecompliceerder dan de gegeven beschrijving voor langkammige regelmatige golven, omdat ook de breedte van richtingsbins in het richtingsverspreidingspectrum varieert bij refractie; zie Le Méhauté en Wang (1982)



Figuur 5-37 – Verdeling tussen platen (blauw) en geulen (bruin) in de statistische analyse van de golfhoogte

Ook uit de statistische analyse blijkt dat gemiddeld genomen de golfhoogtes boven de platen en plaatranden afnemen, en in de geulen overwegend toenemen. Zowel de grootte als het invloedsgebied is het kleinst bij variant 1 en het grootst bij variant 3. In de als voorbeeld getoonde histogrammen (Figuur E-1 en Figuur E-2) is zichtbaar dat er zowel in de geulen als op de platen zowel toe- als afnames van de golfhoogte optreden. Een eenduidig gedrag is niet zichtbaar, zodat gebruik gemaakt wordt van de gemiddelde waarden van de veranderingen.

Vanwege het zeer lokale karakter van de drempelverwijdering wordt het algehele golfvoortplantingspatroon niet veranderd door de ingreep. Dit patroon wordt gedomineerd door de omliggende platen en geulen.

Conclusie: de significante golfhoogte neemt tijdens stormcondities toe in de as van de geul en licht af op de platen. De veranderde verdeling van golfenergie is het gevolg van de toegenomen diepte, door het verwijderen van de drempel in Boontjes. De verschillen zijn minimaal voor golven uit het Noordwesten, omdat deze golven vrijwel loodrecht op Boontjes staan. De veranderingen zijn minimaal bij variant 1 en maximaal bij variant 3. Zeer lokaal zijn de veranderingen in de geul tijdens stormcondities in de orde van 5 cm. Op grotere afstand van de geul neemt de grootte van verandering snel af. Op de platen zijn de veranderingen gemiddeld genomen kleiner dan 1 cm.

5.3.2 Bodemschuifspanningen door golfwerking

Bodemschuifspanningen ten gevolge van de golfwerking zijn afhankelijk van de orbitaalsnelheid bij de bodem. Deze orbitaalsnelheid is voornamelijk afhankelijk van de golfhoogte en de diepte.

Zonder bijzondere vermelding wordt in deze paragraaf met de term bodemschuifspanning de bodemschuifspanning ten gevolge van de golfwerking bedoeld.

De bodemschuifspanning ten gevolge van golfwerking is gedefinieerd als

$$\tau_w = \frac{1}{2} \rho f_w u_b^2. \quad (5.6)$$

Hierin is ρ de dichtheid van water (1023 kg/m^3) en f_w de wrijvingscoëfficiënt behorende bij de orbitaalsnelheid u_b . De maxima van de orbitaalsnelheden aan de bodem zijn gelijk aan

$$u_b = \sqrt{2} \cdot U_{rms}, \quad (5.7)$$

waarin U_{rms} het kwadratisch gemiddelde van de orbitaalbeweging aan de bodem is ⁴.

De wrijvingscoëfficiënt f_w wordt bepaald door

$$f_w = 0.00251 \exp \left[5.21 \left(\frac{A}{k_s} \right)^{-0.19} \right] \quad \frac{A}{k_s} > 1.57$$

$$f_w = 0.3 \quad \frac{A}{k_s} \leq 1.57 \quad (5.8)$$

Hierin is k_s de Nikuradse ruwheidshoogte, $k_s \approx 0.1 \text{ m}$ (uniform over het hele geografische domein), zie paragraaf 5.2.6. A is de horizontale amplitude van de bodemoscillatie en kan worden bepaald met

$$A = \frac{u_b T_{m,bot}}{2\pi}. \quad (5.9)$$

Hierin is $T_{m,bot}$ de gemiddelde golfperiode aan de bodem (in s) ⁵.

Conclusies op basis van de bodemschuifspanningen door zowel golven als stroming zijn:

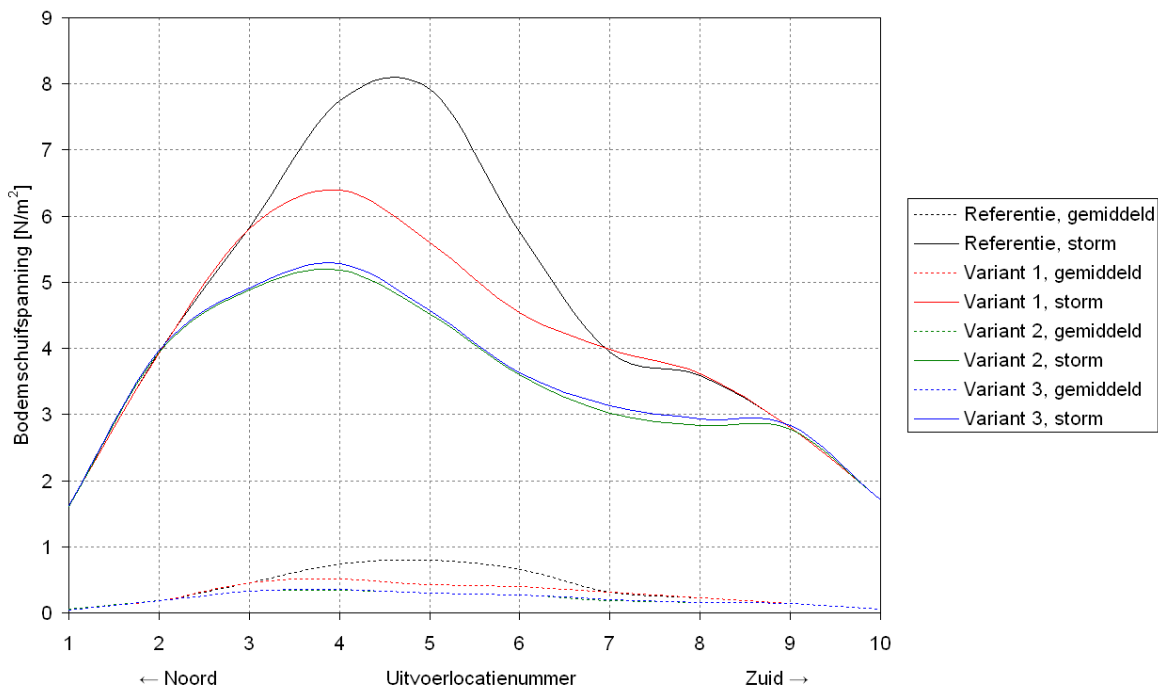
1. Tijdens gemiddelde condities is de invloed van de golfwerking op de bodemschuifspanningen in de **geulen** klein (gemiddeld over Boontjes en de windrichtingen ongeveer $0,3 \text{ N/m}^2$) vanwege het dominante effect van de diepte. De bodemschuifspanningen ten gevolge van de getijstroming zijn dan een orde groter. Tijdens jaarlijks maximale stormcondities zijn in de ondiepere geulen de bodemschuifspanningen door golfwerking (gemiddeld over Boontjes en de windrichtingen ongeveer 4 N/m^2 , met een maximum van 8 N/m^2 ter plaatse van de drempel) en stroming (van dezelfde grootteorde, maar de tijdsduur van deze omstandigheden is vergeleken met de duur van de altijd aanwezige getijwerking erg klein.
2. De bodemschuifspanningen door golfwerking op de **platen** zijn tijdens jaarlijkse maximale stormcondities in de orde van 20 N/m^2 ; tijdens dagelijkse condities in de orde van 2 N/m^2 .

⁴ U_{rms} wordt in SWAN bepaald door het directionele oppervlakteuitwijkingsspectrum te vertalen in het bijbehorende spectrum van de directionele bodemorbitaalsnelheden (net buiten de grenslaag). Het orbitaalsnelheidsspectrum wordt geïntegreerd over frequenties en richtingen tot een variantie. De U_{rms} is de wortel uit deze variantie, dus de standaardafwijking van de bodemorbitaalsnelheid.

⁵ Deze wordt tevens bepaald door SWAN door op soortgelijke wijze als voor U_{rms} , de standaardafwijking X_{rms} voor de horizontale bodemexcursies (net boven de bodemgrenslaag) te bepalen

De bijdrage van de stroming onder zowel jaarlijkse maximale stormcondities als dagelijkse condities is in de orde van 1 N/m^2 .

Figuur 5-38 toont de bodemschuifspanning door golfwerking in de as van de geul voor de 10 uitvoerlocaties uit Figuur 5-2 voor de referentie en de 3 varianten. In deze figuur is onderscheid gemaakt tussen gemiddelde condities en stormcondities, waarbij verschillende windrichtingen en getijdcondities zijn samengenomen. Er is te zien dat de bodemschuifspanningen tijdens stormcondities ongeveer een factor 10 hoger zijn dan tijdens gemiddelde condities. Boven de drempel zijn in de huidige situatie de bodemschuifspanningen het grootst doordat de diepte hier gering is. Door de drempelverwijdering (toename van de diepte) nemen de bodemschuifspanningen hier dan ook duidelijk af, ondanks de licht toegenomen significante golfhoogte.



Figuur 5-38 – Bodemschuifspanning door golfwerking bij de 10 uitvoerlocaties in Boontjes (zie Figuur 5-2), in de referentie en de 3 varianten, tijdens gemiddelde condities en stormcondities.

In Bijlage D: Resultaten golfmodellering zijn de verschillen in bodemschuifspanningen voor variant 2 getoond. De andere varianten vertonen hetzelfde beeld, maar met een kleinere ruimtelijke omvang en grootte bij variant 1 en een grotere ruimtelijke omvang en grootte bij variant 3. Ter plaatse van de drempelverwijdering neemt zowel de golfhoogte als de diepte toe. Het laatste effect is dominant, zodat ter plaatse van de verlaagde drempel de bodemschuifspanningen tijdens jaarlijks maximale stormcondities afnemen. De verandering van de bodemschuifspanningen op de platen varieert sterk in ruimtelijke zin, maar overwegend is een lichte afname van de bodemschuifspanningen op de platen zichtbaar door de afgenomen golfhoogte. In het overgangsgebied, op de plaatranden, varieert de verandering sterk over de windrichtingen en in de ruimte. Op basis van de veranderingen kan geen structurele toe- of afname van de bodemschuifspanningen op de plaatranden worden herkend.

Evenals voor de significante golfhoogte is er een statistische analyse uitgevoerd op de bodemschuifspanningen onder golven op de platen en in de geulen. Voor de beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar de voorgaande paragraaf. Voor de bodemschuifspanningen zijn

veranderingen groter dan $0,1 \text{ N/m}^2$ of 1% bij de analyse betrokken. De resultaten zijn opgenomen in Bijlage E: Statistische analyse golfwerking. Zowel voor de platen als voor de geulen als geheel neemt de bodemschuifspanning onder golven structureel af. Tabel 5-1 toont het oppervlak waarbinnen de veranderingen groter zijn dan de gestelde grenzen. Tabel 5-2 toont binnen deze oppervlakten de gemiddelde relatieve en absolute veranderingen op de platen en in de geul voor de drie varianten. Er is onderscheid gemaakt tussen stormcondities en gemiddelde condities, in beide gevallen voor de drie beschouwde windrichtingen samen.

Conditie	Eenheid	Verandering T	Geul			Plaat		
			variant 1	variant 2	variant 1	variant 2	variant 1	variant 2
Stormcondities	[ha]	$> 0,1 \text{ N/m}^2$	93	207	264	193	341	455
Gemiddelde condities	[ha]	$> 0,1 \text{ N/m}^2$	106	230	279	223	396	489
Stormcondities	[ha]	$> 1\%$	40	90	112	127	233	295
Gemiddelde condities	[ha]	$> 1\%$	46	96	125	80	163	217

Tabel 5-1 – Gemiddeld oppervlak in de geul en boven de platen waarbinnen de bodemschuifspanning meer dan $0,1 \text{ N/m}^2$ of 1% verschilt ten opzichte van de referentiesituatie, onderscheiden per variant en per windconditie.

Conditie	Eenheid	Geul			Plaat		
		variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3
Stormcondities	[%]	-9.1%	-12.4%	-11.9%	-2.1%	-2.3%	-3.3%
Gemiddelde condities	[%]	-21.1%	-20.2%	-20.7%	-1.4%	-1.5%	-2.2%
Stormcondities	[N/m ²]	-0.91	-0.93	-1.02	-0.17	-0.19	-0.26
Gemiddelde condities	[N/m ²]	-0.36	-0.36	-0.38	-0.09	-0.11	-0.16

Tabel 5-2 – Gemiddelde relatieve en absolute verandering van de bodemschuifspanningen onder golven in de geul en op de platen per variant en per windconditie.

Vanzelf zijn de absolute veranderingen tijdens stormcondities zowel op de platen als in de geul groter. De veranderingen in de geul zijn onder alle windcondities aanzienlijk groter dan op de platen, vanwege de gewijzigde diepte in een deel van de geul. In de geul zijn de veranderingen voor de verschillende varianten van gelijke grootteorde. Het oppervlak waarbinnen de bodemschuifspanning verandert neemt wel duidelijk toe naarmate de dimensies van de ingreep groter worden. Op de platen is alleen de afgenomen significante golfhoogte van belang. De afname van de bodemschuifspanningen op de platen neemt eveneens toe bij toenemende grootte van de drempelverwijdering. De onderverdeling in platen en geulen is te grof om te toenamen in bodemschuifspanningen bij de plaatranden te kunnen onderscheiden.

Conclusie: over het geheel genomen neemt de gemiddelde bodemschuifspanning onder golven in het gebied rond Boontjes af door de drempelverwijdering. De afname in de geul is zowel absoluut als procentueel aanzienlijk groter dan op de platen, doordat de diepte gewijzigd is in de geul. Op de plaatranden is geen structurele toe- of afname van de bodemschuifspanning zichtbaar.

6 Effecten op morfologie

6.1 Inleiding

Op basis van de berekende hydrodynamische effecten in hoofdstuk 5 is in dit hoofdstuk de analyse beschreven van de effecten van de drempelverwijdering op de morfologische ontwikkeling van het systeem. Het gaat hierbij om een effectbepaling op basis van de hydrodynamische effecten, ondersteund met formuleringen voor sedimenttransport en theoretische beschouwingen uit de literatuur. Er is onderscheid gemaakt tussen de ontwikkeling van de geul (paragraaf 6.2), het plaatareaal rond Boontjes (paragraaf 6.3) en de ontwikkeling van het grootschalige morfologische systeem (paragraaf 6.4).

6.2 Ontwikkeling van de vaargeul Boontjes

In de huidige situatie is de vaarweg Boontjes min of meer in een evenwichtstoestand, zie paragraaf 2.3. Oost en Kleine Punte (2003) concluderen dat "er weinig reden is om aan te nemen dat de diepte van Boontjes in de nabije toekomst sterk zal veranderen door de autonome ontwikkeling. Een doorgaande toename van de getijdeslag zou kunnen betekenen dat de geul nog iets uitdiept."

De geulbodem in Boontjes lijkt in de huidige situatie stabiel; er is nauwelijks onderhoudsbaggerwerk. Een mogelijke reden daarvoor is dat de bovenlaag van de drempel bestaat uit moeilijk erodeerbaar materiaal. Het kan dan zijn dat de transportcapaciteit boven de drempel groot genoeg is om meer sediment te transporteren. Bij los bodemmateriaal zou dat tot bodemerrosie kunnen leiden en dus een lager bodemniveau. De moeilijk erodeerbare laag verhindert dat dan. Vooralsnog wordt in het onderzoek echter uitgegaan van een evenwichtssituatie waarin de jaarlijks aangevoerde en afgevoerde hoeveelheden sediment in de geul in evenwicht zijn.

Bij verwijdering van de drempel in Boontjes wordt de evenwichtssituatie van de geul verstoord. Na de drempelverwijdering kan het zijn dat de geul de neiging heeft om terug te keren naar de oorspronkelijke evenwichtstoestand. Een andere mogelijkheid is dat een nieuwe evenwichtssituatie ontstaat, al dan niet gelijk aan de situatie direct na de drempelverwijdering.

In deze paragraaf is de ontwikkeling van de geul onderzocht. Paragraaf 6.2.1 geeft een analyse van de sedimenttransporten in de geul. Paragraaf 6.2.2 toont de resultaten van analyses met het instrumentarium van Van Rijn, waarmee bodemveranderingen onder golven en stroming zijn bepaald, zowel bij langtransport door de geul als bij dwarstransport over de geul. Op basis van de sedimenttransporten in de geul en de bodemveranderingen door golven en stroming is een inschatting gemaakt van het benodigde onderhoudsbaggerwerk per variant. De baggervolumes zijn besproken in paragraaf 6.2.3. De paragraaf eindigt met conclusies in paragraaf 6.2.4.

6.2.1 Sedimenttransport in Boontjes

Een belangrijke indicator voor het gedrag van het systeem na de drempelverwijdering is de verandering van de bodemschuifspanningen in de geul. Paragraaf 5.2.6 laat zien dat als gevolg van de veranderingen in de stroomsnelheden de bodemschuifspanningen door (alleen) stroming afnemen op de platen en gemiddeld toenemen in de geul. De grootte en de ruimtelijke dimensies van de veranderingen nemen toe naarmate de dimensies van de ingreep toenemen. Alleen

ter plaatse van de drempelverlaging zelf neemt de bodemschuifspanning door stroming af in variant 1 ten gevolge van de toegenomen diepte en min of meer gelijkblijvende breedte. In de varianten 2 en 3 domineert de toename van de stroomsnelheid. Hierdoor nemen ook boven de verlaagde drempel de bodemschuifspanningen in deze varianten overwegend toe, ondanks de toegenomen diepte.

Daarnaast spelen de bodemschuifspanningen door golfwerking een belangrijke rol. Door de toegenomen diepte in de geul nemen de bodemschuifspanningen boven de verlaagde drempel overwegend af, ondanks een licht toegenomen significante golfhoogte. Zie Figuur 5-38 voor het verloop langs de geul van de schuifspanningen door golfwerking.

De combinatie van veranderingen in diepte, golfwerking en stroming in en rond Boontjes resulteert in gewijzigde sedimenttransporten door de geul. Met behulp van de sedimenttransportformuleringen uit TRANSPOR2004 (zie Van Rijn, 2006a en b) zijn sedimenttransporten bepaald bij eb en vloed tijdens springtij, met golfcondities behorend bij gemiddelde windsnelheid uit zuidwestelijke richting, zie Tabel 6-1. De transporten zijn bepaald voor de uitvoerlocaties 1 tot en met 10 uit het WAQUA-model (zie Figuur 5-1). De diepte, stroomsnelheden (uit WAQUA) en significante golfhoogtes (uit SWAN) variëren over de locaties en per variant.

Invoerparameter		Waarde
Diepte	HD	Variabel
Gemiddelde snelheid in stromingsrichting	VR	Variabel
Gemiddelde snelheid in golfrichting	UR	Variabel
Significante golfhoogte	HS	Variabel
Piekperiode golven	TP	2,5 s
Hoek tussen golven en stroming	PHI	0 gr
Aantal zandfracties	NS	1
10% korreldiameter bodemmateriaal	D10	15 µm
50% korreldiameter bodemmateriaal	D50	150 µm
90% korreldiameter bodemmateriaal	D90	285 µm
Slibfractie	PMUD	0,2 (20%)
Ruwheidstype		Estuaria
Correctiefactor ruwheid (default = 1)	FACR	1
Watertemperatuur	TE	10 gr
Saliniteit	SA	25 ‰

Tabel 6-1 – Invoerparameters TRANSPOR2004

De resultaten van de berekeningen met TRANSPOR2004 voor gemiddeld getij (eb en vloed) en springtij (eveneens eb en vloed) zijn getoond in Tabel 6-2. De transporten in deze tabel zijn gesommeerd over de breedte van de geul, en weergegeven als massatransport [kg/s]. De conclusies over de transporten in de huidige situatie, op basis van deze resultaten, zijn als volgt.

1. Variaties in transport langs de geul

De totaaltransporten aan weerszijden van de drempel (locaties 1 t/m 3 en 8 t/m 10) zijn zowel bij eb als bij vloed vele malen (ongeveer een factor 1000) groter dan de transporten boven de drempel zelf. De sterke afname van het sedimenttransport rond de drempel heeft te maken met de uitwisseling van water tussen de geul en de platen. In Figuur 6-1 is zichtbaar dat in het

zuidelijke deel van Boontjes de stroming zich sterker concentreert in de geul. Rond de drempel is het verschil in stroomsnelheid tussen de platen en de geul kleiner. Het aangevoerde sediment zal deels sedimenteren in de geul, aan de zuidzijde van de drempel. Het grootste deel van het aangevoerde sediment zal echter op de platen terechtkomen. Uit Figuur 2-13 blijkt dat er in het verleden geen sterke sedimentatie heeft plaatsgevonden in dit deel van de geul. Dit duidt erop dat het sediment vooral op de platen tot bezinking komt. De kwalitatieve conclusie uit deze paragraaf komt dus overeen met de beschrijving van de historische ontwikkeling van het gebied rond Boontjes in hoofdstuk 2 en sluit aan bij het gegeven dat er sinds 1988 in Boontjes geen onderhoudsbaggerwerk heeft plaatsgevonden.

2. Begin van beweging, bodemtransport en suspensietransport

Boven de drempel zijn de hydraulische condities zodanig dat er alleen enig bodemtransport optreedt. Alleen de fijne fractie van het gegradeerde sediment bevindt zich hier net boven het begin van beweging. In de diepere delen van Boontjes aan weerszijden van de drempel zijn de suspensietransporten dominant.

3. Verschil in transport tussen eb en vloed

Bij vloed zijn de suspensietransporten, en daarmee ook de totale transporten, vele malen groter dan bij eb. Dit geldt zowel bij gemiddeld getij als bij springtij. Er is duidelijk sprake van een residueel transport door Boontjes.

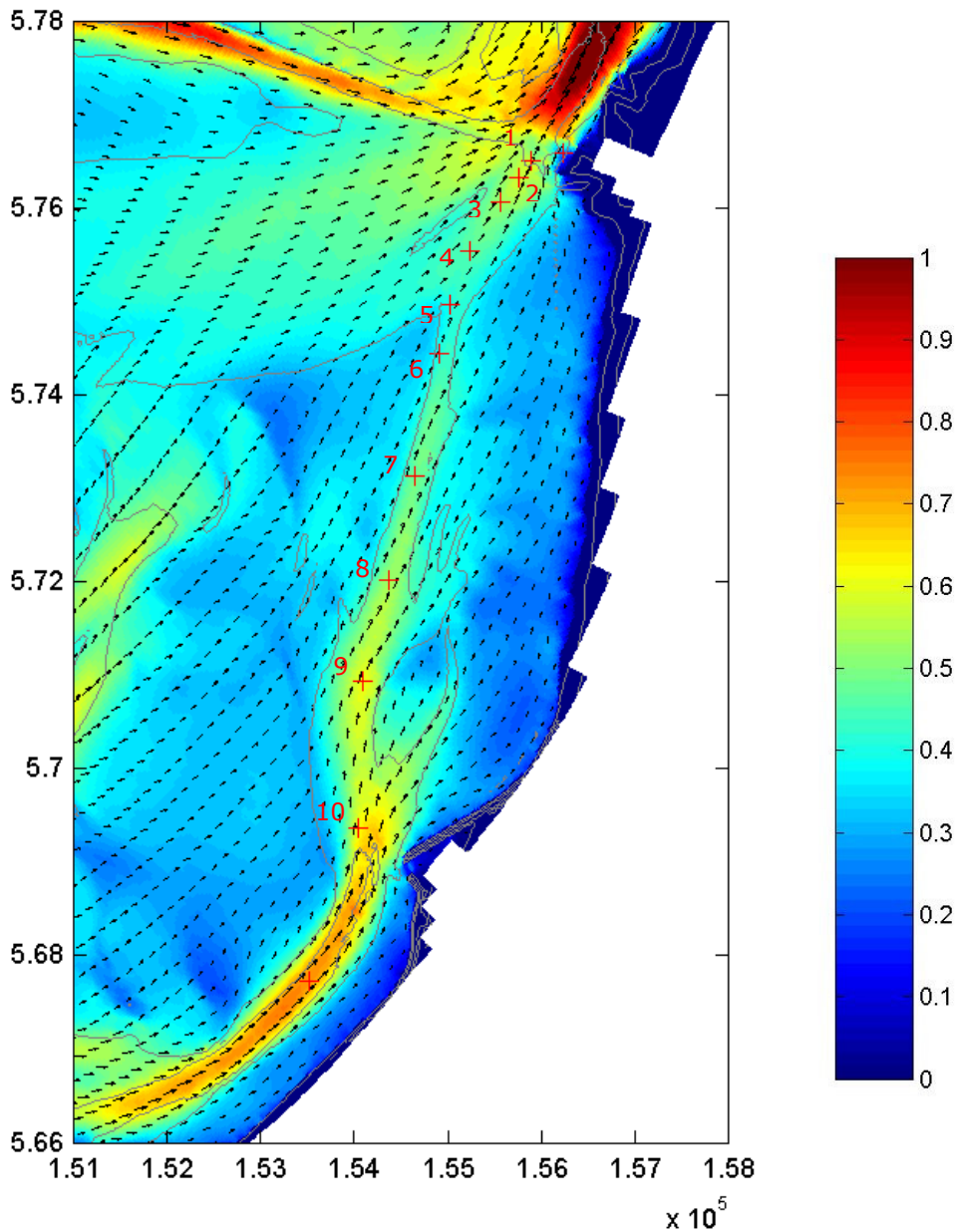
4. Verschil in transport tussen gemiddeld getij en springtij

De transporten bij vloed tijdens springtij zijn het grootst gedurende de getijcyclus, en ongeveer twee maal zo groot als de transporten bij vloed tijdens gemiddeld getij.

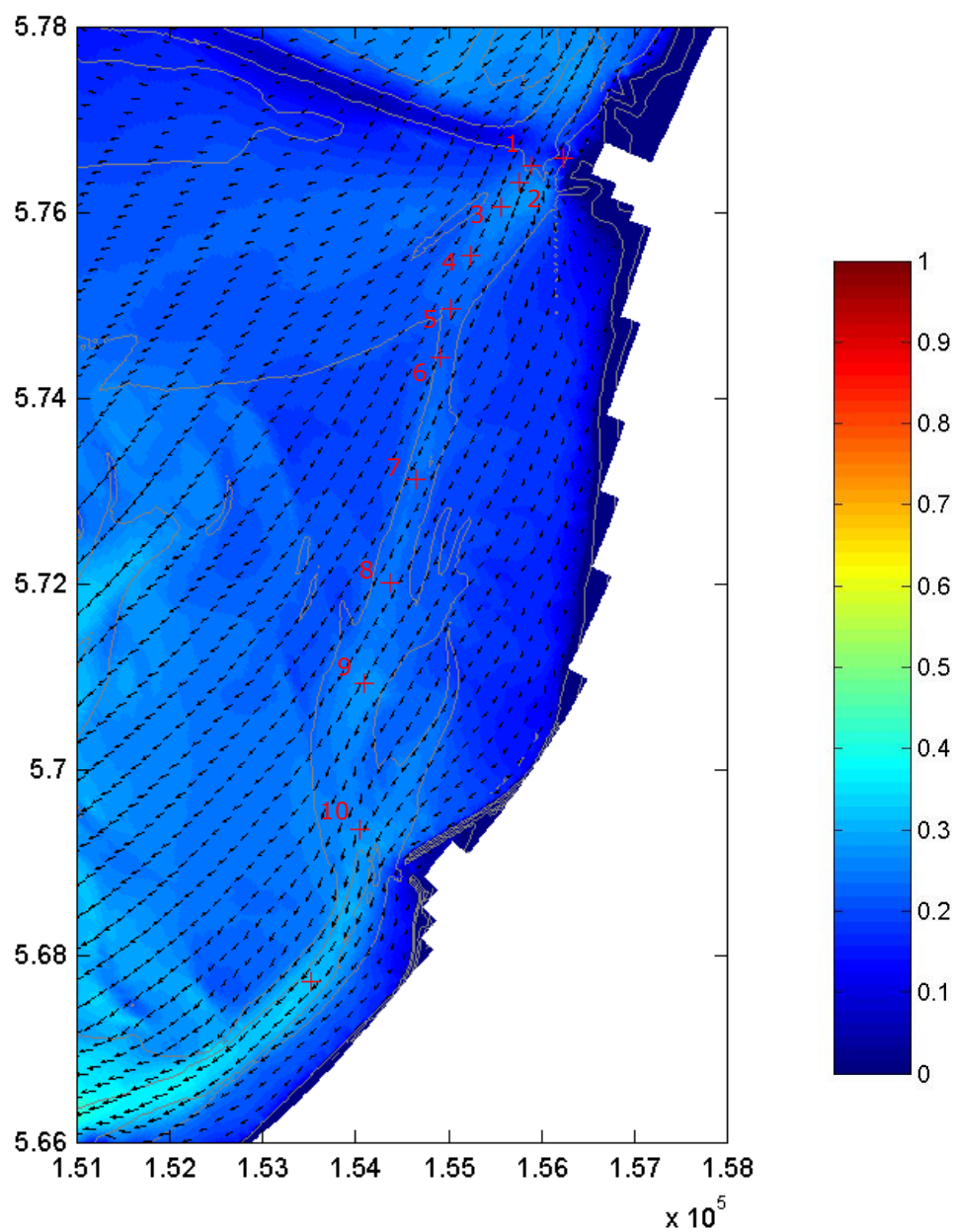
Locatie		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bodemtransport	Vloed	6	16	10	5	4	4	11	19	47	52
	Eb	0	2	2	1	1	1	1	2	11	12
	Vloed, springtij	9	20	12	6	4	4	13	24	55	66
	Eb, springtij	0	3	3	1	1	1	1	1	3	3
Suspensief transport	Vloed	18	37	15	2	0	0	18	122	1131	1708
	Eb	0	0	0	0	0	0	0	0	9	26
	Vloed, springtij	55	85	35	6	0	0	35	216	2116	4015
	Eb, springtij	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaaltransport	Vloed	24	53	25	7	4	4	30	141	1178	1760
	Eb	0	2	2	1	1	1	1	2	19	38
	Vloed, springtij	65	104	47	13	5	5	48	240	2171	4081
	Eb, springtij	0	3	3	1	1	1	1	1	3	3
Verhouding suspensief / bodemtransport	Vloed	2,75	2,39	1,47	0,30	0,00	0,00	1,63	6,26	23,9	32,7
	Eb	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	2,28
	Vloed, springtij	6,03	4,24	2,80	1,04	0,03	0,03	2,63	9,18	38,3	60,7
	Eb, springtij	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 6-2 – Suspensietransporten en bodemtransporten [kg/s] op diverse momenten in de getijcyclus, in de referentiesituatie, voor de 10 locaties uit het WAQUA-model (zie Figuur 5-1).

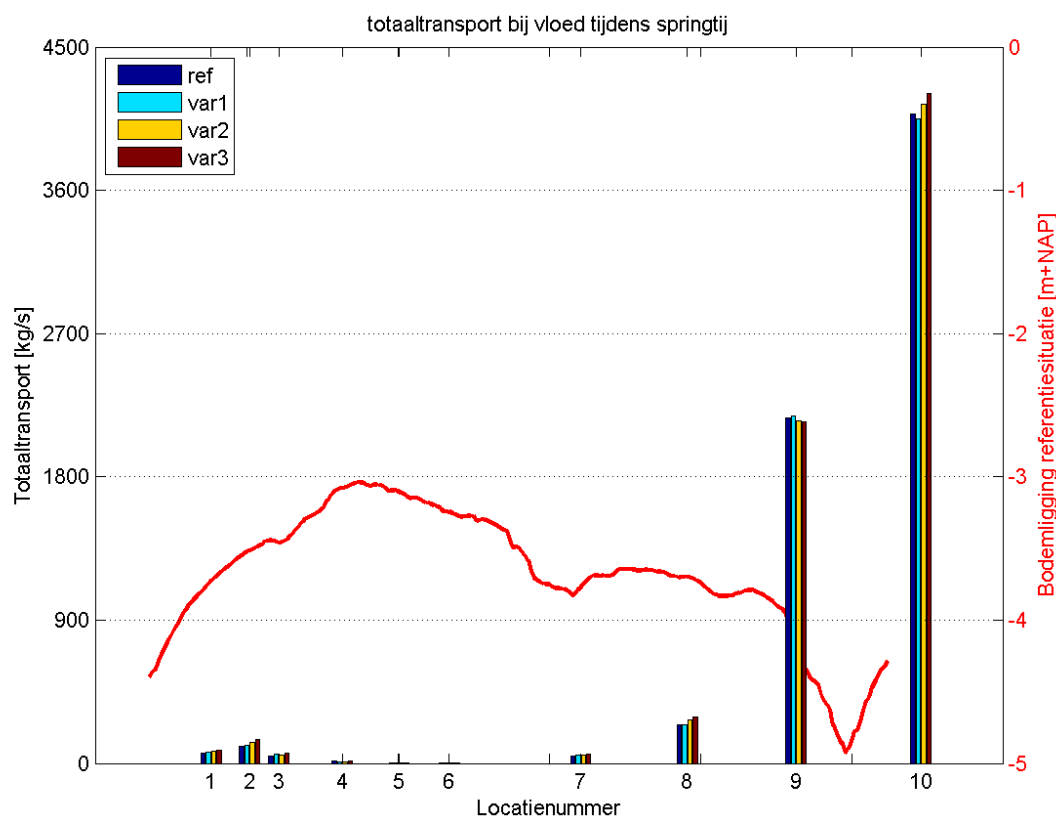
De specifieke sedimenttransporten [$\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-1}$] bij vloed tijdens springtij zijn grafisch weergegeven in Figuur 6-3. In deze figuur is ook de bodemligging in de huidige situatie getoond met een rode lijn. De gepresenteerde totaaltransporten zijn de som van de bodemtransporten en suspensietransporten uit TRANSPOR2004. Het bijbehorende stroombeeld is getoond in Figuur 6-1. Uit Tabel 6-2 volgt dat de transporten bij vloed dominant zijn voor de morfologische ontwikkeling rond Boontjes.



Figuur 6-1 – Stroombeeld bij maximale stroomsnelheid bij **vloed tijdens springtij**, stroomsnelheden in m/s. Uitvoerlocatienummering overeenkomstig met Figuur 5-1 en de horizontale as van Figuur 6-3. De grijze lijnen geven de contouren van de bodemligging weer.



Figuur 6-2 – Stroombeeld bij maximale stroomsnelheid bij **eb tijdens springtij**, stroomsnelheden in m/s. Uitvoerlocatienummering overeenkomstig met Figuur 5-1. De grijze lijnen geven de contouren van de bodemligging weer.



Figuur 6-3 – Sedimenttransporten bij de uitvoerlocaties 1 t/m 10 (zie Figuur 5-1) voor de referentie en drie varianten bij **vloed tijdens springtij**. Rode lijn: bodemligging in de referentiesituatie. De stromingsrichting bij vloed is van zuid (locatie 10) naar noord (locatie 1).

Tabel 6-3 toont de absolute en relatieve veranderingen in de specifieke transporten (transporten per eenheid van breedte) en totale transporten ten (over de breedte gesommeerde transporten) ten opzichte van de referentiesituatie voor de varianten 1, 2 en 3. In tegenstelling tot de transporten eerder in deze paragraaf zijn de transporten in Tabel 6-3 weergegeven als volumetransporten [m^3s^{-1}], vanwege de koppeling met morfologische veranderingen in het vervolg van dit hoofdstuk.

Uit Tabel 6-2 volgde dat de sedimenttransporten bij vloed een dominante invloed hebben op de morfologische ontwikkeling rond Boontjes. Uit deze tabel, en eveneens uit Figuur 6-3 volgt dat de transporten aan de zuidzijde van de drempel grotendeels verantwoordelijk zijn voor de morfologische ontwikkeling rond Boontjes. Het sediment dat hier wordt aangevoerd, wordt door de stroming op de platen gebracht. Hier zijn de stroomsnelheden aanzienlijk lager, waardoor het sediment hier grotendeels tot bezinking zal komen. Om deze reden is het gemiddelde transport in Boontjes beschouwd als indicator voor de ontwikkeling van het plaatareaal rond Boontjes. In dit gemiddelde is de invloed van de locaties 9 en 10 vanzelf dominant. Ten gevolge van de drempelverwijdering nemen deze sedimenttransporten [m^3s^{-1}] door Boontjes, gemiddeld over de 10 locaties, met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. De (zeer geringe) transporten boven de drempel zelf nemen in variant 1 en 2 af, vooral door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking (zie Figuur 5-8). In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe door de dominante invloed van de toename van de stroomvoerende capaciteit van de geul. Aan weerszijden van de drempel nemen de sedimenttransporten in alle varianten toe. Zie Tabel 6-3 voor een overzicht bij vloed tijdens springtij. De getoonde transporten zijn in alle gevallen gelijk aan de som van suspensief transport en bodemtransport.

Locatie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Specifiek transport [$m^3s^{-1}m^{-1}$]										
ref	0,32	0,52	0,31	0,13	0,05	0,05	0,32	1,60	10,86	16,32
var1	0,34	0,56	0,37	0,11	0,03	0,04	0,35	1,63	10,93	16,20
var2	0,38	0,65	0,36	0,09	0,03	0,03	0,36	1,81	10,76	16,56
var3	0,43	0,75	0,41	0,11	0,03	0,04	0,41	1,95	10,73	16,83
Absoluut verschil in specifiek transport [$m^3s^{-1}m^{-1}$] t.o.v. de referentiesituatie										
var1	+0,02	+0,04	+0,06	-0,02	-0,01	-0,01	+0,03	+0,03	+0,07	-0,12
var2	+0,06	+0,13	+0,05	-0,03	-0,02	-0,01	+0,04	+0,22	-0,10	+0,23
var3	+0,10	+0,23	+0,10	-0,01	-0,01	-0,01	+0,09	+0,35	-0,13	+0,50
Relatief verschil in specifiek transport [%] t.o.v. de referentiesituatie										
var1	+6%	+7%	+18%	-13%	-25%	-17%	+10%	+2%	+1%	-1%
var2	+19%	+25%	+16%	-27%	-37%	-26%	+14%	+14%	-1%	+1%
var3	+32%	+44%	+31%	-11%	-30%	-17%	+27%	+22%	-1%	+3%
Totaal transport (gesommeerd over de breedte) [m^3s^{-1}]										
ref	65	104	47	13	5	5	48	240	2171	4081
var1	69	112	56	11	3	4	53	245	2185	4051
var2	77	130	55	9	3	3	55	272	2151	4139
var3	85	151	62	17	5	6	61	293	2145	4206
Vershil in totaal transport [m^3s^{-1}] t.o.v. de referentiesituatie										
var1	+3,9	+7,3	+8,6	-1,6	-1,2	-0,8	+4,6	+5,0	+14,1	-30,1
var2	+12,0	+26,0	+7,4	-3,4	-1,7	-1,2	+6,7	+32,4	-20,1	+57,7
var3	+20,6	+46,0	+14,7	+4,3	+0,2	+1,1	+13,0	+53,1	-26,1	+125,4
Relatief verschil in totaal transport [%] t.o.v. de referentiesituatie										
var1	+6%	+7%	+18%	-13%	-25%	-17%	+10%	+2%	+1%	-1%
var2	+19%	+25%	+16%	-27%	-37%	-26%	+14%	+14%	-1%	+1%
var3	+32%	+44%	+31%	+34%	+5%	+24%	+27%	+22%	-1%	+3%

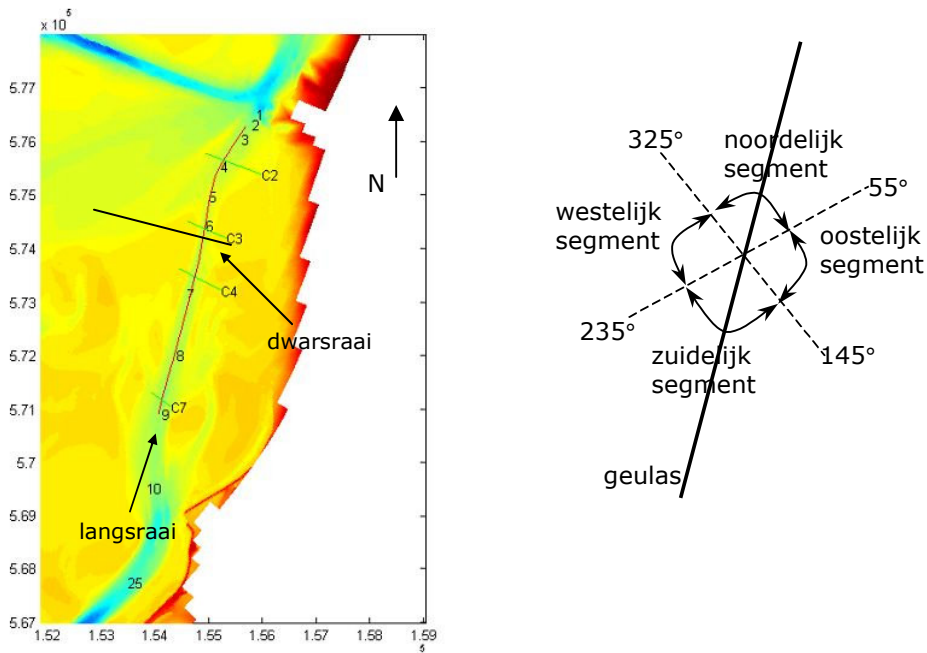
Tabel 6-3 – Specifieke transporten [$m^3s^{-1}m^{-1}$] en totale transporten [m^3s^{-1}] bij **vloed tijdens springtij** bij de uitvoerlocaties 1 t/m 10 (zie Figuur 5-1); absolute waarde, absoluut verschil t.o.v. de referentiesituatie en relatief verschil t.o.v. de referentiesituatie.

Conclusie

Op basis van de beschouwde sedimenttransporten bij vloed tijdens springtij in de huidige situatie lijkt de morfologische activiteit ter plaatse van de drempel in Boontjes gering. Dit is ook het geval na verwijdering van de drempel. Bij vloed tijdens springtij nemen de over de breedte van de geul gesommeerde sedimenttransporten, gemiddeld over het beschouwde deel van Boontjes, met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. Het extra aangevoerde sediment komt vooral op de platen terecht door de sterke plaat-geuluitwisseling van de stroming ten zuiden van de drempel in Boontjes. De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen in variant 1 en 2 af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe. De volgende paragrafen gaan nader in op dit onderwerp, waarbij ook veranderingen in dwarstransporten in de beschouwing worden betrokken.

6.2.2 Bodemveranderingen in Boontjes

In deze paragraaf is met rekenmethoden van Van Rijn de sedimentatie en erosie in en rond Boontjes bepaald voor de drie varianten. De gebruikte rekenmethode is beschreven in paragraaf 4.7. De rekenmethode is toegepast voor sedimenttransport en bodemveranderingen langs de geul en ook dwars op de geul. Met een rekenmodel dat langs de noord-zuidas van Boontjes ligt zijn de bodemveranderingen tijdens vloed- en ebstroom en golven door de geul berekend. Met een rekenmodel dat dwars over Boontjes loopt van oost naar west rond dwarsraai 4 in Figuur 2-14 zijn de bodemveranderingen tijdens vloed- en ebstroom en golven door de geul berekend.



Figuur 6-4 – Modelas stroombuis langs Boontjes en modelas stroombuis dwars over geul

De keuze om het onderzoek naar de sedimenttransporten en bodemveranderingen te beperken tot twee hoofdrichtingen en deze los van elkaar te beschouwen is ingegeven door het verschil in schuifspanning door stroming en door golven. De schuifspanning door stroming bedraagt 1 à 2 N/m^2 . De schuifspanning door golven op de platen bedraagt orde 20 N/m^2 (zie paragraaf 5.3.2), waaruit is geconcludeerd dat de grootte van het transport van sediment in belangrijke mate door de (wind)golven wordt bepaald. De bijdrage van de stroming in de analyse van de transporten is meegenomen op basis van de maximale stroomsnelheden bij eb en vloed, die in de beschouwde richting optreden in het dieptegemiddelde stromingsmodel.

De geulas heeft een hoek van ongeveer 10° ten opzichte van de noordelijke richting, zie Figuur 6-4. Het langtransport wordt gedomineerd door golven die evenwijdig door de geul lopen. Deze worden veroorzaakt door noordelijke en zuidelijke wind. Uitgangspunt voor het dwarstransport is dat de golven dwars op de geul uit het westen en oosten komen en worden opgewekt door westelijke en oostelijke wind.

De verdeling van de golven over langs- en dwarstransport is:

- Alle voorkomende golven tussen 325° en 55° (noordelijk segment) en 145° en 235° (zuidelijk segment) dragen bij aan het sedimenttransport door de geul.

- Alle voorkomende golven tussen 55° en 145° (oostelijk segment) en 235° en 325° (westelijk segment) dragen bij aan het sedimenttransport dwars op de geul.

Gebruikte condities en modelinstellingen

Het bepalen van de sedimentatie en erosie van de bodem van Boontjes is gedaan voor de referentiesituatie (huidige situatie) en voor de drie varianten van de verwijderde drempel:

- Drempel verwijderd tot -3,8 m+NAP; breedte: 100 m,
- Drempel verwijderd tot -4,3 m+NAP; breedte: 100 m,
- Drempel verwijderd tot -4,3 m+NAP; breedte: 150 m.

Gekozen is voor de maximale stroomsnelheden tijdens de vloed- en ebstroom. De gebruikte getijgedreven stromingscondities, zoals berekend door het WAQUA-model, zijn opgenomen in Tabel 6-4.

	referentie	variant 1	variant 2	variant 3
Stroombuis dwars over de geul				
Vloed				
debiet [m ³ /s]	0,25	0,25	0,23	0,20
stroomsnelheid [m/s]	0,14	0,14	0,13	0,13
waterstand [m+NAP]	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Eb				
debiet [m ³ /s]	0,20	0,20	0,18	0,18
stroomsnelheid [m/s]	0,09	0,09	0,08	0,08
waterstand [m+NAP]	+0,35	+0,35	+0,35	+0,35
Stroombuis parallel aan de geul				
Vloed				
debiet [m ³ /s]	2,11	2,21	2,26	2,26
stroomsnelheid [m/s]	0,38	0,40	0,41	0,41
waterstand [m+NAP]	+0,80	+0,80	+0,80	+0,80
Eb				
debiet [m ³ /s]	1,21	1,26	1,31	1,36
stroomsnelheid [m/s]	0,24	0,25	0,26	0,27
waterstand [m+NAP]	+0,35	+0,35	+0,35	+0,35

Tabel 6-4 – Gebruikte hydrodynamische randvoorwaarden berekeningen bodemveranderingen

Het sedimenttransport door stroming maar zonder golven is nihil, zie ook de opmerkingen in het vervolg van deze paragraaf onder 'bijdrage stroming en golven aan het sedimenttransport'. De golfhoogte en –periode zijn afgeleid uit de windgegevens van Terschelling (1971-1996) en De Kooy (1972-2000), gecombineerd met de SWAN-berekeningen en de formules voor windgolven van Bretschneider. Gekozen is voor de windgegevens van Terschelling omdat daar in vergelijking met de windgegevens van De Kooy vaker hogere windsnelheden in voorkomen (conservatieve benadering).

De berekeningen met SWAN zijn enkel verricht bij dagelijkse windcondities en jaarlijks maximale stormcondities. Hiermee dekken de SWAN-berekeningen niet het volledige jaar. Met de formule van Bretschneider is daarom de golfhoogte berekend en door aanpassing van de waterdiepte afgestemd op de met SWAN berekende golfhoogtes.

De methode om de golfhoogte en –periode bij Boontjes te bepalen is als volgt:

1. Het bepalen van een representatieve golfhoogte vanuit SWAN per combinatie van windrichting en windsnelheid

Uit de berekeningsresultaten van het SWAN-model is voor een drietal windrichtingen de golfhoogte nabij Boontjes uitgevoerd, op een aantal momenten tijdens het getij (LW, eb, vloed en HW). In de SWAN-berekening zijn de golfhoogten het grootst bij vloed en HW. In Tabel 6-5 is voor de drie onderzochte windrichtingen en twee windsnelheden de gemiddelde golfhoogte voor deze beide momenten weergegeven.

In de Bretschneider benadering (zie punt 3 hierna) wordt de waterdiepte nu zo gekozen dat bij de hogere windsnelheden en windrichting de met Bretschneider berekende golfhoogte in voldoende mate overeenstemt met deze op basis van de SWAN-resultaten bepaalde golfhoogte.

windrichting	windsnelheid [m/s]	golfhoogte [m]
10° (globaal noord)	6,6	0,31
	16,4	0,66
230° (globaal zuid)	8,9	0,52
	18,4	1,03
290° (globaal west)	8,1	0,46
	19,3	1,09

Tabel 6-5 – Gemiddelde golfhoogte tussen vloed en hoog water volgens SWAN bij drie windrichtingen en twee windsnelheden per windrichting.

2. Het bepalen van een representatieve strijklengte per segment

De strijklengte op de Waddenzee voor de vier segmenten is bepaald op basis van een zeekaart. Per segment is de gemiddelde strijklengte weergegeven in Tabel 6-6.

segment	strijklengte [km]	waterdiepte [m]
325°-55° (noord)	30	2,3
55°-145° (oost)	2	3,5
145°-235° (zuid)	15	4,5
235°-325° (west)	30	3,5

Tabel 6-6 – Strijklengtes en waterdieptes per segment, voor toepassing in de formulering van Bretschneider

3. Het bepalen van een representatieve diepte per segment

De (representatieve) diepte per segment is gebruikt als 'kalibratieparameter', om de uitkomsten van de formule van Bretschneider overeen te laten komen met de resultaten van SWAN.

Een voorbeeld voor het noordelijk segment: de strijklengte is 30 km, de windsnelheid is 6,6 m/s met een bijbehorende golfhoogte volgens SWAN van 0,31 m. Bij een windsnelheid van 16,4 m/s geeft SWAN een golfhoogte van 0,66 m. Alle golfhoogtes worden met de formule berekend voor een waterdiepte van 2,3 m. Deze diepte geldt daarmee voor het noordelijk segment. De op deze wijze bepaalde waterdieptes per segment staan eveneens in bovenstaande Tabel 6-6. Bij de afregeling is de grootste golfhoogte zo goed mogelijk benaderd. De maximale afwijking van alle Bretschneider golfhoogtes t.o.v. de SWAN-golfhoogtes is 10%. Voor het oostelijk segment, waarvoor geen SWAN resultaten voorhanden zijn, is de waterdiepte van het westelijk segment gebruikt.

4. Het bepalen van golfhoogtes en golfperiodes per segment gedurende het gehele jaar

Voor verschillende klassen golfhoogtes zijn de golfhoogten en -periodes bepaald met de afgeregelde formules van Bretschneider. De golfhoogten en -periodes per windklasse zijn gewogen

met de duur gesommeerd tot golfklassen met een onderlinge toename van circa 0,1 m. De resulterende golfhoogten en –perioden en duur zijn opgenomen in Tabel 6-7. Alle bijdragen uit het noordelijk en zuidelijk segment dragen bij aan het langstransport door de geul. Alle bijdragen uit het westelijk en oostelijk segment dragen bij aan het dwarstransport over de geul.

golven uit noordelijk en zuidelijk segment			golven uit westelijk en oostelijk segment		
golfhoogte [m]	golfperiode [s]	duur [dagen]	golfhoogte [m]	golfperiode [s]	duur [dagen]
0,4 ¹	2,5	98	0,4 ¹	2,5	126
0,44	2,8	19	0,46	2,4	2
0,53	2,8	33	0,56	3,0	34
0,6	3,4	2	0,69	3,4	20
0,69	3,2	14	0,79	3,7	8
0,83	3,5	4	0,88	4,0	3
0,95	3,8	1			

¹ er treedt bij deze golfhoogte geen transport op Opmerking: 2 dagen per jaar windstil

Tabel 6-7 – Golfkarakteristieken voor een gemiddeld jaar, bepaald met de formules van Bretschneider op basis van de windkarakteristieken van Terschelling over de periode 1976-1996

Met het transportmodel van Van Rijn, zie paragraaf 4.7, is de totale bodemverandering na een jaar berekend voor de verschillende bijdragen van de verschillende golfkarakteristieken uit Tabel 6-7. Dat is gedaan voor een schematisatie van getijstroming en golven zowel parallel aan de geulas, als voor een schematisatie van getijstroming en golven dwars over de geul.

De gebruikte karakteristieken van het bodemmateriaal in de berekeningen zijn:

- $D_{50} = 100$ tot $200 \mu\text{m}$ ($100 \mu\text{m}$, $150 \mu\text{m}$ en $200 \mu\text{m}$)
- $D_{90} = 300 \mu\text{m}$
- dichtheid 2650 kg/m^3

De dichtheid van het zeewater is 1025 kg/m^3 en de kinematische viscositeit $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Voor het percentage slib in het sediment is 20% aangehouden. De porositeit van het bodemmateriaal is 0,4. De tijdstap in de berekeningen is 2 uur. De plaatsstap is 50 m in de schematisatie van het langspoorprofiel van de geul (noord-zuid met trajectlengte 6 km) en 5 m in de schematisatie van het dwarsprofiel van de geul (oost-west met trajectlengte 1250 m).

Kalibreren van de modellen voor langs- en dwarsprofiel in de referentiesituatie

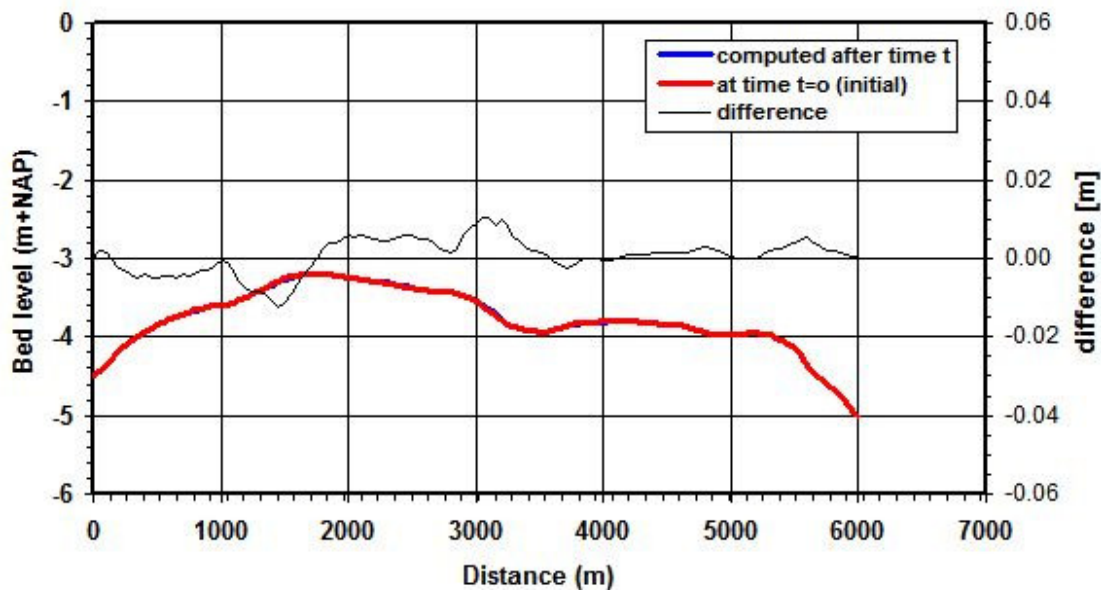
In de huidige situatie treedt er de laatste jaren nauwelijks bodemverandering op in Boontjes zoals ook in paragraaf 2.3.2 is beschreven. Bij de kalibratie van het rekenmodel zal het snelheidsverloop overeen moeten komen met het snelheidsverloop uit WAQUA. De breedte van de stroombuis is gevarieerd om te compenseren voor de zijdelingse in- en uitstroming naar de geul. De kalibratie is met een gemiddelde korreldiameter van het bodemmateriaal gedaan van $150 \mu\text{m}$. Rekening is gehouden met de uitwisseling van debiet tussen de geul en de platen tijdens vloed en eb. De WAQUA-resultaten van een vloed- en ebcyclus zijn daarvoor gebruikt. In Bijlage F is de modelkalibratie beschreven.

Bijdrage stroming en golven aan het sedimenttransport

Het sedimenttransport is klein tot verwaarloosbaar als alleen met stroming wordt gerekend. De stroomsnelheden liggen in alle onderzochte gevallen onder de kritische stroomsnelheid voor het begin van bewegen. Significant sedimenttransport treedt pas op bij de combinatie van stroming en golven.

Resultaten bodemveranderingen langs de geul in Boontjes

De breedte van de stroombuis in langsrichting van de geul is gevarieerd om het stroomsnelheidsverloop overeen te laten komen met de resultaten van WAQUA, zoals in Bijlage F is beschreven. De breedte van de stroombuis is aan beide einden 1 m en ter plaatse van de grootste ondiepte 1,6 m (rond 1500 m), zie Figuur F-2. Na een jaar onder getijstroming en golven is de bodemverandering langs de stroombuis gemiddeld 0,001 m en maximaal +0,011 m/-0,012 m, zie Figuur 6-5. De bodemverandering rond de drempel is het grootst op locaties met een 'knik' in de bodemligging. De netto sedimentatie, gesommeerd over de lengte van de geul, is na een jaar 12,7 m³/m¹ breedte.



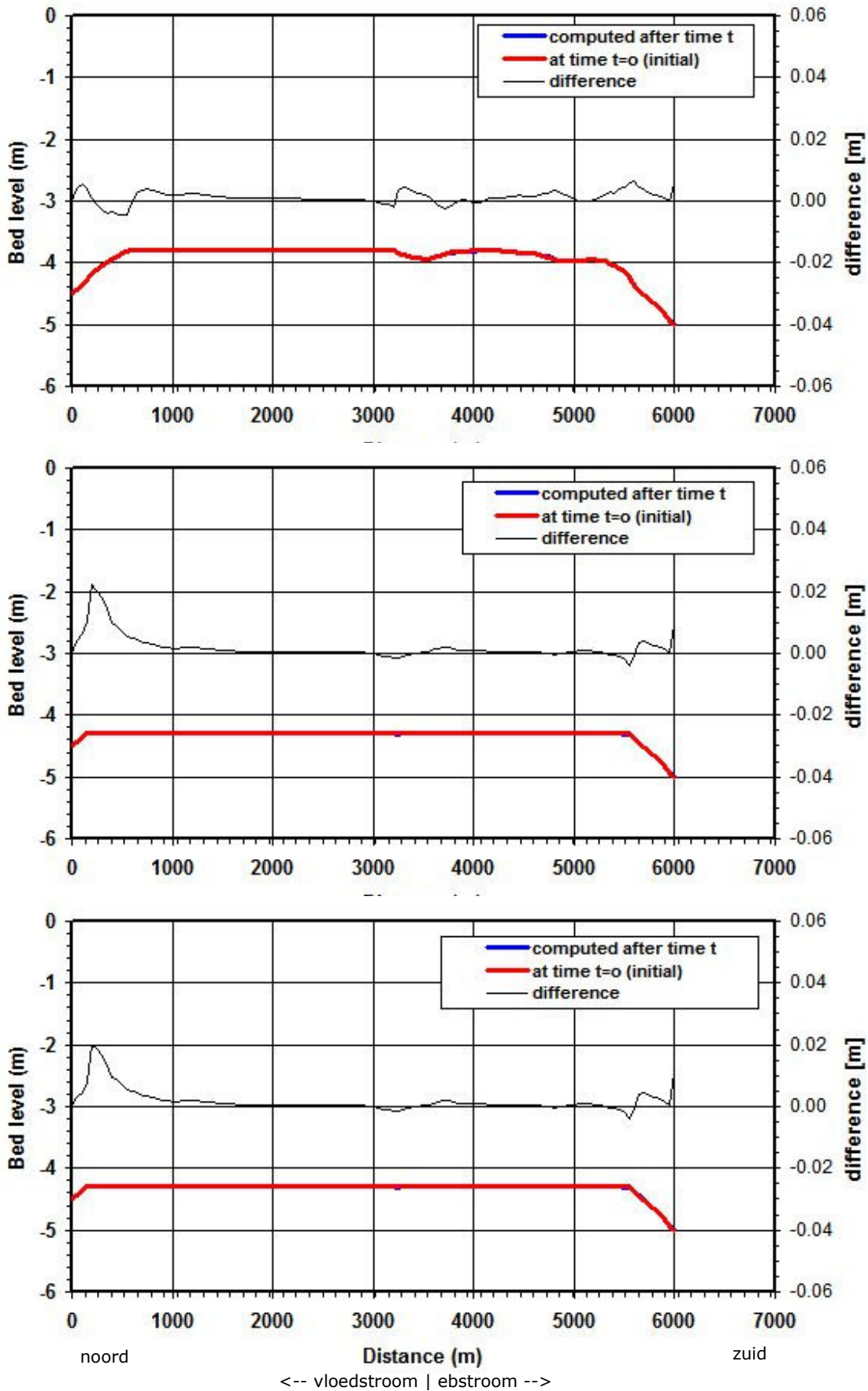
Figuur 6-5 – Bodemligging langs de geul, referentiesituatie. Afstand (distance) toenemend van noord naar zuid langs de geulas.

Het resultaat van de berekeningen voor de drie varianten staat in Figuur 6-6. De bodemverandering langs de verdiepte geul volgens variant 1 ligt tussen 0,006 m en -0,005 m en is gemiddeld langs de geul 0,001 m. De netto sedimentatie, gesommeerd over de lengte van de geul, is na een jaar 9,1 m³/m¹ breedte. Sedimentatie vindt plaats aan het noordelijke uiteinde van het traject waar de drempel is verwijderd. Het aangevoerde sediment slaat daar neer omdat de effectieve stroomsnelheden (stroming en golven) op de verwijderde drempel lager zijn dan de kritische stroomsnelheid (begin van bewegen). De sedimentconcentratie in de verticaal past zich aan over enige afstand waardoor het afgezette sediment in dit geval over circa 1000 m wordt afgezet (met de meeste afzetting aan het diepere begin van de geul). In de referentiesituatie (Figuur 6-5) is op die locatie ook sprake van aanzanding, maar in variant 1 is de aanzanding groter. Op drempel is de sedimentatie/erosie in de referentiesituatie wat groter dan voor variant 1. Er gebeurt op het verdiepte deel langs de geul dus minder met de bodemligging dan in de referentiesituatie (sedimenttransportcapaciteit is kleiner in variant 1 dan in de referentiesituatie)

Met een verder verdiepte geul volgens variant 2, Figuur 6-6 (midden), is de aanzanding aan de noordzijde van de geul groter dan voor variant 1 en de bodemveranderingen op de verdiepte drempel zijn kleiner. De bodemveranderingen liggen tussen +0,022 m en -0,004 m en zijn gemiddeld 0,002 m. De netto sedimentatie, gesommeerd over de lengte van de geul, is na een jaar 11,9 m³/m¹ breedte. De gemiddelde bodemverandering van variant 2 is niet anders dan voor variant 1.

Voor variant 3 met de verdiepte en verbrede geul, Figuur 6-6 (onder), wordt een bodemverandering berekend overeenkomstig met variant 2. De effectieve stroomsnelheden blijven overal onder de kritische stroomsnelheid. De bodemveranderingen liggen tussen +0,020 m en -0,004 m en zijn gemiddeld 0,002 m. De netto sedimentatie, gesommeerd over de lengte van de geul, is na een jaar $11,5 \text{ m}^3/\text{m}^1$ breedte.

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de drempelverwijdering leidt tot minder sedimentatie in de geul door getijwerking en windgolven. Het meegevoerde sediment wordt met name afgezet in de diepere noordelijk en zuidelijke aanloop tot de geul.



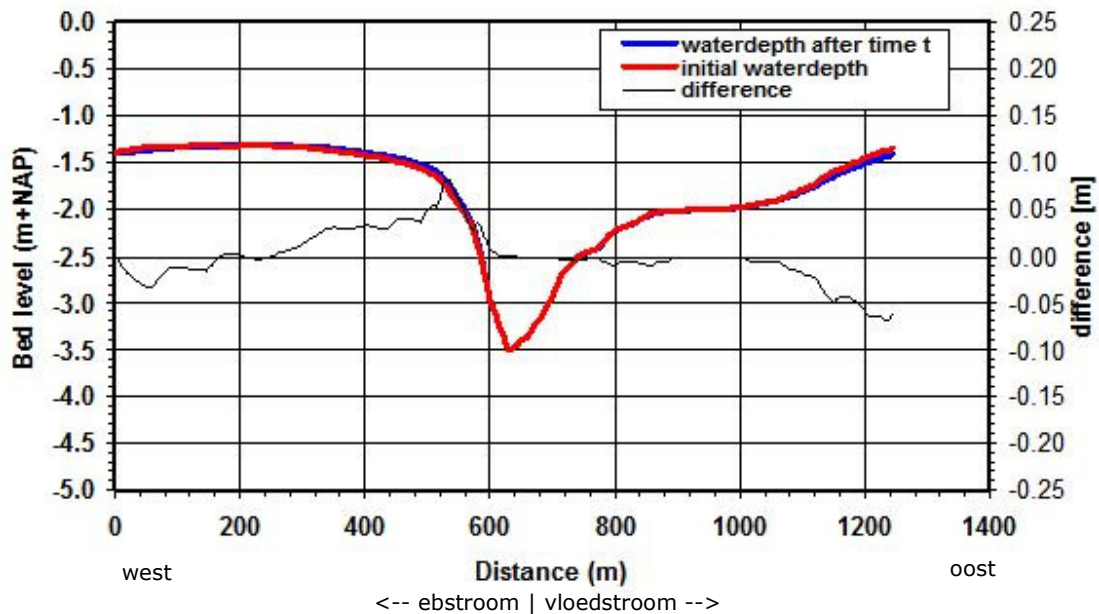
Figuur 6-6 Bodemligging langs de geul, varianten 1 (boven), 2 (midden) en 3 (onder). Afstand toene-
mend van noord naar zuid langs de geulas.

De aanzandingsvolumes gesommeerd over de breedte van de geul per jaar zijn voor de referentiesituatie 1270 m³/jaar en voor de varianten 1, 2 en 3 respectievelijk 910, 1190 en 1725 m³/jaar.

Resultaten bodemveranderingen dwars over de geul in Boontjes

In de referentiesituatie treedt er nauwelijks bodemverandering op in de geul Boontjes en moet de bodem ongeveer stabiel zijn. Op de overgang van de platen naar de geul (de flanken) is wel morfologische activiteit, zoals hierna beschreven in paragraaf 6.3.1. De breedte van de stroombuis is gevarieerd om deze stabiliteit te realiseren, zoals in Bijlage F is beschreven. De breedte van de stroombuis is aan beide einden 1 m en ter plaatse van de grootste ondiepte 1,6 m, zie Figuur F-4.

In de referentiesituatie is, na een jaar onder getijstrooming en windgolven, de bodemverandering gemiddeld +0,000 m en maximaal +0,082 m/-0,069 m, zie Figuur 6-7. De maximale sedimentatie treedt op de westflank van de geul op en op de oostflank is er sprake van enige erosie. In de diepe delen van de geul treedt nauwelijks sedimentatie/erosie op. De sedimentatie op de westflank (250 m – 650 m) is na een jaar 11,7 m³/m¹.



Figuur 6-7 - Bodemligging dwars over de geul, referentiesituatie, afstand toenemend van west naar oost

De resultaten van de berekeningen voor de drie varianten staan in Figuur 6-8. De bodemverandering langs de verdiepte geul volgens variant 1 ligt tussen +0,108 m en -0,058 m en is gemiddeld langs de geul 0,002 m. Sedimentatie vindt plaats op de westflank langs de geul en erosie langs de oostflank. Op de westelijke plaat (tussen 0 en 500 m in modelcoördinaten) verandert de bodemligging tijdens de storm, sediment wordt van west naar oost getransporteerd. Op de oostelijke plaat treedt tijdens de storm voornamelijk erosie op. In de verdiepte geul treedt geen transport op, alleen op de flanken is morfologische activiteit. De sedimentatie op de westflank (250 m – 650 m) is na een jaar 14,2 m³/m¹.

Het resultaat van variant 2, Figuur 6-8 (midden), lijkt op dat voor variant 1. De bodemverandering langs de verdiepte geul volgens variant 1 ligt tussen +0,114 m en -0,063 m en is gemiddeld langs de geul 0,002 m. De sedimentatie en erosie zijn wat groter dan in variant 1. De sedimentatie op de westflank (250 m – 650 m) is na een jaar 14,8 m³/m¹.

Het resultaat van variant 3, Figuur 6-8 (onder), laat meer sedimentatie op de westflank zien, de stroomsnelheden met deze verbrede en verdiepte geul worden op de flanken nog sterker vertraagd dan in variant 2. De bodemverandering langs de verdiepte geul volgens variant 1 ligt tussen +0,218 m en -0,062 m en is gemiddeld langs de geul 0,003 m. De sedimentatie op de westflank (250 m – 650 m) is na een jaar $16,6 \text{ m}^3/\text{m}^1$.

Uit deze resultaten kan worden geconcludeerd dat de sedimentflux vanaf de platen naar de geul door de drempelverwijdering toeneemt. Het meegevoerde sediment wordt met name op de westelijke flank afgezet en op de oostelijke flank vindt enige erosie plaats tijdens stormen.

De hoeveelheid afgezet sediment op de westflank (tussen NAP -1,2 m en NAP -4,5 m) langs de 5000 m lange geul is $58.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$ in de referentiesituatie. Voor variant 1 is dat $71.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$, voor variant 2 is dat $74.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ en voor variant 3 is dat $83.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Gevoeligheid

De gevoeligheid van de resultaten voor een andere diameter van het bodemmateriaal is onderzocht voor $D_{50} = 100 \mu\text{m}$ en $200 \mu\text{m}$. Het verloop van de bodemveranderingen is conform die berekend met $D_{50} = 150 \mu\text{m}$. De maximum sedimentatie en erosie is circa 0,01 m groter voor fijner bodemmateriaal ($D_{50} = 100 \mu\text{m}$) en circa 0,005 m minder voor grover bodemmateriaal ($D_{50} = 200 \mu\text{m}$).

Met een toename van 10% voor de golfhoogte van alle klassen uit Tabel 6-7 is de jaarlijkse sedimentatie in de geul langs de as circa 20% groter. De sedimentatie dwars op de geul, op de westflank van de geul, is met 10% hogere golven circa 40% groter.

Opmerkingen bij de analyse van transporten

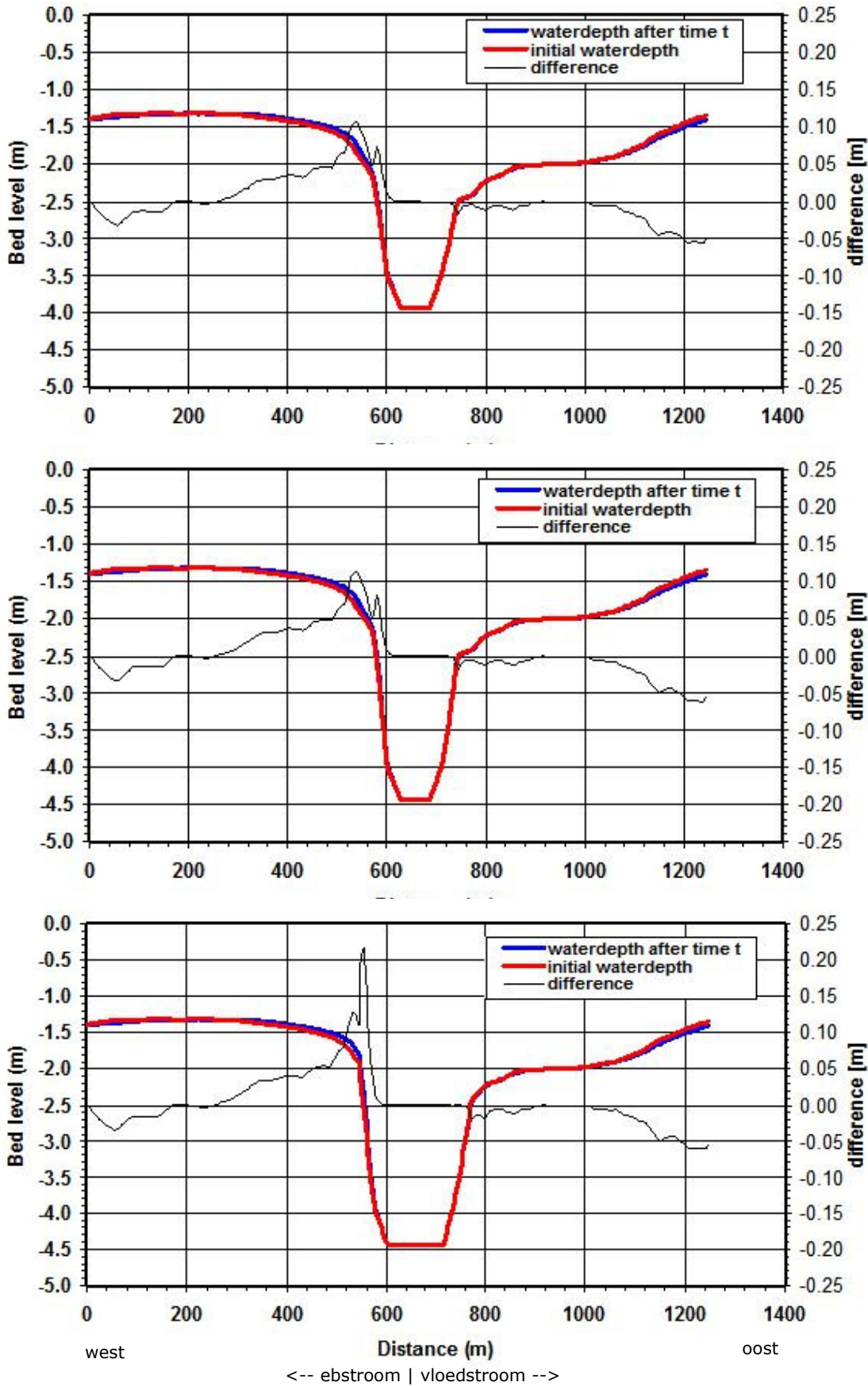
- Voor de analyse van de transporten in de richting van Boontjes en de loodrecht daarop staande richting is gebruik gemaakt van de maximale stroming en de optredende golven in de beschouwde richting. Voor de bepaling van de golfhoogte is uitgegaan van de windroos voor Terschelling omdat daarin hogere windsnelheden voorkomen. Het windveld ter hoogte van Boontjes kan daar in meer of mindere mate van afwijken.
- De grootte van windgolven is voor een beperkt aantal windrichtingen met het simulatiemodel SWAN bepaald (10° , 230° en 290°). In de analyse van transporten is uitgegaan van een benadering volgens Bretschneider. In de analyse van transporten is er (door keuze van de waterdiepte) voor de windomstandigheden uit het SWAN-model voor gezorgd dat golfhoogte volgens Bretschneider vergelijkbaar is met de SWAN-golfhoogte ter plaatse van Boontjes. Aangenomen is dat ook voor de overige windcondities vervolgens een juiste schatting wordt gemaakt van de optredende windgolven. Een volledige simulatie van alle windklassen en richtingen viel buiten de scope van het onderzoek.
- In het geval dat een gekoppeld hydraulisch-morfologisch model beschikbaar zou zijn geweest, zou uitgegaan kunnen worden van het aandeel van het transport in de richting loodrecht op Boontjes. Voor de transporten in een richting loodrecht op Boontjes is in het voorliggende onderzoek uitgegaan van het aandeel van de snelheidsvector in de beschouwde richting. Voor de analyse van de transporten moest dit noodgedwongen worden geaccepteerd.
- Het effect van golven op de morfologische ontwikkeling is sterk afhankelijk van de variatie in waterdiepte boven de platen. In de berekeningen is uitgegaan van een constante waterdiepte bij eb en bij vloed, omdat het rekenen met een variërende waterstand niet mogelijk is met de gebruikte hulpmiddelen.

- Bij het samenvoegen van de optredende windgolven in de onderscheiden segmenten, zie Figuur 6-4, is aangenomen dat alle windgolven in een richting loodrecht op Boontjes aankomen. In het algemeen is er een grote mate van overeenstemming tussen windrichting en golfrichting. Voor de analyse van de transporten zou alleen het aandeel van de golfschuifspanning in de beschouwde richting meegenomen moeten worden. Gezien alle overige onzekerheden is hiervan afgezien. Hierdoor kan een overschatting van het transport in de beschouwde richting ontstaan.
- Scheepsgolven zijn niet meegenomen in de berekening van de bodemveranderingen, terwijl deze in een scheepvaartgeul een aanzienlijke bijdrage leveren aan de morfologische ontwikkeling van de plaatranden.

Conclusie

Sedimenttransport vindt met name plaats bij de combinatie van golven en stroming. Met alleen getijdestroming blijven de stroomsnelheden onder de kritische snelheid voor begin van bewegen van het bodemmateriaal ($D_{50} = 150 \mu\text{m}$). Sediment zet zich voornamelijk af in de diepe delen aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul.

De aanzanding op de flanken (overgang van plaat naar geul) langs de geul ligt op een talud en zal door windgolven, maar met name ook door scheepsgolven worden opgewoeld en door de zwaartekracht naar de diepere geul worden verplaatst. Per dag passeren meerdere vrachtschepen en vooral tijdens laagwater zullen de scheepsgolven op de flanken het sediment in beweging kunnen brengen. Het sediment zal uiteindelijk onder in de geul terechtkomen. In de volgende paragraaf worden de baggervolumes per variant ingeschat op basis van veranderingen in plaat-geuluitwisseling (dwarstransporten, beschreven in de huidige paragraaf) en veranderingen in sedimenttransportcapaciteit in langsrichting van de geul (beschreven in de vorige paragraaf).



Figuur 6-8 – Bodemligging dwars over de geul, varianten 1(boven), 2 (midden) en 3 (onder), afstand toenemend van west naar oost dwars over de geul

6.2.3 Onderhoudsbaggerwerk

Deze paragraaf geeft een inschatting van het benodigde baggerwerk om de geul Boontjes na de verwijdering van de drempel op diepte te houden. Dit gebeurt op basis van de voorgaande twee paragrafen. De historische gegevens geven een indicatie dat de huidige bodemligging van de vaargeul in evenwicht is. Op dit moment wordt er dan ook niet gebaggerd in Boontjes. Dit kan enerzijds komen doordat de verhouding tussen stroomsnelheden, golven en waterdiepte zodanig is dat er geen significante sedimenttransporten optreden, anderzijds doordat de bodem bestaat uit slecht erodeerbaar materiaal.

In de vorige paragraaf is duidelijk geworden dat de voornaamste aanvoer van sediment naar de geul komt vanaf de platen door afslag bij storm in combinatie met wind- en scheepvaartgolven. Het op deze manier ingevangen sediment wordt uit de geul afgevoerd door de getijstroming tijdens dagelijkse omstandigheden. Deze theorie is gangbaar, zie paragraaf 6.3.1. Er treedt namelijk verdieping van geulen op door getijwerking en verondieping door golfwerking.

De belangrijkste aanname voor de inschatting van het onderhoudsbaggerwerk uit deze paragraaf is dat de referentiesituatie in evenwicht is: de aan- en afvoer van sediment is in evenwicht. De eventuele invloed van een slecht erodeerbare drempel (het optredende transport is dan kleiner dan de transportcapaciteit) wordt op deze manier buiten beschouwing gelaten. Daarnaast is aangenomen dat de resultaten voor de dwarsraai uit paragraaf 6.2.2 representatief zijn voor de gehele geul. Alle baggervolumes zijn dus bepaald op basis van verhoudingen, niet op basis van absolute uitkomsten van de verschillende gebruikte modellen. Deze methodiek komt neer op de gegronde aanname dat de processen in de toekomstige situatie kwalitatief gezien gelijk zullen zijn aan de processen in de huidige situatie.

De totale jaarlijkse aanzanding op de westflank van de geul, per meter geullengte, bedraagt volgens paragraaf 6.2.2 ongeveer:

Referentie: 11,7 m³/m

Variante 1: 14,2 m³/m

Variante 2: 14,8 m³/m

Variante 3: 16,6 m³/m

Deze sedimentatie is de voornaamste sedimentflux richting de geul. De geul heeft een lengte van ongeveer 5 km. De totale bronterm door plaat-geuluitwisseling van sediment bedraagt daarmee respectievelijk 58.500, 71.000, 74.000 en 83.000 m³/jaar. De erosie aan de oostzijde van de geul vindt plaats in het ondiepe deel van het dwarsprofiel, en leidt hiermee niet tot een positieve bijdrage voor de bevaarbaarheid van Boontjes. De geringe aanzanding in het diepe deel aan de noordzijde van Boontjes tijdens dagelijkse getijdewerking leidt eveneens niet tot een verandering in bevaarbaarheid, en is daarom ook buiten beschouwing gelaten.

De specifieke langtransporten (transporten per eenheid van breedte) door Boontjes ter plaatse van de huidige drempel bij gemiddeld getij zijn voor de referentie en de varianten 1, 2 en 3 respectievelijk 0,038, 0,032, 0,027 en 0,030 m³s⁻¹m⁻¹. Deze transporten zijn geldig voor locatie 6 uit Figuur 6-4, wat ongeveer overeenkomt met de positie van de dwarsraai uit paragraaf 6.2.2. De breedte is voor de referentie en de drie varianten ter plaatse van de drempel ongeveer 100, 100, 100 en 150 m. Dit levert ter plaatse van de drempel, onder gemiddelde condities, voor de referentie en de drie varianten een transport op van respectievelijk 3,8 m³/s, 3,2 m³/s, 2,7 m³/s en 4,5 m³/s. De verhoudingen tijdens springtij en doottij zijn ongeveer gelijk aan de verhoudingen tijdens gemiddeld getij.

De referentiesituatie is in evenwicht, dus de sedimenttransportcapaciteit van $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ is in balans met de bronterm van $58.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$ vanaf de platen. Deze verhouding wordt ook toegepast op de varianten. Een toegenomen sedimenttransportcapaciteit zorgt voor een toegenomen verliesterm in de sedimentbalans van de geul. Op basis van de sedimentbalans (bronterm-verliesterm) zijn aanzandingsvolumes per variant berekend. Het resultaat is samengevat in Tabel 6-8.

Variant	Toename bronterm [m ³ /jaar]	Af-/toename sedimenttransportcapaciteit [m ³ /s]	Af-/toename verliesterm [m ³ /jaar]	Aanzandingsvolume [m ³ /jaar]
Variant 1	12.500	-0,6	-9.200	21.700
Variant 2	15.500	-1,1	-16.800	32.400
Variant 3	24.500	+0,7	+10.800	13.700

Tabel 6-8 – Inschatting jaarlijkse aanzandingsvolume per variant ten opzichte van de referentiesituatie

De aanzandingsvolumes zijn gelijk aan de benodigde baggerhoeveelheden om de geul in dezelfde staat te houden als na aanleg.

De bodemligging blijft in de huidige situatie min of meer constant. In het voorgaande is aangenomen dat dit komt doordat er een evenwicht bestaat tussen de aan- en afvoer van sediment. Er is in deze analyse geen vaste-laag-effect meegenomen. Mogelijk bevindt zich in de huidige situatie een slecht erodeerbare laag op de drempel in Boontjes. De geul heeft dan gezien de hydraulische condities de neiging om te eroderen, maar de bodemsamenstelling voorkomt dit. Een slecht erodeerbare laag zorgt ervoor dat de sedimenttransporten lager zijn dan de sedimenttransportcapaciteit. Dit houdt in dat de afvoerende capaciteit van de geul in de referentiesituatie groter is dan de aangevoerde bronterm door sedimentaanvoer vanaf de platen. Wanneer de drempelverwijdering leidt tot een afname in de sedimenttransportcapaciteit, is het dan nog steeds mogelijk dat de sedimentaanvoer vanaf de platen (grotendeels) afgevoerd kan worden.

Om gevoel te krijgen voor de invloed van een eventuele vaste laag, stellen we dat ook een sedimenttransportcapaciteit van $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ minus 10 procent in staat is om de bronterm van $58.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$ vanaf de platen af te voeren. Daarmee is een sedimenttransportcapaciteit van $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ in balans met een volume van $58.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$ vanaf de platen. De derde kolom in Tabel 6-8 wijzigt nu in het tekort of overschot aan transportcapaciteit in de varianten ten opzichte van deze $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$. De vierde kolom is nu gelijk aan dit overschot of tekort, vermenigvuldigd met een factor $58.500/3,4 = 17.200$. Dit resulteert uiteindelijk in een ander aanzandingsvolume (laatste kolom), rekening houdend met een slecht erodeerbare laag in de huidige situatie.

Variant	Toename bronterm [m ³ /jaar]	Af-/toename sedimenttransportcapaciteit [m ³ /s]	Af-/toename verliesterm [m ³ /jaar]	Aanzandingsvolume [m ³ /jaar]
Variant 1	12.500	-0,2	-3.400	15.900
Variant 2	15.500	-0,7	-12.000	27.500
Variant 3	24.500	+1,1	+18.900	5.600

Tabel 6-9 – Inschatting jaarlijkse aanzandingsvolume per variant ten opzichte van de referentiesituatie, waarbij rekening gehouden wordt met het effect van een slecht erodeerbare laag in de referentiesituatie

De 10% is een willekeurige hoeveelheid. De boodschap is echter helder: wanneer er in de huidige situatie sprake is van een slecht erodeerbare laag, zullen de baggervolumes lager uitvallen dan in Tabel 6-8 is ingeschat. Het vaste-laag-effect is niet dusdanig aannemelijk gemaakt, dat de baggervolumes uit deze studie gebaseerd kunnen worden op Tabel 6-9. Wel maakt deze aanvullende berekening duidelijk dat (de inherente onzekerheden van de gehanteerde methodiek buiten beschouwing latend) de baggervolumes als conservatief ingeschat kunnen worden.

Andere redenen om de uitkomsten conservatief te noemen zijn:

- De baggervolumes zijn gebaseerd op het profiel direct na aanleg. In dit profiel komen relatief scherpe overgangen en steile taluds voor. Bij een toename van een taludhelling daalt de kritische schuifspanning voor het begin van beweging van sediment. Dit is het gevolg van de toename van de gravitatiecomponent langs het talud. Daar waar de taluds langs Boontjes steiler zijn geworden door de drempelverwijdering, zal (bij gelijkblijvende bodemschuifspanning) herverdeling van het zand optreden, waardoor de steilheid van het talud afneemt. De morfologische activiteit zal mogelijk licht afnemen wanneer het dwarsprofiel een geleidelijker verloop heeft aangenomen. Dit resulteert in een afname van de baggervolumes na verloop van tijd.
- De golfhoogtes zijn gebaseerd op het meetstation Terschelling. Gegeven het feit dat Boontjes meer landinwaarts ligt, en de data van meetstation De Kooy lagere windsnelheden bevat, is de keuze voor Terschelling als basis conservatief te noemen.
- Er is aangenomen dat alle windrichtingen uit het oostelijke en westelijke segment loodrecht op Boontjes staan. Dit leidt tot een overschatting van het sedimenttransport vanaf de platen richting de geul.

In het startdocument drempelverwijdering Boontjes (Bijker en Ouwerkerk, 2010) is geschat dat het jaarlijks onderhoudsbaggerwerk van een verruimde geul, ongeveer overeenkomend met variant 2 uit dit rapport, ongeveer 50.000 m³ kan zijn $\pm 50\%$. Dit getal is van dezelfde orde van grootte als de volumes uit Tabel 6-8. De bandbreedte van $\pm 50\%$ is ook voor de voorliggende studie aan te houden, gezien de onzekerheden in het modelinstrumentarium (zie paragraaf 6.2.2), in hydraulische condities en de vele vereenvoudigingen die zijn gemaakt van de zeer complexe realiteit van een dynamische intergetijdegeul rond een wantij. Dit ondanks het feit dat er diverse detailleringen hebben plaatsgevonden ten opzichte van de voorstudie.

De getoonde baggervolumes in Tabel 6-8 zijn voor alle varianten in dezelfde orde van grootte. Er is dan ook geen reden om aan te nemen dat een geul met grotere dimensies leidt tot een grotere hoeveelheid baggerwerk.

6.2.4 Conclusies

Op basis van de beschouwde sedimenttransporten bij vloed tijdens springtij in de huidige situatie lijkt de morfologische activiteit ter plaatse van de drempel in Boontjes gering. Dit is ook het geval na verwijdering van de drempel. Bij vloed tijdens springtij nemen de over de breedte van de geul gesommeerde sedimenttransporten, gemiddeld over het beschouwde deel van Boontjes, met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. Het extra aangevoerde sediment komt vooral op de platen terecht door de sterke plaat-geuluitwisseling van de stroming ten zuiden van de drempel in Boontjes. De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen in variant 1 en 2 af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe. Bij deze variant overheerst het effect van de toename van de stroomsnelheid over het effect van de dieptetoe-namen. Sedimenttransport vindt met name plaats bij de combinatie van golven en stroming. Met

alleen getijdestroming blijven de stroomsnelheden onder de kritische snelheid voor begin van bewegen van het bodemmateriaal ($D_{50} = 150 \mu\text{m}$).

Sediment zet zich voornamelijk af aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens de maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul.

Naar verwachting zal onderhoudsbaggerwerk aan de geul noodzakelijk zijn. Twee effecten spelen een rol: de verandering van de sedimentaanvoer vanaf de platen naar de geul en de verandering van de sedimenttransportcapaciteit van Boontjes als geheel.

1. Sedimentaanoever vanaf de platen naar de geul. Er vindt tijdens stormen aanvoer van sediment plaats vanaf de plaat ten westen van de geul. De aanzanding op de flanken (overgang van plaat naar geul) langs de geul ligt op een talud en zal door windgolven en scheepsgolven worden opgewoeld en door de zwaartekracht naar de diepere geul worden verplaatst. Per dag passeren meerdere vrachtschepen. Vooral tijdens laagwater zullen de scheepsgolven op de flanken het sediment in beweging kunnen brengen. Het sediment zal uiteindelijk onder in de geul terechtkomen. De sedimentaanvoer vanaf de platen naar de geul neemt bij alle varianten toe ten opzichte van de referentiesituatie.
2. Sedimenttransportcapaciteit. De sedimenttransportcapaciteit in de geul met verwijderde drempel neemt bij de varianten 1 en 2 ter plaatse van de drempel af ten opzichte van de huidige situatie. Er zal dus minder ingevangen sediment naar de uiteinden van de geul kunnen worden getransporteerd. Bij variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook ter plaatse van de verwijderde drempel toe.

Vanwege het huidige stabiele karakter van de geul is aangenomen dat bovenstaande effecten in evenwicht zijn in de huidige situatie (referentiesituatie). Op basis van de veranderingen van deze effecten in de varianten ten opzichte van de referentiesituatie is het benodigde baggervolume ingeschat op 21.700 m³/jaar voor variant 1, 32.400 m³/jaar voor variant 2 en 13.700 m³/jaar voor variant 3. Deze volumes zijn (de inherente onzekerheid van de gehanteerde methodiek buiten beschouwing latend) naar verwachting conservatief ingeschat.

6.3 Plaatareaal

De drempelverwijdering in Boontjes kan de ontwikkeling van het plaatareaal rond de geul beïnvloeden. In deze paragraaf is een inschatting gemaakt van deze beïnvloeding op basis van de modelresultaten (hoofdstuk 5) in combinatie met de eigenschappen van het systeem (hoofdstuk 2).

6.3.1 Opbouw en afbraak van platen

De opbouw en afbraak van platen is onderzocht in bijvoorbeeld Buist en Bloks (1984), Kohsiek et al. (1986) en Kohsiek et al. (1987). Hieruit blijkt dat de opbouw van de platen en slikken plaatsvindt tijdens dagelijkse condities ten gevolge van sedimentaanvoer vanuit de getijdegeulen. Vanwege sterke ruimtelijke gradiënten in de stroomsnelheid en het golfveld treedt de sedimentatie vooral op nabij de plaatranden. Bovenop de plaat komt (initieel) maar een klein deel van het sediment terecht. Vooral de sedimentaanvoer tijdens springtij is van belang, vanwege de hogere-machtsrelatie tussen sedimenttransport en stroomsnelheid. De afbraak van de platen treedt voornamelijk op tijdens stormcondities ten gevolge van golfwerking. Vooral de

plaatranden die haaks op de windrichting staan, zijn gevoelig voor afslag door golfwerking. Het zand van de plaatrand wordt door de golfwerking deels naar de plaat en deels naar de aangrenzende geul verplaatst. Behalve de golfwerking speelt bij stormcondities en kleine waterdieptes ook de windgedreven stroming over de platen een rol (Buist en Bloks, 1984; Kohsiek et al. 1986, 1987).

Een systeem waarin deze processen duidelijk zichtbaar zijn, is de Oosterschelde (Kohsiek et al., 1987; Louters et al., 1998; Mulder en Louters, 1994). Sinds de aanleg van de Oosterscheldering is het getijprisma van de Oosterschelde sterk afgenomen. Hierdoor namen de stroomsnelheden en de sedimenttransporten in de getijdegeulen fors af. De opbouw van de platen vanuit de geulen nam door deze veranderingen dramatisch af. Het afbraakmechanisme van de platen bleef echter onveranderd, doordat de golfwerking niet significant wijzigde. Het resultaat is een sterke afname van de plaathoogte en een geleidelijke opvulling van de geulen. Voor de Oosterschelde geldt dat de stroomsnelheden bij springtij gemiddeld 50% hoger liggen dan die bij doortij. Als gevolg hiervan zijn de sedimenttransporten bij springtij een factor 10 tot 20 hoger dan bij doortij. De bijdrage aan de plaatopbouw van de getijstroming bij springtij is 4 tot 5 maal groter dan de bijdrage gedurende doortij.

Naast deze effecten zullen scheepsgolven van passerende schepen het sediment op de ondiepe flanken langs scheepvaartgeulen kortstondig maar wel meerdere malen per dag in beweging brengen. Door de zwaartekrachtswerking zal dit sediment op de flanken van de geul naar de diepere delen van de geul zakken.

6.3.2 Drempelverwijdering Boontjes en de plaathoogte

Uit het voorgaande blijkt dat voor de verandering van de plaathoogte rond Boontjes vooral de verandering van de sedimenttransporten in de geul bij gemiddelde windcondities (opbouw) en de verandering van de golfcondities bij storm (afbraak) van belang zijn.

Opbouw van platen

De drempelverwijdering zorgt ervoor dat de sedimenttransporten in de vaargeul Boontjes onder gemiddelde windcondities toenemen, zie paragraaf 6.2.1. In die paragraaf zijn de transporten bij vloed tijdens springtij beschreven. Deze transporten zijn ordes groter dan de transporten bij eb of de vloedtransporten bij doortij, en daarom representatief voor de reactie van het complete systeem op de drempelverwijdering. De gesommeerde transporten onder deze condities nemen gemiddeld over het beschouwde deel van Boontjes met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. Het extra aangevoerde sediment komt vooral op de platen terecht door de sterke plaat-geuluitwisseling van de stroming ten zuiden van de drempel in Boontjes.

Afbraak van platen

De voornaamste drijvende kracht voor de afbraak van de platen is de golfwerking, en dan vooral tijdens stormcondities. Uit de modelresultaten (SWAN) volgt dat de bodemschuifspanning door golven op de platen licht afneemt. Hetzelfde geldt voor de bodemschuifspanning door stroming. De grootte van deze afnames is echter klein: slechts over een beperkt oppervlak groter dan $0,1 \text{ N/m}^2$ (zie Bijlage D: Resultaten golfmodellering), waardoor het afbraakmechanisme van de platen niet significant zal verzwakken.

Op de plaatranden is geen structurele toe- of afname van de bodemschuifspanning zichtbaar. Bij een toename van een taludhelling daalt de kritische schuifspanning voor het begin van beweging van sediment. Dit is het gevolg van de toename van de gravitatiecomponent langs het talud. Daar waar de taluds langs Boontjes steiler zijn geworden door de drempelverwijdering, zal (bij gelijkblijvende bodemschuifspanning) herverdeling van het zand optreden, waardoor de

steilheid van het talud afneemt. Dit resulteert in enige erosie van de plaatranden en sedimentatie aan weerszijden van de geul. Dit is ook zichtbaar in de resultaten van de berekening van het bodemveranderingen bij dwarstransport, zie paragraaf 6.2.2.

Netto effect op plaathoogte

Resumerend: de voornaamste drijvende kracht voor de opbouw van de platen, de sedimentaanvoer vanuit de geul naar de platen, neemt toe met ongeveer 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). De drijvende krachten voor de afbraak van de platen veranderen niet noemenswaardig. Alleen bij de plaatranden zal initieel enige herverdeling van het bodemmateriaal optreden, waardoor de taludhelling afneemt. Op dit moment is er sprake van een sedimenterende trend in de omgeving van Boontjes, zie paragraaf 2.3. Deze trend zal door de verwijdering van de drempel in Boontjes niet doorbroken, maar iets versterkt worden. De initiële versterking van deze sedimenterende trend wordt ingeschat op 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). De volgende paragraaf behandelt de reactie van het systeem op de drempelverwijdering op lange termijn.

Ruimtelijk beeld aanpassing plaathoogte

Voor de bovengrens van de ruimtelijke omvang van het invloedsgebied is gebruik gemaakt van de modelresultaten voor bodemschuifspanningen ten gevolge van stroming bij dagelijkse condities. Bij springtij geldt dat het effect bij variant 1 beperkt is tot een klein gebied rond de drempelverwijdering, zie Figuur 5-29. Bij variant 1 wordt alleen het hoogst gelegen deel van de drempel (kort traject) verwijderd. Bij de varianten 2 en 3 (drempelverwijdering over een langer traject) is de invloed op de platen verspreid over een groter gebied. Zie Figuur 5-30 en Figuur 5-31. Bij gemiddeld getij en doortij is de ruimtelijke omvang van het effect aanzienlijk kleiner. Belangrijker is echter de verhoging van de stroomsnelheden in de geulen (die leiden tot sterkere aangroei van de platen). Deze blijft bij zowel gemiddelde windcondities als stormcondities beperkt tot het tracé rond de verwijderde drempel in Boontjes zelf. Zie Figuur 5-17 tot en met Figuur 5-19. De versterkte plaataangroei wordt daarom ook alleen ter plaatse van de ingreep zelf verwacht.

6.3.3 Ontwikkeling van de plaathoogte op lange termijn

In de vorige paragraaf is ingegaan op de initiële veranderingen van de morfologische ontwikkeling in en rond Boontjes. Deze paragraaf plaatst deze initiële veranderingen in het perspectief van de morfologische ontwikkeling van het gebied op lange termijn.

Drie processen spelen een belangrijke rol bij de morfologische ontwikkeling van het gebied rond Boontjes op lange termijn:

1. De sedimentatie ten gevolge van de aanleg van de Afsluitdijk
2. Sedimentatie ten gevolge van zeespiegelrijzing
3. De invloed van de drempelverwijdering

Allereerst de sedimentatie ten gevolge van de aanleg van de Afsluitdijk. De sedimentatie in het gebied wordt zoals beschreven in hoofdstuk 2 toegeschreven aan het effect van de aanleg van de Afsluitdijk. Uit diverse analyses, bijvoorbeeld uit Tönis et. al. (2002), volgt dat de reactie van een systeem op een verstoring steeds langzamer gaat verlopen naarmate de tijd vordert. Vaak wordt een exponentieel afnemend verloop van de aanpassing in de tijd aangenomen. Ook voor de plaathoogte rond Boontjes geldt dat de recente veranderingen in de bodemligging aanzienlijk minder snel verlopen dan enkele decennia geleden, zie bijvoorbeeld Figuur 2-11.

Het tweede proces dat een belangrijke rol speelt is de zeespiegelstijging. Het zogenaamde meegroeivermogen van de Waddenzee wordt gedefinieerd als "het natuurlijke vermogen van een kombergingsgebied, uitgedrukt in mm/jaar over het hele gebied, om de relatieve zeespiegelstijging op lange termijn bij te houden terwijl het geomorfologisch evenwicht en de sedimentbalans in stand blijven" (Ministerie van Economische Zaken, 2006). Door de zeespiegelstijging blijft er nieuwe accommodatieruimte ontstaan in de bekkens, waardoor de zandvraag blijft bestaan (Beets en Van der Spek, 2000). De Waddenzee groeit mee met de zeespiegelstijging door netto sediment te importeren. Naar verwachting zal ook nadat de invloed van de Afsluitdijk verdwenen is sedimentatie blijven plaatsvinden in het gebied ten gevolge van de zeespiegelstijging.

Tenslotte is er als derde proces de invloed van de drempelverwijdering. De initiële versterking van de bestaande sedimenterende trend van de plaathoogte rond Boontjes is in de voorgaande paragraaf ingeschat op 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). De verwachte geringe lokale sedimentatie in Boontjes leidt ertoe dat deze initiële versterking een bovengrens vormt voor de versterking van de sedimentatie in de verdere toekomst. Indien nodig zal de geul op diepte worden gehouden door middel van baggerwerk. De versterking van de sedimenterende trend heeft daarom een permanent karakter.

Het combineren van de autonome ontwikkeling van het gebied (bovenstaande eerste twee processen) met het effect van de ingreep (bovenstaand derde proces) leidt tot een totaaleffect. De som van de afnemende sedimentatie ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee en de permanente sedimentatie ten gevolge van de zeespiegelstijging zal door de drempelverwijdering versterkt worden. De versterking van de aanzandingssnelheid bedraagt initieel naar verwachting ongeveer 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). Deze versterking zal vervolgens na verloop van tijd enigszins afnemen door de verwachte lichte aanzanding in Boontjes.

6.3.4 Conclusies

Er wordt geen verandering van de droogvalduur van de huidige platen verwacht. De opbouw van de platen vanuit de geulen wordt door de drempelverwijdering versterkt. De afbraak van de platen door golfwerking en stroming tijdens golfcondities verandert niet noemenswaardig. Daarom zal de som van de afnemende sedimentatie ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee en de permanente sedimentatie ten gevolge van de zeespiegelstijging door de drempelverwijdering versterkt worden. De versterking van de aanzandingssnelheid bedraagt initieel naar verwachting ongeveer 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). Deze versterking zal vervolgens na verloop van tijd enigszins afnemen door de verwachte lichte aanzanding in Boontjes. Na het uitvoeren van onderhoudsbaggerwerk wordt deze afname weer ongedaan gemaakt. Bij de plaatranden zal initieel naar verwachting enige herverdeling van het bodemmateriaal optreden, waardoor de taludhelling afneemt.

6.4 Grootschalig morfologisch systeem

In deze paragraaf is ingegaan op de vraag of de drempelverwijdering in Boontjes invloed kan hebben op het gedrag van het grootschalige morfologische systeem van de Westelijke Waddenzee.

6.4.1 Morfologische stabiliteit van getijdebekkens

Escoffier (1940) was de eerste die een methode ontwikkelde om de stabiliteit van een getijdenlaai te bepalen. Hij definieerde een sluitingscurve, een empirische relatie tussen de amplitude van de stroomsnelheid in de inlaat en het stroomvoerende oppervlak van de inlaat. De snijpunten van deze sluitingscurve met een empirische evenwichtssnelheid levert over het algemeen twee evenwichtstoestanden. De ene evenwichtstoestand representeert een instabiel evenwicht, de andere een stabiel evenwicht. Van de Kreeke (1990) beschreef als een van de eersten de stabiliteit van een bekken met meerdere inlaten. De conclusie op basis van zijn werk is dat wanneer twee inlaten een getijdebekken met de zee verbinden er een open zal blijven en een zal sluiten.

In tegenstelling tot deze theorie staat de Waddenzee in verbinding met de Noordzee via diverse stabiele inlaten. Een van de belangrijkste aannames in het werk van Escoffier (1940) en Van de Kreeke (1990) is een uniform fluctuerende waterspiegel in het bekken. Deze aanname is voor de Waddenzee als geheel niet geldig. De wantijen tussen de verschillende bekkens zorgen ervoor dat de waterspiegel binnen de verschillende bekkens wel min of meer uniform fluctueert, maar niet binnen de Waddenzee als geheel.

Om deze reden is er in Van de Kreeke et al. (2008) onderzoek gedaan naar de invloed van een wantij op de morfologische stabiliteit van een systeem met twee inlaten. Het onderzoek is gebaseerd op een numerieke modelstudie, zoals beschreven in Brouwer (2006). Vanwege het belang van dit onderzoek voor de drempelverwijdering in Boontjes gaat de volgende paragraaf nader op dit onderzoek in.

Wang (2004) gaat in op het zogenaamde niet-lineaire gedrag van de Waddenzee als morfologische systeem. Met niet-lineair gedrag wordt het bestaan van meerdere morfologische evenwichtstoestanden bedoeld. Als er meerdere stabiele morfologische evenwichtstoestanden bestaan, is het mogelijk dat het systeem onder invloed van natuurlijke ontwikkelingen, in combinatie met menselijk ingrijpen, overgaat van de ene evenwichtstoestand naar de andere. Voor de Waddenzee gaat het dan om het gevaar dat het karakter van het huidige systeem met een karakteristiek plaat-geulpatroon zou verdwijnen. De uitspraken over het niet-lineaire gedrag zijn gebaseerd op het werk van Schuttelaars en de Swart (2000).

Wang (2004) beargumenteert dat de Waddenzeebekkens niet voldoen aan de voorwaarden voor het optreden van het niet-lineaire gedrag, zoals beschreven in Schuttelaars en de Swart (2000). Voor de Waddenzee geldt namelijk dat:

- De verhouding tussen de amplitudes van de M4- en M2-component van het getij (ca. 0,08) is niet groter dan de verhouding van de amplitude van M2 en de ongestoorde waterdiepte (ca. 0,1). De M4-component is dus niet sterk genoeg om aan deze voorwaarde te voldoen.
- De huidige lengte van de bekkens is aanzienlijk kleiner dan een kwart van de golflengte van het getij.

Voor dergelijke korte bekkens is er (volgens geïdealiseerde beschouwingen) altijd maar één uniek morfologisch evenwicht mogelijk. Ook de (relatieve) zeespiegelstijging zal er niet voor zorgen dat er wel aan deze voorwaarden wordt voldaan. Ook is er nergens ter wereld een voorbeeld bekend waar een kleine ingreep een totale verandering van het morfologische evenwicht heeft veroorzaakt. In alle gevallen hebben de systemen juist de neiging om terug te keren naar hun oorspronkelijke situatie.

Uit het rapport van Wang (2004) volgt dat het vrijwel uit te sluiten is dat een kleine ingreep zoals de drempelverwijdering in Boontjes ervoor zorgt dat het morfologische evenwicht van het grootschalige morfologische systeem verandert.

6.4.2 Beschrijving methode van de Kreeke et al (2008)

In Van de Kreeke et al. (2008) is onderzoek gedaan naar de invloed van een wantij op de morfologische stabiliteit van een systeem met twee inlaten. Het onderzoek is gebaseerd op een numerieke modelstudie, zoals beschreven in Brouwer (2006).

Enkele simplificaties in het onderzoek van Van de Kreeke et al. (2008):

- Een uniforme diepte binnen beide subbekkens, waardoor het karakteristieke plaatgeulpatroon niet aanwezig is.
- Een uniforme, sinusvormig fluctuerende waterstand op zee, waardoor er geen amplitude- of faseverschillen aanwezig zijn tussen beide inlaten.

De conclusie in Van de Kreeke et al. (2008) luidt dat het aantal (stabiele en instabiele) evenwichtstoestanden van de twee inlaten afhankelijk is van het stroomvoerende oppervlak van het wantij.

1. Bij een klein stroomvoerend oppervlak lijkt er één combinatie van stabiele evenwichtstoestanden voor de inlaten te bestaan.
2. Bij een groot stroomvoerend oppervlak kan het systeem worden beschouwd als een systeem met één bekken en twee inlaten, waarvan er, overeenkomstig met de theorie van Van de Kreeke (1990), slechts één stabiel is.
3. In het overgangsgedebied tussen deze twee uitersten suggereert de modelstudie dat er twee stabiele evenwichtssituaties kunnen bestaan.

In paragraaf 6.4.3 is deze theorie toegepast op het gecombineerde systeem van het Vlie en het Marsdiep.

6.4.3 Toepassing theorie Van de Kreeke et al. (2008)

De berekeningen van Brouwer (2006) die de basis vormen voor het artikel van Van de Kreeke et al. (2008) zijn gebaseerd op de geometrie van de bekkens van het Vlie en het Marsdiep. Boontjes ligt op het wantij tussen deze bekkens, waardoor de numerieke simulaties bruikbaar zijn voor deze studie. Enkele waarden voor modelparameters zijn opgenomen in Tabel 6-10. Sub-script 3 verwijst naar het wantij, de sub-scripts 1 en 2 verwijzen naar beide inlaten. Voor een compleet overzicht van de eigenschappen van het numerieke model en de modelparameters wordt verwezen naar Brouwer (2006) en Van de Kreeke et al. (2008).

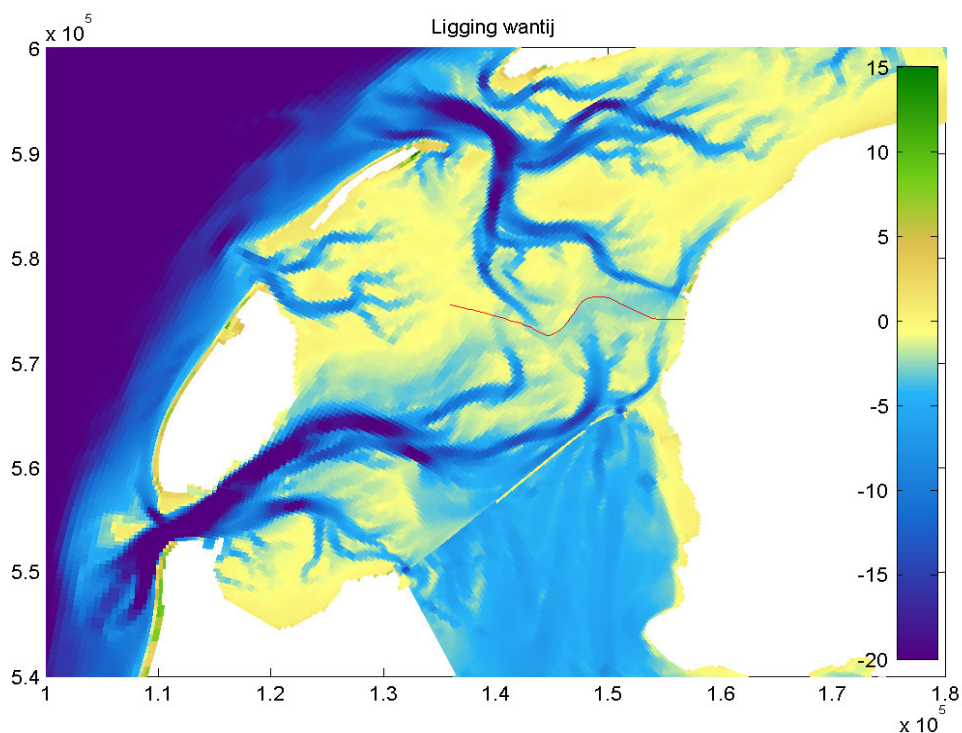
Parameter	Waarde
Lengte inlaten (1,2)	$L_1 = L_2 = 5000 \text{ m}$
Getijbeweging op zee	$\eta_1 = \eta_2 = 0.75 \cos \sigma t$, $\sigma = 2\pi / 44.712 \text{ s}^{-1}$
Bergend oppervlak bekkens	$A_{b1} = A_{b2} = 7 \cdot 10^8 \text{ m}^2$
Breedte wantij	$L_3 = 1000 \text{ m}$
Lengte wantij	$W = 25.000 \text{ m}$

Tabel 6-10 – Parameters in numerieke simulaties Brouwer (2006)

De drie toestanden van het systeem, zoals beschreven in de voorgaande paragraaf, werden in de modelresultaten waargenomen bij de volgende waarden voor het stroomvoerende oppervlak over het wantij:

1. Klein stroomvoerend oppervlak, één combinatie van stabiele evenwichtstoestanden:
 $A_3 = 10.000 \text{ m}^2$.

2. Groot stroomvoerend oppervlak, één stabiele inlaat $A_3 = 100.000 \text{ m}^2$
3. Overgangsgedebied, twee stabiele evenwichtssituaties: $A_3 = 60.000 \text{ m}^2$



Figuur 6-9 – Keuze voor de ligging van het wantij (rode lijn) ter bepaling van de lengte van het wantij en het stroomvoerend oppervlak over het wantij

Op basis van de meest waarschijnlijke positie voor het wantij tussen de bekkens van het Vlie en het Marsdiep volgens Van Geer (2007), zie Figuur 2-6, is een lengte van 23.500 m en een stroomvoerend oppervlak van 46.000 m^2 onder NAP gevonden voor het wantij in de huidige situatie. Zie Figuur 6-9 voor de locatie van het wantij, zoals gebruikt in de analyse. Onder deze condities bevindt het systeem zich in de eerste toestand, met één combinatie van stabiele evenwichtstoestanden voor de inlaten.

De vergroting van het stroomvoerend oppervlak rond het wantij bij de verschillende varianten (zie bijvoorbeeld Figuur 3-2) is weergegeven in Tabel 6-11. Hierin is zowel de absolute toename als de procentuele toename van het stroomvoerend oppervlak over het wantij opgenomen.

Variant	Vergroting stroomvoerend oppervlak wantij	
Variant 1	ca. 90 m^2	ca. 0,20 %
Variant 2	ca. 160 m^2	ca. 0,36 %
Variant 3	ca. 270 m^2	ca. 0,60 %

Tabel 6-11 – Vergroting van het stroomvoerend oppervlak over het wantij bij de verschillende varianten

De studie zoals beschreven in Van de Kreeke et al. (2008) is gebaseerd op ingrijpende vereenvoudigingen. Dit zorgt ervoor dat de beschreven waarden voor het stroomvoerend oppervlak niet gezien kunnen worden als representatief voor de werkelijkheid. In het artikel zijn dan ook geen grenzen gegeven voor de overgang tussen de verschillende evenwichtstoestanden. Het verband tussen de evenwichtstoestanden en het stroomvoerend oppervlak over het wantij is echter wel duidelijk.

Uit Tabel 6-11 blijkt dat het stroomvoerende oppervlak over het wantij door de drempelverwijdering in Boontjes niet significant zal veranderen. Er is dan ook geen enkele aanwijzing dat de drempelverwijdering in Boontjes zal leiden tot een ander karakter van het morfologische systeem. De auteur van het artikel (Co van de Kreeke, University of Miami, Applied Marine Physics) heeft op basis van zijn bevindingen de drempelverwijdering in Boontjes beschouwd. Zijn conclusie is: "Als de getallen uit ons onderzoek juist zijn, denk ik dat verdieping van Boontjes geen merkbaar effect heeft op de stabiliteit van het inlet systeem." (mailwisseling 09-03-2011).

6.4.4 Beschouwing van modelresultaten

De modelresultaten uit deze studie laten zien dat:

- Het getijprisma door de inlaten Vlie en Marsdiep ongewijzigd blijft wanneer de drempel in Boontjes wordt verwijderd. Dit geldt ook voor de variant met de maximale dimensies (variant 3).
- De uniformiteit van de waterstandsfluctuatie in de bekkens van het Vlie en het Marsdiep neemt door de drempelverwijdering niet significant toe. Zie voor een voorbeeld Figuur 5-8. Dit bevestigt de conclusie uit paragraaf 6.4.2.
- De modelresultaten tonen geen veranderingen die aanleiding geven om een verband te leggen tussen de drempelverwijdering en veranderingen van het karakter van het grootschalige morfologische systeem.

6.4.5 Conclusies

De beschouwing uit de voorgaande paragrafen leidt tot de volgende conclusies:

- Uit het rapport van Wang (2004) volgt dat het vrijwel uit te sluiten is dat een kleine ingreep zoals de drempelverwijdering in Boontjes ervoor zorgt dat het morfologische evenwicht van het grootschalige morfologische systeem verandert.
- Het blijkt dat het stroomvoerende oppervlak over het wantij door de drempelverwijdering in Boontjes niet significant zal veranderen. Er is dan ook geen enkele aanwijzing dat de drempelverwijdering in Boontjes zal leiden tot een ander karakter van het morfologische systeem, zoals beschreven in Van de Kreeke et al. (2008).
- De modelresultaten tonen geen veranderingen die aanleiding geven om te verwachten dat de drempelverwijdering zal leiden tot veranderingen van het karakter van het grootschalige morfologische systeem.

7 Effecten op zoet-zoutpatronen

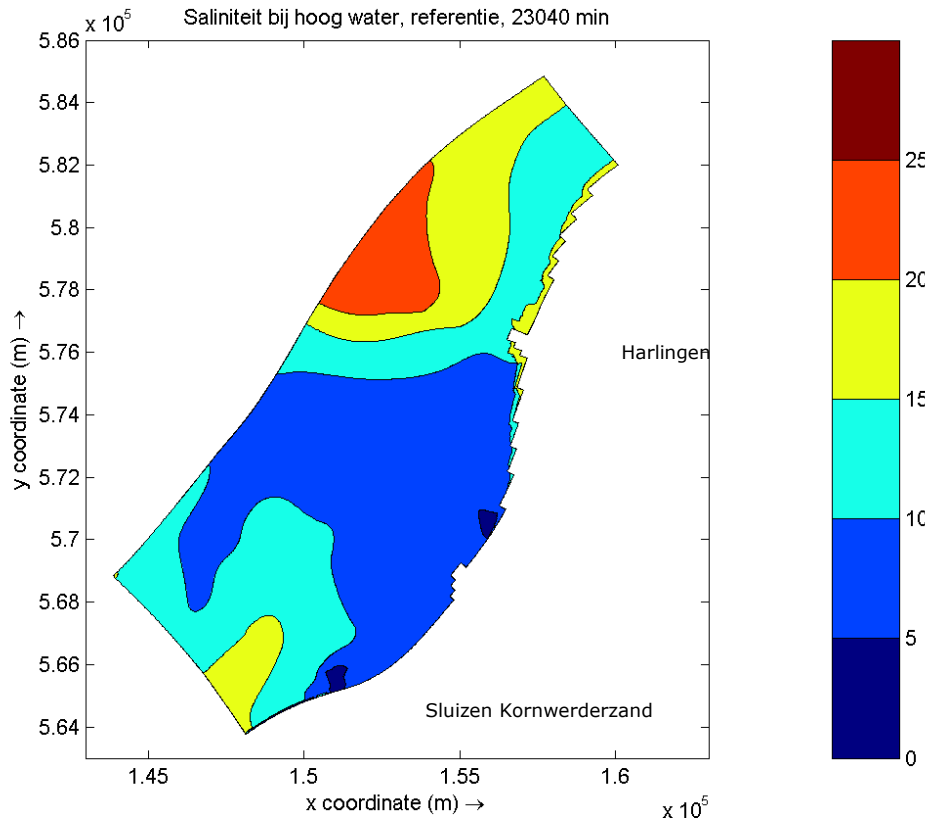
7.1 Inleiding

Vanuit de Noordzee dringt zout water de Waddenzee binnen. De belangrijkste bron van zoet water in de omgeving van Boontjes zijn de lozingen vanuit het IJsselmeer via het sluzencomplex bij Kornwerderzand. De mengzone rond Kornwerderzand is afhankelijk van het getij en de grootte van het spuidebiet bij Kornwerderzand. De vaargeul Boontjes bevindt zich binnen deze mengzone. In dit hoofdstuk is onderzocht of de verwijdering van de drempel in Boontjes leidt tot een andere saliniteit in en rond Boontjes dan in de huidige situatie. Alleen de effecten van variant 2 zijn onderzocht in de situatie zonder wind en bij gemiddelde windsnelheden uit zuidwestelijke richting.

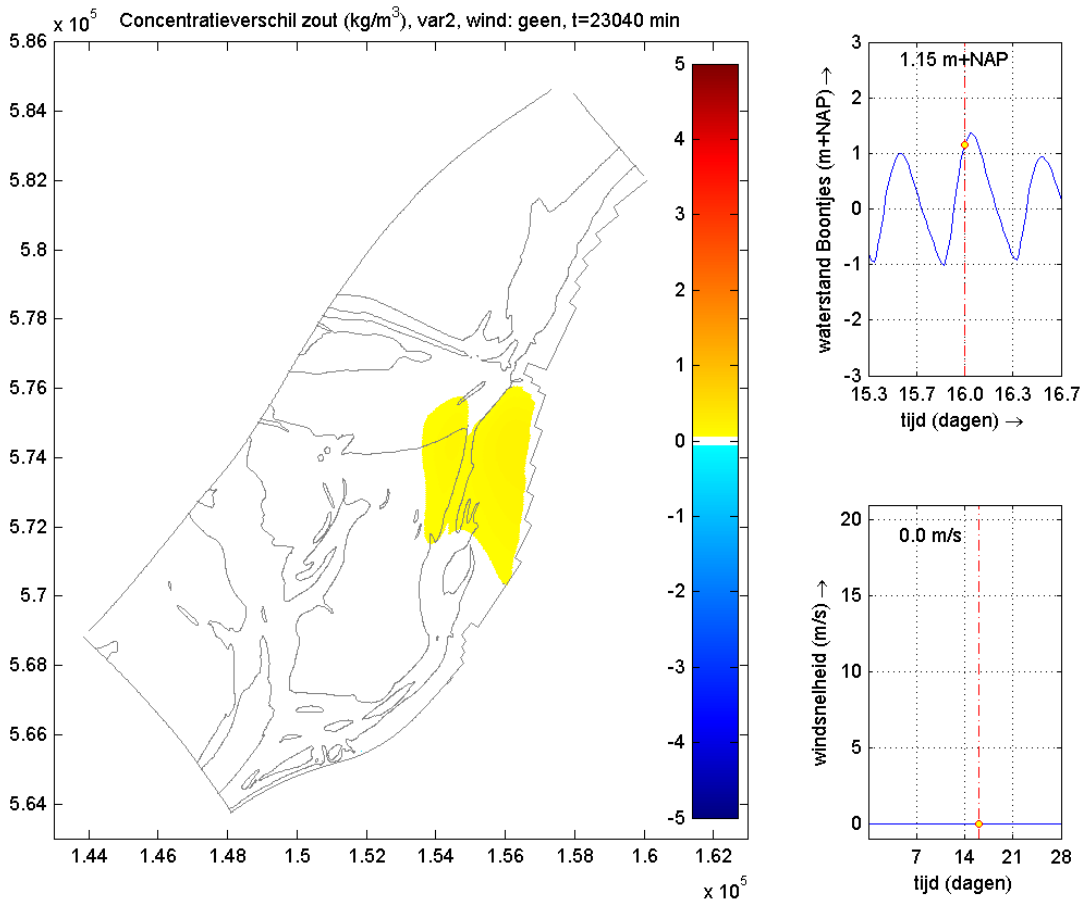
7.2 Resultaten

In Figuur 7-1 is een ruimtelijk saliniteitsveld getoond voor de referentiesituatie. De locatie van de verschillende saliniteitscontouren verandert nauwelijks in de varianten, zodat deze figuren ook niet zijn getoond. Door de sterkere getijstrooming door Boontjes neemt de saliniteit in Boontjes en in het gebied ten noorden van Boontjes licht toe. De contouren verschuiven dan ook als geheel beschouwd slechts enkele meters in noordoostelijke richting. Op andere momenten in de getijcyclus zijn de verschuivingen in dezelfde orde van grootte. Figuur 7-2 toont het verschil in saliniteit tussen variant 2 en de referentiesituatie. De kleurschaal loopt van -5 tot 5 kg/m^3 . De whiteband bedraagt 1% van de kleurschaal, dus deze loopt van $-0,05$ tot $0,05 \text{ kg/m}^3$. Vrijwel overal blijft het verschil in saliniteit tussen deze waarden. Alleen rond de geul zelf valt het verschil net iets buiten deze whiteband. Dit is ook op andere tijdstippen het geval.

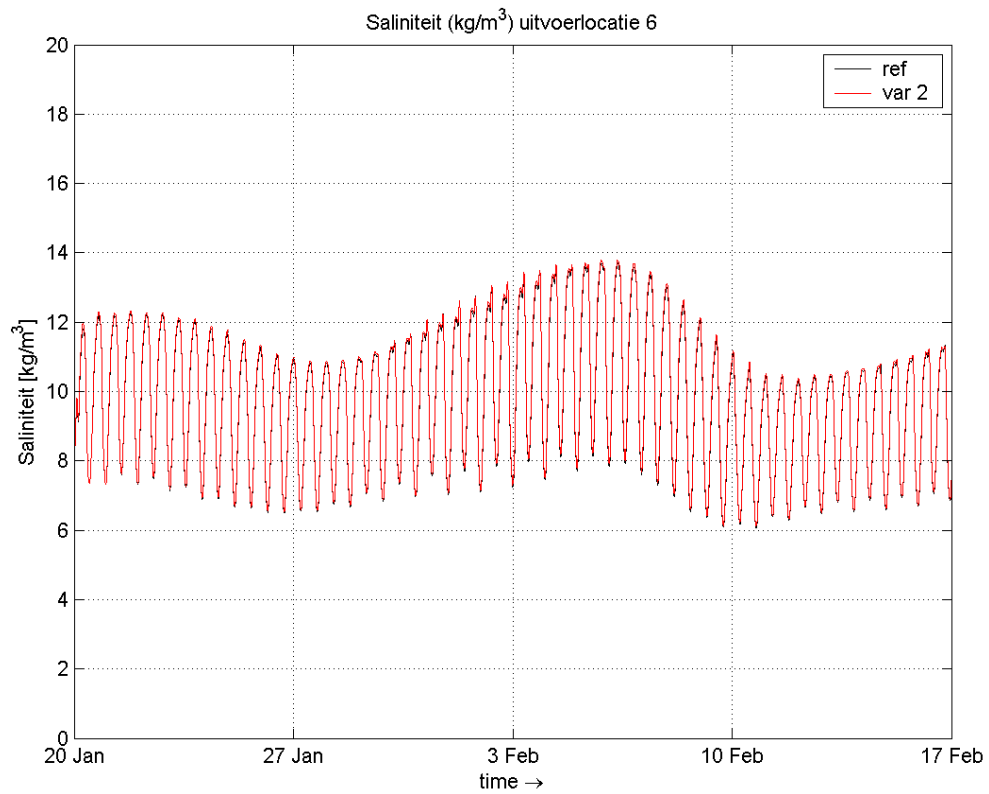
De toename van de saliniteit in Boontjes zelf is voor uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) zichtbaar gemaakt in Figuur 7-3 en Figuur 7-4. Uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) ligt midden in het gebied uit Figuur 7-2 met een toename van de saliniteit groter dan $0,05 \text{ kg/m}^3$. Figuur 7-3 toont het tijdsverloop van de saliniteit ter plaatse van deze uitvoerlocatie voor de referentiesituatie en variant 2 in de situatie zonder wind. Binnen de beschouwde periode varieert de saliniteit in beide gevallen tussen ongeveer 6 en 14 kg/m^3 . De toename van de saliniteit bedraagt voor variant 2 (zonder wind) gemiddeld $0,05 \text{ kg/m}^3$. Deze gemiddelde toename is circa 0,5% ten opzichte van de gemiddelde saliniteit in de huidige situatie. De verschillen zijn weergegeven in Figuur 7-4, waarin ook de verschillen tussen variant 2 en de referentiesituatie voor zuidwestenwind (gemiddelde condities) zijn opgenomen. Bij zuidwestenwind bedraagt de toename van de saliniteit in Boontjes gemiddeld ongeveer $0,10 \text{ kg/m}^3$ (1%).



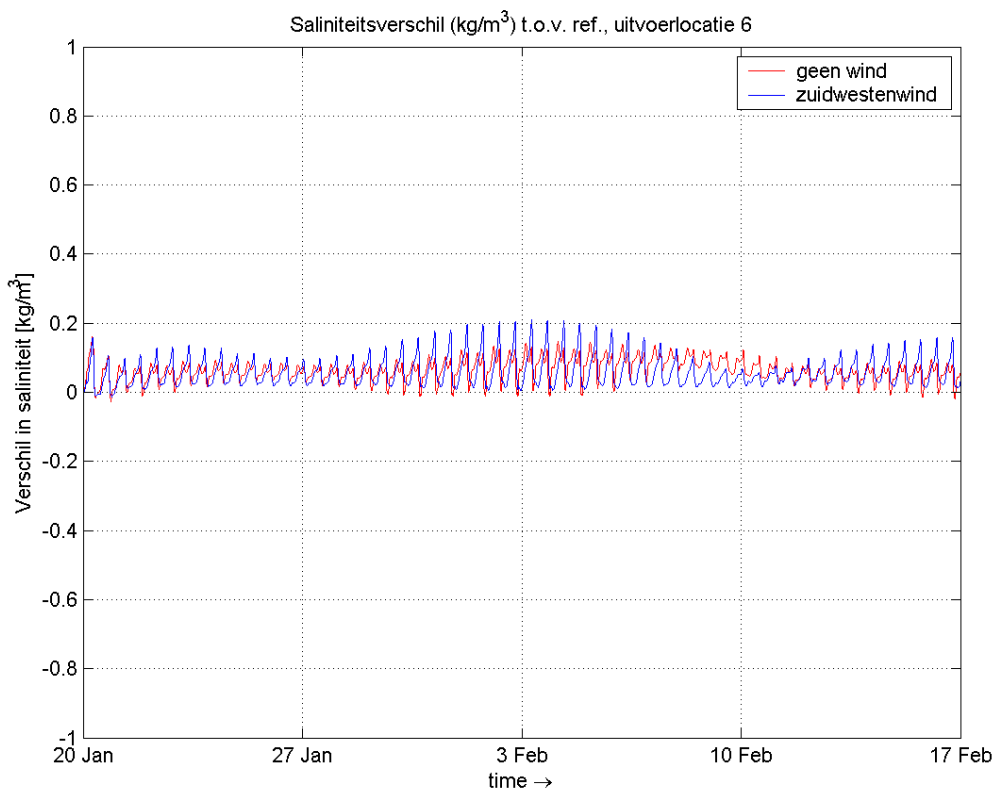
Figuur 7-1 – Saliniteit rond Boontjes in de referentiesituatie (hoog water, geen wind)



Figuur 7-2 – Verschil in saliniteit in variant 2 ten opzichte van de referentiesituatie (hoog water, geen wind)



Figuur 7-3 – Tijdsverloop van de saliniteit bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) voor de referentiesituatie en variant 2, beide zonder wind



Figuur 7-4 – Tijdsverloop van het verschil in saliniteit in variant 2 bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) ten opzichte van de referentiesituatie bij de situatie zonder wind en bij zuidwestenwind (gemiddelde condities)

7.3 Conclusies

Om het effect van de drempelverwijdering in Boontjes op de zoet-zoutpatronen te onderzoeken, is de saliniteit rond Boontjes vergeleken tussen variant 2 en de referentiesituatie in de situatie zonder wind en bij gemiddelde windsnelheden uit zuidwestelijke richting. Door het vergrote dwarsprofiel van Boontjes neemt de getijstrooming door de geul toe. Hierdoor neemt de saliniteit in en ten noordoosten van Boontjes enigszins toe ten opzichte van de referentiesituatie. De contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit verschuiven in noordoostelijke richting over een afstand van enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes neemt de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie toe met ongeveer 0,5% in de situatie zonder wind en 1% in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.

Verlaging van de drempel in Boontjes leidt bij de huidige spuicapaciteit tot een lichte toename van de saliniteit in Boontjes. Deze trend zal ook aanwezig zijn indien bij Kornwerderzand meer water wordt gespuid vanuit het IJsselmeer. Daarom geven de resultaten geen enkele aanleiding om te verwachten dat de drempelverwijdering in het geval van een verhoging van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal leiden tot een grotere doordringing van het zoete water (verlaagde saliniteit) in Boontjes dan in het geval met aanwezigheid van de drempel.

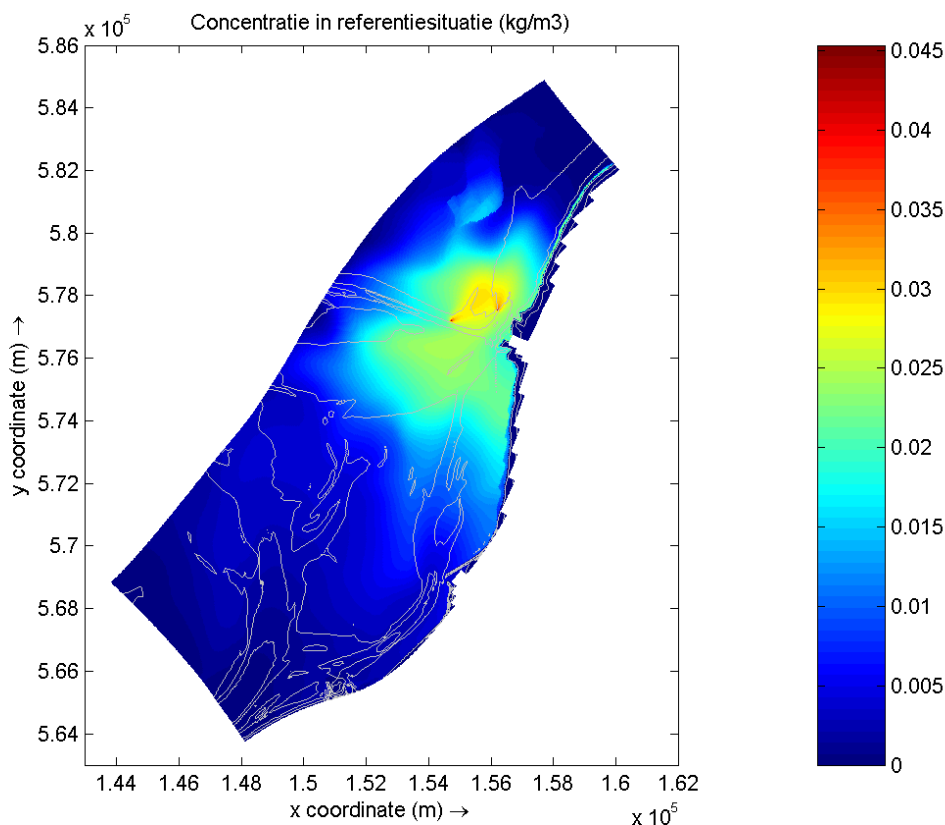
8 Effecten op slibverspreiding

8.1 Inleiding

Er wordt regelmatig slib gebaggerd in de haven van Harlingen. Dit slib wordt vlak voor de haven weer gestort. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van de effecten van drempelverwijdering op de verspreiding van het slib uit de haven van Harlingen. Deze stortwerkzaamheden vinden in de huidige situatie al plaats, en zijn daarmee onderscheiden van het verspreiden van het uit de drempel afkomstige materiaal. Het onderzoek daarnaar is in hoofdstuk 9 besproken.

8.2 Resultaten

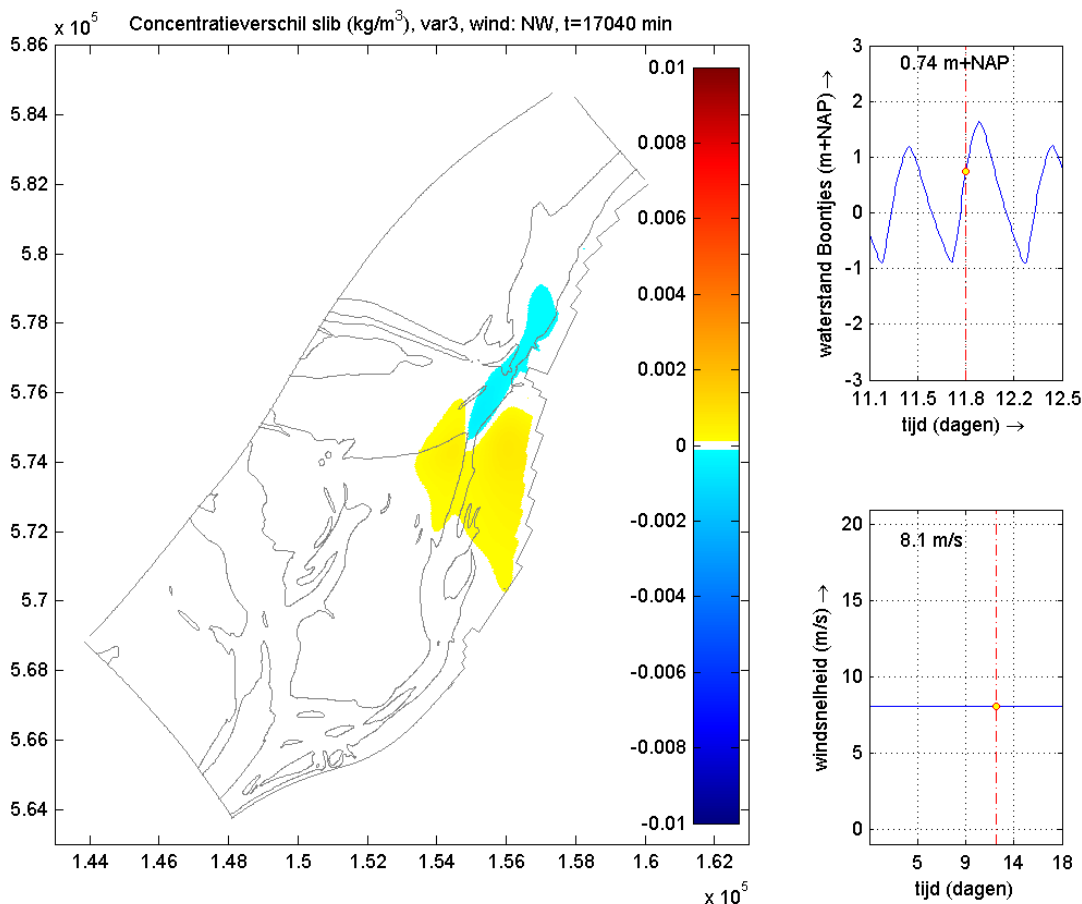
In paragraaf 5.2 is beschreven dat de verwijdering van de drempel in Boontjes leidt tot hogere stroomsnelheden en grotere debieten door de geul. In deze paragraaf staat het onderzoek centraal of deze verandering in de stroming door de geul ook de verspreiding van het slib beïnvloedt, dat afkomstig is uit de haven van Harlingen. Het havenslib wordt gestort op twee locaties in het Kimstergat, zie paragraaf 4.5.



Figuur 8-1 – 2D concentratieveld op een willekeurig moment in de getijcyclus (vloed, NW-wind, 8,1 m/s) in de **referentiesituatie**

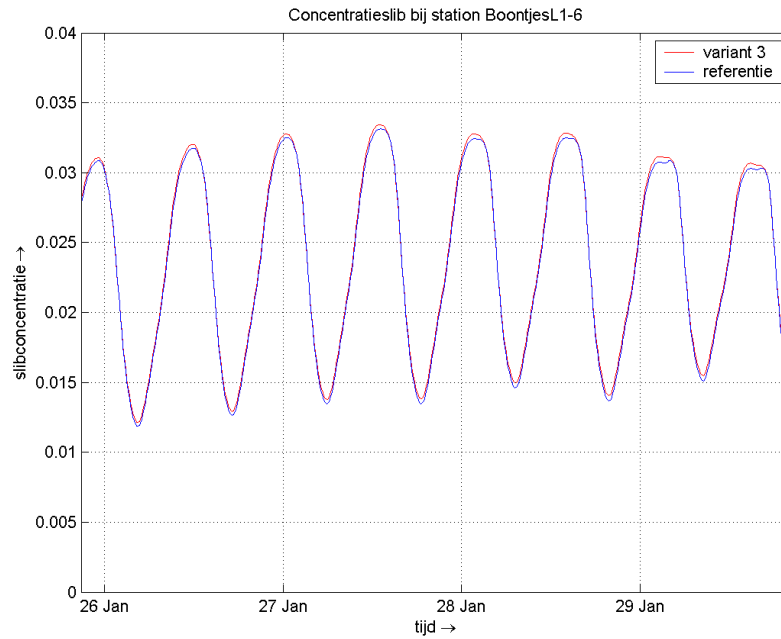
De verschillen in de verspreiding van het slib zijn zeer klein op elk moment in de getijcyclus. Figuur 8-1 toont een voorbeeld (situatie met noordenwind en vloed) van de concentratie van het gestorte slib afkomstig van de twee verspreidingslocaties. De verschillen tussen de varianten en de referentiesituatie zijn zodanig klein, dat alleen voor de referentiesituatie een figuur met absolute waarden voor de concentraties is opgenomen. Figuur 8-2 toont het verschil tussen

de concentraties in variant 3 en de referentiesituatie. De kleurschaal voor deze figuur loopt van $-0,01$ tot $0,01 \text{ kg/m}^3$. De whiteband rond 0 bedraagt 1% van de kleurschaal, dus deze loopt van $-0,0001$ tot $0,0001 \text{ kg/m}^3$. De zichtbare veranderingen vallen dus net buiten deze whiteband. Ter vergelijking: de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee bedraagt ongeveer $0,08 \text{ kg/m}^3$ (Van Kessel et al, 2009). Hetzelfde beeld is zichtbaar in Figuur 8-3, waar tijdreeksen worden getoond voor de concentratie in de referentiesituatie en variant 3 bij uitvoerlocatie 6 (zie Figuur 5-1) in Boontjes. De absolute concentraties ten gevolge van de stortwerkzaamheden zijn kleiner dan de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van $0,08 \text{ kg/m}^3$. Figuur 8-3 toont (evenals Figuur 8-2) dat de veranderingen van de concentratie in Boontjes ook bij de grootste variant (variant 3) slechts een fractie bedraagt van deze achtergrondconcentratie. Het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het havenslib is daarmee aantoonbaar niet significant.



Figuur 8-2 - Verschil in slibconcentratie in variant 3 ten opzichte van de referentiesituatie op een willekeurig moment in de getijcyclus (vloed, NW-wind, 8,1 m/s)

De beperkte methodiek zonder interactie met bodemmateriaal (zie paragraaf 4.5) zorgt ervoor dat er een aanzienlijke bandbreedte gehanteerd moet worden rondom de gepresenteerde waarden. Omdat de valsnelheid ontbreekt in WAQUA (2D) is er in elk geval sprake van een conservatieve benadering van de verspreidingsafstand van het gestorte slib. Het effect van de drempelverwijdering op de slibconcentratie is vele malen kleiner dan de achtergrondconcentratie. Ook met toepassing van een ruimte bandbreedte rond de berekende waarden is de conclusie dat verwijderen van de drempel uit Boontjes geen significante invloed heeft op de slibverspreiding van gestort havenslib in het Kimstergat.



Figuur 8-3 – Tijdreeks slibconcentratie bij uitvoerlocatie 6 voor de **referentie** en **variant 3**

8.3 Conclusie

Het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib dat afkomstig is uit de haven van Harlingen is vele malen kleiner dan de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee. Het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib is daarom niet significant.

9 Verspreiding materiaal uit Boontjes

9.1 Inleiding

Dit hoofdstuk richt zich op de verspreiding van het gebaggerde materiaal uit de drempel in Boontjes, dat vervolgens weer teruggebracht wordt in het systeem in de geulen in de omgeving van Boontjes.

Ter onderscheid:

- Het voorgaande hoofdstuk richtte zich op de vraag of het gestorte materiaal uit de haven van Harlingen zich anders zal gaan verspreiden ten gevolge van de drempelverwijdering. Deze stortwerkzaamheden vinden in de huidige situatie al plaats.
- Dit hoofdstuk beschrijft de verspreiding van het materiaal dat vrijkomt bij het wegbaggeren van de drempel in Boontjes zelf. Hierbij gaat het om het kwantificeren van een nieuw effect, niet om de verandering van een effect dat reeds aanwezig is in de huidige situatie.

In paragraaf 9.2 zijn de resultaten van de modellering met TRIWAQ gepresenteerd. In paragraaf 9.3 zijn conclusies over de verspreiding van het materiaal opgenomen.

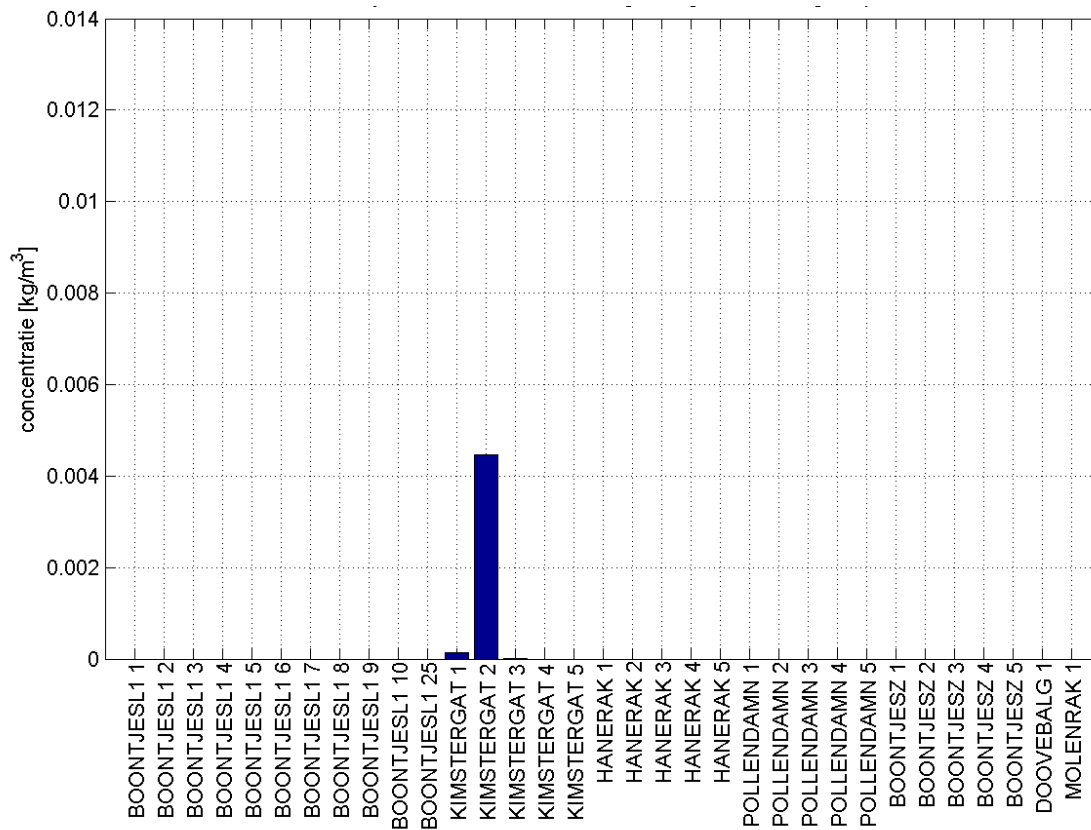
9.2 Resultaten TRIWAQ

Uit TRIWAQ komen concentraties, die ruimtelijk en in de tijd variëren. In overleg met de ecologen van Witteveen+Bos en Altenburg en Wymenga is besloten om voor diverse locaties in de geulen rondom de verspreidingslocaties de concentratie te presenteren, gemiddeld over de simulatieperiode en gemiddeld over de diepte. De locaties waarvoor de concentratie is bijgehouden zijn weergegeven in Figuur 4-12.

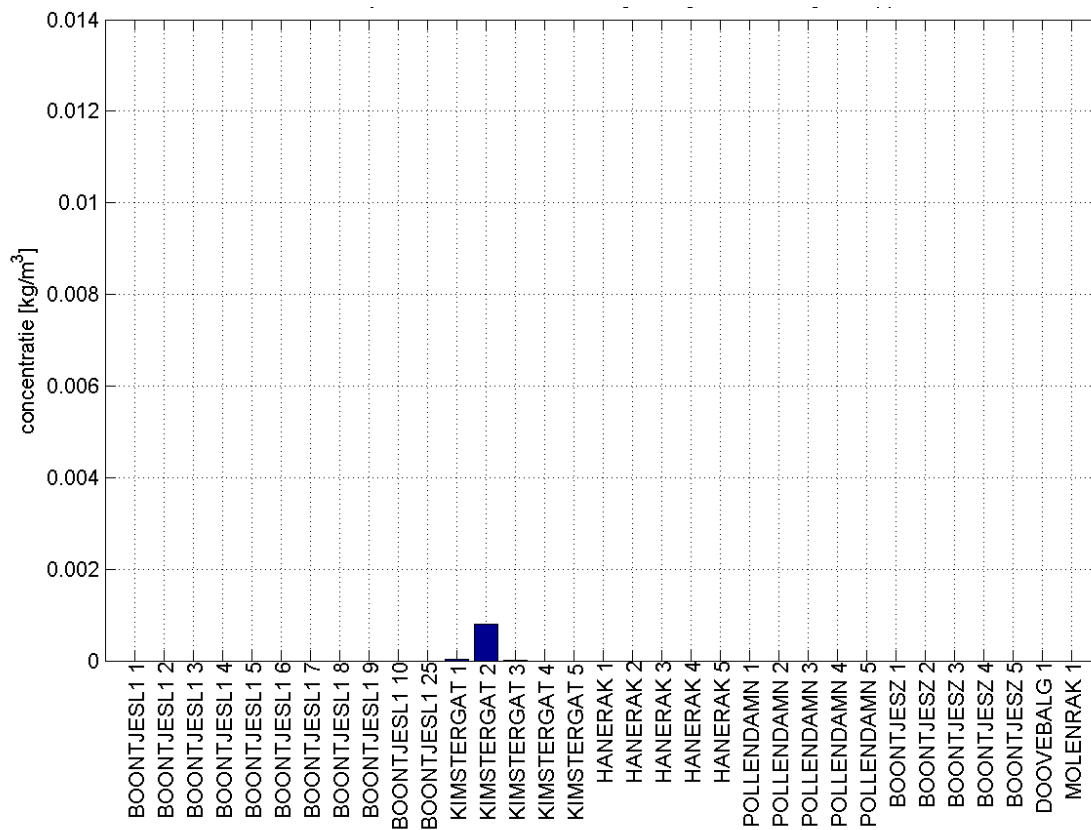
Figuur 9-1, Figuur 9-2 en Figuur 9-3 tonen de diepte- en tijdsgemiddelde concentraties voor de uitvoerlocaties uit Figuur 4-12 voor respectievelijk het spuiten van zand, het klappen van zand en het klappen van slib in het Kimstergat. De concentraties moeten gezien worden als een verhoging van de achtergrondconcentratie in de Waddenzee. De gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee bedraagt ongeveer $0,08 \text{ kg/m}^3$ (Van Kessel et al, 2009). Tijdens stormachtige perioden kan deze concentratie oplopen met ongeveer een factor 10 (De Ronde et al, 2009) tot circa 1 kg/m^3 .

Zand leidt, behalve direct rond de verspreidingslocatie, niet tot een significante verhoging van de sedimentconcentratie in de Waddenzee, blijkt uit Figuur 9-1 en Figuur 9-2. Hetzelfde geldt voor de verspreidingslocaties Zuid-Boontjes en Pollendam.

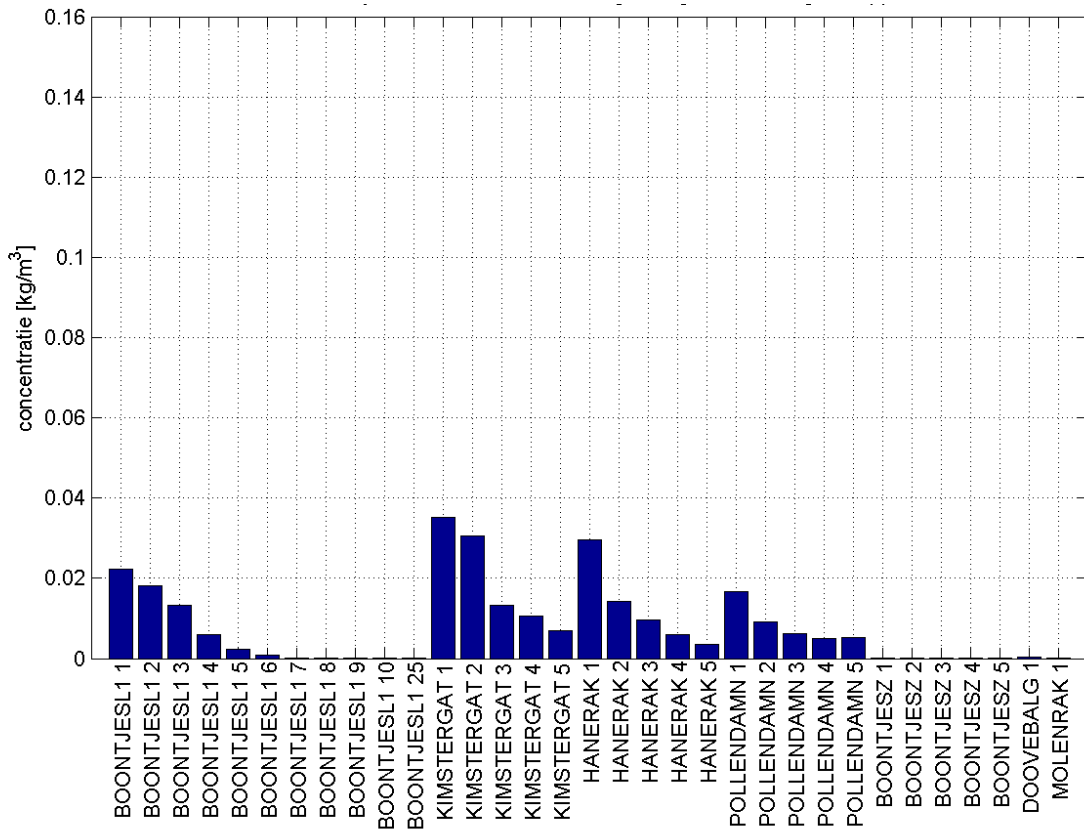
Uit Figuur 9-3 blijkt dat het klappen van slib duidelijk hogere concentraties oplevert dan het klappen of spuiten van zand. Ook de verspreidingsafstand is vele malen groter. Vergeleken met de achtergrondconcentratie gedurende stormachtige omstandigheden bedraagt de gemiddelde concentratieverhoging minder dan 5%. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat de afstand van de uitvoerlocaties tot de verspreidingslocatie in het Kimstergat minimaal 334 m bedraagt. Om een ruimtelijk beeld te krijgen van de slibverspreiding bij de drie mogelijke verspreidingslocaties, geven Figuur 9-4, Figuur 9-5 en Figuur 9-6 de dieptegemiddelde concentratie in 2D, gemiddeld over een complete getijcyclus.



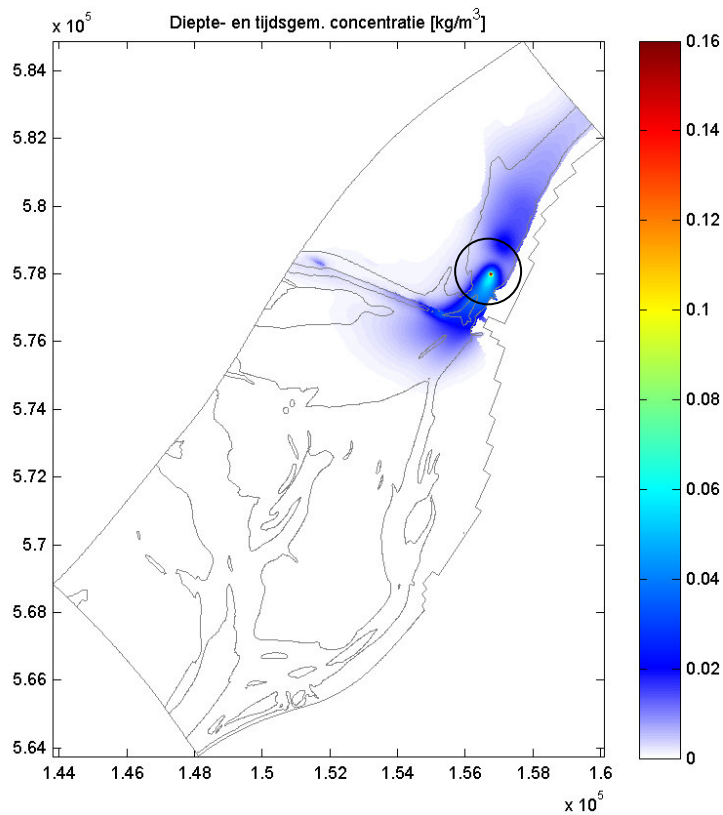
Figuur 9-1 – Kimstergat, spuiten van zand: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld



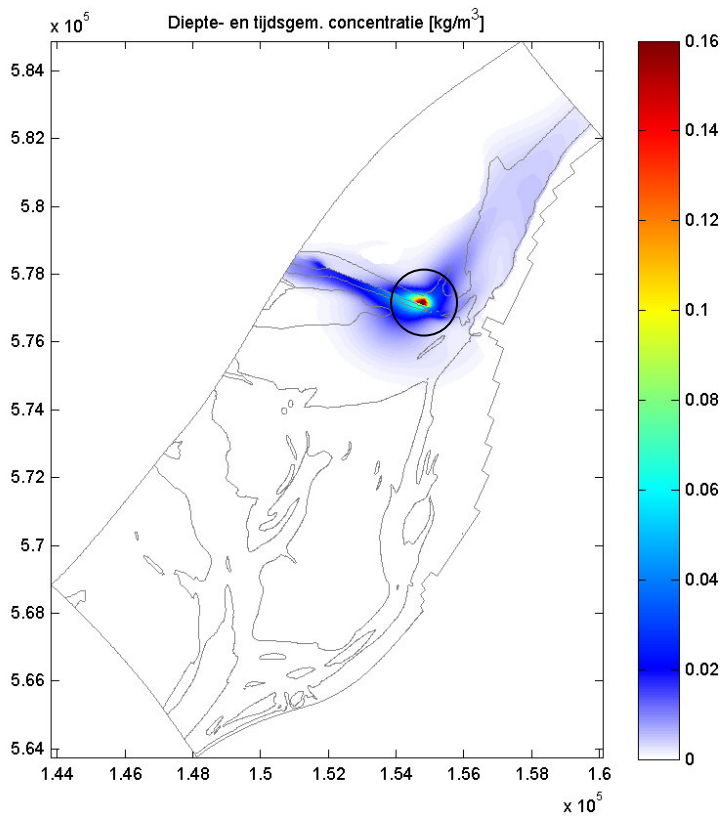
Figuur 9-2 – Kimstergat, klappen van zand: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld



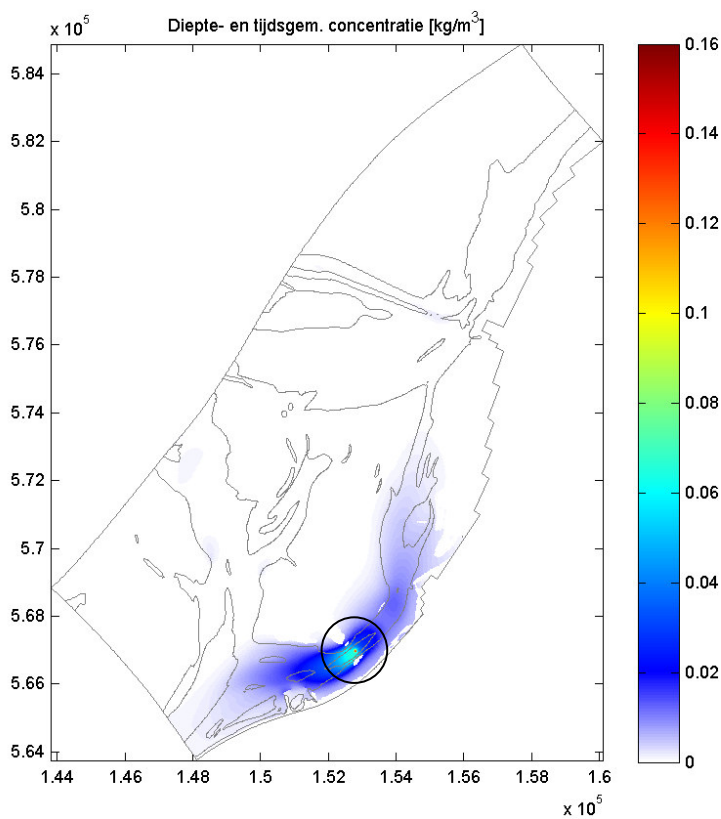
Figuur 9-3 – Kimstergat, klappen van slib: concentraties bij diverse locaties, diepte- en tijdsgemiddeld



Figuur 9-4 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib in het Kimstergat. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.



Figuur 9-5 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib bij de Pollendam. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.



Figuur 9-6 – Tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij klappen van slib in Zuid-Boontjes. De cirkel heeft een straal van een kilometer en een middelpunt gelijk aan de verspreidingslocatie.

Uit bovenstaande figuren volgt dat de tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de verspreidingslocaties groter dan een kilometer (buiten de cirkels in de figuren met 2D-concentratie) met maximaal 75% ($0,06 \text{ kg/m}^3$) wordt verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie van $0,08 \text{ kg/m}^3$. Ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (ca. $0,8 \text{ kg/m}^3$) bedraagt deze verhoging slechts 7,5%. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen. Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden.

De drie mogelijke verspreidingslocaties tonen een verschillende slibverspreiding. Dit wordt veroorzaakt door een verschil in diepte en getijkarakteristieken, zie Tabel 9-1.

- Het Kimstergat is redelijk diep, ongeveer 5 m. De stroomsnelheden zijn er hoog vergeleken met de andere locaties. Hierdoor blijft er relatief veel slib in suspensie en is de verspreidingsafstand relatief groot.
- De locatie ten noorden van de Pollendam is ondieper, minder dan 4 m. Daarnaast zijn de stroomsnelheden hier laag. Dit resulteert in een relatief hoge lokale concentratie. Slib dat in het Hanerak (aan de zuidzijde van de Pollendam) terecht komt, wordt door de relatief hoge snelheden in deze geul wel over grotere afstanden verspreid.
- De diepte rondom de verspreidingslocatie Zuid-Boontjes is groot, meer dan 12 m. Dit resulteert in relatief lage concentraties ten opzichte van de andere twee mogelijke verspreidingslocaties.

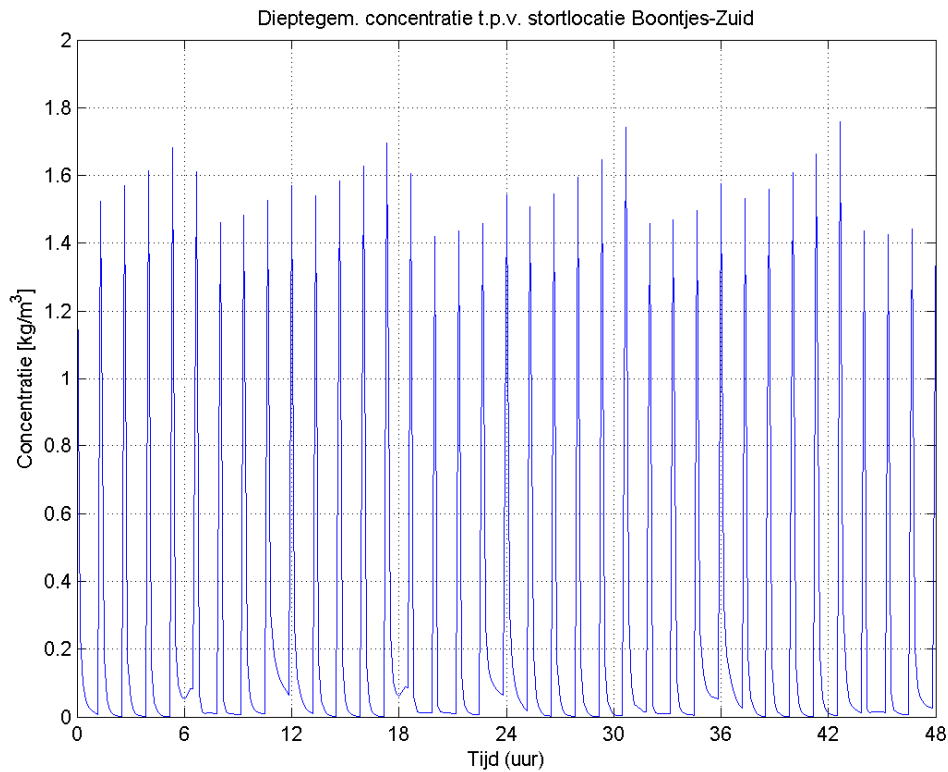
Locatie	Diepte [m]	Vloedsnelheid [m/s]		Ebsnelheid [m/s]		Weegfactor vloed	Weegfactor eb
		gem.	max.	gem.	max.		
Kimstergat-Oost	5,32	0,59	0,79	0,68	1,16	0,58	0,42
Pollendam	3,73	0,18	0,27	0,27	0,51	0,52	0,48
Zuid-Boontjes	12,24	0,41	0,58	0,52	1,07	0,58	0,42

Tabel 9-1 – Diepte en getijkarakteristieken per verspreidingslocatie

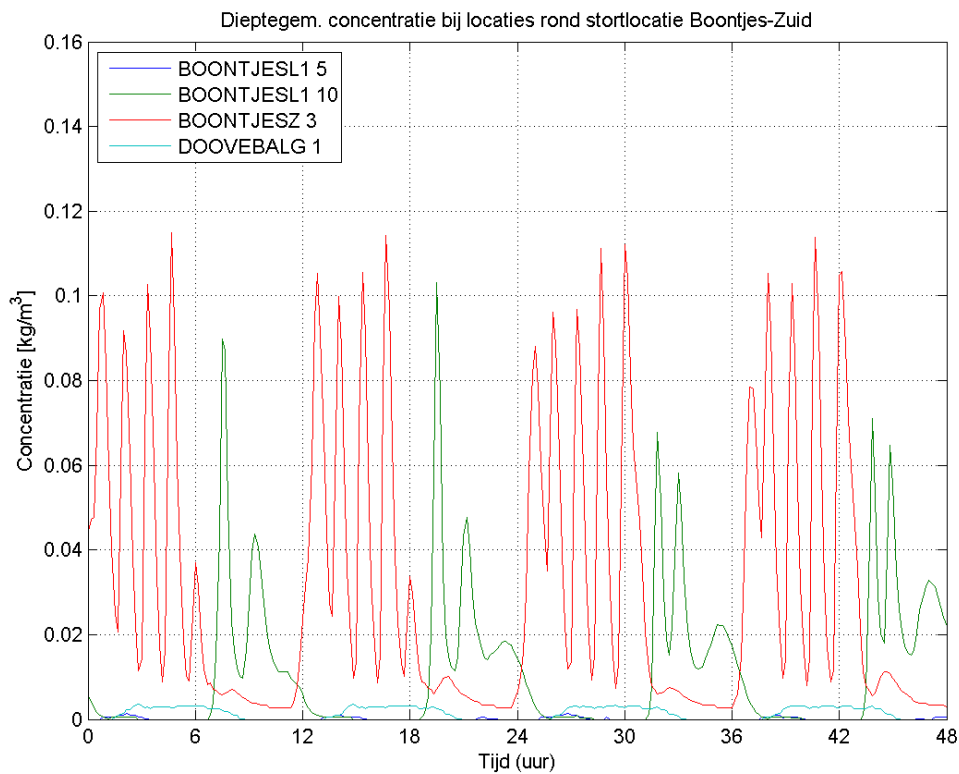
Bovenstaande resultaten beschrijven de ruimtelijke verspreiding van de tijdsgemiddelde concentratie. Om inzicht te geven in het verloop van de dieptegemiddelde concentratie in de tijd is ook Figuur 9-7 opgenomen. Deze figuur toont direct ter plaatse van de stortlocatie in Zuid-Boontjes de dieptegemiddelde concentratie gedurende 48 uur ten gevolge van het klappen van slib. De korte tijdschaal is gelijk aan het interval tussen het storten: 130 minuten. De langere tijdschaal is gelijk aan de getijperiode (circa 12 uur).

Figuur 9-8 toont hetzelfde concentratieverloop in de tijd, maar dan voor vier locaties rondom de stortlocatie Zuid-Boontjes. In deze figuur zijn de twee tijdschalen duidelijker zichtbaar. De plaats van de vier locaties is zichtbaar gemaakt in Figuur 9-9, samen met de drie mogelijke stortlocaties en met de bodemhoogte als achtergrond. Bij vloed treedt er een concentratieverhoging op bij de locaties ten noorden van de stortlocatie, bij eb ten zuiden van de stortlocatie. Evenals uit Figuur 9-6 blijkt uit Figuur 9-8 dat de concentratieverhoging ter plaatse van de drempel in Boontjes (locatie BoontjesL1_5) nauwelijks waarneembaar is.

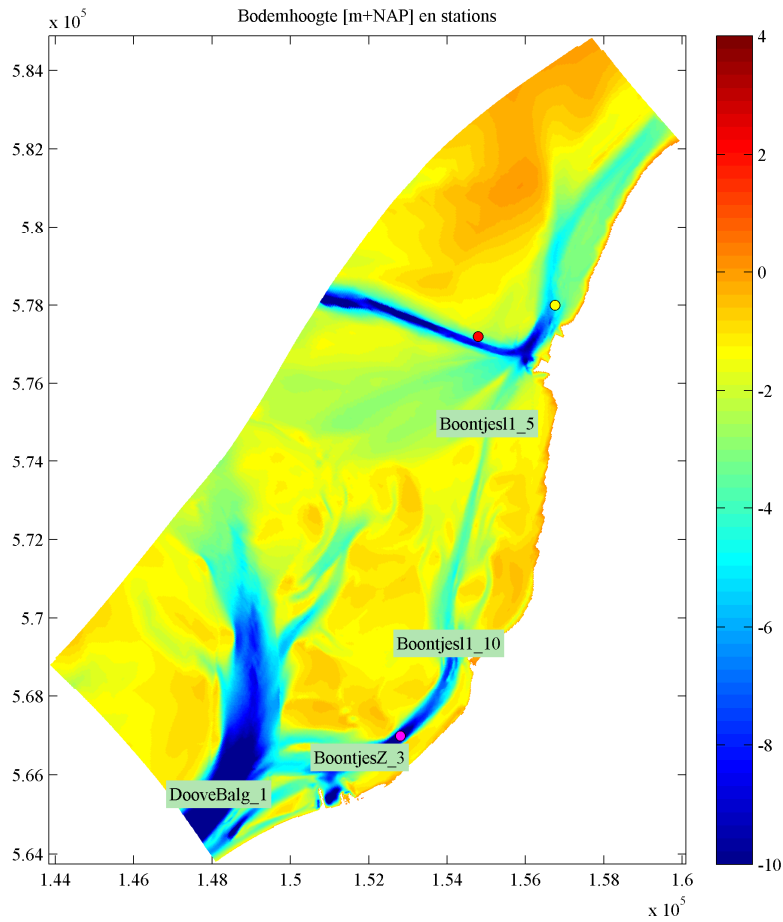
Bewegend langs een lijn in Figuur 9-7 of Figuur 9-8 wordt het verloop van de concentratie op een vaste locatie verkregen. Het verspringen van de ene naar de andere lijn in Figuur 9-8 is op te vatten als een ruimtelijke verplaatsing.



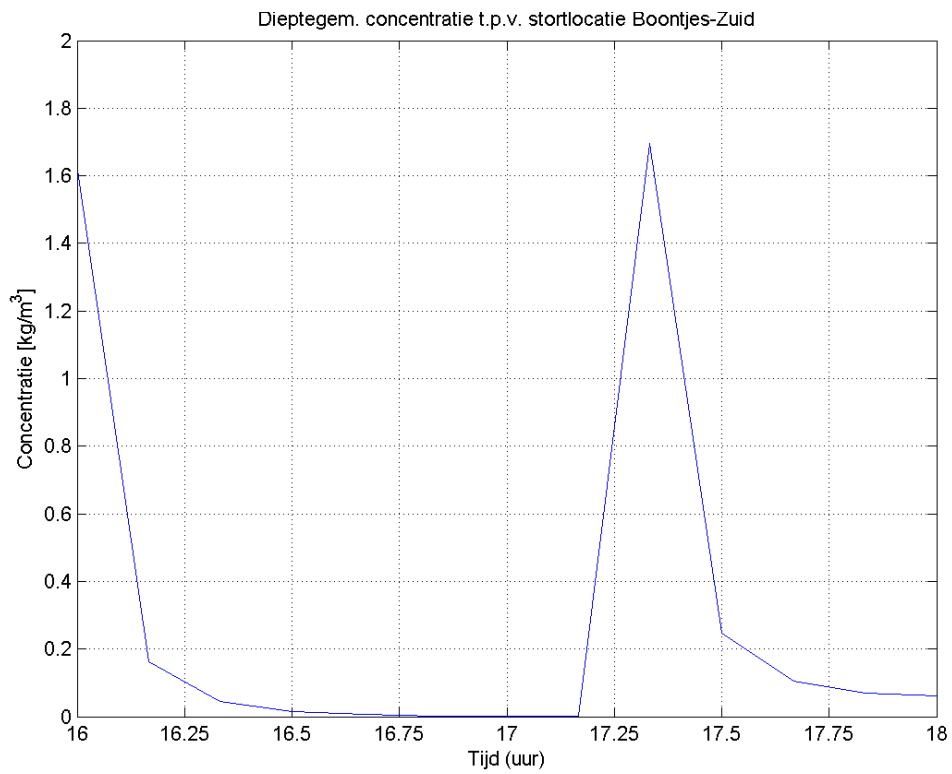
Figuur 9-7 – Verloop van de dieptegemiddelde concentratie in de tijd, direct ter plaatse van het slib klap-pende baggerschip in Zuid-Boontjes



Figuur 9-8 – Verloop van concentratie in de tijd ter plaatse van vier locaties rond de stortlocatie Zuid-Boontjes, zie Figuur 9-9.



Figuur 9-9 – Vier uitvoerlocaties rondom de stortlocatie Zuid-Boontjes, weergegeven met bodemhoogte



Figuur 9-10 – Verloop van concentratie in de tijd ter plaatse van de stortlocatie Zuid-Boontjes, met focus op een afzonderlijke stortwerkzaamheid

Om de tijdschaal van het uitzakken zichtbaar te maken, toont Figuur 9-10 hetzelfde als Figuur 9-7, maar dan in meer detail tussen 16 en 18 uur. Uit deze figuur volgt dat na afloop van het storten de concentratieverhoging in ruwweg 10 minuten weer grotendeels is verdwenen. Deze periode is afhankelijk van de valsnelheid van het sediment en de diepte ter plaatse.

9.3 Conclusies

De TRIWAQ-resultaten tonen dat de vertroebeling bij het spuiten of klappen van zand alleen in de directe omgeving van het baggerschip tot enige vertroebeling leidt. Binnen enkele honderden meters afstand is al het zand neergeslagen.

Alleen bij (het klappen van) slib treedt enige vertroebeling op rond de verspreidingslocatie. De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de verspreidingslocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75% ($0,06 \text{ kg/m}^3$) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van $0,08 \text{ kg/m}^3$. Deze verhoging bedraagt ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (ca. $0,8 \text{ kg/m}^3$) slechts 7,5%. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen. Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden.

De geringe diepte en doorstroming ten noorden van de Pollendam leidt tot de grootste concentratieverhogingen rond deze verspreidingslocatie. In het Kimstergat zijn de concentraties lager vanwege de combinatie van goede doorstroming en een wat grotere diepte. Bij Zuid-Boontjes is de diepte zodanig groot, dat de menging groot is, met relatief lage concentraties tot gevolg.

10 Conclusies

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de belangrijkste conclusies uit dit rapport. De conclusies zijn onderverdeeld in de effecten van de drempelverwijdering op hydrodynamica en golven (paragraaf 10.1), morfologie (10.2), zoet-zoutpatronen (10.3), verspreiding van slib afkomstig uit de haven van Harlingen (10.4) en verspreiding van het materiaal vanuit de verwijderde drempel (10.5). Voor een onderbouwing van de verschillende conclusies wordt verwezen naar de betreffende paragrafen uit het rapport.

10.1 Hydrodynamica en golven

De effecten van de drempelverwijdering op hydrodynamica en golven zijn beschreven in hoofdstuk 5. De belangrijkste conclusies uit dat hoofdstuk zijn in deze paragraaf samengevat.

Waterstanden

Het effect van de drempelverwijdering op de waterstanden is niet significant, omdat de droogvalduur van de platen niet noemenswaardig verandert door de waterstandsveranderingen.

Stroomsnelheden in Boontjes

De drempelverwijdering versterkt de stroomsnelheden in de geul zowel bij eb als bij vloed met circa 0,01 m/s (3%) bij variant 1 tot maximaal ongeveer 0,025 m/s (7%) bij variant 3.

Stroomsnelheden op de platen

De drempelverwijdering zorgt voor een afname van de stroomsnelheden op de platen. De afname bedraagt direct naast de geul tijdens vloed bij springtij ongeveer 0,005 m/s (2%) bij variant 1, 0,007 m/s (2,5%) bij variant 2 en 0,012 m/s (4%) bij variant 3. Verder van de geul af neemt de invloed af.

Debiet door Boontjes

De debieten door de geul nemen zowel bij eb als bij vloed toe door de drempelverwijdering. De toename bedraagt bij rustig weer bij vloed circa 35 m³/s (5%), 70 m³/s (10%) en 120 m³/s (16%) bij respectievelijk de varianten 1, 2 en 3. Bij eb is dit respectievelijk circa 20 m³/s (5%), 40 m³/s (10%) en 65 m³/s (16%). Er treedt geen significante verandering in de getijasymmetrie op.

Significante golfhoogte

De significante golfhoogte neemt ten gevolge van de drempelverwijdering tijdens stormcondities toe in de as van de geul en licht af op de platen. Lokaal zijn de veranderingen tijdens stormcondities circa 5 cm. Op grotere afstand van de geul neemt de grootte van verandering snel af.

De resultaten van de analyse naar de effecten op hydrodynamica dienen als input voor de analyse naar de effecten op de (lange-termijn) morfologie.

10.2 Morfologie

De ontwikkeling van de omgeving van Boontjes is in de afgelopen decennia sterk beïnvloed door de aanleg van de Afsluitdijk. In de periode tussen de afsluiting in 1932 en heden is er netto sedimentatie opgetreden in het gebied rond Boontjes. Omdat deze sedimentatie ook de vaar-

diepte in Boontjes beïnvloedde, is in 1956 eenmalig onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. De drempel in Boontjes was ook al voor de afsluiting van de Zuiderzee aanwezig. De diepte van de geul lijkt zich de laatste decennia te stabiliseren, waarbij de breedte van de geul enigszins afneemt.

De effecten van de drempelverwijdering op de morfologische ontwikkeling in en rond Boontjes zijn beschreven in hoofdstuk 6. De belangrijkste conclusies uit dat hoofdstuk zijn in deze paragraaf samengevat.

Sedimenttransport in Boontjes

Uit de beschouwing van de sedimenttransporten door de geul in de huidige situatie volgt dat de morfologische activiteit ter plaatse van de drempel in Boontjes gering is. Dit is ook het geval na verwijdering van de drempel. Bij vloed tijdens springtij zijn de transporten door de geul duidelijk het grootst. Tijdens dit moment in de getijdencyclus nemen de over de breedte van de geul gesommeerde sedimenttransporten, gemiddeld over het beschouwde deel van Boontjes, met 0,2% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3) toe. Het extra aangevoerde sediment komt vooral op de platen terecht door de sterke plaat-geuluitwisseling van de stroming ten zuiden van de drempel in Boontjes. De (zeer geringe) transporten boven de drempel zelf nemen in variant 1 en 2 af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe.

Onderhoudsbaggerwerk

Sediment zet zich voornamelijk af aan de noordzijde van de geul onder gemiddelde windcondities en tijdens de maximale getijdestroming. Tijdens stormen vindt sedimentatie plaats op de oostelijke overgang van de plaat naar de geul. Erosie vindt voornamelijk plaats tijdens stormen op de westelijke overgang tussen plaat en geul. Op basis van de verandering in de varianten ten opzichte van de referentiesituatie van enerzijds de dwarstransporten en anderzijds de sedimenttransportcapaciteit in langsricting zijn baggervolumes per variant ingeschat. Het baggervolume is ingeschat op 21.700 m³/jaar voor variant 1, 32.400 m³/jaar voor variant 2 en 13.700 m³/jaar voor variant 3. Deze volumes zijn naar verwachting conservatief ingeschat. De inherente onzekerheden van de gehanteerde methodiek leiden tot een bandbreedte van ±50% rond deze volumes.

Ontwikkeling van de plaathoogte op korte en lange termijn

De som van de afnemende sedimentatie ten gevolge van de afsluiting van de Zuiderzee en de permanente sedimentatie ten gevolge van de zeespiegelstijging zal door de drempelverwijdering initieel versterkt worden met ongeveer 0,5% (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). Deze versterking zal vervolgens na verloop van tijd enigszins afnemen door de verwachte lichte aanzanding in Boontjes. Bij de plaatranden zal initieel naar verwachting enige herverdeling van het bodemmateriaal optreden, waardoor de taludhelling afneemt.

Grootschalig morfologisch systeem

Er is geen enkele aanwijzing dat de drempelverwijdering het karakter van het grootschalige morfologische systeem van de getijdebekken van het Vlie en het Marsdiep zal beïnvloeden.

10.3 Zoet-zoutpatronen

De effecten van de drempelverwijdering op zoet-zoutpatronen rond Boontjes zijn beschreven in hoofdstuk 7. De belangrijkste conclusies uit dat hoofdstuk zijn in deze paragraaf samengevat.

Huidige situatie

De contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit verschuiven door de drempelverwijdering (variant 2) in noordoostelijke richting over een afstand in de orde van slechts enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes neemt de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie toe met ongeveer 0,5% in de situatie zonder wind en 1% in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.

Situatie met ESA

Verlaging van de drempel in Boontjes leidt bij de huidige spuicapaciteit tot een lichte toename van de saliniteit in Boontjes. Deze trend zal ook aanwezig zijn indien bij Kornwerderzand meer water wordt gespuid vanuit het IJsselmeer. Daarom geven de resultaten geen enkele aanleiding om te verwachten dat de drempelverwijdering in het geval van een verhoging van de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal leiden tot een grotere doordringing van het zoete water (verlaagde saliniteit) in Boontjes dan in het geval met aanwezigheid van de drempel.

10.4 Verspreiding slib uit de haven van Harlingen

De effecten van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte materiaal, afkomstig uit de haven van Harlingen, zijn beschreven in hoofdstuk 8. De conclusie uit dit hoofdstuk is dat het effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib niet significant is.

10.5 Verspreiding materiaal uit Boontjes

De verspreiding van het uit de verwijderde drempel vrijkomende materiaal rond de verspreidingslocaties is beschreven in hoofdstuk 9. De belangrijkste conclusies uit dat hoofdstuk zijn in deze paragraaf samengevat.

Verspreiden van zand

Door het klappen of spuiten van zand treedt met uitzondering van de directe nabijheid van het verspreidende baggerschip geen vertroebeling op. Binnen enkele honderden meters afstand is al het zand neergeslagen.

Verspreiden van slib

Alleen bij (het klappen van) slib treedt enige vertroebeling op rond de stortlocatie. De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de verspreidingslocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75% ($0,06 \text{ kg/m}^3$) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van $0,08 \text{ kg/m}^3$. Deze verhoging bedraagt ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (ca. $0,8 \text{ kg/m}^3$) slechts 7,5%. De verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdegeulen. Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden.

De geringe diepte en doorstroming ten noorden van de Pollendam leidt tot de grootste concentratieverhogingen rond deze verspreidingslocatie. In het Kimstergat zijn de concentraties lager vanwege de combinatie van goede doorstroming en een wat grotere diepte. Bij Zuid-Boontjes is de diepte zodanig groot, dat de menging groot is, met relatief lage concentraties tot gevolg.

11 Referenties

- ACRB (2007), 'Voorstudie effecten drempelverwijdering Boontjes', Q115R1 – Deel 1: rapport en Deel 2: bijlagen, r2, 17 juni 2007
- d'Angremond, K., J.W. van der Meer, en R.J. de Jong (1996), 'Wave transmission at lowcrested structures', ASCE, proc. 25th ICCE, Orlando, USA, 2418-2427
- Bak, C.I. en D.P. Vlag (1999), 'Achtergronden hydraulische belastingen dijken IJsselmeergebied', deelrapport 5, Modelling waterbeweging (WAQUA), RIZA rapport 99.042
- Beets, D.J. en A.J.F. van der Spek (2000), 'The Holocene evolution of the barrier and the back-barrier basins of Belgium and the Netherlands as a function of late Weichselian morphology, relative sea-level rise and sediment supply', Netherlands Journal of Geosciences 27, 3-16
- Bijker R. en S. Ouwerkerk (2010), 'Startdocument drempelverwijdering Boontjes', Rapportnummer Q134R1
- Brouwer, R.L. (2006), 'Equilibrium and stability of a double inlet system', Afstudeerrapport TU Delft
- Bückmann, E. (2007), Economische baten van het opwaarderen van de Boontjes, Quick scan van bestaande studies aangevuld met nieuwste inzichten, Ecorys rapport, juni 2007
- Buist, H.J. en P. Bloks (1984), 'Geomorfologische processen Oosterschelde, een pilot studie', Nota DDMI-84.06, Rijkswaterstaat
- Cleveringa, J. en B. Grasmeijer (2010), 'Meegroeiervormen en gebruiksruimte in de getijbekkens Vlie en Marsdiep; Grootchalige morfologische ontwikkelingen westelijke Waddenzee', Alkyon rapport A2062
- Deltares (2010), 'Wave dissipation on counter current in SWAN', Deltares rapport 1200114-003
- Economisch Technologisch Instituut voor Friesland, 'De Boontjes: vertraagde vaart', rapportnummer 723, jaartal onbekend
- Elias, E. (2006), 'Morphodynamics of Texel Inlet', IOS Press, ISBN 1-58603-676-9
- Escoffier, F.F., (1940), 'The stability of tidal inlets', Shore and Beach 8 (4), 111-114
- Galappatti, R. en C.B. Vreugdenhil (1985): "A depth integrated model for suspended sediment transport", Journal of Hydraulic Research, Vol. 23, No. 4 (1985), pp. 359-377.
- Geer, P.F.C. van (2007), 'Long - term morphological evolution of the Western Dutch Wadden Sea', Afstudeerrapport TU Delft, WL | Delft Hydraulics, rapport Z4169
- Hartsuiker, G. en G. van Banning (2002), 'Afsluitdijk effectenstudie hydrologie; toetsing en simulaties westelijke Waddenzee, 3D modelstudie', Alkyon rapport A822
- HKV lijn in Water en Witteveen+Bos (2011), 'Projectplan en Passende Beoordeling Verdieping Boontjes, Hydrodynamische en morfologische effecten', nog in ontwikkeling
- Kessel, T. van, Y. Friocourt, K. Kuijper, A. Bruens, P-K. Tonnon en B. van Maren (2009), Slibmodellering kwaliteitsaspecten. Resultaten 2009. Rapport Deltares
- Kohsiek, L.H.M., P. Bloks, P. Hoekstra, R. Misdorp, J.H. van den Berg en J. Visser (1986), 'Sedimentary processes on a sandy shoal in a mesotidal estuary (Eastern Scheldt)', Tics-influenced sedimentary environments and facies, Riedel Publishing Company
- Kohsiek, L.H.M., J.P.M. Mulder, T. Louters en F. Berben (1987), 'De Oosterschelde naar een nieuw onderwaterlandschap', Nota DGW. AO 87.029
- Kragtwijk N.G. (2001), 'Aggregated scale modeling of tidal inlets of the Wadden Sea; Morphological response to the closure of the Zuiderzee', Afstudeerverslag TU Delft, WL | Delft Hydraulics / Delft Cluster, rapport Z2822
- Kreeke, J. van de (1990), 'Can multiple inlets be stable?', Estuarine, Coastal and Shelf Science 30, 261-273

- Kreeke, J. van de, R.L. Brouwer, T.J. Zitman en H.M. Schuttelaars (2008), 'The effect of a topographic high on the morphological stability of a two-inlet bay system', *Coastal Engineering* 55 (2008), 319-332
- Lekkerkerk, H.J., C. van Tooren, B. van Mierlo en E. van der Meulen (2006), 'Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen', *Periplus consultancy report 2006.005*
- Le Méhauté, B. en J.D. Wang (1982), 'Wave spectrum changes on sloped beach', *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 108(1), 33-47
- Louters, T., en F. Gerritsen (1994), 'Met mysterie van de wadden; Hoe een getijde systeem inspeelt op de zeespiegelstijging', *Rijkswaterstaat RIKZ, rapport RIKZ-94.040*
- Louters, T., J.H. van den Berg en J.P.M. Mulder (1998), 'Geomorphological changes of the Oosterschelde tidal system during and after the implementation of the Delta project', *Journal of Coastal Research*, 14(3), 1134-1151, Royal Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208
- Marriott, M.J. en R. Jayaratne (2010), 'Hydraulic roughness - links between Manning's coefficient, Nikuradse's equivalent sand roughness and bed grain size', *Proceedings of Advances in Computing and Technology, (AC&T) The School of Computing and Technology 5th Annual Conference, University of East London, 27-32*
- Ministerie van Economische Zaken (2006), 'Gaswinning binnen randvoorwaarden; Passende beoordeling van het rijksprojectbesluit gaswinning onder de Waddenzee vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen'
- Mulder, J.P.M. en T. Louters (1994), 'Changes in basin geomorphology after implementation of the Oosterschelde estuary project', *Hydrobiologica* 282/283, 29-39, Kluwer Academic Publishers
- NAM (2009), 'Uitwerking Lodinggegevens RWS 1985-2002 (3 Cycli) tbv rapportering monitoring gaswinning 2008', *Nederlandse AardolieMaatschappij, Assen*
- Oost, A.P. en P.A.H. Kleine Punte (2003), 'Autonome morfologische ontwikkeling westelijke Waddenzee, een doorkijk naar de toekomst', *rapport RIKZ/2004.021*
- Raudkivi, A.J. (1998): "Loose Boundary Hydraulics", Third Edition; Pergamon Press, Oxford, United Kingdom.
- Ridderinkhof, H. (1988a), 'Tidal and residual flows in the western Dutch Wadden Sea; I: Numerical model results', *Netherlands Journal of Sea Research*, 22(1), 1-21
- Ridderinkhof, H. (1988b), 'Tidal and residual flows in the western Dutch Wadden Sea; II: An analytical model to study the constant flow between connected tidal basins', *Netherlands Journal of Sea Research*, 22, 185-198
- Rijkswaterstaat Directie Friesland (1978), 'De aansluiting van de Boontjes op de Doove Balg', *Nota ANP 78.3, augustus 1978*
- Rijkswaterstaat Directie Noord-Nederland (2001), 'Vaargeul Boontjes, (Morfologische) analyse i.k.v. Verkenning Vaarweg Amsterdam-Harlingen', 13 maart 2001, afdeling ANZ
- Rijn, L.C. van (1993), 'Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas', *Aqua Publications, The Netherlands*
- Rijn, L.C. van (1998), 'Principles of Coastal Morphology', *Aqua publications, Amsterdam*
- Rijn, L.C. van (2005), 'Principles of sedimentation and erosion engineering in rivers, estuaries and coastal seas', *Aqua publications, Amsterdam*
- Rijn, L.C. van (2006a), 'A unified view of sediment transport by current and waves, Part 1: Initiation of motion, bed roughness and bed load transport', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*
- Rijn, L.C. van (2006b), 'A unified view of sediment transport by current and waves, Part II: Suspended transport', *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*

- Ronde, J.G. de, J.J. van der Werf, A. Giardino, S. van Heteren en J.M. de Kok (2009), 'Verkenning Capaciteit Maasgeul', Deltares rapport juni 2009
- Schuttelaars, H.M. en H.E. de Swart (2000), 'Multiple morphodynamic equilibria in tidal embayments', *J. of Geophysical Res.* Vol.105, No. C10, 24,10524,118
- SIMONA (2010), 'User's guide WAQPRE', Versie 10.113-p05, November 2010
- Straaten, L. M. J. U. van (1964), 'De bodem der Waddenzee, Het Waddenboek', Thieme, Zutphen
- Svašek, J.N. (1964), 'Behaviour of trial dredge trench in the sea bed of the North Sea near Scheveningen', Report K 272, Deltadienst, The Netherlands.
- Thijsse, J. T. (1972), 'Een halve eeuw Zuider Zeewerken 1920-1970', Tjeenk Willink, Groningen
- Tönis, I., J.M.T. Stam en J. van de Graaf (2002), 'Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970', *Journal of Coastal Engineering* 44
- Vroom, J. (2011), 'Tidal divides; a study on a simplified case and the Dutch Wadden Sea', Afstudeerrapport, TU Delft, juni 2011
- Waal, J.P. de (2003), 'Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen', RIZA-werkdocument 2003.118x, Rijkswaterstaat-RIZA
- Wang, Z.B. (2004), 'Niet lineaire gedrag van het morfologische systeem van de Waddenzee', WL | Delft Hydraulics, rapport Z3796
- Westhuysen, A.J. van der (2009), 'Modelling of depth-induced wave breaking over sloping and horizontal beds', 11th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting
- Westhuysen, A.J. van der (2010a), 'Modelling of depth-induced wave breaking under finite depth wave growth conditions', *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115
- Westhuysen, A.J. van der (2010b), "Improved modelling of wave-current interaction in SWAN", ICCE 2010
- Winterwerp, J.G. en W.G.M. van Kesteren (2004), 'Developments in sedimentology; Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment'
- Witteveen+Bos (2010), 'Verification of SWAN in the Western Wadden Sea, Hindcast January and November 2007 storms', Witteveen+Bos rapport
- Witteveen+Bos (2011), 'Drempelverwijdering Boontjes; opbouw varianten en uitvoeringsmogelijkheden drempelverwijdering', projectnotitie LMR19-3, 14 maart 2011
- Young, I.R. en Verhagen, L.A. (1996), 'The growth of fetch limited waves in water of finite depth', *Coastal Engineering*, 29, 47-121

Bijlagen

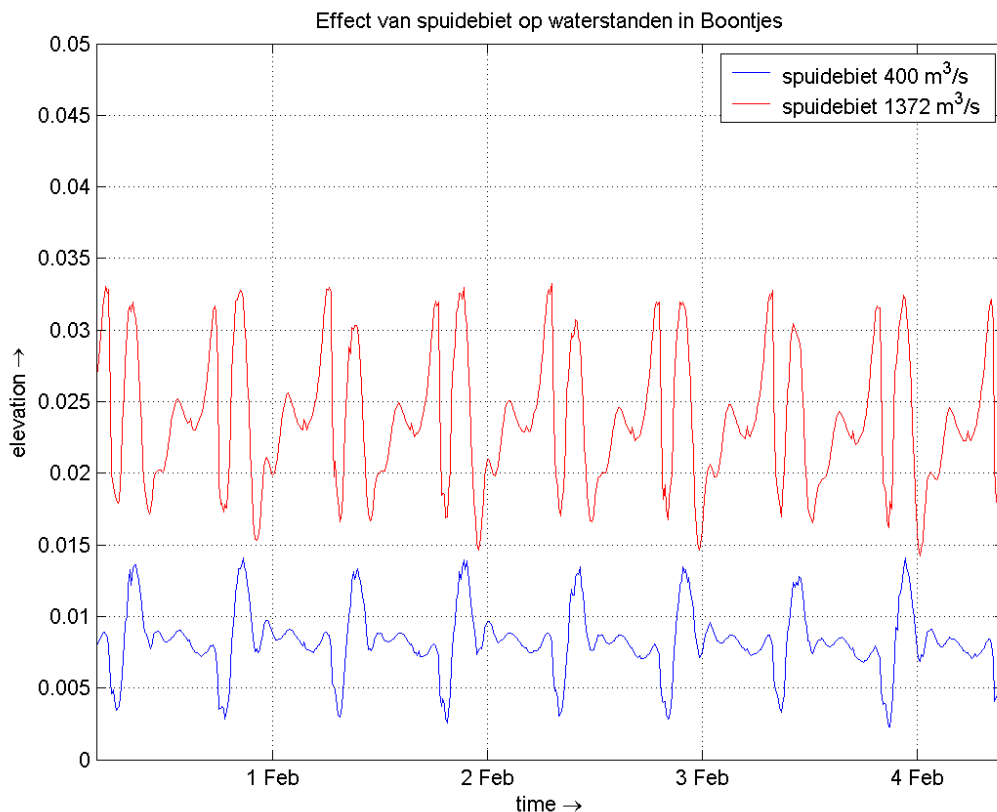
Bijlage A: Gevoeligheidsanalyse

Deze bijlage geeft de resultaten van de gevoeligheidsanalyse. De gevoeligheid van de resultaten voor het spuidebiet bij Kornwerderzand en de roosterfijnheid zijn onderzocht.

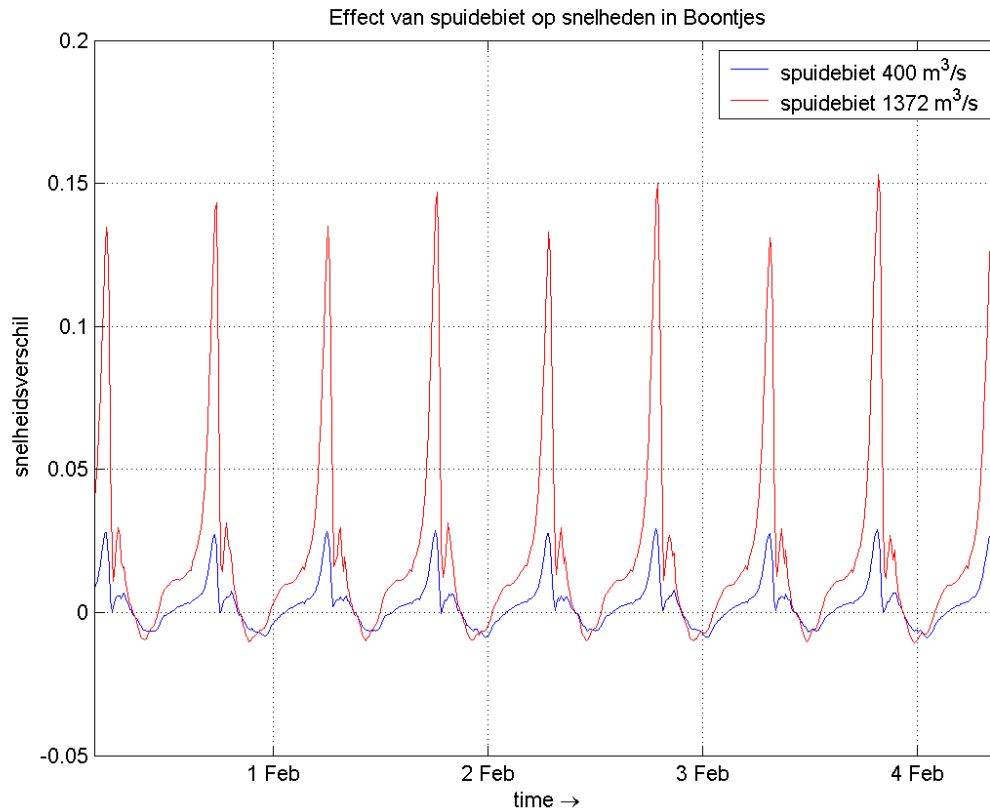
A1 - Spuidebiet Kornwerderzand

In de simulaties van het project Boontjes is (overeenkomstig met het Kuststrook-fijn-model) uitgegaan van een constant spuidebiet van 400 m³/s. In werkelijkheid zal dit debiet echter fluctueren gedurende een getijcyclus. Daarnaast is het de verwachting, in verband met de plannen voor Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (ESA), dat het (constante) spuidebiet zal veranderen in de nabije toekomst.

Deze analyse geeft weer wat de effecten zijn van een verandering van het constante spuidebiet op de waterstanden en stroomsnelheden in het studiegebied. Naast een situatie zonder spuidebiet is een simulatie uitgevoerd met een spuidebiet van 1372 m³/s. Volgens Hartsuiker en Van Banning (2002) komt dit overeen met de gemiddelde lozing bij Kornwerderzand in de huidige situatie, bij een hoge afvoer in combinatie met springtij.



Figuur A-1 – Effect van een spuidebiet van 400 m³/s en 1372 m³/s op de waterstanden in Boontjes (uitvoerlocatie 6) ten opzichte van de situatie zonder spuidebiet. Referentiesituatie, geen wind, springtij.



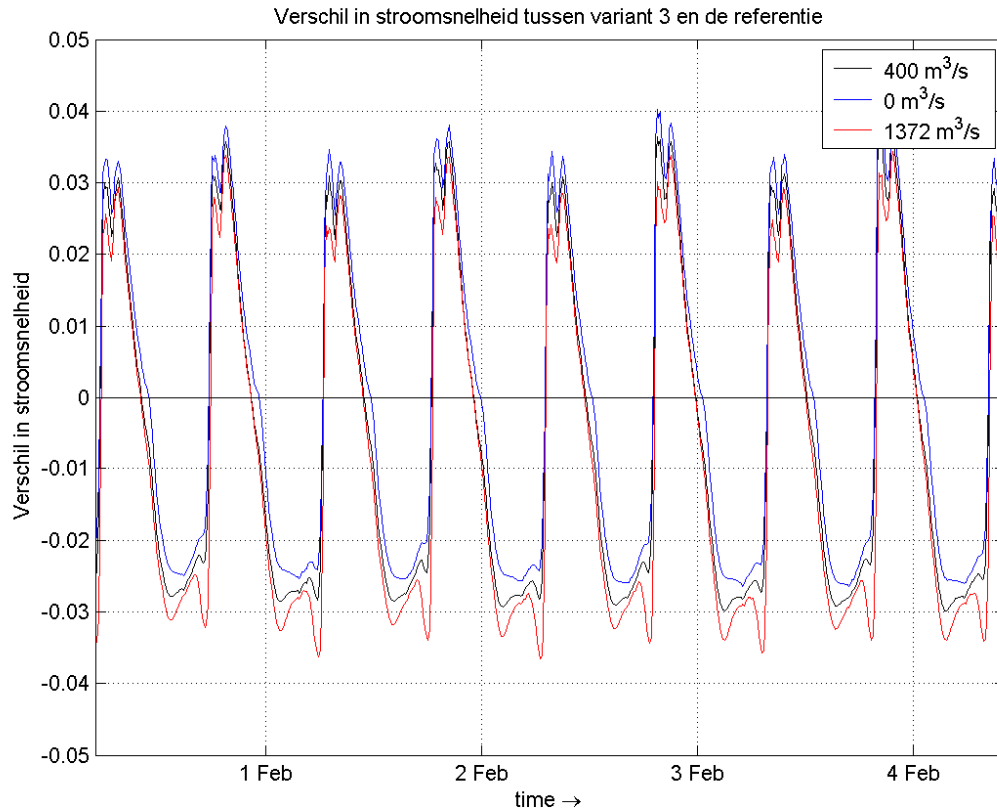
Figuur A-2 – Effect van een spuidebiet van 400 m³/s en 1372 m³/s op de grootte van de stroomsnelheden in Boontjes (uitvoerlocatie 6) ten opzichte van de situatie zonder spuidebiet. Referentiesituatie, geen wind, springtij.

Uit Figuur A-1 blijkt dat het spuidebiet een beperkte invloed heeft op de waterstanden in Boontjes. Bij een spuidebiet van 400 m³/s (zoals gebruikt in de huidige studie) liggen de waterstanden gemiddeld iets minder dan 1,0 cm hoger dan in de situatie zonder spuidebiet. Bij een maximale waarde voor het gemiddelde spuidebiet, 1372 m³/s, loopt dit verschil op tot gemiddeld ongeveer 2,5 cm.

Het effect op de stroomsnelheden is duidelijker aanwezig, zie Figuur A-2. De grootste veranderingen in de stroomsnelheid (de pieken) treden op bij laagwaterkentering, de stroomsnelheden zijn circa 0,1 m/s hoger. Wanneer de getijstrooming vrijwel wegvalt, kan er een residuele stroming door Boontjes als gevolg van het spuidebiet ontstaan. De invloed van het spuidebiet bij vloed en hoogwaterkentering is verwaarloosbaar. Bij eb treedt een geringe afname van de stroomsnelheid op bij grote spuidebieten, doordat het verhang over de geul in die situatie iets kleiner wordt.

Bovenstaande verschillen betreffen alle absolute verschillen in de referentiesituatie als gevolg van een variatie in het spuidebiet. Voor deze studie is de variatie in het relatieve verschil (het verschil in het effect van de varianten) door een variërend spuidebiet met name van belang. Figuur A-3 toont het verschil in stroomsnelheid door Boontjes in variant 3 ten opzichte van de referentiesituatie. Negatieve waarden representeren de toename in stroomsnelheid gedurende vloed, positieve waarden de toename gedurende eb. Uit de resultaten blijkt dat bij het ontbreken van het spuidebiet het effect bij vloed kleiner en het effect bij eb groter is. Bij een maximale waarde voor het gemiddelde spuidebiet van 1372 m³/s is het effect tegengesteld.

De conclusie is dat met $400 \text{ m}^3/\text{s}$ een representatieve waarde tussen beide uitersten is gevonden. De variatie van het spuidebiet leidt tot een bandbreedte rond het effect van variant 3 van nog geen $0,01 \text{ m/s}$. Voor de varianten 1 en 2 wordt vanwege de kleinere dimensies van de ingreep een kleinere spreiding verwacht.

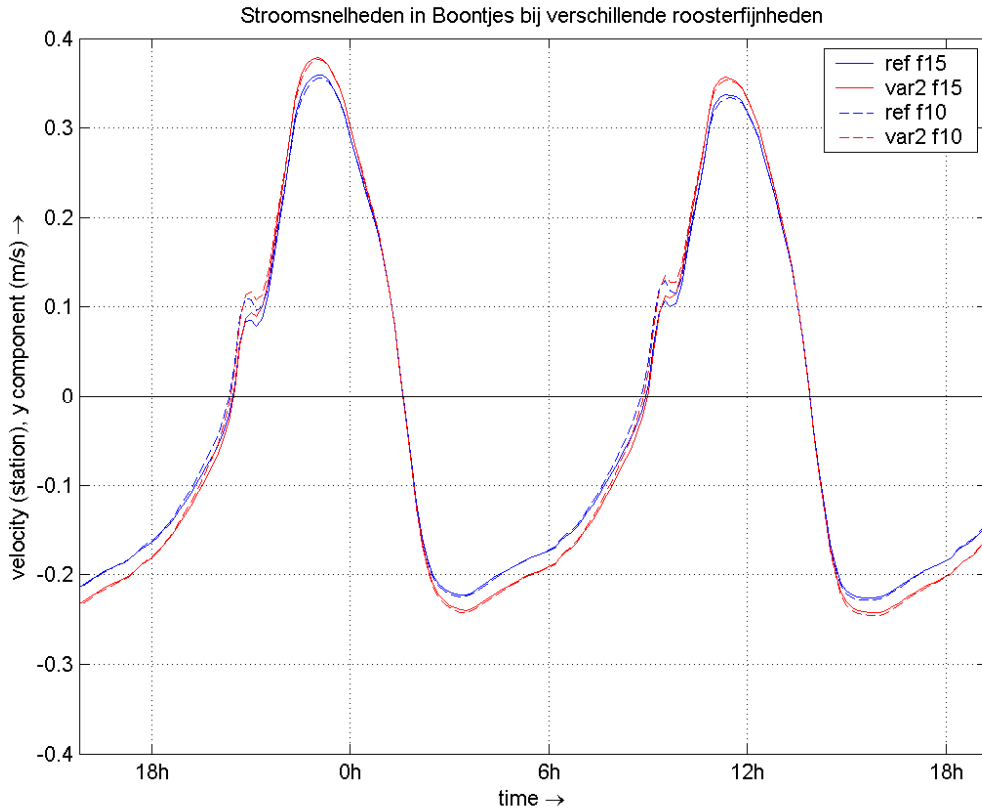


Figuur A-3 – Verschil in stroomsnelheid bij uitvoerlocatie 6 in Boontjes (zie Figuur 5-1) tussen variant 3 en de referentiesituatie bij verschillende spuidebieten, situatie zonder wind tijdens springtij.

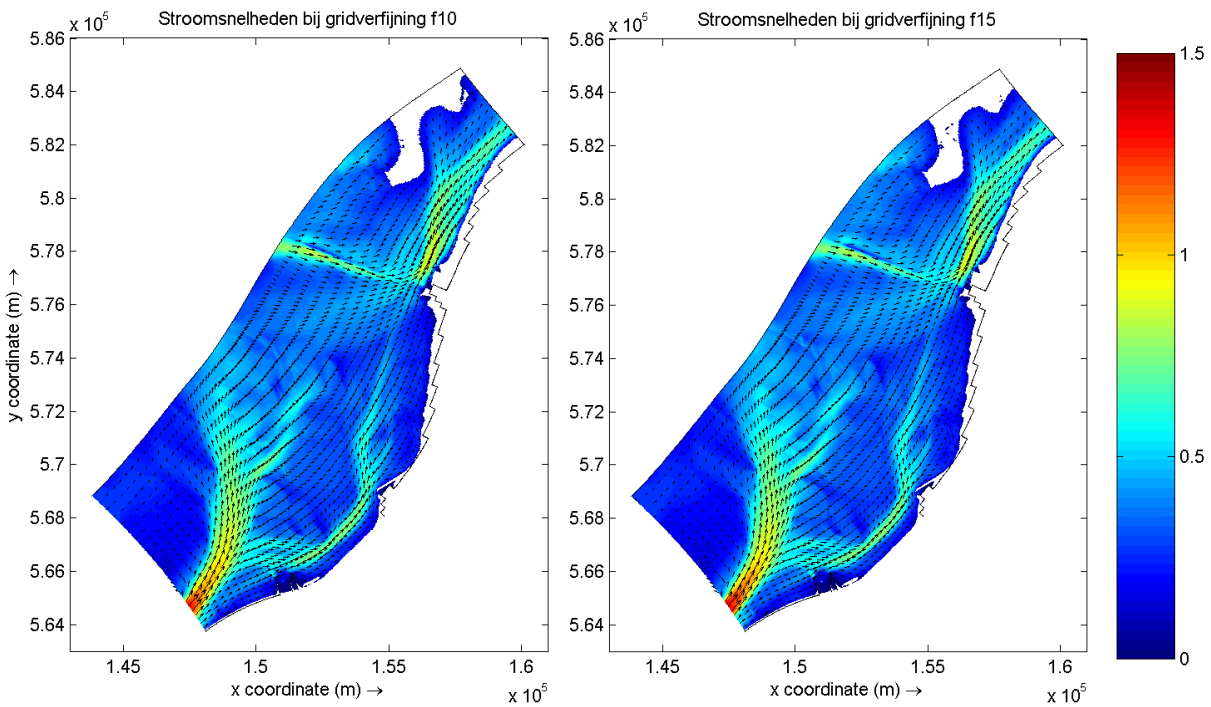
A2 - Roosterfijnheid

Figuur A-4 toont stroomsnelheden in Boontjes (bij uitvoerlocatie 6, zie Figuur 5-1) voor de referentie en variant 2. In de figuur zijn de resultaten opgenomen voor het rooster zoals gebruikt in deze studie (factor 10 verfijnd ten opzichte van het kuststrook-fijn-model, zie paragraaf 4.2.1) en een in beide richtingen met een factor 1,5 verfijnd rooster (factor 15 verfijnd ten opzichte van het kuststrook-fijn-model). Het blijkt dat het in deze studie gebruikte rooster fijn genoeg is om de details van de bodemligging van Boontjes te representeren. Ook de variant is met voldoende nauwkeurigheid op het rooster geprojecteerd. Figuur A-5 toont de 2D-resultaten⁶ in het geval van de referentiesituatie bij vloed voor beide roosterfijnheden. Er zijn geen duidelijke verschillen in stroombeeld zichtbaar tussen beide roosterfijnheden. Dit bevestigt de conclusie dat de resolutie van het gebruikte rooster voldoende groot is.

⁶ Een verschilplot maken vereist interpolatie van het ene naar het andere rooster, waardoor de resultaten van één van beide simulaties beïnvloed wordt. Op basis van de absolute plots is voldoende zichtbaar dat het stroombeeld voor beide roosterresoluties nagenoeg gelijk is.



Figuur A-4 – Stroomsnelheden in Boontjes in de referentiesituatie en bij variant 2 voor uitvoerlocatie 6 in Boontjes (zie Figuur 5-1) voor roosterverfijningen met een factor 10 en 15 ten opzichte van het kuststrook-fijn-model



Figuur A-5 – Stroomsnelheden bij vloed in de referentiesituatie bij het in deze studie gebruikte rooster (links) en een met een factor 1,5 verfijnd rooster

Bijlage B: Slibmodellering

De verspreiding van het havenslib is gemodelleerd met een advection-diffusie-vergelijking voor de slibconcentratie c , zie vergelijking (B.1). De tweede term uit het linkerlid beschrijft de advection (meevoering), het rechterlid geeft de diffusie weer. Het slib wordt beschouwd als een passieve tracer. Dit houdt in dat de waterbeweging de verspreiding van het slib beïnvloedt, maar dat er geen beïnvloeding is van de waterbeweging door het slib.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + (\bar{u} - \bar{w}_s) \cdot \nabla c = \nabla \cdot D \nabla c \quad (\text{B.1})$$

Bij een constante horizontale diffusiviteit ($\nabla D = 0$) leidt dit tot:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial c}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial c}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial c}{\partial z} - w_s \frac{\partial c}{\partial z} = D \left[\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right]. \quad (\text{B.2})$$

De eerste term geeft de verandering van de (dieptegemiddelde) concentratie \bar{c} in de tijd weer. De tweede tot en met de vierde term representeren het transport van het gesuspendeerde materiaal door middel van advection (meevoering door de horizontale componenten van de stroming U en V). De vijfde term is verantwoordelijk voor het effect van het uitzakken van het materiaal, afhankelijk van de valsnelheid w_s . Het rechterlid beschrijft de diffusie van het materiaal.

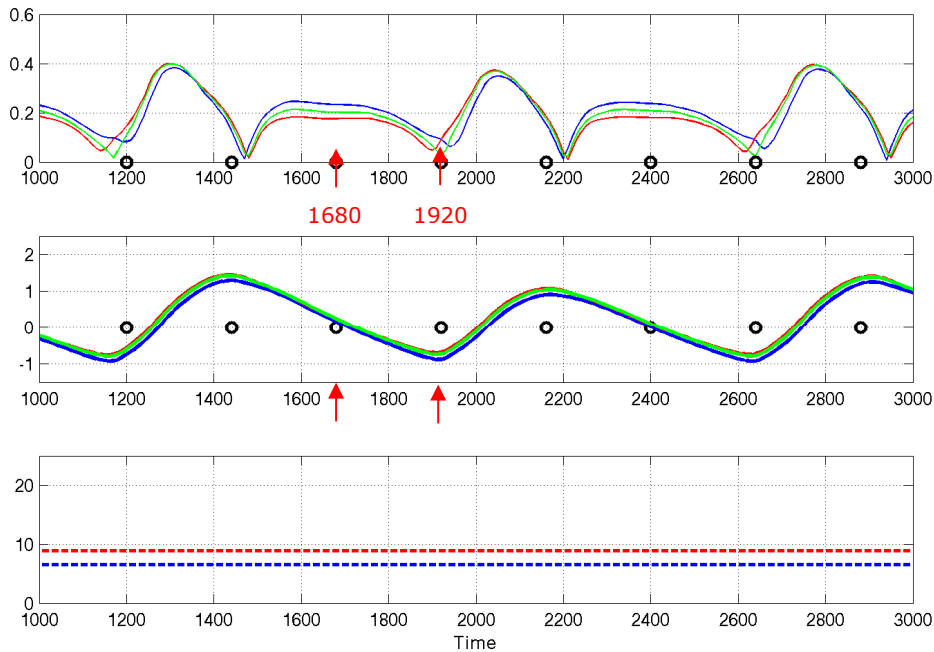
Bovenstaande vergelijking (B.2) wordt in TRIWAQ gebruikt. In WAQUA (2D) kan de valsnelheid niet worden meegenomen. De vierde en vijfde term uit vergelijking (B.2) komen in WAQUA te vervallen ($w_s=0$), evenals de derde term van het rechterlid. Bij de dieptegemiddelde benadering in WAQUA worden alle grootheden over de diepte geïntegreerd. Dit resulteert in de volgende dieptegemiddelde advection-diffusievergelijking zonder valsnelheid:

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + U \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + V \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = D \left[\frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{c}}{\partial y^2} \right] \quad (\text{B.3})$$

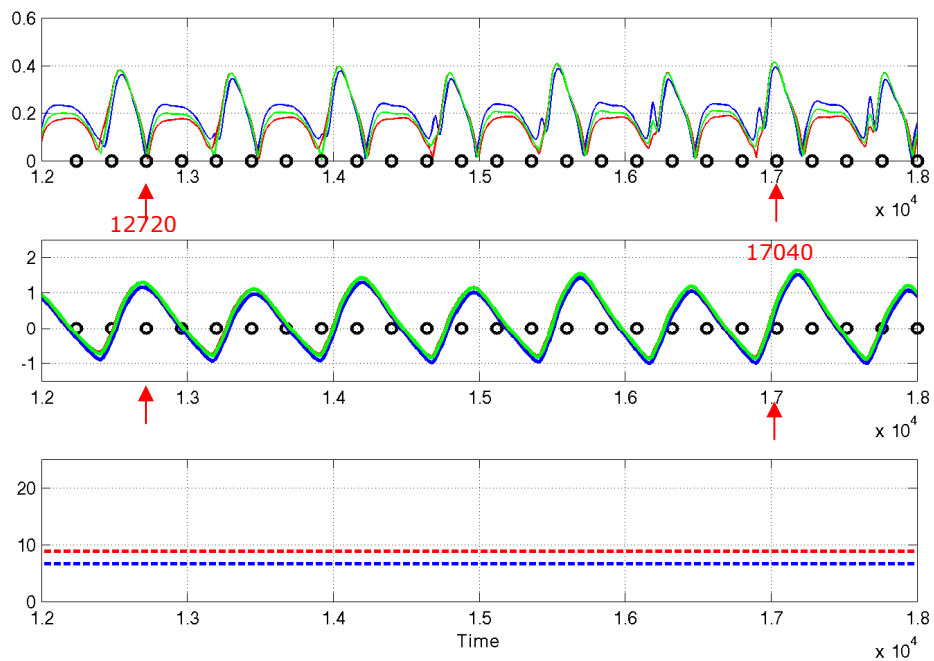
Hierin is \bar{c} de dieptegemiddelde slibconcentratie.

Resumerend: vergelijking (B.2) vormt de basis voor de slibberekeningen met TRIWAQ, vergelijking (B.3) voor de slibberekeningen met WAQUA. In TRIWAQ is een alternatief advection-schema (ADVEC_SCHEME 30, zie SIMONA (2010), p.123) gebruikt, waardoor ook voor de ondiepe Waddenzee positiviteit van de concentraties gewaarborgd werd.

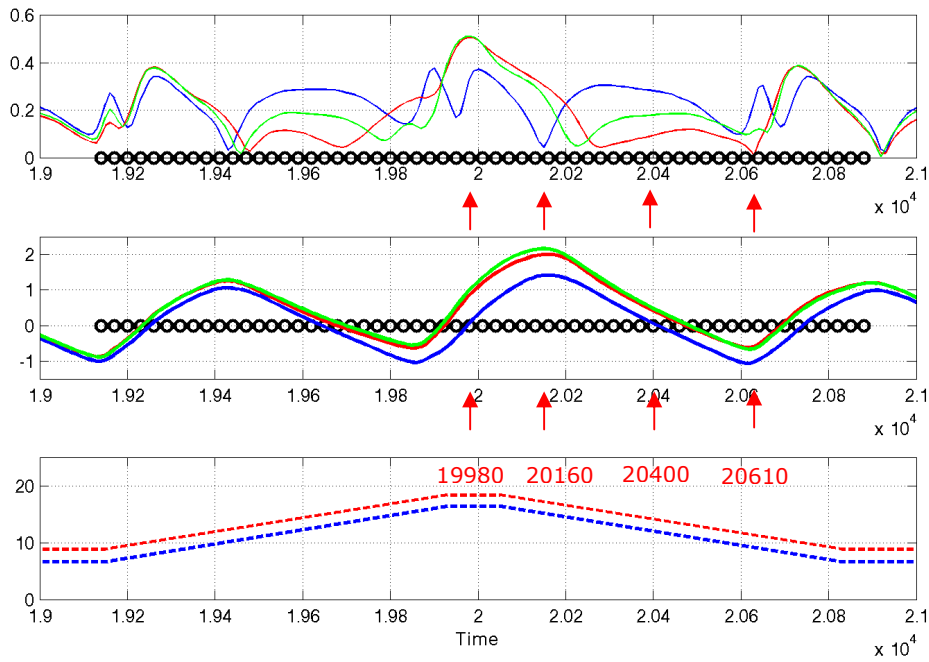
Bijlage C: Overzicht golfberekeningen



Figuur C-1 - Tijdsreeks magnitude stroomsnelheid (m/s) (boven), waterstand (m) (midden) en windsnelheid (m/s) (onder), per windrichting (blauw is bij noordenwind; rood bij zuidwestenwind; groen bij noordwestenwind) met daarin de hindcastmomenten met pijlen aangegeven. Locatie: Boontjes geul. Gemiddelde condities (deel 1). Tijd in minuten t.o.v. start simulaties.



Figuur C-2 - Tijdsreeks magnitude stroomsnelheid (m/s) (boven), waterstand (m) (midden) en windsnelheid (m/s) (onder), per windrichting (blauw is bij noordenwind; rood bij zuidwestenwind; groen bij noordwestenwind) met daarin de hindcastmomenten met pijlen aangegeven. Locatie: Boontjes geul. Gemiddelde condities (deel 2). Tijd in minuten t.o.v. start simulaties.



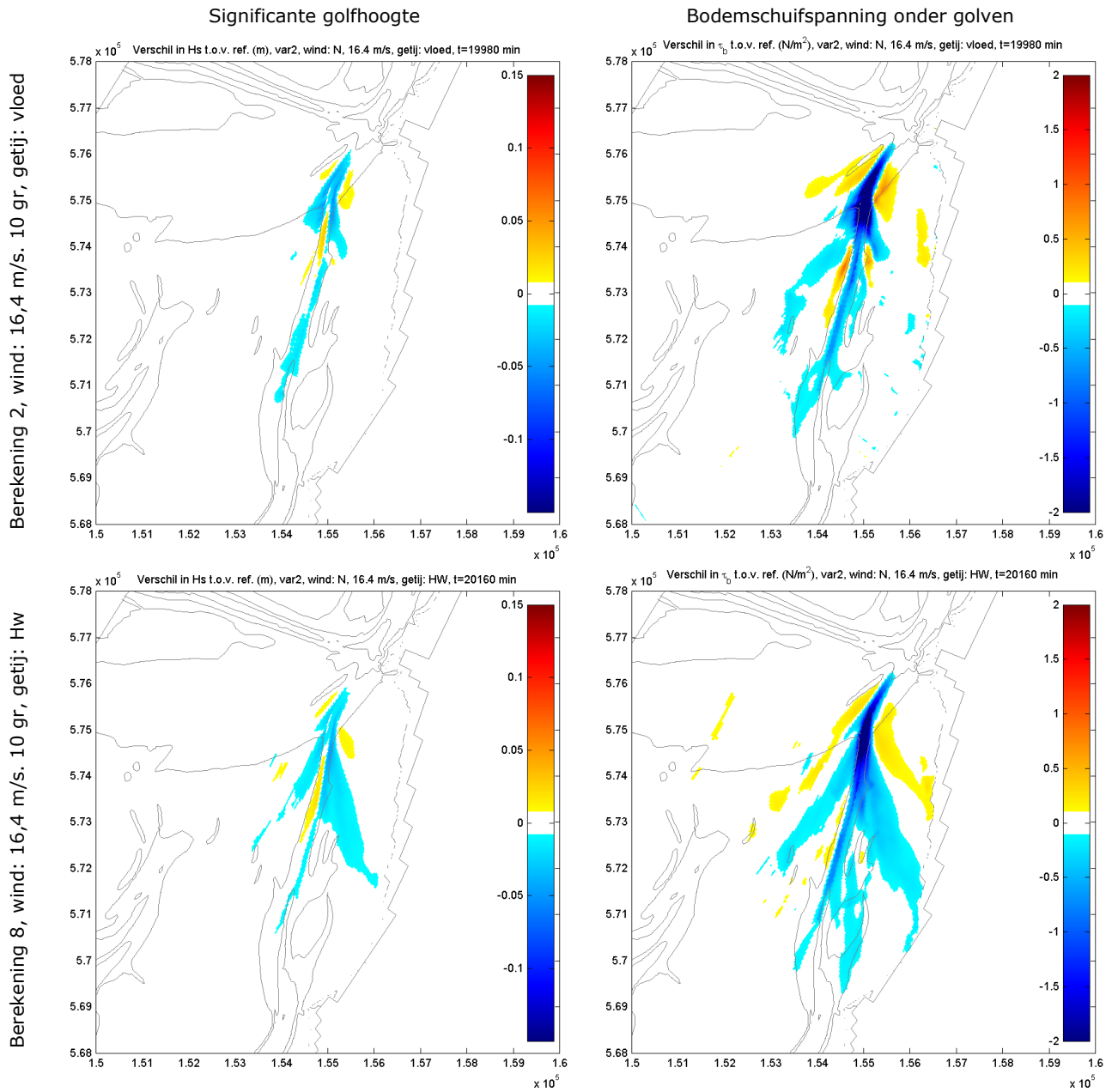
Figuur C-3 - Tijdreeks magnitude stroomsnelheid (m/s) (boven), waterstand (m) (midden) en windsnelheid (m/s) (onder per windrichting (blauw is bij noordenwind; rood bij zuidwestenwind; groen bij noordwestenwind) met daarin de hindcastmomenten met pijlen aangegeven. Locatie: Boontjes geul. Gemiddelde condities (deel 3). Tijd in minuten t.o.v. start simulaties.

Berekeningnummer	Tijdstip (min)	Moment in getijcyclus	Storm / normaal	Windsnelheid (m/s)	Windrichting (deg N)	Significante golf-hoogte Hs (m)	Piek golfperiode (s)	Schatting effectieve fetch (m)	Schatting gemiddelde diepte (m)
1	1920	LW	normaal	6,6	10	0,3	2,2	6000	4,0
2	19980	UMAX+	storm	16,4	10	0,8	3,2	6000	4,0
3	1920	LW	normaal	8,9	230	0,7	3,5	18000	7,0
4	19980	UMAX+	storm	18,4	230	1,6	4,8	18000	7,0
5	1920	LW	normaal	8,1	290	0,5	3,0	13000	5,0
6	19980	UMAX+	storm	19,3	290	1,3	4,3	13000	5,0
7	1680	UMAX-	normaal	6,6	10	0,3	2,2	6000	4,0
8	20160	HW	storm	16,4	10	0,8	3,2	6000	4,0
9	1680	UMAX-	normaal	8,9	230	0,7	3,5	18000	7,0
10	20160	HW	storm	18,4	230	1,6	4,8	18000	7,0
11	1680	UMAX-	normaal	8,1	290	0,5	3,0	13000	5,0
12	20160	HW	storm	19,3	290	1,3	4,3	13000	5,0
13	17040	UMAX+	normaal	6,6	10	0,3	2,2	6000	4,0
14	20400	UMAX-	storm	16,4	10	0,8	3,2	6000	4,0
15	17040	UMAX+	normaal	8,9	230	0,7	3,5	18000	7,0
16	20400	UMAX-	storm	18,4	230	1,6	4,8	18000	7,0
17	17040	UMAX+	normaal	8,1	290	0,5	3,0	13000	5,0
18	20400	UMAX-	storm	19,3	290	1,3	4,3	13000	5,0
19	12720	HW	normaal	6,6	10	0,3	2,2	6000	4,0
20	20610	LW	storm	16,4	10	0,8	3,2	6000	4,0
21	12720	HW	normaal	8,9	230	0,7	3,5	18000	7,0
22	20610	LW	storm	18,4	230	1,6	4,8	18000	7,0
23	12720	HW	normaal	8,1	290	0,5	3,0	13000	5,0
24	20610	LW	storm	19,3	290	1,3	4,3	13000	5,0

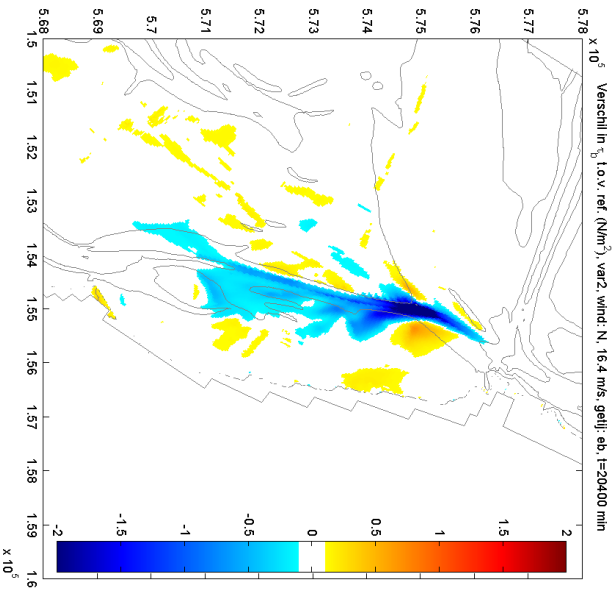
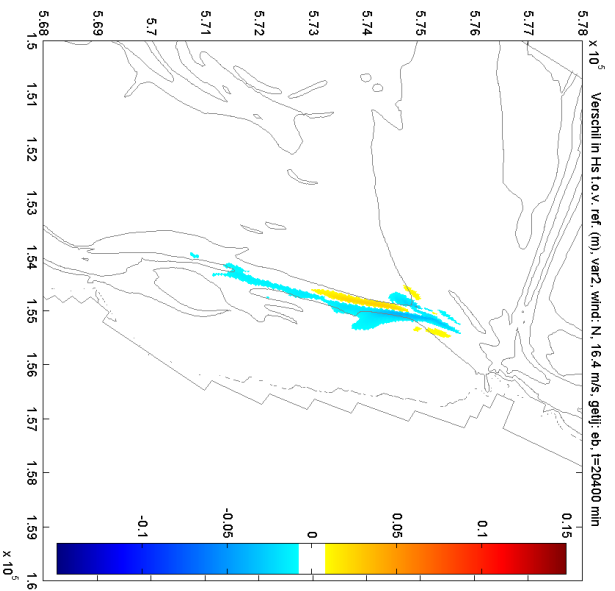
Tabel C-1 - Overzicht SWAN berekeningen en bijbehorende golfparameters. LW: laag water; HW: hoog water; UMAX+: maximale stroomsnelheid vloed; UMAX-: maximale stroomsnelheid

Bijlage D: Resultaten golfmodellering

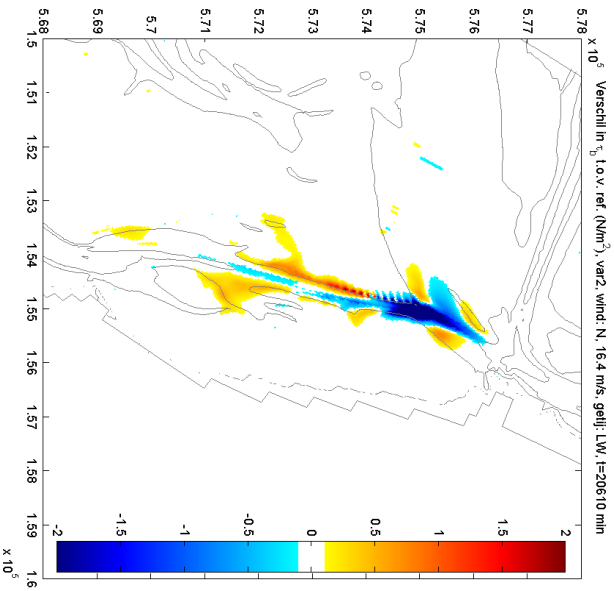
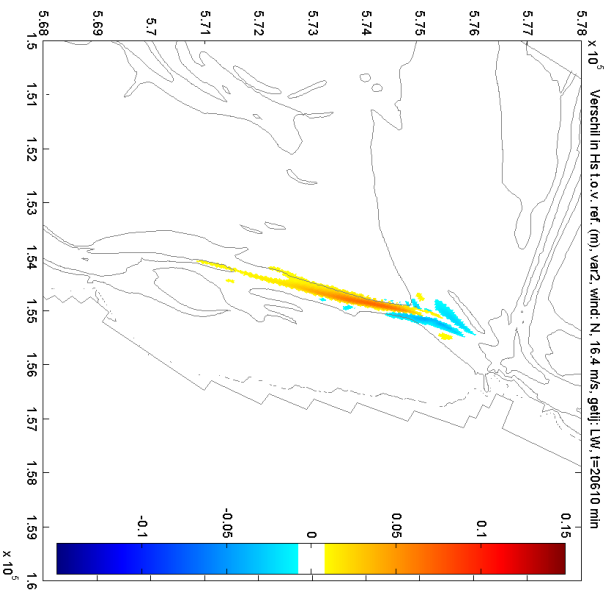
Absolute veranderingen in significante golfhoogte [m] en bodemschuifspanning [N/m^2] onder golven voor variant 2 ten opzichte van de referentiesituatie.



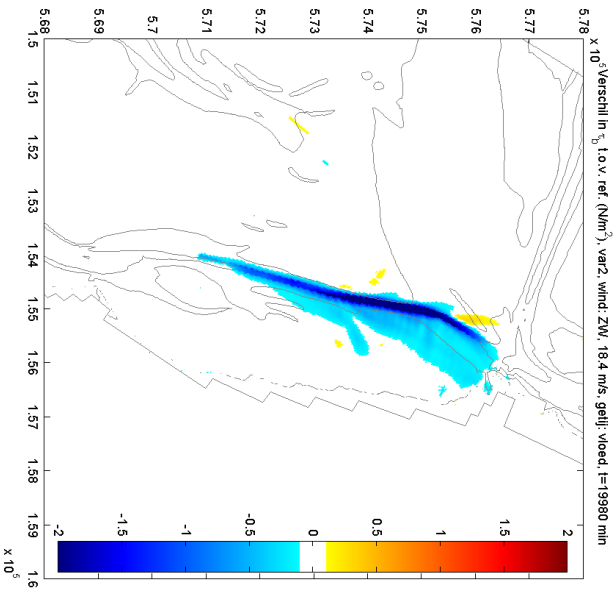
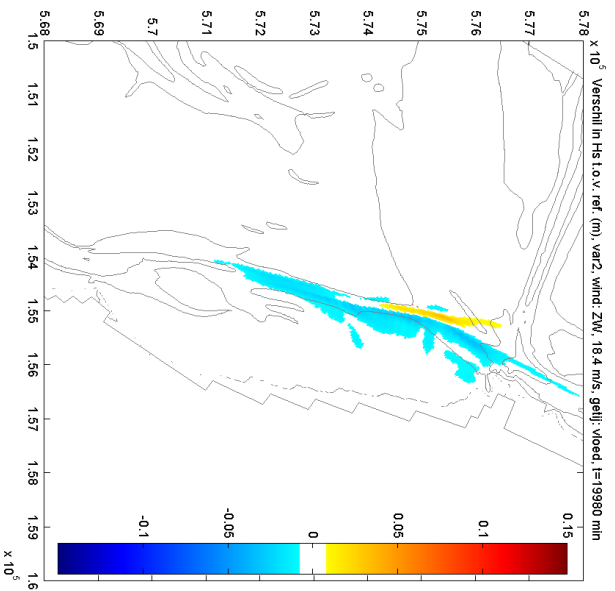
Berekening 14, wind: 16,4 m/s. 10 gr, getij: eb



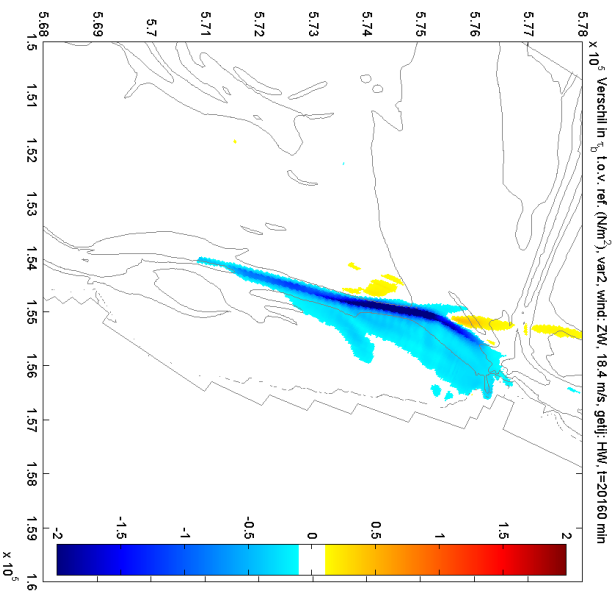
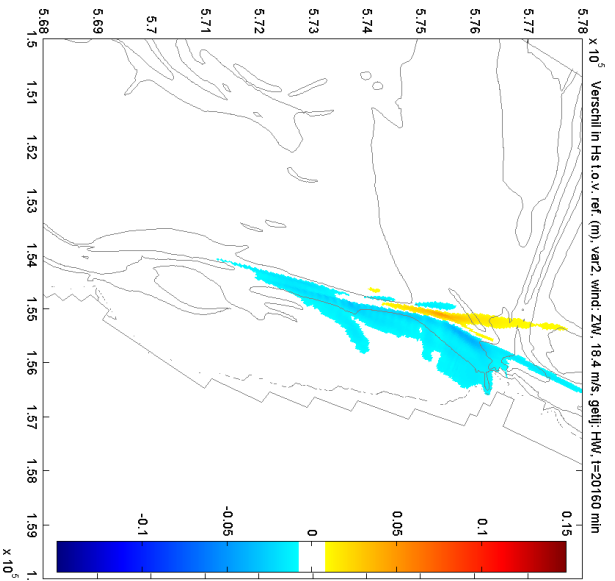
Berekening 20, wind: 16,4 m/s. 10 gr, getij: LW



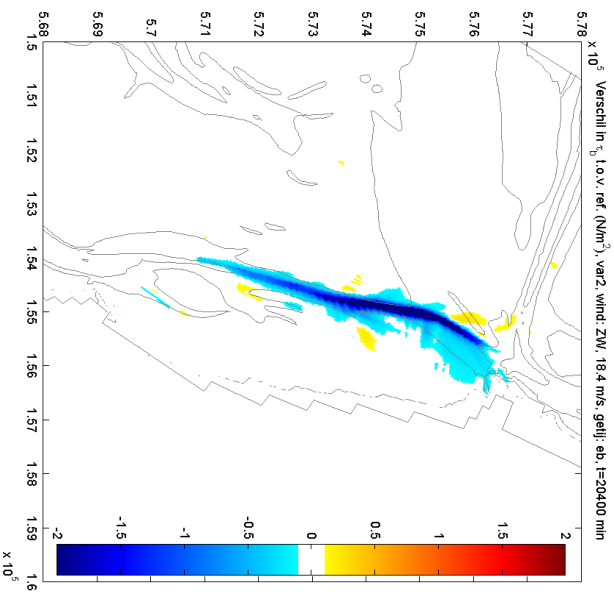
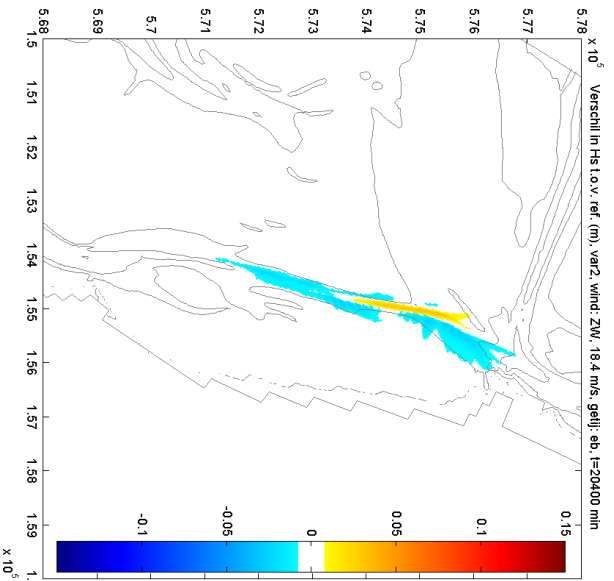
Berekening 4, wind: 18,4 m/s. 230 gr, getij: vloed



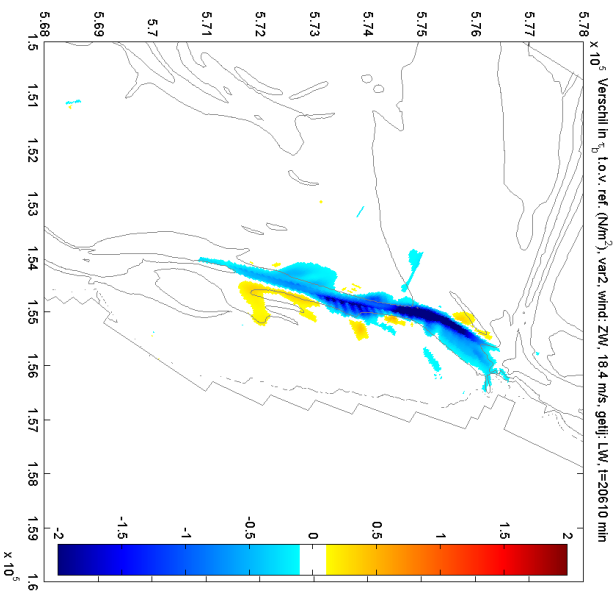
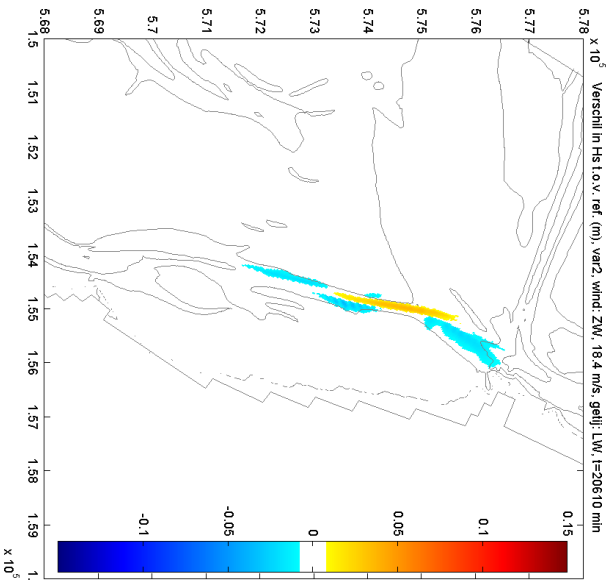
Berekening 10, wind: 18,4 m/s. 230 gr, getij: HW



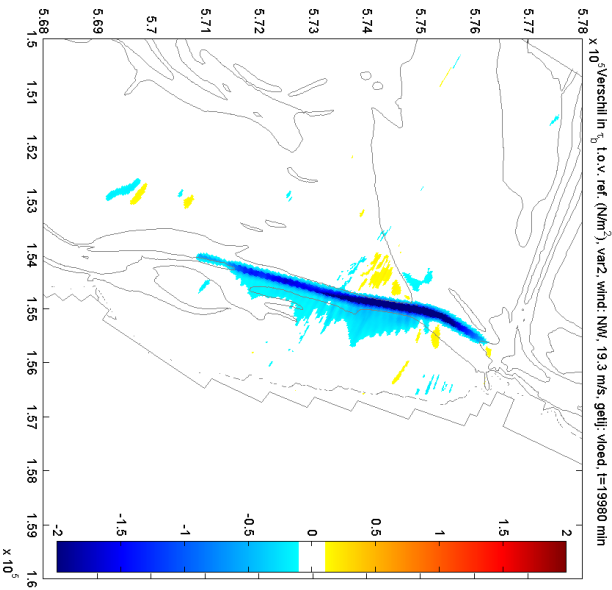
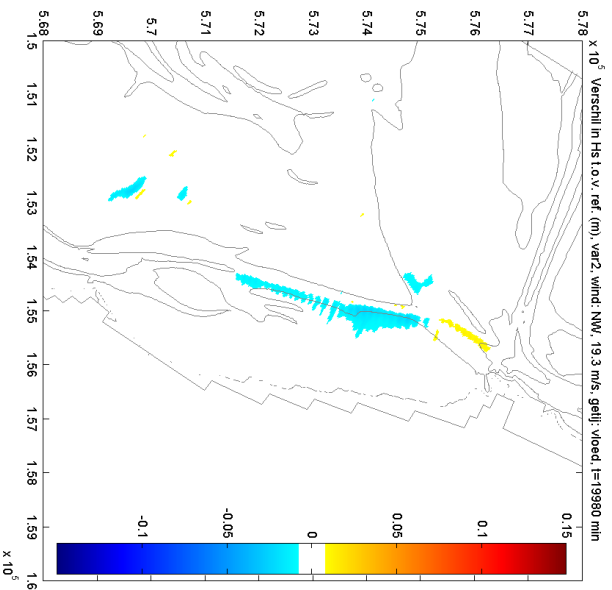
Berekening 16, wind: 18,4 m/s. 230 gr, getij: eb



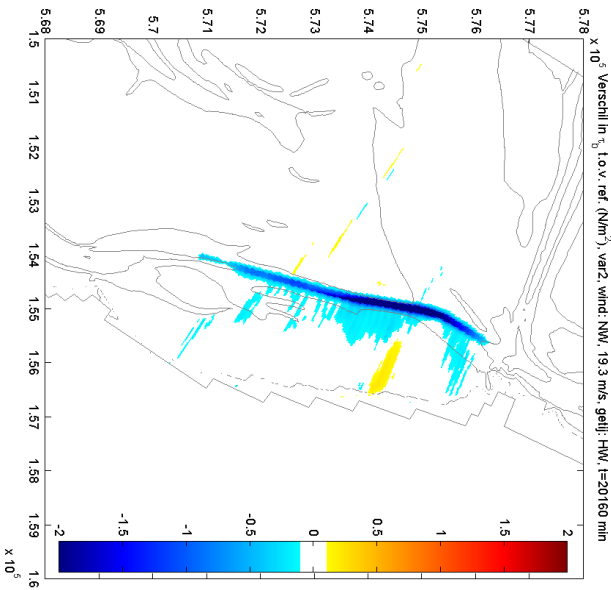
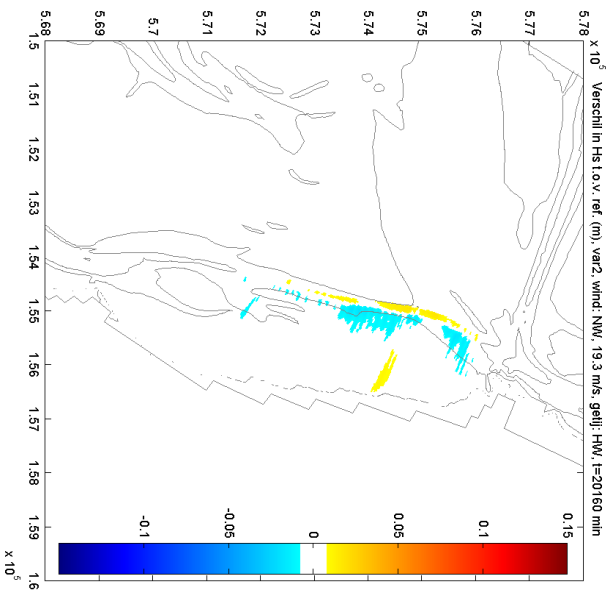
Berekening 22, wind: 18,4 m/s. 230 gr, getij: LW



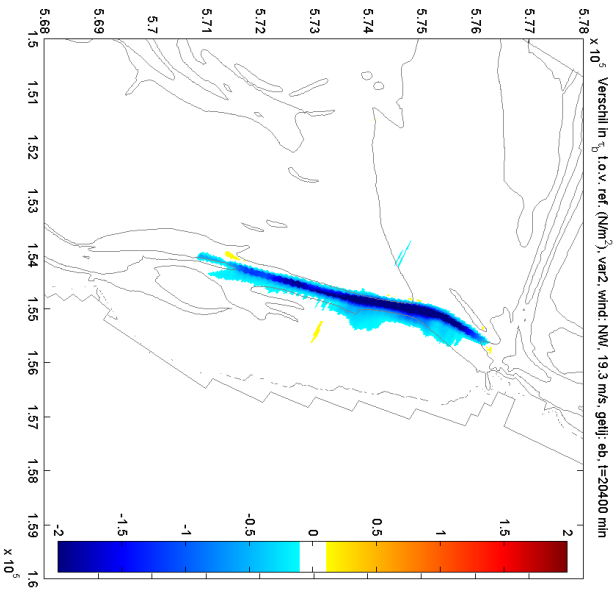
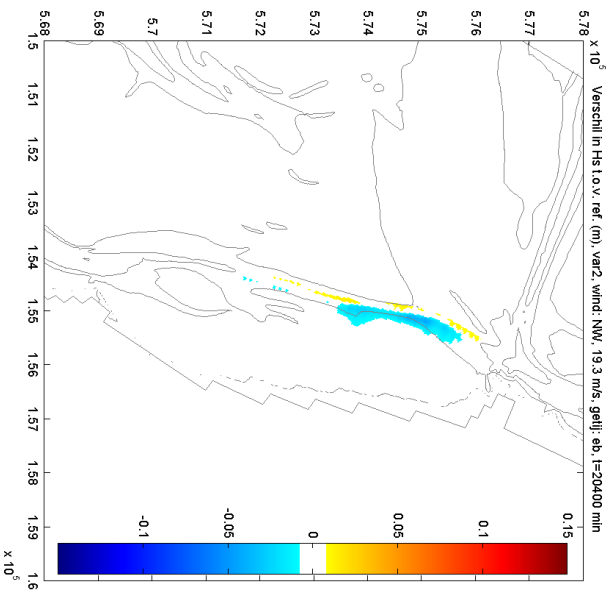
Berekening 6, wind: 19,3 m/s. 290 gr, getij: vloed



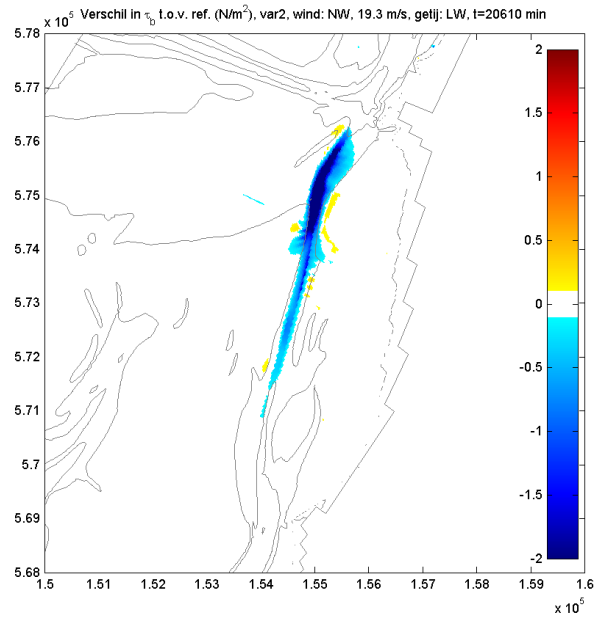
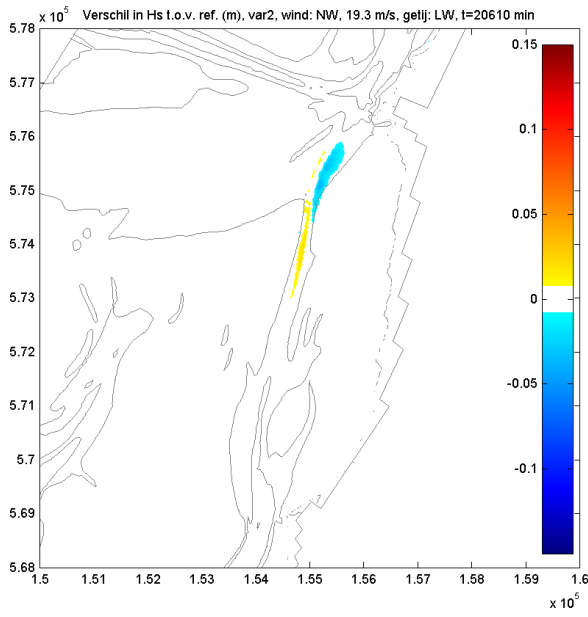
Berekening 12, wind: 19,3 m/s. 290 gr, getij: HW



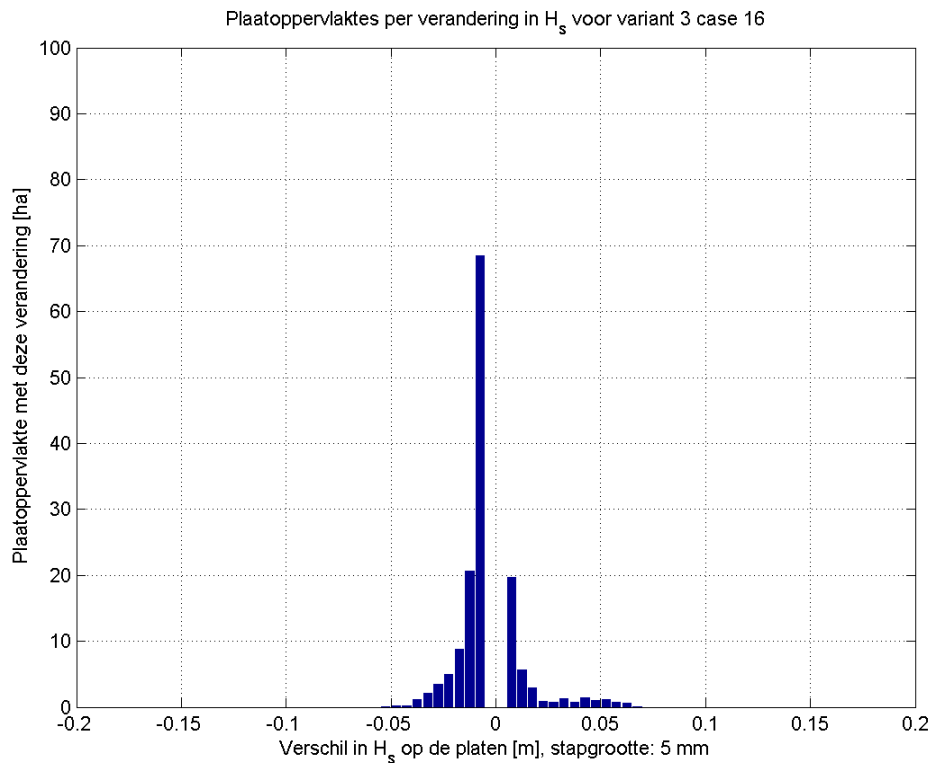
Berekening 18, wind: 19,3 m/s. 290 gr, getij: eb



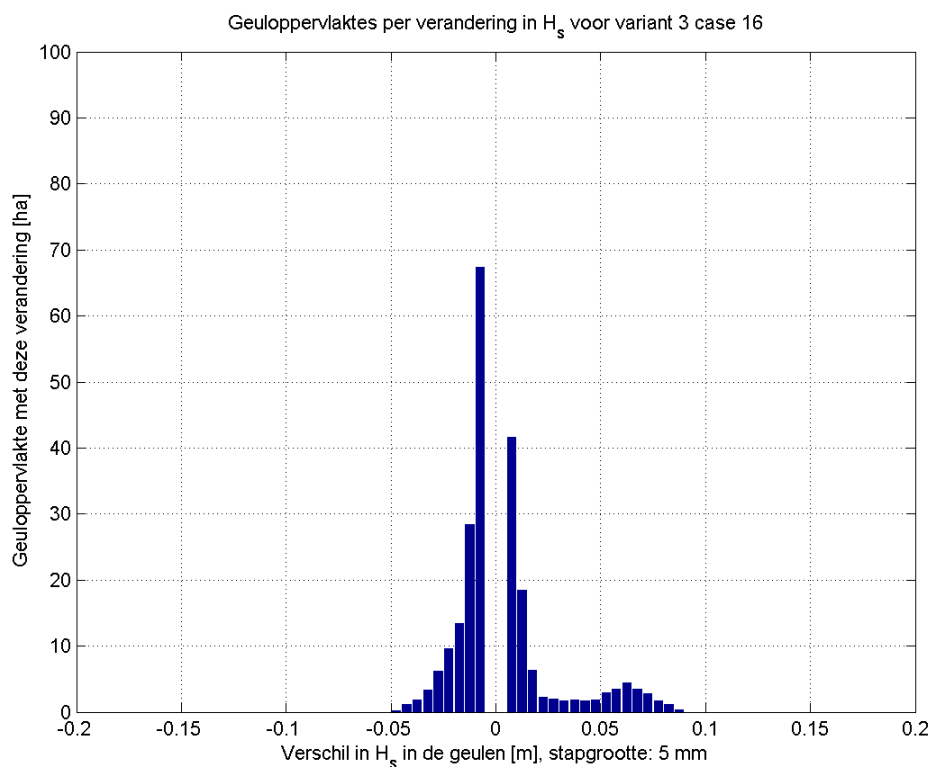
Berekening 24, wind: 19,3 m/s. 290 gr, getij: LW



Bijlage E: Statistische analyse golfwerking



Figuur E-1 – Veranderingen in significante golfhoogte op de platen en bijbehorende plaatoppervlaktes [ha]; variant 3, berekening nr. 16: zuidwestenwind, stormcondities, maximale stroming bij eb.



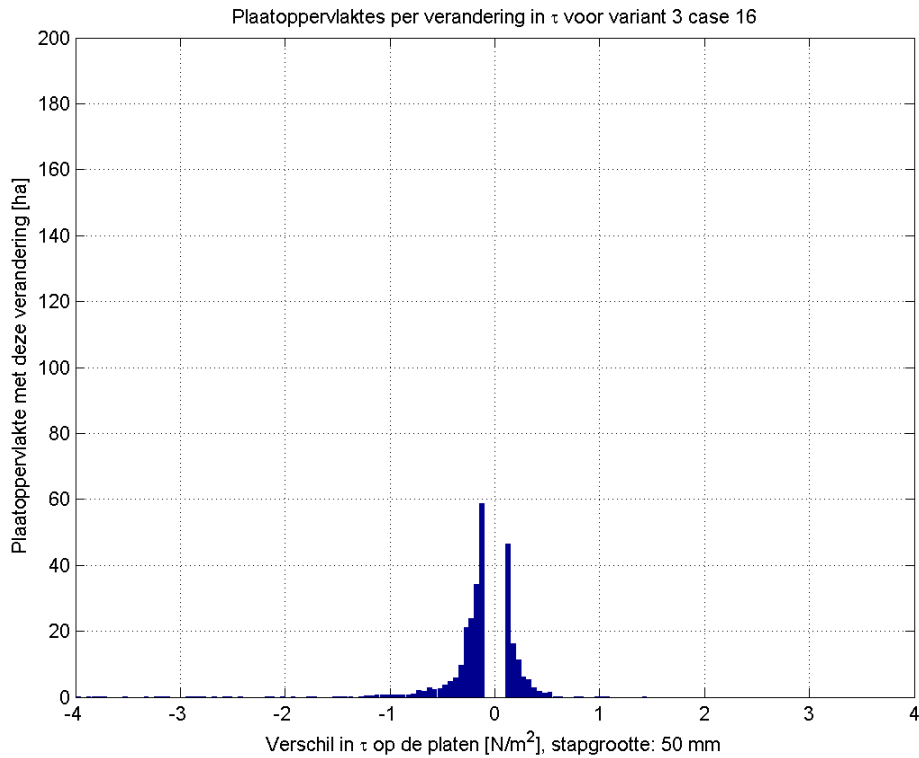
Figuur E-2 – Veranderingen in significante golfhoogte in de geulen en bijbehorende geuloppervlaktes [ha]; variant 3, berekening nr. 16: zuidwestenwind, stormcondities, maximale stroming bij eb.

Berekeningnr	Randvoorwaarden			Oppervlakte [ha] met $ \Delta H_s > 5 \text{ mm}$						Oppervlakte [ha] met $ \Delta H_s > 1\%$					
	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Getij	Geuloppervlakte			Plaatoppervlakte			Geuloppervlakte			Plaatoppervlakte		
				variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3
1	6,6	10	LW	4	14	64	11	20	29	37	64	153	61	77	158
2	16,4	10	Vloed	66	142	168	117	169	313	59	123	152	94	144	254
3	8,9	230	LW	17	34	46	13	24	29	30	67	77	65	81	139
4	18,4	230	Vloed	93	207	267	83	195	264	44	133	167	41	103	133
5	8,1	290	LW	9	15	26	2	4	14	17	28	41	11	20	77
6	19,3	290	Vloed	30	82	124	103	241	353	5	28	48	31	72	107
7	6,6	10	Eb	5	9	7	10	21	34	18	51	76	52	110	158
8	16,4	10	HW	59	139	133	277	499	548	35	85	85	121	221	280
9	8,9	230	Eb	15	33	50	13	34	42	19	46	61	22	51	71
10	18,4	230	HW	146	241	302	162	315	331	41	132	175	30	128	133
11	8,1	290	Eb	7	18	25	8	18	33	11	26	33	19	37	66
12	19,3	290	HW	42	99	114	115	221	285	4	24	31	12	25	46
13	6,6	10	Vloed	6	37	26	22	41	67	21	78	91	61	120	222
14	16,4	10	Eb	45	119	171	72	120	166	38	103	157	75	111	153
15	8,9	230	Vloed	35	86	118	23	90	138	43	105	134	30	120	168
16	18,4	230	Eb	67	177	230	53	110	147	41	116	136	28	53	86
17	8,1	290	Vloed	9	23	33	7	31	50	12	28	38	18	52	83
18	19,3	290	Eb	31	83	97	47	67	75	15	40	49	30	44	48
19	6,6	10	HW	4	10	11	7	64	91	8	28	22	67	116	191
20	16,4	10	LW	117	125	218	48	77	145	131	136	227	78	184	354
21	8,9	230	HW	31	90	98	9	70	103	24	77	86	8	56	90
22	18,4	230	LW	58	132	168	25	47	75	48	118	140	28	51	99
23	8,1	290	HW	14	28	39	3	4	12	14	28	39	3	4	12
24	19,3	290	LW	33	65	93	19	24	31	29	58	81	20	25	37

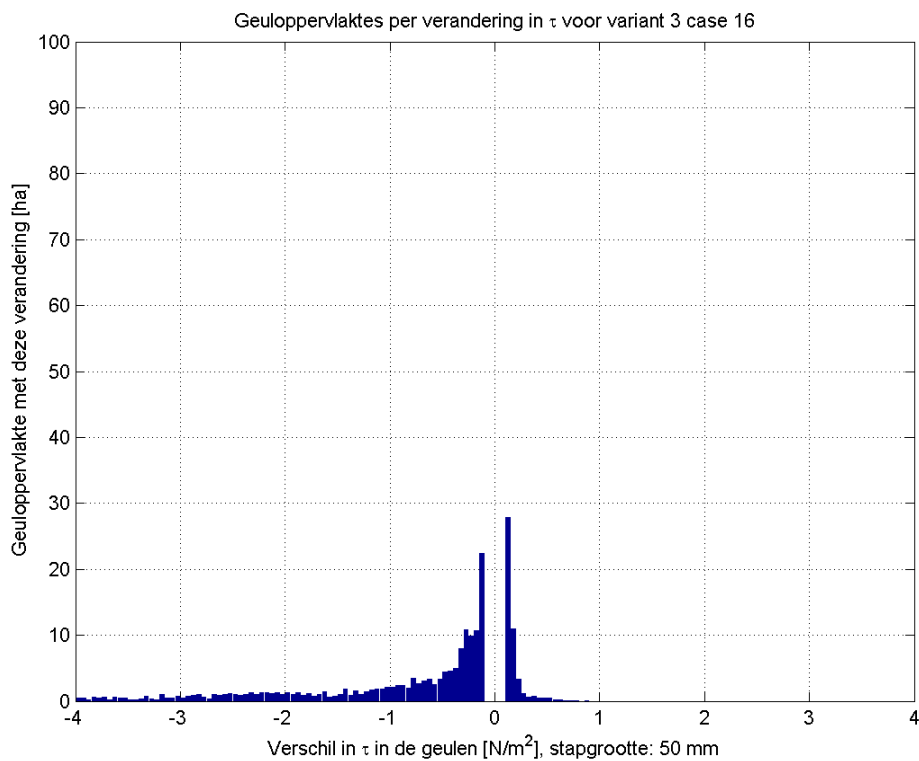
Tabel E-1 - Oppervlaktes van platen en geulen waarin de absolute waarde van de significante golfhoogte met meer dan 5 mm of 1% verandert.

Berekeningnr	Randvoorwaarden			Gemiddelde absolute verandering H _s [m]						Gemiddelde relatieve verandering H _s [%]					
	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Getij	Geul			Plaat			Geul			Plaat		
				variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3
1	6,6	10	LW	-0.005	0.001	0.008	-0.007	-0.008	-0.003	0.6%	0.7%	2.9%	-1.5%	-1.6%	0.1%
2	16,4	10	Vloed	0.000	-0.009	-0.003	-0.007	-0.007	-0.005	0.1%	-1.5%	-0.1%	-1.5%	-1.4%	-1.0%
3	8,9	230	LW	0.006	0.003	0.009	-0.007	-0.007	0.000	1.3%	0.1%	1.7%	-0.8%	-1.0%	0.2%
4	18,4	230	Vloed	-0.001	-0.007	-0.001	-0.010	-0.010	-0.006	0.1%	-1.2%	-0.1%	-1.8%	-1.7%	-1.1%
5	8,1	290	LW	0.007	0.008	0.010	0.005	0.001	0.005	2.0%	2.1%	2.7%	-0.4%	-0.6%	0.7%
6	19,3	290	Vloed	0.001	-0.001	0.002	-0.006	-0.005	-0.003	0.0%	-0.3%	0.5%	-1.3%	-1.3%	-0.8%
7	6,6	10	Eb	-0.006	-0.007	-0.007	-0.006	-0.007	-0.007	-1.8%	-1.6%	-1.4%	-1.3%	-1.3%	-1.1%
8	16,4	10	HW	0.003	-0.005	0.002	-0.007	-0.007	-0.006	0.3%	-0.7%	0.7%	-1.6%	-1.6%	-1.3%
9	8,9	230	Eb	0.003	0.000	0.006	-0.007	-0.008	-0.003	0.5%	-0.2%	1.0%	-1.5%	-1.6%	-0.7%
10	18,4	230	HW	-0.001	-0.006	0.000	-0.006	-0.008	-0.005	0.4%	-0.9%	-0.1%	-1.1%	-1.3%	-0.7%
11	8,1	290	Eb	0.006	0.006	0.008	-0.003	-0.004	0.000	1.3%	1.4%	1.7%	-0.7%	-0.8%	-0.1%
12	19,3	290	HW	0.002	0.002	0.002	-0.003	-0.005	-0.003	1.0%	0.4%	0.7%	-0.7%	-0.8%	-0.1%
13	6,6	10	Vloed	-0.007	-0.007	-0.002	-0.007	-0.008	-0.008	-1.5%	-1.6%	-0.4%	-1.6%	-1.5%	-1.4%
14	16,4	10	Eb	0.006	-0.002	0.007	-0.009	-0.008	-0.004	1.3%	-0.3%	1.5%	-1.4%	-1.4%	-0.7%
15	8,9	230	Vloed	0.000	-0.004	-0.001	-0.007	-0.008	-0.006	-0.1%	-0.9%	-0.4%	-1.4%	-1.5%	-1.2%
16	18,4	230	Eb	0.004	-0.005	0.003	-0.008	-0.010	-0.004	1.1%	-0.8%	0.8%	-1.6%	-1.9%	-0.5%
17	8,1	290	Vloed	0.005	0.006	0.007	-0.004	-0.004	-0.002	1.1%	1.1%	1.5%	-0.7%	-0.8%	-0.4%
18	19,3	290	Eb	-0.001	0.000	0.006	-0.011	-0.013	-0.008	-0.1%	-0.1%	0.9%	-1.7%	-2.0%	-1.3%
19	6,6	10	HW	-0.007	-0.007	-0.007	-0.006	-0.006	-0.007	-1.7%	-1.6%	-1.7%	-1.3%	-1.6%	-1.4%
20	16,4	10	LW	0.015	0.013	0.026	-0.001	-0.001	0.009	3.6%	3.3%	6.6%	0.5%	0.5%	1.6%
21	8,9	230	HW	0.003	-0.003	0.000	-0.006	-0.006	-0.005	0.8%	-0.5%	0.1%	-1.1%	-1.3%	-0.9%
22	18,4	230	LW	0.005	-0.002	0.008	-0.010	-0.011	0.001	1.5%	-0.1%	2.2%	-1.5%	-1.9%	0.5%
23	8,1	290	HW	0.007	0.008	0.009	0.007	0.006	0.011	1.4%	1.6%	1.7%	1.4%	1.1%	2.1%
24	19,3	290	LW	-0.002	0.001	0.009	-0.010	-0.010	0.005	0.1%	0.5%	1.9%	-1.6%	-1.7%	0.6%

Tabel E-2 – Gemiddelde absolute en relatieve verandering van de significante golfhoogte, op platen en in geulen, binnen het oppervlak waarin de absolute waarde van de significante golfhoogte met meer dan 5 mm of 1% verandert.



Figuur E-3 – Veranderingen in bodemschuifspanningen onder golven op de platen, en bijbehorende plaatoppervlaktes [ha]; variant 3, berekening nr. 16: zuidwestenwind, stormcondities, maximale stroming bij eb.



Figuur E-4 – Veranderingen in bodemschuifspanningen onder golven in de geulen, en bijbehorende geuloppervlaktes [ha]; variant 3, berekening nr. 16: zuidwestenwind, stormcondities, maximale stroming bij eb.

Berekeningnr	Randvoorwaarden			Oppervlakte [ha] met $ \Delta\tau > 5 \text{ mm}$						Oppervlakte [ha] met $ \Delta\tau > 1\%$					
	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Getij	Geuloppervlakte			Plaatoppervlakte			Geuloppervlakte			Plaatoppervlakte		
				variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3
1	6,6	10	LW	6	8	12	28	47	86	334	371	451	291	436	856
2	16,4	10	Vloed	73	178	210	293	434	648	126	303	389	235	352	536
3	8,9	230	LW	22	30	40	63	83	127	52	141	291	192	317	417
4	18,4	230	Vloed	73	167	212	147	266	353	100	255	300	82	203	249
5	8,1	290	LW	23	31	41	27	42	120	41	136	173	96	147	276
6	19,3	290	Vloed	38	102	130	131	269	375	40	119	175	65	128	180
7	6,6	10	Eb	3	5	9	2	6	29	44	293	319	494	866	1115
8	16,4	10	HW	62	171	172	401	736	745	104	235	232	296	584	618
9	8,9	230	Eb	28	57	77	49	156	152	61	170	245	206	365	385
10	18,4	230	HW	85	185	241	178	336	353	132	259	320	83	234	237
11	8,1	290	Eb	28	56	77	80	173	237	43	109	140	226	349	448
12	19,3	290	HW	42	96	128	126	245	319	38	92	129	50	105	142
13	6,6	10	Vloed	8	13	18	7	19	44	113	371	393	535	1003	1183
14	16,4	10	Eb	49	168	202	306	611	773	155	257	353	205	448	547
15	8,9	230	Vloed	29	63	86	55	187	217	178	265	305	370	454	554
16	18,4	230	Eb	72	180	218	114	216	285	80	254	304	57	130	186
17	8,1	290	Vloed	27	57	80	22	66	97	54	120	179	142	341	396
18	19,3	290	Eb	45	124	141	68	106	127	43	141	168	44	62	70
19	6,6	10	HW	5	10	15	1	3	17	81	298	326	686	1212	1487
20	16,4	10	LW	141	154	261	210	267	381	246	347	438	256	352	505
21	8,9	230	HW	29	67	91	27	162	179	135	270	300	205	401	414
22	18,4	230	LW	77	155	176	81	216	295	88	240	278	63	152	233
23	8,1	290	HW	28	60	83	10	20	34	36	72	102	53	128	153
24	19,3	290	LW	49	100	127	59	82	154	67	131	206	55	71	145

Tabel E-3 - Oppervlaktes van platen en geulen waarin de absolute waarde van de bodemschuifspanning τ onder golven met meer dan $0,1 \text{ N/m}^2$ of 1% verandert.

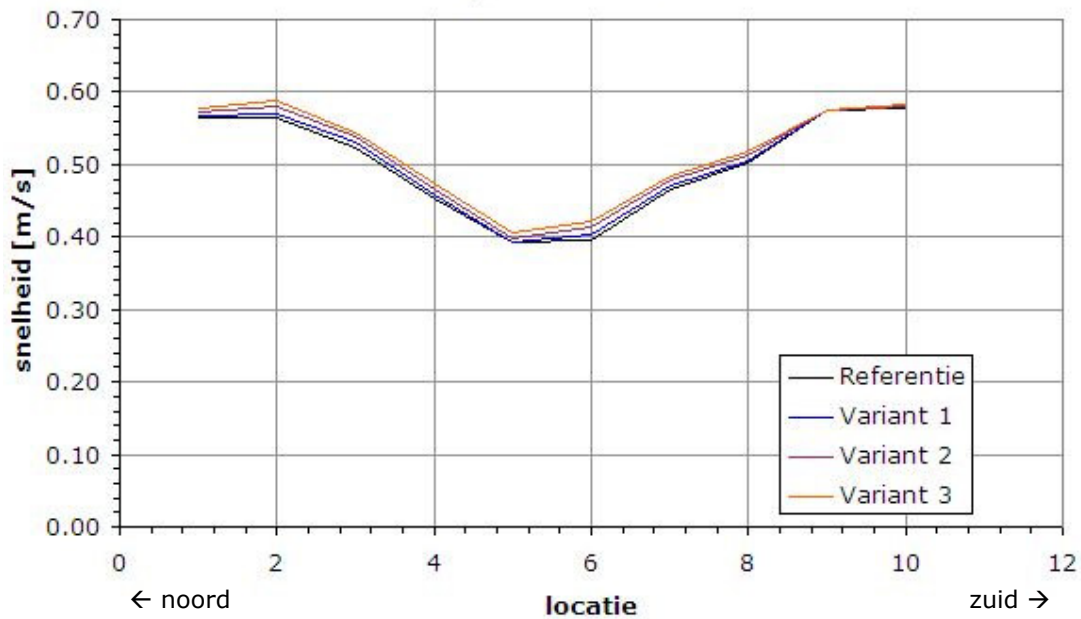
Berekeningnr	Randvoorwaarden			Gemiddelde absolute verandering τ [N/m ²]						Gemiddelde relatieve verandering τ [%]					
	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°N]	Getij	Geul			Plaat			Geul			Plaat		
				variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3	variant 1	variant 2	variant 3
1	6,6	10	LW	-0.17	-0.17	-0.17	-0.09	-0.12	-0.11	-2.4%	-10.2%	-7.2%	-2.2%	-1.8%	0.5%
2	16,4	10	Vloed	-0.59	-0.61	-0.68	-0.11	-0.15	-0.16	-8.8%	-11.9%	-11.5%	-1.3%	-2.0%	-2.0%
3	8,9	230	LW	-0.31	-0.36	-0.40	-0.05	-0.07	-0.06	-31.4%	-31.7%	-21.3%	-0.8%	-1.7%	-2.5%
4	18,4	230	Vloed	-0.79	-0.95	-0.97	-0.19	-0.25	-0.30	-7.0%	-8.9%	-9.7%	-2.4%	-2.5%	-3.4%
5	8,1	290	LW	-0.53	-0.60	-0.63	-0.10	-0.11	-0.09	-35.7%	-29.3%	-32.4%	-1.6%	-1.6%	-2.4%
6	19,3	290	Vloed	-1.36	-1.41	-1.64	-0.14	-0.14	-0.21	-12.3%	-13.1%	-12.8%	-1.8%	-1.9%	-3.1%
7	6,6	10	Eb	-0.12	-0.12	-0.13	-0.16	-0.14	-0.13	-38.4%	-14.7%	-18.8%	-1.4%	-1.7%	-2.2%
8	16,4	10	HW	-0.65	-0.61	-0.81	-0.15	-0.15	-0.18	-8.1%	-12.1%	-15.5%	-2.0%	-2.0%	-2.2%
9	8,9	230	Eb	-0.48	-0.45	-0.48	-0.05	-0.10	-0.15	-19.8%	-19.8%	-19.3%	-0.9%	-1.5%	-2.6%
10	18,4	230	HW	-0.51	-0.67	-0.66	-0.13	-0.19	-0.23	-3.5%	-5.4%	-5.6%	-1.7%	-1.9%	-2.5%
11	8,1	290	Eb	-0.56	-0.53	-0.55	-0.10	-0.05	-0.10	-26.1%	-26.7%	-29.8%	-1.2%	-1.0%	-1.7%
12	19,3	290	HW	-1.12	-1.22	-1.34	-0.10	-0.13	-0.21	-11.0%	-12.1%	-12.6%	-1.4%	-1.5%	-3.1%
13	6,6	10	Vloed	-0.14	-0.15	-0.16	-0.12	-0.13	-0.17	-14.8%	-12.5%	-15.6%	-1.7%	-1.7%	-2.4%
14	16,4	10	Eb	-0.72	-0.52	-0.55	-0.11	-0.10	-0.08	-6.1%	-13.3%	-11.7%	-2.2%	-2.0%	-1.8%
15	8,9	230	Vloed	-0.51	-0.46	-0.49	-0.07	-0.11	-0.15	-6.9%	-10.6%	-12.6%	-1.2%	-1.7%	-2.1%
16	18,4	230	Eb	-0.88	-0.91	-0.97	-0.18	-0.23	-0.34	-9.5%	-10.4%	-11.1%	-2.9%	-3.0%	-4.3%
17	8,1	290	Vloed	-0.40	-0.38	-0.40	-0.06	-0.07	-0.17	-21.5%	-24.4%	-23.1%	-1.4%	-1.4%	-2.3%
18	19,3	290	Eb	-1.57	-1.40	-1.78	-0.33	-0.36	-0.70	-15.2%	-13.9%	-16.8%	-3.2%	-3.8%	-8.6%
19	6,6	10	HW	-0.13	-0.13	-0.14	-0.16	-0.17	-0.19	-18.7%	-13.6%	-16.8%	-0.8%	-1.0%	-1.5%
20	16,4	10	LW	-0.16	-0.48	-0.17	0.08	0.03	0.08	6.7%	-5.7%	4.2%	1.8%	0.9%	1.7%
21	8,9	230	HW	-0.58	-0.56	-0.60	-0.10	-0.14	-0.20	-7.5%	-10.2%	-12.6%	-1.0%	-1.5%	-2.6%
22	18,4	230	LW	-0.83	-0.88	-1.02	-0.25	-0.21	-0.29	-15.1%	-16.4%	-17.6%	-4.3%	-3.6%	-4.6%
23	8,1	290	HW	-0.44	-0.42	-0.45	-0.08	-0.08	-0.40	-29.7%	-38.0%	-38.7%	-2.4%	-1.4%	-4.7%
24	19,3	290	LW	-1.71	-1.53	-1.66	-0.37	-0.37	-0.51	-19.1%	-25.3%	-22.5%	-3.9%	-3.8%	-5.5%

Tabel E-4 – Gemiddelde absolute en relatieve verandering van de bodemschuifspanning τ onder golven, op platen en in geulen, binnen het oppervlak waarin de absolute waarde van de bodemschuifspanning onder golven met meer dan 0,1 N/m² of 1% verandert.

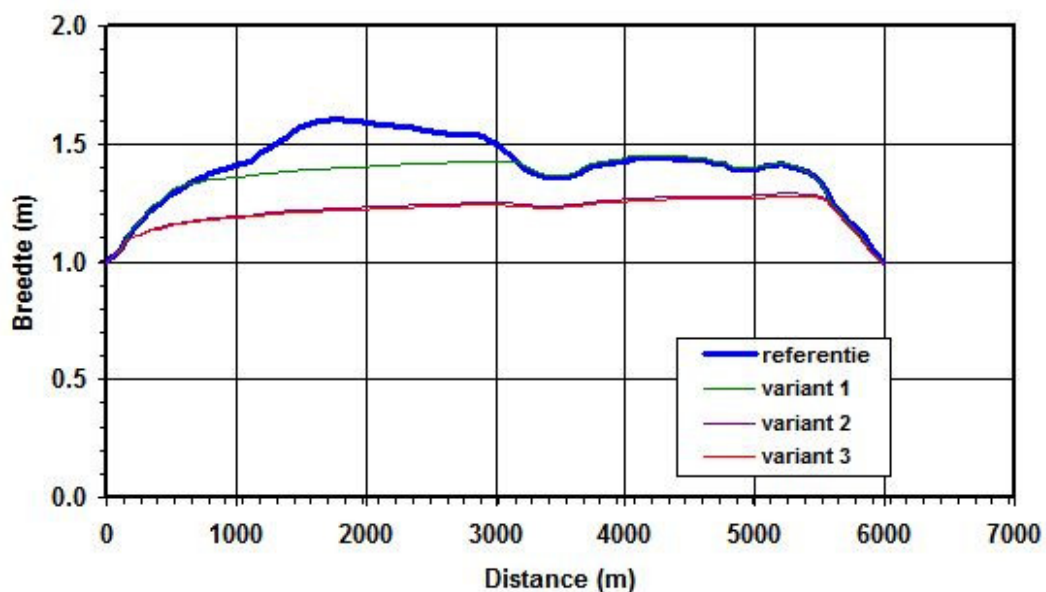
Bijlage F: Kalibratie rekenmodel onderhouds-baggerwerk

Kalibratie rekenmodel stroombuis langs de geul

De kalibratie van de rekenmethode van Van Rijn in Excel (SED-TUBE) is gedaan met behulp van de stroomsnelheden tijdens maximum vloed- en ebstroom berekend met het WAQUA-model. In Figuur F-1 staat het met WAQUA berekende snelheidsverloop langs de geul van noord naar zuid bij vloed. De locatienummering komt overeen met Figuur 5-1.



Figuur F-1 – Snelheidsverloop langs de geul bij vloed, berekend met WAQUA



Figuur F-2 – Breedteverloop van de stroombuis langs de geul voor referentie en varianten

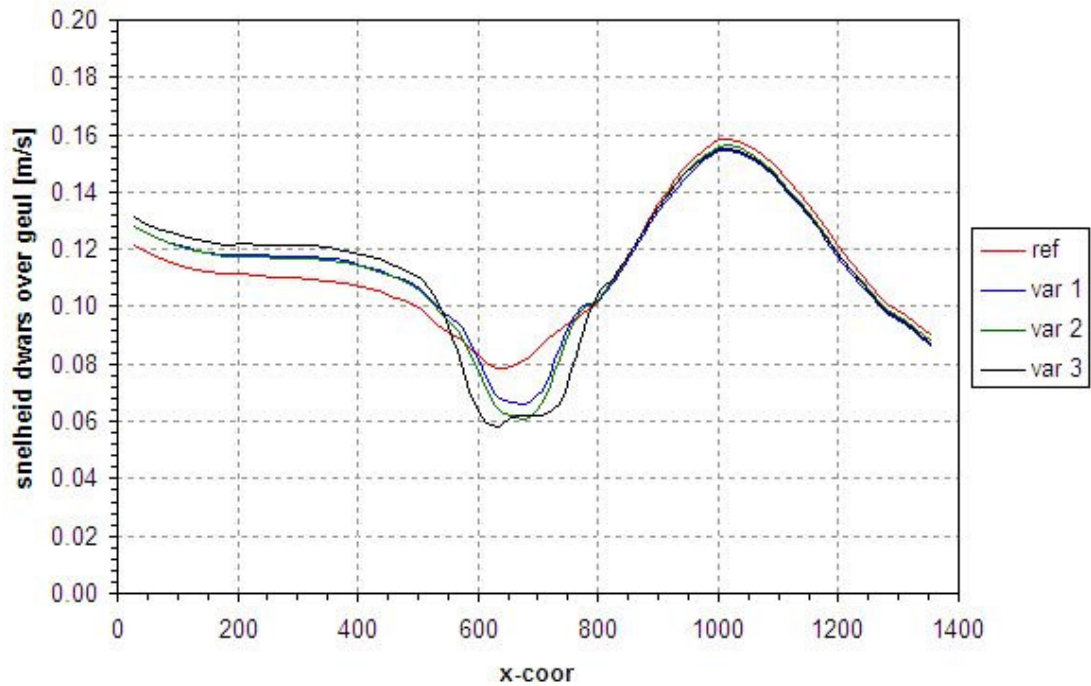
In de referentiesituatie, maar ook voor de varianten is er sprake van een afname van de stroomsnelheid boven de drempel. Dat betekent dat een deel van het debiet dat door de geul stroomt naar de platen gaat. Aan de diepere uiteinden van de geul stroomt debiet van de platen terug in de geul. Van belang is dat de vertraging van de stroomsnelheid goed wordt gesimuleerd. In het rekenmodel is het snelheidsverloop langs de geul gesimuleerd door aanpassing van de stroombuisbreedte. Dat is gedaan met de continuïteitsvergelijking voor stationaire stroming. Uitgaande van een constant debiet Q (het rekenmodel kan alleen met constant debiet rekenen), een bekend verloop van de waterdiepte $h(x)$ en een gewenst verloop van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid $v(x)$ uit Figuur F-1, is het breedteverloop B langs de geul bepaald uit $B(x) = Q/h(x)/v(x)$, zie Figuur F-2. Op deze wijze wordt impliciet de plaat-geuluitwisseling van de stroming meegenomen. Dit is op dezelfde wijze voor de varianten gedaan.

Opmerking: De rekenmethode is gekalibreerd op stroomsnelheden van het getij, geen effectieve snelheden waarin het effect van golven is meegenomen. Het effect van toe- of afgenomen golfhoogte door de drempelverwijdering in de drie varianten is in de randvoorwaarden van de berekening met SEDTUBE meegenomen.

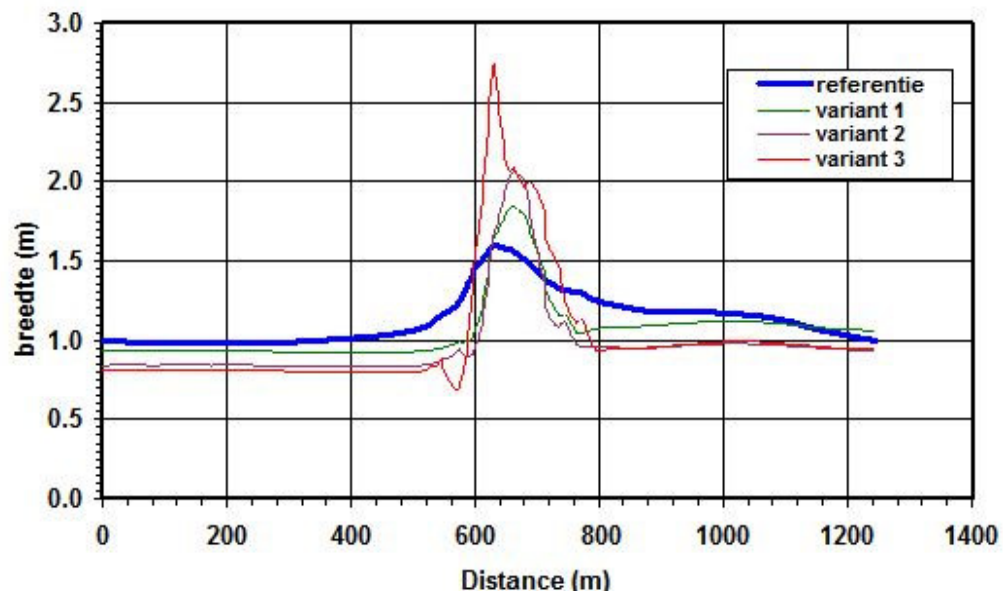
Kalibratie rekenmodel stroombuis dwars over de geul

De kalibratie van de rekenmethode van Van Rijn in Excel is gedaan met behulp van de stroomsnelheden tijdens maximum vloed- en ebstroom berekend met het WAQUA-model. In Figuur F-3 staan het berekende snelheidsverloop langs de geul van west naar oost.

In de referentiesituatie, maar ook voor de varianten is er sprake van een afname van de getijstroomsnelheid in de geul, het debiet is constant in een stroombuis over de geul. Dat betekent dat de stroomsnelheid vertraagt vanaf de plaat naar de geul en vervolgens weer versnelt vanuit de geul naar de plaat. In het rekenmodel is het snelheidsverloop langs de geul gesimuleerd door aanpassing van de stroombuisbreedte. Dat is gedaan met de continuïteitsvergelijking voor stationaire stroming. Uitgaande van een constant debiet Q , een bekend verloop van de waterdiepte $h(x)$ en een gewenst verloop van de diepte-gemiddelde stroomsnelheid $v(x)$ uit Figuur F-3, is het breedteverloop B langs de geul bepaald uit $B(x) = Q/h(x)/v(x)$, zie Figuur F-4. Dat is op dezelfde wijze voor de varianten gedaan.



Figuur F-3 – Snelheidsverloop dwars over de geul, zoals berekend met WAQUA



Figuur F-4 – Breedteverloop van de stroombuis dwars over de geul voor referentie en varianten

Bijlage E Deelrapport ecologie

Provincie Fryslân

Drempelverwijdering Boontjes

achtergrondrapport Ecologie Passende Beoordeling

Status van dit document

Dit document is het tweede conceptrapport Achtergrondrapport Ecologie en Passende Beoordeling dat ten behoeve van de effectenstudie drempelverwijdering Boontjes is opgesteld.

Dit rapport zal als concept nog worden besproken met het Ministerie van EL&I in het kader van de vergunningverlening Natuurbeschermingswet. Dit kan nog leiden tot kleine aanvullingen of wijzigingen

Drempelverwijdering Boontjes**achtergrondrapport Ecologie
Passende Beoordeling**

referentie	projectcode	status
LMR19-3/strg/027	LMR19-3	concept 02
projectleider	projectdirecteur	datum
B.A.J. Meeuwissen MSc.	ir. C.M. Sluis	15 november 2011

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	B.A.J. Meeuwissen Msc.	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding en doel	1
1.2. Samenhang met andere projecten	2
1.3. Leeswijzer	2
2. VOORGENOMEN ACTIVITEIT	5
2.1. Inleiding	5
2.2. Het vaarwegprofiel	5
2.3. Toepassing vrijkomend materiaal	7
2.4. Uitvoeringswijze	7
2.5. Onderhoud	9
2.6. Projectgebied en studiegebied	9
3. WETTELIJK KADER, BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE	11
3.1. Wettelijk kader	11
3.1.1. Natuurbeschermingswet	11
3.1.2. EHS	13
3.1.3. Flora- en faunawet	13
3.1.4. Kaderrichtlijn Water	13
3.2. Beoordelingskader	14
3.3. Onderzoeksmethode en onderzochte effecten	15
4. BESTAANDE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING	17
4.1. Bestaande situatie natuurwaarden	17
4.1.1. Ecotopen	17
4.1.2. Macroalgen en zeegras	17
4.1.3. Fytoplankton, fyto benthos en zoöplankton	17
4.1.4. Benthos	18
4.1.5. Vissen	18
4.1.6. Vogels	18
4.1.7. Zoogdieren	20
4.2. Overzicht habitattypen en soorten in relatie tot wettelijke kaders	22
4.2.1. Natuurbeschermingswet	22
4.2.2. Beschermde soorten Flora- en faunawet	23
4.2.3. Kaderrichtlijn Water	27
5. EFFECTEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT	29
5.1. Fysieke effecten hydrodynamica en morfologie	29
5.2. Permanente effecten door aanpassing geulafmetingen	30
5.2.1. Stroomsnelheid	30
5.2.2. Plaatareaal en sedimentatie	30
5.2.3. Troebelheid	31
5.2.4. Effecten als gevolg van verandering zoutgehalte	31
5.3. Beschrijving van effecten door veranderingen in gebruik na realisatie	31
5.3.1. Inleiding	31
5.3.2. Verstoring door aanwezigheid en geluid	31
5.3.3. Effecten van verandering stikstofdepositie	32
5.3.4. Effecten als gevolg van calamiteiten	32
5.4. Effecten door uitvoering baggerwerkzaamheden	32
5.4.1. Inleiding	32
5.4.2. Tijdelijke effecten initiële baggerwerkzaamheden	32

5.4.3.	Effecten beheer en onderhoudswerkzaamheden	34
5.5.	Effecten van verspreiding van materiaal op verspreidingslocaties	34
5.5.1.	Permanente effecten	35
5.5.2.	Tijdelijke effecten	35
6.	BEOORDELING VAN EFFECTEN	36
6.1.	Natuurbeschermingswet	36
6.1.1.	Habitattypen	36
6.1.2.	Habitatrichtlijnsoorten	36
6.1.3.	Vogelrichtlijnsoorten	37
6.2.	Beschermde soorten Flora- en faunawet	38
6.3.	Ecologische Hoofdstructuur	38
6.4.	Kaderrichtlijn Water	38
7.	CUMULATIE	39
8.	CONCLUSIES	41
9.	LITERATUURLIJST	43
	laatste bladzijde	44
BIJLAGEN		aantal blz.
I	Relevante wet- en regelgeving natuur	8
II	Instandhoudingdoelstellingen Waddenze	2
III	Laagwatertellingen vogels (maart en augustus 2011)	

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding en doel

In de vaarweg Boontjes, tussen Harlingen en Kornwerderzand, bevindt zich een drempel in de bodem, die al vele jaren een probleem vormt voor het scheepvaartverkeer. De drempel creëert over een afstand van ongeveer 2 km een ondiepte in de vaarweg. Door deze ondiepte zijn de tijvensters waarbinnen (grotere) schepen de vaargeul kunnen gebruiken beperkt.

De drempel leidt tot wachttijden en beperking van de reistijdbetrouwbaarheid van en naar de haven van Harlingen. Ook uit het oogpunt van veiligheid vormt de drempel in Boontjes een knelpunt. In de beperkte tijvensters is er sprake van verweving van beroeps- en recreatievaart. Daarnaast leidt de drempel tot incidenten door het vastlopen van schepen.



In 2008 is via het amendement Cramer Euro 5 mln. (inclusief omzetbelasting) vrijgemaakt voor de drempelverwijdering in de vaarweg Boontjes, tussen Kornwerderzand en Harlingen. Juni 2009 is in een bestuursovereenkomst vastgelegd hoe dit amendement wordt geoperationaliseerd en hoe het Rijk en provincie Fryslân gezamenlijk toewerken naar de uitvoering van de drempelverwijdering.

In de bestuursovereenkomst is vastgelegd dat de provincie verantwoordelijk is voor de uitvoering van de planstudie ter onderbouwing van de drempelverwijdering en dat Rijkswaterstaat, directie Noord Nederland verantwoordelijk is voor de uitvoering van de verdieping alsmede voor het beheer en onderhoud.

Op grond van artikel 5.4, eerste lid van de Waterwet dient in de planstudie voor de drempelverwijdering Boontjes een projectplan Waterwet opgesteld te worden. Een projectplan Waterwet bevat een beschrijving van het betrokken werk, de wijze waarop dat zal worden uitgevoerd, alsmede een beschrijving van de te treffen voorzieningen, gericht op het ongedaan maken of beperken van de nadelige gevolgen van de uitvoering van het werk.

Voorliggend deelrapport is onderdeel van projectplan Waterwet. Doel van dit deelrapport is een beoordeling van de effecten van de drempelverwijdering in het kader van de huidige wet- en regelgeving betreffende natuur. Dit zijn de Natuurbeschermingswet, de Nota Ruimte (Ecologische Hoofdstructuur), de Flora- en faunawet en de provinciale regelgeving betreffende natuur. Voor meer informatie over de ecologische wet- en regelgeving wordt verwezen naar bijlage I.

De onderhavige studie omvat een Passende Beoordeling in het kader van de Natuurbeschermingswet 1998. De Passende Beoordeling dient als onderbouwing bij de vergunningaanvraag in het kader van de Natuurbeschermingswet.

In deze toetsing wordt wel verwezen naar relevante aspecten uit overige beleidskaders, zoals de PKB Waddenzee en het Trilateral Monitoring & Assessment Program (TMAP), maar hier wordt niet aan getoetst.

1.2. Samenhang met andere projecten

In de nabijheid van Harlingen (en vaarweg Boontjes) wordt een groot aantal projecten uitgevoerd/gepland die elkaar mogelijk beïnvloeden. Afstemming in een vroegtijdig stadium is daarom gewenst c.q. noodzakelijk. Binnen de planstudie Boontjes zijn de raakvlakken met de andere projecten in beeld gehouden en eventuele cumulatieve effecten zijn meegenomen in de effectbeschrijving.

Hieronder volgt een overzicht van gerelateerde projecten met onderscheid naar autonome ontwikkelingen (projectbesluit genomen) en voorgenomen projecten (nog geen projectbesluit(en)).

Autonome ontwikkeling:

- gaswinning Waddenzee (Vermilion): planvorming gaswinning in de Waddenzee bij Harlingen. Gaswinning kan leiden tot bodemdaling en kan daarmee effecten hebben op de stroming door Boontjes. In de effectstudies is dit meegenomen;
- zoutwinning Waddenzee (Frisia Zout BV): voorbereiding realisatie zoutwinning onder Waddenzee noordwest van Harlingen. Zoutwinning kan leiden tot bodemdaling en kan daarmee effecten hebben op de stroming door Boontjes. In de effectstudies is dit meegenomen;
- reststoffen Energie Centrale (Omrin): realisatie centrale in de industriehaven Harlingen, met eventuele toename scheepspassages;
- onderhoudsbaggerwerken Waddenzee (Rijk en/of gemeentes): raakvlakken tussen verspreiding slib uit Boontjes en onderhoudsbaggerwerkzaamheden. Daarnaast is voor reguliere baggerwerkzaamheden in de vaargeulen in de Waddenzee (waaronder Boontjes) en het verspreiden van de vrijkomende baggerspecie een Passende Beoordeling opgesteld (Arcadis, 2011);

Voorgenomen projecten:

- Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (Rijkswaterstaat): voorbereiding realisatie nieuwe spuilsuis in de afsluitdijk. Deze spuilsuis heeft invloed op de stroming door Boontjes. In de effectstudies voor Boontjes is een scenario met en zonder realisatie van dit project onderzocht;
- programma Naar een Rijke Waddenzee: programmaplan voor natuurherstel in de Waddenzee;
- project Aanlanding Afsluitdijk Fryslân (provincie Fryslân): planvorming kwaliteitsverbetering tussen Zurich en Harlingen;
- toekomst Afsluitdijk (Rijkswaterstaat): planvorming aanpassingen op de lange termijn aan de Afsluitdijk;
- Zeeverkeerscentrale (ZVC) Terschelling: planvorming voor uitbreiding VTS-gebied (Vessel Traffic Services). In juli 2011 is door de staatssecretaris besloten voorlopig geen ZVC te realiseren.

1.3. Leeswijzer

Het rapport is opgebouwd uit de volgende hoofdstukken:

- korte beschrijving van voorgenomen activiteit en definitie van het projectgebied en studiegebied (hoofdstuk 2);
- concretisering van het wettelijk kader, het beoordelingskader en beschrijving van de onderzoeksmethode op hoofdlijnen (hoofdstuk 3);
- beschrijving van de huidige situatie en autonome ontwikkeling (hoofdstuk 4);
- effectbepaling (hoofdstuk 5);
- effectbeoordeling (hoofdstuk 6);
- cumulatie (hoofdstuk 7);

- conclusies (hoofdstuk 8).

CONCEPT

CONCEPT

2. VOORGENOMEN ACTIVITEIT

2.1. Inleiding

Deze Passende Beoordeling is onderdeel van een projectplan Waterwet, waarin de mogelijke varianten worden vergeleken. De voorkeursvariant uit het projectplan is het uitgangspunt voor deze Passende Beoordeling en komt overeen met de bestuursovereenkomst. Daarop zijn varianten en mogelijkheden onderzocht ten aanzien van de geulafmetingen, uitvoeringsperiode, uitvoeringswijze, en de toepassing van het vrijkomende materiaal. Deze varianten zijn onder andere onderzocht om een variant te kunnen kiezen waarbij negatieve effecten op ecologie zoveel mogelijk worden voorkomen. De vier genoemde aspecten worden in de paragrafen 2.2 tot en met 2.5 toegelicht.

De drempelverwijdering Boontjes betreft de volgende werkzaamheden:

- het realiseren van een vaarwegprofiel met diepte van 3,80 m - NAP en bodembreedte van 100 m in de vaarweg Boontjes tussen Harlingen en Kornwerderzand;
- het transport van het vrijkomende materiaal bij de baggerwerkzaamheden;
- verspreiden van het vrijkomende materiaal, nuttige toepassing conform het Besluit Bodemkwaliteit (BBK);
- vijf jaar onderhoud van de vaargeul of zoveel langer als het door de Tweede Kamer beschikbaar gestelde budget mogelijk maakt, inclusief een besluit over de organisatie en financiering van het onderhoud na deze periode.

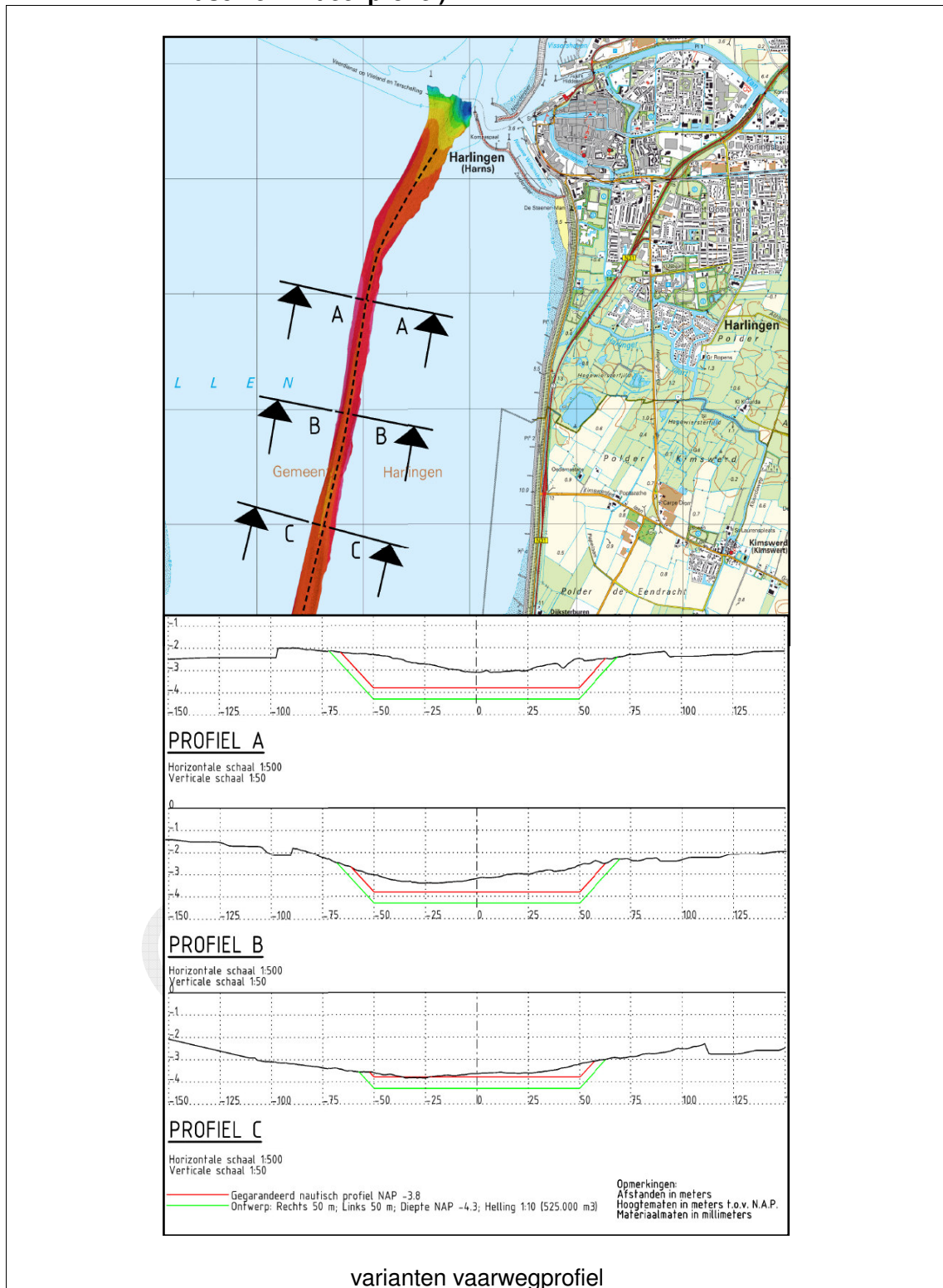
2.2. Het vaarwegprofiel

Het toekomstige vaarwegprofiel heeft een nautische diepte van NAP - 3,80 m, een nautische breedte van 100 m en taluds van 1:10. Dit houdt in dat de drempel over ongeveer 5 km wordt verwijderd, waarbij over een afstand van ongeveer 2 km sprake is van een aanzienlijke aanpassing van de bodemdiepte en voor de rest van de afstand van het 'afschrapen' van de bodem. De nautische breedte van 100 m sluit aan op de gemiddelde breedte van de vaarweg Boontjes, er is geen sprake van verbreding van de vaargeul buiten het verwijderen van de drempel.

De bodemdiepte direct na baggeren bedraagt NAP - 4,30 m. Aangezien in een dynamisch systeem als de Waddenzee sprake is van erosie en sedimentatie kan het nautische profiel van Boontjes na drempelverwijdering alleen gegarandeerd worden als bij het baggeren een zekere overdimensionering wordt aangehouden. Daarmee ontstaat ruimte voor (de verwachte) sedimentatie, zodat niet voortdurend onderhoudsbaggerwerk hoeft plaats te vinden, maar dit incidenteel kan worden uitgevoerd. De initiële baggerhoeveelheid bedraagt 525.000 m³.

Afbeelding 2.1 laat de locatie en het ontwerp voor de drempelverwijdering voor de voorkeursvariant zien. In deze afbeelding zijn het huidige bodemprofiel, het te realiseren vaarwegprofiel en het initiële baggerprofiel weergegeven. Een complete ontwerptekening is opgenomen in bijlage A.

Afbeelding 2.1. Ontwerp drempelverwijdering (drie doorsnedes met huidig, nautisch en initieel profiel)



In de effectenstudie zijn daarnaast nog twee andere varianten onderzocht. Dit leidt tot de volgende 3 varianten voor de geulafmetingen:

- variant 1: de drempel wordt over een lengte van ca. 2 km verwijderd tot een diepte van -3,8m + NAP en over een breedte van 100m (baggervolume 225.000 m³);
- variant 2, tevens voorkeursvariant: de drempel wordt over een lengte van ca. 5 km verwijderd tot een diepte van -4,3m + NAP en over een breedte van 100m (baggervolume 525.000 m³);
- variant 3: de drempel wordt over een lengte van ca. 5 km verwijderd tot een diepte van -4,3m + NAP en over een breedte van 150m (baggervolume 900.000 m³).

2.3. Toepassing vrijkomend materiaal

Het vrijkomend materiaal wordt conform het BBK verspreid in de Waddenzee. Het materiaal wordt verdeeld over twee verspreidingslocaties:

- de sublittorale platen langs de vaargeul bij de aanlanding van de Afsluitdijk ter hoogte van Kornwerderzand. Door verspreiding van vrijkomend materiaal op de rand van deze platen blijft een deel van het materiaal achter en ontstaat een luwe zone in het gebied hierachter. Hiermee wordt het natuurlijke proces van aanzanding en verkwallering in het gebied gestimuleerd. Dit kan worden gezien als een pilot voor natuurontwikkeling (building with nature);
- het diepste deel van de vaargeul Boontjes (tussen boeienpaar BO11 en BO12, coördinaten 152.800 X, 567.000 Y). Wanneer al het vrijkomend materiaal hier wordt verspreid, wordt de diepte tot ongeveer -9.0 m NAP opgevuld.

2.4. Uitvoeringswijze

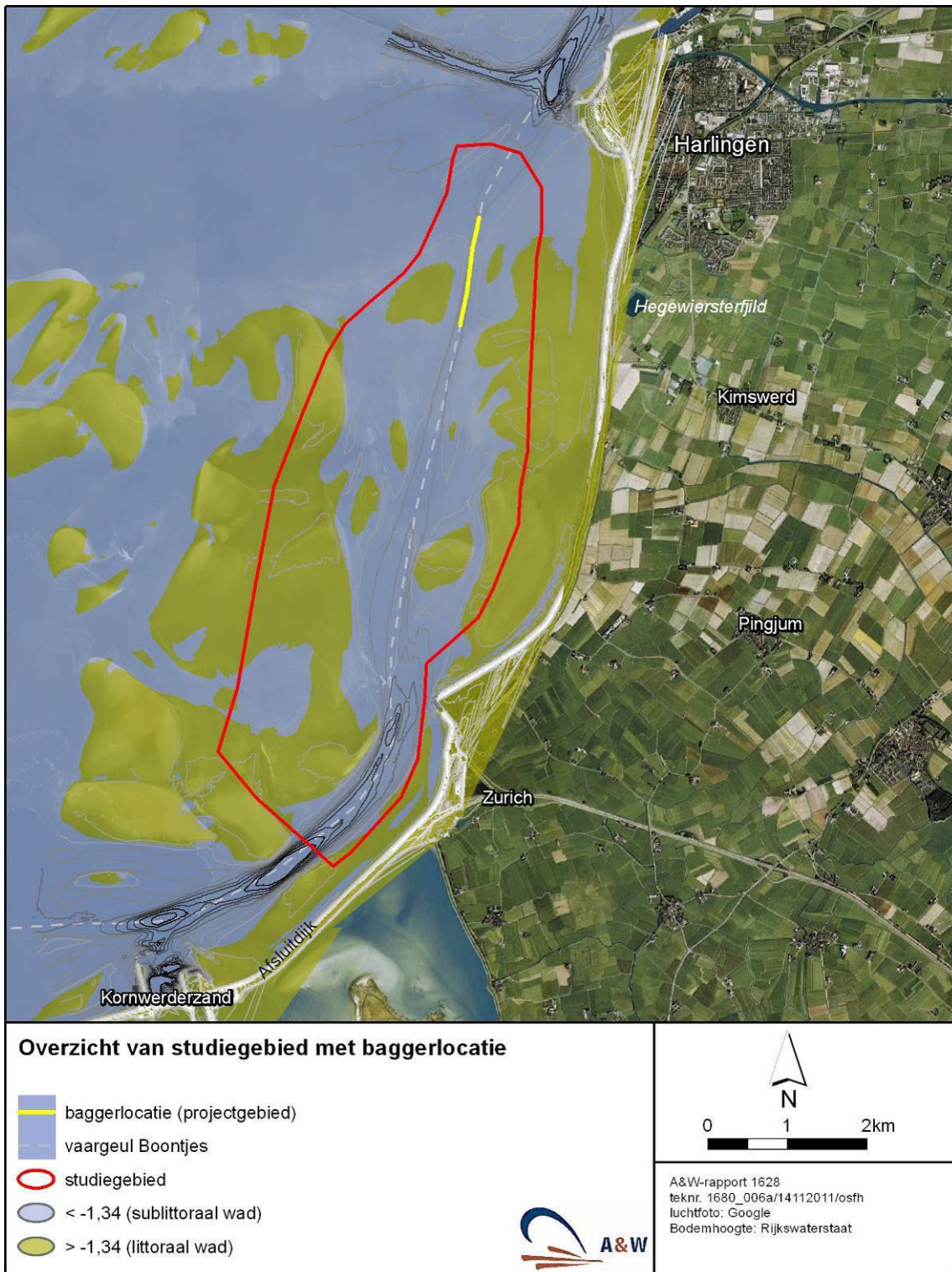
Methode en materieel

De baggerwerkzaamheden worden uitgevoerd door een sleephopperzuiger. De sleephopperzuigers gedragen zich tijdens de baggerwerkzaamheden als langzaam varende schepen. Afmetingen van deze schepen zijn in lijn met de vrachtschepen die gebruik maken van het kanaal (breedte is ca. 12 m, lengte ca. 70 m). Tijdens de werkzaamheden kunnen andere schepen de sleephopperzuiger passeren, alleen op momenten dat het middendeel van de vaargeul wordt verdiept zal dit tijdelijk worden verhinderd.

De methode voor toepassing van het materiaal dat door de sleephopperzuiger wordt gebaggerd is bestemmingsafhankelijk:

- walpersen met horizontaal eindigende leiding, vaarafstand: 5 km (sublittorale platen bij Kornwerderzand):
- onderlossen, vaarafstand: 5 km (diepe gat Boontjes).

Bij het walpersen wordt de sleephopperzuiger nabij de toepassingslocatie gekoppeld aan een persleiding. Via deze persleiding wordt het gebaggerde materiaal naar de eindbestemming geperst. Bij onderlossen wordt het op de toepassingslocatie materiaal gestort door middel van grote luiken in het ruim van het schip met baggermateriaal.



Afbeelding 2.2. Overzichtskarta van het studiegebied en projectgebied in de vaarweg Boontjes. Ter referentie zijn nabijgelegen terrestrische Hoogwatervluchtplaatsen getoond, en de wadplaten, die droogvallen bij laagwater springtij. Bij gemiddeld laagwater vallen deze platen niet droog

Hoeveelheden, producties en kosten

De totaal vrijkomende hoeveelheid baggermateriaal bedraagt 525.000 m³ (voorkeursvariant). Het baggermateriaal bestaat voor ongeveer 55 % uit zand, 35 % uit klei en 10 % uit leem. De drempel is opgebouwd uit dunne lagen van de verschillende grondsoorten, waardoor het lastig is de grondsoorten gescheiden te ontgraven. De grondsoorten worden daarom grotendeels gemengd ontgraven en ook als mengsel verspreid op de toepassingslocaties. Een gedeelte van het materiaal (met name zand) zal daar achterblijven.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van snelheden, kosten en uitvoeringsduur voor de werkzaamheden.

Tabel 2.1. Kenmerken uitvoering drempelverwijdering

	productie (m ³ /week)	prijs (EUR/m ³) ¹
baggeren zandig materiaal en verspreiden in diepste deel Boontjes	~ 22.000	4,9
baggeren klei/leem en verspreiden in diepste deel Boontjes	~ 18.000	6,1
baggeren en verspreiden zandig materiaal in het gebied bij aanlanding Afsluitdijk ²	~ 15.000	8,7

De kenmerken uit tabel 2.1 leiden tot de volgende inschattingen voor uitvoeringsduur en kosten:

- volledig verspreiden materiaal in het diepste deel van Boontjes: kosten EUR 2,9 miljoen, uitvoeringsduur 26 weken met 1 schip, 13 weken met 2 schepen;
- gedeeltelijke verspreiden van het materiaal bij de aanlanding Afsluitdijk (200.000 m³): meerkosten EUR 0,8 miljoen, uitvoeringsduur 30 weken met 1 schip, 15 weken met 2 schepen.

Uitvoeringsperiode

Er zijn twee mogelijke uitvoeringsperiodes onderzocht, waarvan op voorhand wordt verwacht dat de effecten op ecologie het kleinst zijn. In de effectenstudie zijn de volgende uitvoeringsperiodes onderzocht.

- zomerperiode: juni tot half juli (6 weken);
- najaarperiode: oktober tot december (10-12 weken).

De voorkeursperiode voor de uitvoering is het najaar.

2.5. Onderhoud

Onderdeel van het project is 5 jaar onderhoud na verwijdering van de drempel. Het onderhoudsbaggerwerk wordt uitgevoerd met behulp van een sleephopper. De aanzanding ter plaatse van de drempel wordt uit de geul verwijderd. Wanneer wordt uitgegaan van vierjaarlijks onderhoudsbaggerwerk bedragen de jaarlijkse kosten EUR 160.000. De effecten van de onderhoudsbaggerwerkzaamheden zijn aan bod gekomen in de algemene passende beoordeling voor onderhoudsbaggerwerkzaamheden in de Waddenzee (Arcadis 2011).

2.6. Projectgebied en studiegebied

Het projectgebied betreft het te baggeren deel van de vaargeul Boontjes in de westelijke Waddenzee. Het studiegebied betreft het gebied waarbinnen effecten van het baggeren en het verspreiden van het gebaggerde materiaal zouden kunnen optreden. In afbeelding 2.2

¹ Prijs exclusief mobilisatie en demobilisatie

is de ligging van het projectgebied en studiegebied gegeven in samenhang met de belangrijkste HVP's en (hier zeer beperkt droogvallende) wadplaten.

CONCEPT

3. WETTELIJK KADER, BEOORDELINGSKADER EN ONDERZOEKSMETHODE

3.1. Wettelijk kader

3.1.1. Natuurbeschermingswet

Natura 2000-gebieden zijn juridisch beschermd volgens de Natuurbeschermingswet 1998. Natura 2000-gebieden zijn aangewezen wegens het voorkomen van bepaalde zeldzame en kwetsbare soorten en habitattypen (de zogenaamde 'kwalificerende waarden'), waarvoor in beheerplannen instandhoudingdoelen worden uitgewerkt. Overheden dienen de kwaliteit van beschermde gebieden te waarborgen. Deze kwaliteit is mede afhankelijk van de ruime omgeving, want activiteiten buiten het beschermde gebied kunnen, in bepaalde situaties, ook effecten hebben op de natuurwaarden binnen het gebied ('externe werking').

Het projectgebied zelf maakt deel uit van Natura 2000-gebied de Waddenzee (www.minlnv.nl) (afbeelding 3.1). Dit Natura 2000-gebied is aangewezen voor 6 Habitatrictlijnsoorten, 13 broedvogelsoorten, 39 niet-broedvogelsoorten en heeft instandhoudingdoelstellingen voor 13 habitattypen (ontwerpbesluit Waddenzee, zie de essentietabel in bijlage II). In een nog te schrijven beheerplan zal worden aangegeven hoe deze duurzaam kunnen worden behouden (A. Nicolai, pers. med.). Het ministerie van EL&I fungeert als bevoegd gezag.

Op ca. 6 km van het zuiden van het projectgebied, ten zuiden van de Afsluitdijk, ligt het Natura 2000-gebied 'IJsselmeer'. Op 25-35 km ten noorden en ten westen liggen de Natura 2000-gebieden 'Noordzee kustzone', 'Duinen van Vlieland', 'Duinen van Texel' en 'Duinen van Terschelling'. Op 20-25 km afstand ten zuidoosten liggen de Natura 2000-gebieden 'Witte en Zwart Brekken' en 'Oudegaaster Brekken, Fluessen en omgeving'. Vanwege de grote afstand en het ontbreken van een directe ecologische relatie zullen de Natura 2000-gebieden op meer dan 15 km afstand niet worden meegenomen in de verdere beoordeling en worden hier uitsluitend de gebieden 'Waddenzee' en 'IJsselmeergebied' behandeld. De kern van de effectbeoordeling betreft het gebied 'Waddenzee'. Het IJsselmeergebied wordt meegenomen voor zover er ecologische relaties zijn met Boontjes.

Kernopgaven

De relevante kernopgaven van het Natura 2000-gebied 'Waddenzee' zijn:

- Verbetering kwaliteit permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied) H1110A o.a. met biogene structuren met mossels;
- Behoud slikken en platen voor rustende en foeragerende niet-broedvogels zoals voor Bonte strandloper A149, Rosse grutto A157, Scholekster A130, Kanoet A143, Steenloper A169 en Eider A063 en rustgebieden voor Gewone zeehond H1365 en Grijs zeehond H1364.

De instandhoudingdoelstellingen voor het Natura 2000-gebied Waddenzee worden toegelicht in hoofdstuk 4.



Afbeelding 3.1. Ligging Natura 2000-gebieden en EHS

3.1.2. EHS

De Ecologische Hoofdstructuur (EHS) is onderdeel van het rijksbeleid en geïntroduceerd in het Natuurbeleidsplan in 1990. De Ecologische Hoofdstructuur omvat kerngebieden (natuurreservaten), natuurontwikkelingsgebieden en ecologische verbindingzones. De bescherming van de EHS is geregeld in de Nota Ruimte. Deze bescherming houdt in, dat het 'nee, tenzij' principe geldt. Dit houdt in dat ruimtelijke ingrepen binnen de vastgestelde grenzen niet zijn toegestaan indien zij de wezenlijke kenmerken of waarden van het gebied significant aantasten, tenzij er geen redelijke alternatieven zijn én er sprake is van redenen van groot openbaar belang. De initiatiefnemer dient deze belangen en mogelijke alternatieven uitgebreid te motiveren. Voor ingrepen waarvan zowel redelijkerwijs geen alternatieven zijn en die van groot openbaar belang zijn, geldt het vereiste dat de schade zoveel mogelijk dient te worden beperkt door mitigerende maatregelen. Resterende schade dient te worden gecompenseerd. De provincie Fryslân is in dezen bevoegd gezag.

Het projectgebied is onderdeel van de EHS met beheertype Grootschalig zout (getijden-) water, waarvan de openheid en de sterke invloed van getijden wezenlijke waarden vormen.

3.1.3. Flora- en faunawet

Door de Flora- en faunawet wordt een groot aantal soorten in Nederland beschermd. Gezien de biotopen in en rond het projectgebied en gezien waarnemingen uit het verleden, moet mogelijk rekening worden gehouden met soorten die wettelijk beschermd zijn uit de volgende groepen:

- planten;
- vissen;
- vogels;
- vleermuizen;
- overige zoogdiersoorten.

Het voorkomen van beschermde soorten uit deze soortgroepen wordt in hoofdstuk 4 verder uitgewerkt. Op basis van de ligging van het projectgebied, de aanwezige biotopen en de aard van de voorgenomen ingrepen, is het niet waarschijnlijk dat andere soorten of soortgroepen dan de bovengenoemde worden beïnvloed. Zo komen er volgens de verspreidingsgegevens in de directe omgeving van het projectgebied geen beschermde ongewervelde diersoorten voor (Bruyne 2004, Peeters *et al.* 2004, Timmermans *et al.* 2004, EIS *et al.* 2007). Om deze redenen worden geen beschermde en/of bedreigde ongewervelde diersoorten in het projectgebied verwacht. In het projectgebied worden ook geen beschermde reptielen en amfibieën verwacht, omdat het habitat hiervoor ongeschikt is.

De verspreiding van beschermde soorten voor de flora- en faunawet is voornamelijk geïnventariseerd aan de hand van bestaande (literatuur)informatie. Aanvullend daarop is in het kader van deze studie veldonderzoek gedaan voor wat betreft de aanwezigheid van vogels bij laagwater. In samenhang met de algemene kennis over het Wadden ecosysteem is dit afdoende om een goede beoordeling te kunnen maken in het kader van de Flora- en faunawet.

3.1.4. Kaderrichtlijn Water

De Waddenzee is het in het Stroomgebiedbeheerplan 2009-2015 aangemerkt als natuurlijk water van het type Kustwater, beschut en polyhalien (K2). De ecologische toestand van Beschutte kustwateren wordt beoordeeld aan de hand van de volgende maatlaten:

- fytoplankton (abundantie en soortensamenstelling);

- overige waterflora (areaal en kwaliteit van kwelders/schorren en Zeegras);
- macrofauna;
- algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen (thermische omstandigheden, zuurstofhuishouding en nutriënten);
- hydromorfologie (% natuurlijke oever).

De effectbeoordeling vindt plaats door de fysieke effecten te vertalen naar mogelijke verandering van de maatlatscore.

3.2. Beoordelingskader

Het hiervoor beschreven wettelijk kader leidt tot het beoordelingskader zoals opgenomen in tabel 3.1. In de tabel is tevens de onderzoeksmethodiek op hoofdlijnen weergegeven.

Tabel 3.1. Beoordelingskader effectenstudie ecologie

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
Natura 2000	verandering leefgebied habitatsoorten en habitattypen	verandering bodemfauna	semikwantitatief expert oordeel vanuit hydrologische modelresultaten. kwalitatieve beoordeling via recente literatuur Waddenzee.
		verandering mossele-ters	semikwantitatief expert oordeel via beschikbare literatuur draagkracht mosselbanken, in combinatie met effecten bodemfauna.
		verandering steltlopers	expertoordeel literatuur en validatie via uit te voeren tellingen .
		verandering vissen	verzoeting en trofiëring: expertoordeel vanuit modelresultaten, waar mogelijk kwantitatief. verstoring: expertoordeel vanuit literatuur
		verandering overige habitatsoorten	kwalitatief, waar mogelijk semikwantitatief met gebruikmaking van modelresultaten. Tevens semikwantitatief bepalen van effecten vertroebeling op fytoplankton
		verandering habitattypen	kwalitatief, waar mogelijk semikwantitatief met gebruikmaking van modelresultaten. Tevens semikwantitatief bepalen van effecten vertroebeling op fytoplankton
Flora- en faunawet	Aantasting leefgebied, verstoring/verontrusting, vangen/doden	Zwaar/ middelzwaar beschermde soorten	Kwantitatief
		Jaarrond beschermde vogels	Kwantitatief
		Broedvogels (in broedseizoen)	Kwantitatief
EHS	Aantasting wezenlijke waarden	Openheid en getijdewerking	Kwalitatief
kaderrichtlijn Water	effect op beoordeling maatlatten		Kwalitatief

3.3. Onderzoeksmethode en onderzochte effecten

De effectenstudie ecologie is uitgevoerd aan de hand van de volgende informatie:

- bestaande literatuur en expertkennis;
- ten behoeve van dit onderzoek in 2011 uitgevoerd veldonderzoek naar de laagwater-verspreiding van wadvogels in ruimte en tijd op de droogvallende platen rondom Boontjes;
- hydromorfologische modelberekeningen van fysieke effecten op het gebied van hydrodynamica en morfologie (Ouwerkerk & Vuik 2011). Dat betreft effecten op waterstanden, stroomsnelheden (geul en platen), debiet, golfhoogte, sedimentatietransport, ontwikkeling plaatareaal, grootschalige effecten op het morfologisch systeem, vertroebeling;
- uitvoeringsmethode en varianten volgens het projectplan.

CONCEPT

CONCEPT

4. BESTAANDE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING

4.1. Bestaande situatie natuurwaarden

4.1.1. Ecotopen

In het studiegebied bevindt zich een stelsel van ondiepe geulen en laaggelegen wadplaten. Sublittoraal wad is gedefinieerd als wad dat beneden het Lowest Astronomical Tide (LAT) ligt en dus alleen door weersinvloeden kan droogvallen. In Harlingen ligt het LAT op -1.34 m NAP. Daarmee is het grootste deel van het projectgebied te karakteriseren als sublittoraal wad. Littoraal wad bevindt zich boven deze zone, tot de hoogte van gemiddeld hoogwater.

Op ca. 1½ km ten zuiden van het projectgebied liggen aan weerszijden van Boontjes twee sublittorale mosselbanken. Ook tussen Zürich en Kornwerdezand ligt, aan de landzijde van de geul, een sublittorale mosselbank. Hier zijn echter recent geen visbare aantallen mosselen aangetroffen, en ook geen mosselzaad (Jansen *et al.* 2009, Van Stralen 2009, Dankers *et al.* 2005, Laros pers. comm. 2011).

Het littorale wad is, voorzover aanwezig nabij de geul, matig slibrijk (slibgehalte 10-50 %) en de relatieve droogvalduur bedraagt ca. 6%. Op grotere afstand, meer dan 1500 m van de geul liggen aan de landzijde hogere, meer slibrijke percelen. Aan de zeezijde, ten westen en zuidwesten, liggen hooggelegen zandige platen ten zuiden van het te baggeren gebied, op meer dan 1000 m van de geul. Tussen Zürich en Kornwerderzand, op 3 km ten zuiden van het projectgebied, ligt een hoger gelegen plaat op minder dan 500 m afstand van de geul.

4.1.2. Macroalgen en zeegras

Er bevinden zich geen belangrijke gebieden voor macroalgen in de nabijheid van het projectgebied. Voor Zeegras was de westelijke Waddenzee voorheen een belangrijk gebied voor zeegrasvelden. Nu liggen al sinds lang geen belangrijke zeegrasvelden meer in de omgeving van het projectgebied (Giessen *et al.* 1990) en in de Westelijke Waddenzee worden de kansen op herstel klein geacht (Van Katwijk *et al.* 1999).

4.1.3. Fytoplankton, fyto benthos en zoöplankton

Het fytoplankton (*Phaeocystis* en diatomeeën) vormt de belangrijkste bron van primaire productie in de Waddenzee (Kuipers & Van Noort 2008). De voornaamste bloeiperiode in dit deel van de Waddenzee is het voorjaar, van maart tot mei. Daarnaast leveren ook bacteriën een, zij het structureel kleinere, bijdrage aan de primaire productie, met een piek in augustus tot en met september. Tot slot is op de droogvallende platen ook het fyto benthos van belang. Met het grotendeels verdwijnen van zeegras in de Waddenzee is het relatieve belang daarvan toegenomen (Eriksson *et al.* 2010).

De primaire productie in de Waddenzee is afhankelijk van de hoeveelheid licht en nutriënten. Die zijn sterk gerelateerd aan de helderheid van het water. De helderheid van het water in de Waddenzee wordt vooral bepaald door de hoeveelheid slib in het water (SPM, Suspended Particulate Matter). De gemiddelde slibconcentratie (SPM) in de Waddenzee varieert enorm, zowel tussen seizoenen als tussen jaren. De range loopt van ca. 25 - ca. 150 mg/l zwevend materiaal en met een Waddenzeebreed gemiddelde van ca. 80 mg/l water (Sips & Van Duuren 2009, De Jonge 1992). Slibconcentraties zijn het hoogst in het Eems-estuarium, maar ook in Boontjes is het doorzicht beperkt, waarschijnlijk onder in-

vloed van het spuien van zoetwater bij Kornwerderzand (Hommersom *et al.* 2010a). Mogelijk is het doorzicht in de westelijke Waddenzee in de afgelopen decennia ook verminderd als gevolg van het verhoogde getij en de daarbij horende toename van de stroomsnelheden die volgden op de afsluiting van de Zuiderzee (Eriksson *et al.* 2010).

Tijdens het optreden van planktonbloeien is, naast de slibconcentratie, ook organisch materiaal bepalend voor het doorzicht. Antropogene emissies van nutriënten en de invloed daarvan op de groei van fytoplankton vormen daarom geen belangrijke sturende factor voor het doorzicht (Sips & Van Duuren 2009).

4.1.4. Benthos

De sublittorale platen rond Boontjes worden gedomineerd door Strandgaper *Mya arenaria* en Mesheft *Ensis sp* (Dekker 2009 & 2011). Op de sublittorale platen in de westelijke Waddenzee lijkt sprake te zijn van een toenemende trend in de ontwikkeling van de biomassa van het macrozoöbenthos. Deze toename is waarschijnlijk toe te schrijven aan de verschuiving van een gemeenschap, gedomineerd door het Wadslakje *Hydrobia ulvae* en het Nonnetje *Macoma balthica*, naar een gemeenschap die gedomineerd wordt door de grotere soorten Amerikaanse mesheft *Ensis directus* en Strandgaper *Mya arenaria* (Dekker 2011).

4.1.5. Vissen

Het ondiep sublittoraal en laag littoraal in het studiegebied bieden paai- en rustgebied voor vissen. Voor diadrome soorten (soorten die van zoet naar zout water migreren en vice versa) is het gebied niet van belang als paai-, rust-, of foerageergebied.

4.1.6. Vogels

Het gebied is specifiek belangrijk voor Toppereenden, duikeenden die onder andere foerageren op sublittorale mosselen langs de geul. Deze eenden zitten hier vooral in de winter, waarbij de hoogste aantallen meestal worden waargenomen in december - januari. Vooral bij langdurige vorstperiodes met ijsgang in het IJsselmeer komen ook grote aantallen in november en februari voor. De aantallen Toppereenden die in de Waddenzee gezien worden variëren sterk, met jaarlijkse piekaantallen tussen de 30-90.000 Toppers (De Jong *et al.* 2011). In de Waddenzee bevinden de Toppers zich vooral langs de Afsluitdijk en in Boontjes. Daarbij wordt de gehele lengte van de vaargeul gebruikt (De Jong *et al.* 2009, 2011) en kunnen groepen van 500-1000 Toppers in de vaargeul worden waargenomen.

Ook Eidereenden foerageren en rusten in Boontjes, maar daarvoor is het relatieve belang van Boontjes kleiner. Toch kunnen hier in de winter ook groepen van 1000-2500 eidereenden worden waargenomen (De Jong *et al.* 2009). Eidereenden zijn jaarrond aanwezig maar de maximale aantallen worden in december - januari geteld. Daarnaast vormt de Waddenzee een rustgebied voor ruiende Eidereenden in het najaar. De aantallen Eidereenden in de Waddenzee zijn het laagst tijdens de broedperiode (april tot en met juni).

Tabel 4.1. Relatief belang van verschillende maanden voor wadvogels in de gehele Nederlands Waddenzee, op basis van tellingen van de belangrijkste hoogwatervluchtplaatsen in Nederland (de HVP op het Hegewierster Fjild nabij Boontjes is daarbij niet inbegrepen). De kleur relateert de maxima per maand aan de piekaantallen in de NL Waddenzee. Rood: > 80 % t.o.v. piekaantallen, Oranje: 40-80 %, Geel: 20-40 %. T indiceert de maand waarin de doortrekkpiek plaatsvindt. Bron: Koffijberg *et al.* 2003

soort	maand											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Aalscholver												
Rotgans												
Bergeend												
Smient												
Scholekster												
Kluut												
Bontbekplevier												
Strandplevier												
Goudplevier												
Zilverplevier												
Kanoet												
Drieteenstrandloper												
Krombekstrandloper												
Bonte strandloper												
Rosse grutto												
Regenwulp												
Wulp												
Zwarte ruiter												
Tureluur												
Groenpootruiter												
Steenloper												
Kokmeeuw												
Stormmeeuw												
Zilvermeeuw												
Grote mantelmeeuw												

Op de slikken rond Boontjes foerageren steltlopers, zowel schelpdiereters (o.a. Scholekster, Wulp, Kanoet) als wormeneters (o.a. Rosse grutto, Zwarte ruiter, Zilverplevier, Kluut). Voor de steltlopers worden in het algemeen de hoogste aantallen waargenomen tijdens de voorjaars- en najaarstrek (resp. maart - begin juni en eind juli - half oktober). Het moment van doortrekken, met bijbehorende opvetperiode, is soortafhankelijk. Zo liggen de voor- en

najaarspieken voor Goudplevieren in maart respectievelijk november, voor Regenwulpen in april respectievelijk september en voor Rosse grutto's in mei respectievelijk augustus. Daarbij moet worden opgemerkt dat in het algemeen, als gevolg van aanwas in het broedseizoen, de aantallen in het najaar hoger liggen dan in het voorjaar.

Een aantal soorten zoals Scholeksters, Zilverplevieren en Kanoetstrandlopers (*ssp islandica*) overwinteren in de Waddenzee. Voor deze soorten zijn de aantallen in de winter minder hoog dan tijdens de trekperiode, maar koudestress en het feit dat de vogels aansluitend doortrekken naar de broedgebieden maken dat verstoringen in de winter en het vroege voorjaar grote invloed kunnen hebben op de overleving en reproductie van dergelijke soorten.

Middelste Zaagbek en Fuut komen in lage aantallen voor rond Boontjes, waar ze overdag foerageren op de ondiepe sublittorale wateren. Ook sterns zoals Dwergstern, Zwarte stern en Noordse stern foerageren in de zomer op vis en kreeftachtige in de geulen en boven de sublittorale platen.

Op basis van de laagwatertellingen in maart en augustus, tussen boei 12 (ten zuidwesten van Zürich) en boei 38 (de noordkant van de drempel) blijkt dat de grootste aantallen wadvogels zich bevinden in de zuidelijke Boontjes, ten zuiden van Zürich (tabel 4.2). Alleen tussen boei 30 en 32 bevonden zich redelijke aantallen wulpen binnen 500m van de geul. De waargenomen soorten komen overeen met de voor de meetperiode genoemde soorten in tabel 4.1. De integrale resultaten van de tellingen worden weergegeven in bijlage III.

4.1.7. Zoogdieren

Het plangebied is geschikt als leefgebied voor enkele zeezoogdiersoorten (website Zoogdieratlas, Lange *et al.* 2003). Gewone zeehonden hebben een vaste rustplaats op circa 3 km van de drempel. De aantallen variëren tussen de vijf en de vijftien (*mond. med. S. Brasseur*) De zeehonden rusten op drooggevallen zandbanken en wadplaten en kunnen daar in potentie hun jongen zogen. In het omliggende water wordt gejaagd op vis.

Grijze zeehonden foerageren in de geulen, belangrijke rustplaatsen zijn niet in de nabije omgeving aanwezig.

Het voorkomen van Bruinvissen wordt behandeld in paragraaf 4.2.2.

Tabel 4.2. Gemiddelde totaalaantallen waargenomen vogels en zeehonden tijdens de laagwatertellingen in de eerste week van maart en de eerste week van augustus 2011. Elk van de gemiddelden is gebaseerd op drie maal twee opeenvolgende tellingen tijdens springtij laagwater, in en om het projectgebied, van boei 12 tot en met boei 33

soort	maart 2011	augustus 2011
Grijze zeehond	0	0,5
Gewone zeehond	0	2
Bontbekplevier	0	0
Dwergstern	0	3
Eider	0	0
Grote stern	0	0
Kleine Mantelmeeuw	0	9
Kluut	0	0
Lepelaar	0	0
Noordse Stern	0	0
Strandplevier	0	0
Visdief	0	30
Aalscholver	3	5
Bergeend	0,3	1,0
Bontbekplevier	0	0
Bonte strandloper	2,0	0
Brilduiker	0,3	0
Drieteenstrandloper	0	0
Eider	0	2
Fuut	3	0,2
Groenpootruiter	0	0
Grote Zaagbek	16	0
Kanoet	0,5	0
Kluut	0	0,5
Krakeend	0	0,5
Krombekstrandloper	0	0
Lepelaar	0,7	6
Middelste Zaagbek	0	0
Pijlstaart	0	0
Rosse grutto	2	80
Rotgans	8	0
Scholekster	640	137
Slechtvalk	0,3	0
Slobeend	0,5	0
Smient	16	0
Toppereend	5	0
Tureluur	4	4
Wilde eend	10	0
Wintertaling	3	0
Wulp	832	321
Zilverplevier	0,7	0
Zwarte ruiter	0	0,2
Zwarte Stern	0	4

4.2. Overzicht habitattypen en soorten in relatie tot wettelijke kaders

4.2.1. Natuurbeschermingswet

In tabel 4.3 wordt een overzicht gegeven van de instandhoudingdoelen van het Natura 2000-gebied Waddenzee.

Habitattypen

Binnen het gebied worden twee aangewezen habitattypen onderscheiden: De geulen, en alle overige delen beneden L.A.T. (-1,34m NAP in Harlingen) maken onderdeel uit van het sublittorale wad dat valt onder het habitatype H1110A, Permanent overstromde zandbanken. Aan weerszijden van de geul, ten zuiden van het projectgebied, liggen sublittorale mosselbanken, waarvoor een verbeteropgave geldt.

Het littorale wad valt onder het habitatype H1140A Slik- en zandplaten. In het studiegebied hebben die over het algemeen een zeer lage ligging. De autonome ontwikkeling is dat het slibgehalte toeneemt, waarmee ook de samenstelling van de bodemfauna verschuift van schelpdieren-gedomineerd richting wormen-gedomineerd (Ens *et al.* 2007, 2010). Het areaal H1140A is beperkt in de westelijke Waddenzee, waarschijnlijk onder invloed van de afsluiting van de Zuiderzee (o.a. Raaphorst & de Jonge 2004, Ouwerkerk & Vuik 2011).

instandhoudingdoel

Wat de habitattypen betreft is het behoud van het areaal en een verbetering van de kwaliteit van H1110A, Permanent overstromde zandbanken (getijdengebied) en H1140A Slik- en zandplaten (getijdengebied) van belang voor deze beoordeling.

Habitatrichtlijnsoorten

Van de zes in het aanwijzingsbesluit genoemde Habitatrichtlijnsoorten zijn de Grijs zeehond en de Gewone zeehond relevant. Zeeprik, Rivierprik en Fint kunnen in theorie het projectgebied passeren op weg van zee naar het binnenland of andersom, maar het gebied is niet van belang als paai-, rust-, of foerageergebied. Daarbij zijn de aantallen van deze soorten laag, en ligt het studiegebied niet direct op de route naar een passeerbare zoet/zout overgang.

Broedvogels

Er broeden geen vogels in het projectgebied of de onmiddellijke nabijheid daarvan. De dertien kwalificerende broedvogelsoorten komen dus niet ter plaatse broedend voor. Wel is het zo dat de Bontbekplevier, Dwergstern, Eider, Grote stern, Kleine Mantelmeeuw, Kluut, Lepelaar, Noordse Stern en Visdief ter plaatse kunnen foerageren. De overige kwalificerende broedvogelsoorten (Blauwe Kiekendief, Strandplevier, Bruine Kiekendief en Velduil) komen zeker niet ter plaatse voor.

Niet-broedvogels

Op een paar soorten (Kleine Zwaan, Toendrarietgans, Grauwe Gans, Brandgans, Goudplevier, Kievit, Grutto en Steenloper) na zijn vrijwel alle in het aanwijzingsbesluit genoemde niet-broedvogelsoorten (zie bijlage I) voor deze toetsing van belang. Concreet gaat het om de Aalscholver, Bergeend, Bontbekplevier, Bonte strandloper, Brilduiker, Drieteenstrandloper, Eider, Fuut, Groenpootruiter, Grote Zaagbek, Kanoet, Kluut, Krakeend, Krombekstrandloper, Lepelaar, Middelste Zaagbek, Pijlstaart, Rosse grutto, Rotgans, Scholekster, Slechtvalk, Slobeend, Smient, Toppereend, Tureluur, Wilde eend, Wintertaling, Wulp, Zilverplevier, Zwarte ruiters en Zwarte Stern. Een deel van deze soorten trekt in het voorjaar

en najaar door en is in de zomer afwezig. Allen benutten het wad om te foerageren en te rusten. In maart en augustus 2011 waren er tijdens een inventarisatie in het kader van deze studie vooral Wulp, Scholekster, Smient en Wilde eend met enige tientallen aanwezig nabij de drempel. De grootste aantallen zaten zuidelijk van het projectgebied in de nabijheid (<500 m) van de geul.

Natura 2000-gebied 'IJsselmeer'

Omdat het projectgebied niet grenst aan het IJsselmeer, zijn hiervoor alleen de waarden van het IJsselmeer van belang die een directe ecologische relatie hebben met het projectgebied. Dat zijn de beschermde niet-broedvogels 'Aalscholver' en 'Topper', die van beide gebieden gebruikmaken.

Beschermde Natuurmonumenten

Bij Besluit van de Minister van LNV is de Waddenzee aangewezen als Natura 2000-gebied. Bij de aanwijzing zijn de aanwijzingen van diverse deelgebieden als staatsnatuurmonument dan wel beschermd natuurmonument vervallen en geïntegreerd in de Natura 2000-aanwijzing. De algemene doelen die in deze aanwijzingen waren opgenomen ten aanzien van het natuurschoon en de natuurwetenschappelijke betekenis zijn daarmee niet vervallen: ze blijven gewoon van kracht. Dit volgt zowel uit de Natuurbeschermingswet 1998 als uit de Toelichting bij de aanwijzing van het Natura 2000-gebied 'Waddenzee'.

Er is een verschil in benadering van de doelstelling in het kader van de Europese richtlijnen (Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn) en de overige doelstellingen. Voor de niet-Natura 2000-doelstellingen geldt een 'lichter' beoordelingskader dan voor de instandhoudingdoelstellingen die direct zijn gerelateerd aan de Vogelrichtlijn en de Habitatrichtlijn. Met de aanpassingen van de Natuurbeschermingswet die zijn opgenomen in de Crisis en Herstelwet, heeft dit verschil nadrukkelijk vorm gekregen. In die wet is opgenomen dat de overige doelstellingen (verwoord in art. 10a, derde lid van de Natuurbeschermingswet 1998) wel een rol spelen bij bijvoorbeeld vergunningverlening, maar niet worden meegenomen in een passende beoordeling. Dit geldt zowel voor een passende beoordeling voor een activiteit waarvoor een vergunning wordt gevraagd, als voor een passende beoordeling voor een plan.

Met het inwerking treden van de Crisis en Herstelwet vallen de overige ('niet Europese') doelen buiten het kader van een passende beoordeling.

4.2.2. Beschermde soorten Flora- en faunawet

Planten

In het inter-getijdengebied komen maar weinig beschermde planten voor. In theorie zou het zwaar beschermde Groot Zeegras aanwezig kunnen zijn, maar deze soort komt tegenwoordig nog slechts op enkele plekken in de Waddenzee in velden voor. Deze zijn onder andere te vinden langs de kust van Terschelling, op de Hond/Paap in de Eemsmonding bij Delfzijl en langs de Groninger kust. In totaal rest er nog maar zo'n 150 ha zeegras in Nederland (www.zeegras.nl). Voor vestiging van Zeegras is een stabiel milieu nodig met de juiste hoogteligging. Klaarblijkelijk wordt er in het projectgebied aan die voorwaarden niet voldaan. Zeegras is daarom niet relevant voor deze studie. Er worden in het projectgebied ook geen andere beschermde planten verwacht.

Vissen

In de Waddenzee of binnendijs daarvan, kunnen mogelijk enkele beschermde vissoorten voorkomen (denk bijvoorbeeld aan de Fint en de Rivierprik) maar deze soorten hebben geen ecologische relatie met het projectgebied. Rivierprik en Fint kunnen in theorie het pro-

jectgebied passeren op weg van zee naar het binnenland of andersom, maar het gebied is niet van belang als paai-, rust-, of foerageergebied. Daarbij zijn de aantallen van deze soorten laag, en ligt het studiegebied niet direct op de route naar een passeerbare zoet/zout overgang.

Vogels

Delen van het projectgebied hebben tweemaal per dag bij laag water een functie als foerageergebied voor vogels die op droogvallende platen voedsel zoeken. Bij hoogwater zijn er mogelijkheden voor duikende soorten die vis en schelpdieren eten. Er zijn geen vaste rust- of verblijfplaatsen, noch broed- of foerageergebieden van jaarrond beschermde vogels.

Vleermuizen

Alle in Nederland voorkomende vleermuissoorten zijn zwaar beschermd door de Flora- en faunawet op basis van de vermelding van deze soorten op bijlage IV van de Habitatrictlijn. Voor deze soorten geldt sinds 26 augustus 2009 dat een ontheffing op basis van het belang 'ruimtelijke ontwikkeling' niet meer wordt verleend. Bij mogelijke conflicten met de Flora- en faunawet moeten daarom zoveel mogelijk maatregelen worden getroffen om negatieve effecten tegen te gaan. Om deze redenen wordt aan vleermuizen een aparte paragraaf besteed, de overige zoogdieren komen in de volgende paragraaf aan bod. Voor vleermuizen zijn drie factoren van groot belang voor de functionaliteit van het leefgebied, namelijk: foerageergebied, verblijfplaatsen en vliegroutes. Hieronder worden deze drie elementen besproken.

Op het open zoete water van het IJsselmeer worden wel Meervleermuizen aangetroffen (Kuijper *et al.* 2005), maar het zoute open water van de Waddenzee biedt geen geschikt foerageergebied, omdat het niet geschikt is voor insecten die als voedsel kunnen dienen voor vleermuizen. Het projectgebied heeft geen mogelijkheden voor verblijfplaatsen van vleermuizen, noch is het aannemelijk te maken dat er sprake zal zijn van vaste vliegroutes. Er zijn geen waarnemingen van vleermuizen nabij het projectgebied bekend (zoogdieratlas.nl).

Zeezoogdiersoorten

Het projectgebied is geschikt als leefgebied voor enkele zeezoogdiersoorten (website Zoogdieratlas, Lange *et al.* 2003). Het voorkomen van de beide soorten zeehonden is behandeld in paragraaf 4.1.7.

Bruinvissen worden tegenwoordig steeds vaker waargenomen in het Nederlandse deel van de Waddenzee (Reijnders *et al.* 2009) en ook in het projectgebied worden incidenteel Bruinvissen waargenomen, met name in de winter. Er is echter geen vaste populatie Bruinvissen in de Waddenzee. De individuen die worden waargenomen zijn een klein deel van de verspreiding in de Noordzee. Het belang van het gebied voor Bruinvissen neemt af met de afstand tot de Noordzee en met een afstand van 30 km tot het dichtstbijzijnde zeegat is Boontjes te kenschetsen als marginaal habitat voor Bruinvissen.

Er worden volgens recente verspreidingsgegevens (exclusief vleermuizen) geen andere zwaar beschermde en/of bedreigde zoogdiersoorten binnen en nabij het projectgebied verwacht.

Tabel 4.3. Potentieel relevante aangewezen waarden voor het Natura 2000-gebied Waddenzee

instandhoudingdoelstellingen									
		SVI Lan- delijk	doelst. opp.vl.	doelst. kwal.	doelst. pop.	draagkracht # vogels	draagkracht # paren	kernopgaven	
Habitattypen									
H1110A	Permanent overstromde zandbanken (getijdengebied)	-	=	>				1.03,W	
H1140A	Slik- en zandplaten (getijdengebied)	-	=	>				1.10,W	
Habitatsoorten									
H1364	Grijze zeehond	-	=	=	=			1.11	1.13
H1365	Gewone zeehond	+	=	=	>			1.11	
Broedvogels									
A137	Bontbekplevier	-	=	=			60	1.13	
A195	Dwergstern	--	>	>			200	1.13	
A063	Eider	--	=	>			5000	1.03,W	
A191	Grote stern	--	=	=			16000	1.13	
A183	Kleine Mantelmeeuw	+	=	=			19000		
A132	Kluut	-	=	>			3800	1.13	
A034	Lepelaar	+	=	=			430		
A194	Noordse Stern	+	=	=			1500		
A138	Strandplevier	--	>	>			50	1.13	
A193	Visdief	-	=	=			5300	1.13	
Niet-broedvogels									
A017	Aalscholver	+	=	=		4200			1
A048	Bergeend	+	=	=		38400			1
A137	Bontbekplevier	+	=	=		1800		1.13	1
A149	Bonte strandloper	+	=	=		206000		1.11	1
A067	Brilduiker	+	=	=		100			1
A144	Drieteenstrandloper	-	=	=		3700			1
A063	Eider	--	=	>		90000- 115000		1.11	1
A005	Fuut	-	=	=		310			1

instandhoudingdoelstellingen									
		SVI Lan- delijk	doelst. opp.vl.	doelst. kwal.	doelst. pop.	draagkracht # vogels	draagkracht # paren	kernopgaven	
A164	Groenpootruiter	+	=	=		1900			1
A070	Grote Zaagbek	--	=	=		70			1
A143	Kanoet	-	=	>		44400		1.11	1
A132	Kluut	-	=	=		6700		1.13	1
A051	Krakeend	+	=	=		320			1
A147	Krombekstrandloper	+	=	=		2000			1
A034	Lepelaar	+	=	=		520			1
A069	Middelste Zaagbek	+	=	=		150			1
A054	Pijlstaart	-	=	=		5900			1
A157	Rosse grutto	+	=	=		54400		1.11	1
A046	Rotgans	-	=	=		26400			1
A130	Scholekster	--	=	>		140000- 160000		1.11	1
A103	Slechtvalk	+	=	=		40			1
A056	Slobeend	+	=	=		750			1
A050	Smient	+	=	=		33100			1
A062	Toppereend	--	=	>		3100			1
A162	Tureluur	-	=	=		16500			1
A053	Wilde eend	+	=	=		25400			1
A052	Wintertaling	-	=	=		5000			1
A160	Wulp	+	=	=		96200			1
A141	Zilverplevier	+	=	=		22300			1
A161	Zwarte ruiter	+	=	=		1200			1
A197	Zwarte Stern	--	=	=		23000			1

Conclusie

In het kader van de Flora- en faunawet is alleen de Bruinvis mogelijk relevant.

4.2.3. Kaderrichtlijn Water

De ecologische toestand van het waterlichaam Waddenzee scoort op dit moment als volgt op de maatlatten voor het watertype K2 Beschutte kustwateren (Van der Molen & Pot (red), 2007):

- fytoplankton: matig vanwege zowel de relatieve hoge Chlorofyl-a concentratie als het relatief vaak voorkomen van Phaecystis-bloei;
- overige waterflora: slecht (deelmaatlatten kwelderareaal slecht, kwelderkwaliteit goed, Zeegrasareaal en -kwaliteit slecht);
- macrofauna: goed;
- algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen: PM;
- Hydromorfologie: PM.

CONCEPT

CONCEPT

5. EFFECTEN VAN DE VOORGENOMEN ACTIVITEIT

5.1. Fysieke effecten hydrodynamica en morfologie

Voor de drie varianten zijn de effecten op hydrodynamica en morfologie berekend voor de uiteindelijke situatie en de aanlegperiode. Tabel 5.1 geeft een overzicht van hydrodynamische en morfologische effecten en de bandbreedte daarvan, zoals die is uitgewerkt in Ouwkerk & Vuik 2011.

Tabel 5.1. Overzicht effecten hydrodynamica en morfologie op basis van HKV (2011).

aspect	conclusie
water- en golfbeweging	
waterstanden	geen significant effect op waterstanden (droogvalduur van de platen verandert niet).
stroomsnelheden in de geul	versterking van de stroomsnelheden bij eb en vloed met 3% (variant 1) tot 7% (variant 3).
stroomsnelheden op de platen	afname van de stroomsnelheid op de platen direct naast de geul (tijdens vloed bij springtij met 2% (variant 1) tot 4% (variant 3).
debiet door de geul	toename van de debieten bij eb en vloed met rustig weer met 5% (variant 1) tot 16% (variant 3). Er treedt geen significante verandering in de getijsymmetrie op.
significante golfhoogte	toename tijdens stormcondities in de as van de geul en lichte afname op de platen. Veranderingen tot maximaal 5 cm tijdens stormcondities.
morfologie	
sedimenttransport in Boontjes	toename in sedimenttransport over de lengte met 0,2% (variant 1), 1,7 % (variant 2) en 3,9% (variant 3). De (geringe) transporten boven de drempel zelf nemen (bij variant 1 en 2) af door de afgenomen bodemschuifspanning door golfwerking. In variant 3 neemt de sedimenttransportcapaciteit ook boven de verlaagde drempel licht toe.
Onderhoudsbaggerwerk in Boontjes	ontstaan van aanzanding door verminderde sedimenttransportcapaciteit. Dit resulteert in een conservatief geschat benodigd baggervolume van 21.700 m ³ (variant 1), 32.400 m ³ (variant 2) en 13.700 m ³ /jaar (variant 3)
ontwikkeling plaatareaal	versterking van de bestaande sedimentatietrend met initieel 0,5 % (variant 1), 2% (variant 2) en 4% (variant 3). Deze versterking neemt af na verloop van tijd.
grootschalig morfologisch systeem	er is geen enkele aanwijzing dat de drempelverwijdering het karakter van het grootschalige morfologische systeem van de getijdebekken van het Vlie en het Marsdiep zal beïnvloeden..
zoet-zout patronen	
situatie zonder realisatie ESA	verschuiving van de contouren voor verschillende waarden voor de saliniteit in noordoostelijke richting over een afstand in de orde van enkele meters. Op een vaste locatie in Boontjes toename van de tijdsgemiddelde saliniteit ten opzichte van de referentiesituatie met ongeveer 0,5 % in de situatie zonder wind en 1 % in de situatie met zuidwestenwind bij gemiddelde condities.
situatie met realisatie ESA	licht verhoogde saliniteit in Boontjes bij een gemiddelde grootte van het spuidebiet bij Kornwerderzand. Door verwijdering van de drempel in de huidige situatie neemt de saliniteit in Boontjes licht toe. Dezelfde trend is te verwachten in het geval de spuicapaciteit van de Afsluitdijk (ESA) zal zijn verhoogd.
verspreiding gestort materiaal afkomstig uit de haven van Harlingen	geen significant effect van de drempelverwijdering op de verspreiding van het gestorte slib.
toepassing vrijkomend materiaal	
verspreiden van zand	Door het klappen of spuiten van zand treedt, met uitzondering van de directe nabijheid van het verspreidende baggerschip, geen vertroebeling op. Binnen enkele honderden meters afstand is al het zand neergeslagen.

verspreiden van slib	Bij het klappen van slib treedt enige vertroebeling op rond de stortlocatie. De tijds- en dieptegemiddelde concentratie -bij een afstand >1km- wordt met maximaal 75 % (0,06 kg/m ³) verhoogd ten opzichte van de achtergrondconcentratie in de Waddenzee van 0,08 kg/m ³ . Deze verhoging bedraagt ten opzichte van de achtergrondconcentratie tijdens stormcondities (0,8 kg/m ³) slechts 7,5 %. Verhoogde concentraties worden vrijwel uitsluitend gevonden in de getijdengeulen, op de platen is de stroomsnelheid te laag om materiaal in suspensie te houden.
kweldervorming Boontjes	PM

Samenvattend zijn de effecten op gebied van hydrodynamica en morfologie beperkt. In het algemeen zijn de effecten het grootst voor variant 3 van de geulafmeting en het kleinst voor variant 1, met uitzondering van het onderhoudsbaggerwerk: dat is het kleinst bij variant 3 en het hoogst bij variant 2.

5.2. Permanente effecten door aanpassing geulafmetingen

5.2.1. Stroomsnelheid

Stroomsnelheid en golfwerking kunnen leiden tot veranderend sedimenttransport en tot een veranderende schuifspanning. Het sedimenttransport is van belang voor morfologie en -deels- ook voor troebelheid, die worden hierna behandeld. De schuifspanning is onder andere direct van belang voor de hechting van mosselen aan de bodem. En juist de kwaliteit van sublittorale mosselbanken is één van de verbeterdoelstellingen voor het sublittorale wad.

De stroomsnelheid op de platen neemt licht af, met kleine effecten op plaatareaal (zie hierna). De stroomsnelheid in de geul neemt toe met maximaal 0,05 m/s. Voor de geulafmeting in variant 1 zijn ter hoogte van de sublittorale mosselbanken, 1-2 km ten zuiden van het projectgebied, geen snelheidsveranderingen meetbaar. Voor variant 2 is ter plaatse van de mosselbank zelf geen verandering meer meetbaar. In het midden van de naastgelegen geul is een toename van minder dan 0,02 m²/s meetbaar. Voor variant 3 is over de lengte van de mosselpercelen een snelheidstoename van maximaal 0,05 m/s meetbaar.

De veranderingen in stroomsnelheid en schuifspanning hebben voor variant 1 en 2 geen effect op de kwaliteit van het sublittorale en littorale wad. Variant 3 leidt tot een licht toename van stroomsnelheid, en daarmee mogelijk tot een licht verslechterende hechting voor mosselen. De totale stroomsnelheid wordt echter niet beperkend voor de hechting van mosselen.

5.2.2. Plaatareaal en sedimentatie

Ook bij het breedste voorgestelde profiel (variant 3) wordt geen sediment verwijderd van dieptes boven -1,34 m NAP. Er vindt dus geen verschuiving plaats in de verhouding tussen littoraal wad (H1140_A) en sublittoraal wad (H1110_A). Er is dus geen sprake van areaalverlies voor de aangewezen habitattypen.

Door de toenemende sedimentatie zal het totale plaatareaal licht (tot 2 %) toenemen. Omdat het grootste deel van het plaatareaal sublittoraal ligt en sublittoraal blijft, treden ook door de licht toenemende sedimentatie geen meetbare effecten op de areaalverdeling tussen droogvallende en permanent ondergelopen wadplaten.

De mosselbanken liggen geheel buiten het gebied waar, door lagere stroomsnelheden, de sedimentatie mogelijk toeneemt en hierop zijn dus voor geen van de varianten effecten te verwachten.

5.2.3. Troebelheid

De hydrologische berekeningen geven geen indicatie voor een toename van de troebelheid als gevolg van de gebruiksfase. Er treden dus ook geen ecologische effecten op.

5.2.4. Effecten als gevolg van verandering zoutgehalte

Uit de modelberekeningen blijkt dat de zoetwaterbel die ontstaat door het spuien bij Kornwerderzand iets minder ver doordringt naar het noordoosten. Ook bij de toekomstige toegenomen spuicapaciteit blijft de drempelverwijdering leiden tot een kleinere doordringing van de zoetwaterbel. Hiervoor zijn geen negatieve effecten te verwachten op habitattypen of soorten met een instandhoudingdoel.

De aanlegfase heeft geen effecten op de zoetwaterbel.

5.3. Beschrijving van effecten door veranderingen in gebruik na realisatie

5.3.1. Inleiding

De drempelverwijdering zal, volgens de economische effectenanalyse, vooral leiden tot een vergroting van het tijvenster, zodat grote schepen Boontjes tijdens een groter deel van het laagwater kunnen passeren. De verwachte toename als gevolg van dit grotere tijvenster bedraagt 2%, ligt daarmee binnen de marges van de groeiscenario's geschatte autonome ontwikkeling en is dus niet onderscheidend van die autonome ontwikkeling. Er blijft een tijvenster aanwezig waarbij, tijdens laagwater, Boontjes niet gepasseerd kan worden.

5.3.2. Verstoring door aanwezigheid en geluid

Geluidverstoring is een gevolg van de aanwezigheid van schepen en kan van belang zijn voor diersoorten die het gebied gebruiken. Het gaat daarbij om steltlopers die bij laagwater in het gebied foerageren, om eenden en viseters die foerageren bij hoogwater en om zeezoogdieren die in de geulen foerageren.

Vergroting van het tijvenster zou kunnen leiden tot verlenging van de verstoringduur. Voor foeragerende wadvogels is daarbij van belang dat de platen binnen 500 m van de geul ter plaatse van de gebaggerde locatie slechts zeer beperkt (5-8 % van de tijd) droogvallen: dat gebeurt alleen tijdens de twee uren rond de kentering bij laagwater en springtij. De drempel zal dan, net als in de huidige situatie, niet passeerbaar zijn. Voor foeragerende wadvogels heeft het vergroten van het tijvenster dus geen effect.

Eventuele aantaltoename en volumetoename van de scheepvaart kunnen leiden tot extra verstoring, met name tijdens hoogwater: zoals boven betoogd heeft de drempelverwijdering voor grote schepen tijdens laagwater geen effect, omdat de drempel tijdens springtij niet passeerbaar wordt. Aantal toename tijdens hoogwater is vooral van belang voor vogels die op het water foerageren, zoals Toppereenden, Eiders en in mindere mate Futen en Middelse zaagbek. Voor deze soorten is het gebied tijdens de wintermaanden en het vroege voorjaar van belang. In die periode is de scheepvaart vooral professioneel van aard en zullen er weinig zeilboten en andere pleziervaartuigen varen. Voor de professionele vaart, die met een constante snelheid beweegt, is de verstoringcontour zeer beperkt (Krijgsveld

2008). Omdat bovendien de verwachte aantal toename zeer laag is, zijn additionele effecten van de versturende werking in de gebruiksfase niet te verwachten.

5.3.3. Effecten van verandering stikstofdepositie

Omdat de verwachte toename van scheepvaart zeer beperkt is, en de habitats, die gevoelig zijn voor stikstofdepositie op de Waddeneilanden liggen, op een afstand van meer dan 25 km, zijn negatieve effecten als gevolg van een toename van stikstofdepositie uitgesloten.

5.3.4. Effecten als gevolg van calamiteiten

De verwachte aantaltoename van grote schepen is klein, en de verwachting is, dat het aantal schepen dat vastloopt, juist afneemt door de drempelverwijdering. Er is dus geen toename of zelfs een lichte afname van risicovolle situaties te verwachten. Er treden geen negatieve ecologische effecten op.

5.4. Effecten door uitvoering baggerwerkzaamheden

5.4.1. Inleiding

Baggeren heeft vooral effect door het in suspensie brengen van slib, wat plaatsvindt bij het baggeren zelf en bij het verspreiden van baggerspecie. Daarnaast werkt de aanwezigheid van materieel en additionele vaarbewegingen mogelijk versturend voor vogels en zeezoogdieren.

5.4.2. Tijdelijke effecten initiële baggerwerkzaamheden

Effecten verandering sedimentsamenstelling

Het baggeren in de geul leidt uiteraard tot een plaatselijke verstoring van de bodem. Het te baggeren gedeelte is ook in de huidige situatie reeds sterk verstoord door schepen die bij (te) laag water toch proberen de drempel in Boontjes over te steken. De directe effecten van de baggerwerkzaamheden op de bodemfauna zijn daarom beperkt. Het baggeren beïnvloedt de naastgelegen platen niet, dus daarvoor treden geen effecten op.

Effecten van vertroebeling

Baggeren en verspreiden van het vrijgekomen materiaal leiden tot een tijdelijke toename van zwevend materiaal in de waterkolom, en daarmee tot een tijdelijke vertroebeling. Door die vertroebeling kunnen algen minder licht krijgen, wat een effect kan hebben op de primaire productie. Onder normale omstandigheden is er een duidelijke seizoensdynamiek in troebelheid: die is het laagst in de zomer, en het hoogst in de winter. Daarom zijn de uitvoeringsperioden zo gekozen, dat ze buiten de bloeiperioden voor fytoplankton vallen. Een ander aspect is, dat toenemende troebelheid als gevolg van baggerwerkzaamheden ook kan leiden tot verminderde groei van bodemfauna zoals Kokkels (Wijsman & Kesteloo 2007) en Mesheft *Ensis sp* (Witbaard & Kamermans 2010).

De voorgestelde uitvoerperioden zijn juni-juli en oktober-december. De verwachte troebelheid moet onder andere worden afgezet tegen de achtergrondwaarde, en tegen de effecten die kunnen optreden. In de winter is de troebelheid het hoogst, de concentratie SPM loopt dan in de westelijke Waddenzee op tot een gemiddelde van 150 mg/l, terwijl de troebelheid in de zomer 20-50 mg/l bedraagt.

Van belang voor de effecten van troebelheid zijn de tijdsduur en de mate van troebelheid. De hydrodynamische analyse (Ouwkerk & Vuik 2011) laat zien hoe lang de slibwolk, die het gevolg is van depositie van slib in het diepe gat, in de waterkolom blijft en welke concentraties bereikt worden. De studie laat zien dat verspreiden in het diepe gat van Boontjes leidt tot kortstondige piekbelasting tot meer dan 100 mg/l in de buurt van de verspreidingslocatie, en dat de SPM concentraties binnen een uur dalen tot minder dan 20 mg/l. Dit leidt tot een lichte, bijna gelijktijdige belasting voor de kustlijn tussen Kornwerderzand en Zürich. In het daaropvolgend tij leidt dat tot twee korte, maar hoge pieken aan de zuidkant van Boontjes, en een lage piek aan de noordzijde. Op de exacte stortlocatie in Boontjes komen kortstondig zeer hoge waarden tot 1000 mg/l SPM voor (Ouwkerk & Vuik 2011).

Belangrijk is dat er geen cumulatie van slib in de waterkolom wordt verwacht: direct na één getijdenperiode is het additionele slib uit de waterkolom ter plaatse verdwenen.

Effecten bij uitvoering in de zomer (juni tot half juli)

Bij uitvoering in de zomer is de bestaande troebelheid laag en het relatieve effect van baggeren op doorzicht is dus groot. De hoge piek aan SPM aan de zuidkant van het te baggeren gebied heeft bovendien mogelijke effecten op de bodemfauna, waaronder de daar gelegen mosselbank. Mosselen kunnen zich aanpassen aan een geleidelijke toename van troebelheid, maar bij snelle vertroebeling leiden SPM-waarden van meer dan 100 mg/l tot verminderde groei of zelfs gewichtsverlies (Prins & Smaal 1989). Voor *Ensis*-soorten neemt de voedselopname, en dus de groei af bij SPM-waarden van 100-200 mg/l (Witbaard & Kamermans 2010) en *Mya arenaria* is robuuster. De pieken zoals hierboven gevonden leiden tot SPM-waarden die de groei kunnen belemmeren. Bij uitvoering tijdens het groeiseizoen kunnen voor benthische fauna negatieve effecten optreden. Effecten op vogels heeft dit niet of nauwelijks, omdat op dat moment geen of weinig vogels van aanwezig zijn die op benthische fauna foerageren. De mogelijke effecten zijn zeker niet significant.

Effecten bij uitvoering in najaar/vroege winter (oktober tot december)

Bij uitvoering in de winter is de bestaande troebelheid hoog en het relatieve effect van baggeren op doorzicht is kleiner. Belangrijker nog is dat de groei van macrozoobenthos niet belemmerd wordt. Bij uitvoering in de winter zijn, als op tijd gestopt wordt met baggeren (voor maart) geen effecten op bodemfauna te verwachten.

Verstoring door aanwezigheid en geluid

De verstoringcontouren voor baggerschepen bedragen ca 500 m boven water en ca. 2000 m onder water.

In het noorden van het projectgebied liggen op ca. 500 m afstand enkele wadplaten die tijdens springtij laagwater droogvallen (zie figuur 2-2). Hier kan, bij baggeren tijdens springtij laagwater, enige verstoring van steltlopers plaatsvinden. Rond het grootste deel van het projectgebied echter, liggen de droogvallende wadplaten op meer dan 1 km afstand van de geul en zijn geen effecten van verstoring door menselijke aanwezigheid en/of geluid te verwachten. De afstanden tot de dijk, die door steltlopers, maar ook door meeuwen en Eiders als hoogwatervluchtplaats wordt gebruikt, zijn zo groot dat hiervoor geen verstoringen vanuit de geul zijn te verwachten.

Foeragerende Eiders bevinden zich vooral ten zuiden en ten westen van het projectgebied (De Jong et al 2009 en Kats et al 2004). Die gebieden liggen buiten de verstoringcontour van de baggermiddelen en daarvoor is geen effect te verwachten. De afvoer van materiaal komt overeen met reguliere scheepvaart, waarvoor de verstoringcontouren klein zijn (zie Krijgsveld et al. 2004) en de additionele verstoring beperkt is. In de winter maken foeragerende en rustende Toppereenden gebruik van de gehele Boontjes en baggerwerk-

zaamheden kunnen voor deze soorten verstorend werken. Omdat het bovendien de wintermaanden betreft, zijn de mogelijke energetische effecten voor Topper- en Eidereenden extra groot.

Onderwatergeluid draagt ver en Zeehonden en Bruinvissen kunnen tot op grote afstand verstoord worden. Er liggen echter geen belangrijke zeehondenrustplaatsen binnen 3 km van het projectgebied, waardoor het relatieve belang van het projectgebied als foerageergebied voor Zeehonden beperkt is. Daarnaast is het gebied, als reguliere scheepvaartroute, ook nu reeds verstoord en net als voor vogels zijn de additionele effecten van verstoring waarschijnlijk gering.

Effecten bij uitvoering in de zomer (juni tot half juli)

In de zomer is het gebied niet van belang voor foeragerende Toppereenden of Eiders, en van zeer beperkt belang voor steltlopers, evenals voor zeezoogdieren. Hierop worden bij uitvoering in de zomer geen meetbare effecten verwacht.

Effecten bij uitvoering in najaar/vroege winter (oktober tot december)

In het najaar is het gebied niet van belang voor foeragerende Toppereenden of Eiders en van beperkt belang voor steltlopers en zeezoogdieren. Vanaf december wordt het gebied van groot belang voor Eiders en Toppers die foerageren op de mosselpercelen ten zuiden van het projectgebied. Ook voor zeezoogdieren is het belang van het gebied in de winter groter dan de zomer, evenals de gevoeligheid voor verstoring.

Bij verstoring in het najaar zijn geen meetbare effecten te verwachten, maar vanaf december wel. Dit is echter buiten de hier bestudeerde uitvoeringsperiodes.

5.4.3. Effecten beheer en onderhoudswerkzaamheden

Het jaarlijks benodigde baggervolume bedraagt voor de verschillende varianten 21.700 m³ (variant 1), 32.400 m³ (variant 2) of 13.700 m³ (variant 3). Uitgaande van een wekelijks baggervolume van circa 30.000 m³, zullen de jaarlijkse onderhoudsbaggerwerkzaamheden, afhankelijk van de variant, enkele dagen tot een week in beslag nemen.

Effecten verandering sedimentsamenstelling

Het baggeren ten behoeve van de drempelverwijdering leidt tot een plaatselijke verstoring van de bodem. Het te baggeren gedeelte is echter in de huidige situatie al sterk verstoord door schepen die bij laag water proberen de drempel in Boontjes over te steken. Aangezien de effecten van de baggerwerkzaamheden op de bodemfauna beperkt zullen zijn, zullen de effecten van de onderhoudsbaggerwerkzaamheden op de sedimentsamenstelling, die in omvang een fractie zijn van het baggeren ten behoeve van de drempelverwijdering, verwaarloosbaar zijn. Het baggeren beïnvloedt de naastgelegen platen niet, dus daarvoor zijn geen effecten te verwachten.

Verstoring door geluid en aanwezigheid

Vanwege de korte duur zijn de onderhoudswerkzaamheden goed te plannen buiten de aanwezigheid van foeragerende eenden (Eiders en Toppers): de effecten zijn dan zeer beperkt.

5.5. Effecten van verspreiding van materiaal op verspreidingslocaties

[De keuze voor verspreidingslocaties en daarmee samenhangende methodes is nog niet gemaakt, daarom is een volledige effectbeoordeling nog niet mogelijk.]

5.5.1. Permanente effecten

De verspreiding van materiaal wordt zodanig uitgevoerd dat die niet leidt tot permanente effecten.

5.5.2. Tijdelijke effecten

Effecten van vertroebeling

De hydrodynamische effecten zijn uitgewerkt in Ouwerkerk & Vuik (2011), die stellen over het verspreiden van zand en slib:

“Door het klappen of spuiten van zand treedt met uitzondering van de directe nabijheid van het verspreidende baggerschip geen vertroebeling op. Binnen enkele honderden meters afstand is al het zand neergeslagen. Alleen bij (het klappen van) slib treedt enige vertroebeling op rond de stortlocatie. De tijds- en dieptegemiddelde concentratie bij een afstand tot de verspreidingslocaties groter dan een kilometer wordt met maximaal 75% (0,06 kg/m³) verhoogd ten opzichte van de gemiddelde achtergrondconcentratie in de Waddenzee van 0,08 kg/m³. [...] Op de platen zijn de stroomsnelheden te laag om het slib in suspensie te kunnen houden. De geringe diepte en doorstroming ten noorden van de Pollendam leidt tot de grootste concentratieverhogingen rond deze verspreidingslocatie. Bij Zuid-Boontjes is de diepte zodanig groot, dat de menging groot is, met relatief lage concentraties tot gevolg.”

Op grond daarvan zijn voor storten in het diepe gat van de Boontjes geen blijvende negatieve effecten te verwachten.

Effecten verandering sedimentsamenstelling

Zand leidt, noch voor de verspreidingslocatie Zuid-Boontjes, noch voor de Pollendam niet tot een significante verhoging van de sedimentconcentratie in de Waddenzee (behalve direct rond de verspreidingslocatie) en daarmee ook niet tot een verandering in sedimentsamenstelling (Vuik & Ouwerkerk 2011).

Het storten (klappen) van slib veroorzaakt duidelijk hogere concentraties dan het klappen of spuiten van zand. Ook de verspreidingsafstand is vele malen groter. Vergeleken met de achtergrondconcentratie gedurende stormachtige omstandigheden bedraagt de gemiddelde concentratieverhoging echter minder dan 5 % (Ouwerkerk & Vuik 2011).

Verstoring door aanwezigheid en geluid

De geluidverstoring ligt in de orde van grootte van reguliere scheepvaart. [omdat de precieze locatie en methode nog niet bekend zijn, kan een volledige beoordeling nog niet worden uitgevoerd.].

6. BEOORDELING VAN EFFECTEN

6.1. Natuurbeschermingswet

6.1.1. Habitattypen

Gebruiksfase

De drempelverwijdering vindt voor alle drie de varianten plaats binnen het sublittorale habitatype H1110A en er is dus geen direct areaalverlies te verwachten. De verandering in stroomsnelheid heeft in de geul, voor variant 1 geen en voor variant 2 zeer beperkte effecten buiten het projectgebied. Variant 3 resulteert tot op grotere afstand buiten het projectgebied in licht verhoogde stroomsnelheden.

De licht verlaagde stroomsnelheden op de sublittorale platen leiden tot een zeer lichte toename van sedimentatie. Deze geleidelijke sedimentatie leidt niet direct tot een verandering in sublittoraal areaal. Ook is de bodemfauna ter plaatse, die gedomineerd wordt door *Ensis* en *Mya* soorten, robuust genoeg om zulke geleidelijke sedimentatie te kunnen opvangen.

In de nabijheid van het projectgebied liggen enige laaggelegen littorale platen van het type H1140A. Hiervoor leidt de gebruiksfase niet tot een verschuiving in areaal of kwaliteit.

Er treden geen significant negatieve effecten op als gevolg van veranderingen in de gebruiksfase.

Uitvoeringsfase

Tijdens de uitvoeringsfase kan de kwaliteit van het habitatype H1110A en H1140A, en de primaire productie worden aangetast door vertroebeling. Door te werken buiten het groeiseizoen van fytoplankton en macrozoöbenthos, in het najaar van half september tot en met november, kunnen negatieve effecten door vertroebeling worden gemedend en is geen sprake van significante effecten. Ook de periode van juni tot half juli behoort niet tot het belangrijkste groeiseizoen (van maart tot en met mei voor fytoplankton en augustus tot half september voor macrozoöbenthos). Een mogelijk lichte verslechtering die gedurende deze periode kan optreden, veroorzaakt daarom geen significante effecten op de habitattypen.

6.1.2. Habitatrichtlijnsoorten

Gebruiksfase

Voor de Grijs zeehond H1364 en de Gewone zeehond H1365 zijn in de gebruiksfase geen effecten te verwachten.

Uitvoeringsfase

Voor de aanlegfase is beperkte verstoring van Grijs zeehonden H1364 en Gewone zeehonden H1365 in de geul door baggerschepen te verwachten. Aan de zuidkant van de geul is, bij de rustplaats, lichte verstoring van rustende Gewone zeehonden te verwachten.

Door de aanwezigheid van bestaand scheepvaartverkeer is de additionele verstoring echter beperkt. Omdat in het gebied geen grote rustplaatsen liggen is dit geen kerngebied voor deze soorten en eventuele verstoringen door baggerwerkzaamheden of extra scheepvaart zullen niet leiden tot significante effecten.

6.1.3. Vogelrichtlijnsoorten

Gebruiksfase

Gedurende een kort deel van de maand, uitsluitend bij springtij laagwater zijn de niet-broedende wadvogels Wulp A160, Scholekster A130, Rosse grutto A157, Bonte strandloper A149 en Tureluur A162 in enige aantallen op droogvallende platen in de nabije omgeving van het projectgebied aanwezig.

Op en langs die platen zijn ook Grote zaagbek A070, Middelste zaagbek A069 en Fuut A005 te verwachten. Omdat voor de gebruik geen effecten te verwachten zijn op de kwaliteit van de droogvallende platen (zie boven) is voor deze soorten in de gebruiksfase geen areaalverlies te verwachten.

Bij hoogwater in de winter vormt Boontjes een belangrijk leefgebied voor de Toppereend A062 en in mindere mate voor de Eidereend A063. Deze foerageren met name op halfwas mosselen op de randen van de geulen. Omdat de gebruiksfase niet leidt tot negatieve effecten op de kwaliteit van het sublitorale wad, noch van de daarop levende macrozoobenthos, zijn voor de gebruiksfase geen effecten te verwachten op Toppereend en Eider.

Uitvoeringsfase

Voor de Topper A062 vormt de westelijke Waddenzee, met daarin specifiek Boontjes, een kerngebied (De Jong 2009). 26 % van de West-Europese populatie verblijft in Nederland, waarvan een groot deel in noordelijke deel van het IJsselmeer en de Topper is ook aangegeven voor het Natura 2000-gebied IJsselmeer. Toppers pendelen tussen de noord- en de zuidkant van de Afsluitdijk en er bestaat dus een duidelijke ecologische relatie. Daarom is de onafhankelijke draagkracht van het wad voor de Topper dan ook moeilijk vast te stellen (De Vlas *et al.* 2010). Gezien de landelijke ongunstige staat van instandhouding en het grote belang van de Nederlandse populatie leidt aantasting van de populatie al gauw tot significante effecten. Daarbij komt dat Boontjes juist belangrijk is voor Toppers tijdens aanhoudende kou en ijsgang, dus onder fysiologisch zware omstandigheden. Daarom kan, bij een eventueel optredende verstoring, een significant effect niet worden uitgesloten. Het is daarom van groot belang de werkzaamheden niet uit te voeren van december tot en met januari, en tijdens langdurige perioden van vorst daarbuiten, als het gebied van het grootste belang is voor Toppers. Bij een uitvoeringsperiode tot december, zoals voor beide uitvoeringsperiodes geldt, treden geen significant negatieve effecten op.

Ook voor de Eider A063 vormt de westelijke Waddenzee een kerngebied, maar Boontjes is dat niet specifiek. De kern van de verdeling ligt meer ten westen en/of ten zuiden van het projectgebied (De Jong 2009). De maximumaantallen in Boontjes bedragen ca 1000 stuks, terwijl de gehele Waddenzeepopulatie 90-115.000 bedraagt. Op grond van de ruimtelijke verdeling over het gebied en de aantalverdeling is er, bij baggeren in het winter halfjaar, wel een kans op verstoring maar die is niet significant.

Wulp, Scholekster, Rosse Grutto

Vanwege de lage ligging van het gebied en de bijbehorende beperkte droogvalduur zijn ook de droogvallende platen van ondergeschikt belang voor de wadvogels Wulp A160, Scholekster A130, Rosse grutto A157, Bonte strandloper A149 en Tureluur A162. Dat wordt onderstreept door de in het kader van deze Passende Beoordeling uitgevoerde tellingen, waarbij op de littorale platen binnen 500 m van de geul slechts enkele tientallen steltlopers werden waargenomen. Op de geulen op grotere afstanden worden überhaupt geen effecten van verstoringen verwacht.

Zichtjagers: Sterns

Additionele troebelheid leidt bij werken in zomer mogelijk tot beperkt jaagsucces, het gebied is echter voor zichtjagers zoals sterns niet van buitensporig belang. Bij uitvoering in najaar en vroege winter zijn geen zichtjagers meer aanwezig dus is er van een effect geen sprake.

6.2. Beschermde soorten Flora- en faunawet

Alleen de Bruinvis is hier relevant. Het projectgebied bevindt zich aan de periferie van het normale verspreidingsgebied. Incidentele verstoringen zorgen dus niet voor aantasting van de landelijk gunstige staat van instandhouding. Er worden derhalve geen verbodsbepalingen overtreden en een ontheffing van de Flora- en faunawet is niet nodig.

6.3. Ecologische Hoofdstructuur

Het projectgebied is onderdeel van de EHS met beheertype Grootschalig zout (getijden-) water, waarvan de openheid en de sterke invloed van getijden wezenlijke waarden vormen. Op de tijdelijke verstoring door de ingrepen na, zijn er geen negatieve effecten in het kader van de EHS te verwachten. De wezenlijke kenmerken en waarden worden niet aangetast. Er is dus geen knelpunt met het beschermingsregime van de EHS.

6.4. Kaderrichtlijn Water

Zoals uit voorgaande paragrafen blijkt, zijn negatieve effecten van de werkzaamheden in het kader van de drempelverwijdering op ecologie beperkt. De effecten zullen daarom niet leiden tot een andere score op de maatlat van dit waterlichaam. Het verspreiden van materiaal op de randen van sublittorale platen langs de vaargeul bij de aanlanding van de Afsluitdijk ter hoogte van Kornwerderzand stimuleert het natuurlijke proces van aanzanding en verkweldering in het gebied. De kwaliteitselementen kwelderareaal en kwelderkwaliteit maken onderdeel uit van de deelmaatlat overige waterflora (zie paragraaf 4.2.3). Het stimuleren van aanzanding en verkweldering kan daarmee een positieve bijdrage leveren aan deze deelmaatlat, maar de bijdrage aan een verhoging van de maatlatscore zal in absolute zin beperkt zijn vanwege de beperkte omvang in relatie tot het totale kwelderareaal.

7. CUMULATIE

In de nabijheid van Harlingen (en vaarweg Boontjes) wordt een groot aantal projecten uitgevoerd/gepland die mogelijk elkaar beïnvloeden. Binnen de planstudie Boontjes zijn de raakvlakken met de andere projecten in beeld gehouden en eventuele cumulatieve effecten zijn meegenomen in de effectbeschrijving. Het betrof hier zowel autonome ontwikkelingen als voorgenomen projecten (zie paragraaf 1.2). De effecten van bodemdaling door gaswinning en zoutwinning zijn meegenomen in de hydrodynamische en morfologische studie (Ouwkerk & Vuik 2011) en zijn daarmee tevens meegenomen in deze ecologische effectbepaling.

De drempelverwijdering zal, volgens de economische effectenanalyse, vooral leiden tot een vergroting van het tijvenster, zodat grote schepen Boontjes tijdens een groter deel van het laagwater kunnen passeren. De verwachte toename als gevolg van dit grotere tijvenster bedraagt 2% en ligt daarmee binnen de marges van de groeiscenario's geschatte autonome ontwikkeling, waarin de passages ten behoeve van de reststoffenenergiecentrale (Om-rin) zijn vervat.

De Extra Spuicapaciteit Afsluitdijk (ESA) heeft invloed op de stroming door Boontjes. In de effectstudies voor de drempelverwijdering Boontjes is een scenario *met* en *zonder* realisatie van dit project onderzocht. De resultaten lieten zien dat er geen cumulatief effect is in relatie met ESA.

Conclusie

In de effectenstudie zijn effecten van plannen of projecten die kunnen cumuleren met de effecten van de drempelverwijdering expliciet meegenomen. De effectbeoordeling wordt niet beïnvloed door cumulatie met andere projecten of plannen in de omgeving. Er is dus geen sprake van cumulatieve effecten.

CONCEPT

8. CONCLUSIES

De effectbeschrijving wordt hieronder samengevat aan de hand van het beoordelingskader.

aspect	criterium	subcriterium	methodiek
Natura 2000	verandering leefgebied habitatoorten en habitatypen	verandering bodemfauna	<ul style="list-style-type: none"> - geen effecten van gebruiksfase - beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli - geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december.
		verandering mossele-ters	<ul style="list-style-type: none"> - geen effecten in gebruiksfase - Eider: mogelijk kleine effecten a.g.v. verandering voedselaanbod bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant omdat de mogelijk kleine effecten op voedselaanbod optreden in een periode dat weinig vogels aanwezig zijn. - Topper: geen effecten mits uitvoering niet in december-februari, of tijdens langdurige vorst.
		verandering steltlopers	<ul style="list-style-type: none"> - enige verstoring mogelijk bij baggeren tijdens springtij laagwater, maar nabij gelegen platen maar beperkt van belang voor steltlopers vanwege de korte droogvalduur. - geen effecten in gebruiksfase.
		verandering vissen	<ul style="list-style-type: none"> - geen effecten, want maar zeer beperkte effecten op verzoeting en zoetwaterbel komt eerder minder ver Boontjes in dan verder.
		verandering overige habitatoorten	<ul style="list-style-type: none"> - geen significante effecten, hooguit zeer beperkte toename van verstoring tijdens uitvoering.
		verandering habitatypen	<ul style="list-style-type: none"> - geen effecten van gebruiksfase - beperkt negatieve effecten a.g.v. vertroebeling bij uitvoering juni - half juli, maar zeker niet significant, - geen negatieve effecten bij uitvoering oktober - december.
Flora- en faunawet	aantasting leefgebied, verstoring/verontrusting, vangen/doden	zwaar/ middelzwaar beschermde soorten	<ul style="list-style-type: none"> - Bruinvis enige relevante beschermde soort, maar gebied is van marginaal belang voor deze soort en additionele verstoring gering. Geen overtreding verbodsbepalingen.
		jaarrond beschermde vogels	Niet aanwezig.
		broedvogels (in broedseizoen)	Niet aanwezig.
EHS	aantasting wezenlijke waarden	openheid en getijdewerking	Niet blijvend aangetast.
Kaderrichtlijn Water	benutting ecologische kansen voor natuurlijke kenmerken en processen		<ul style="list-style-type: none"> - geringe veranderingen troebelheid met geringe effecten op primaire productie tijdens uitvoering juni - half juli heeft geen effect op de maatlatscore voor het waterlichaam. - in gebruiksfase geen effecten op maatlatscore. - stimuleren kweldervorming bij Kornwerderzand positief voor maatlatscore, maar in absolute zin beperkt

CONCEPT

9. LITERATUURLIJST

- Aarts et al 2008 Trendinformatie en referentiewaarden voor Nederlandse kustvogels.
- Alkyon 2010 Tijdelijke effecten van zoutwinning op de ecologische waarden in de Waddenzee.
- Arcadis 2011 Passende Beoordeling Baggeren en verspreiding van baggerspecie Waddenzee.
- Berk et al 2000 Sterfte onder Eidereenden in de Waddenzee 1999-2000.
- Brinkman et al 2007 Voedseleecologie van een zestal schelpendieretende vogels.
- Dankers et al 2010 De ontwikkeling van een niet beviste sublittorale mosselbank.
- De Jong, M.L., C.J. Smit & M. Leopold 2009. Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppereenden en Zee-eenden in de winter van 2008-2009 in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. IMARES rapport 08/09, IMARES Texel.
- De Jong, M.L., C.J. Smit & M. Leopold 2009. Aantallen en verspreiding van Eiders, Toppereenden en Zee-eenden in de winter van 2009-2010 in de Waddenzee en de Noordzeekustzone. IMARES rapport C160/10, IMARES Texel.
- De Jonge 1997 High remaining productivity in the Dutch western Wadden Sea despite decreasing nutrient inputs from riverine sources.
- Dekker 2011 Macrozoobenthosonderzoek MWTL, voor- en najaar 2009, Waterlichaam Waddenzee nioz-report_2011-1.
- Duyf & Van Kop 1990 Seasonal patterns of bacterial production and biomass in intertidal sediments of the western Dutch Wadden Sea.
- Ens et al 2007 Sublittorale natuurwaarden in de Waddenzee.
- Eriksson, B.K., T. van der Heide, J van de Koppel, T. Piersma, H. van der Veer & H. Olf 2010. Major changes in the ecology of the Wadden Sea: human impacts, ecosystem engineering and sediment dynamics. *Ecosystems* 13, p 752-764 Giessen.
- Goudswaard et al 2006 Bestandsschatting en stabiliteit sublittorale mosselen in westelijke Waddenzee TechRep.
- Groenewold & Dankers Ecoslib de ecologische rol van slib.
- Hommersom et al 2009 Spatial and temporal variability in bio-optical properties of the Wadden Sea.
- Jansen, J., M. van Stralen & C. van Zweeden 2009. Inventarisatie van het sublittorale wilde mosselbestand in de westelijke Waddenzee in het voorjaar van 2009. Imares rapport C050/09, Yerseke.
- Jonker, S. & M. Menken 2008. Voortoets bestaand gebruik Waddenzee, m.u.v. militaire activiteiten. RWS Waterdienst/Noord.

Kater et al 2010 tijdelijke effecten van zoutwinning op de ecologische waarden in de Waddenzee - o.a. Boontjes.

Katwijk, M.M. van, D.C.R. Hermus, D.J. de Jong, R.M. Asmus & V.N. de Jonge 1999. Habitat suitability of the Wadden Sea for restoration of *Zostera marina* beds. Helgoland Marine Research 54, p117-128.

Koffijberg et al 2003, High tide roosts in the Wadden Sea. Wadden Sea Plan Project 34, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany.

Kuipers & Van Noort 2008 Towards a natural Wadden Sea.

De Vlas, J., K. Borrius & A. Nicola 2010. Uitwerking doelen natura 2000-gebied Waddenzee – eindconcept 13 april 2010. Rijkswaterstaat Waterdienst/Rijkswaterstaat Noord Nederland.

Ouwerkerk, S. & V. Vuik 2011. Drempelverwijdering Boontjes: effecten op hydrodynamica en morfologie. Rapport PR2051.10.HKV lijn in water

Postma, J. E. van Winden & B. Ens 2009. relaties tussen hoogwatertellingen en aantallen foeragerende vogels op de Ballastplaat. SOVON rapport 2009/03, SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen.

Tulp et al 2006 diadrome vissen in de Waddenzee.

Raaphorst & De Jonge 2004 Reconstruction of the total N and P inputs from the IJsselmeer into the western wadden Sea between 1935-1998.

Sips, H. & C. De Leeuw, 2009. Bouwsteen thema 1: Wadbodem en waterkolom. In Natuurherstelplan Waddenzee, eds Dankers, N., V. de Jonge, A. Oost, H. Ridderinkhof en H. de Swart). Ministerie van LNV, Stuurgroep en programmteam NHP Waddenzee.

Van Stralen, M. 2009. Inventarisatie van het wilde mosselbestand in de Waddenzee in het najaar van 2009. Rapport 2009.87. Marinx onderzoek en advies, Scharendijke.

Versluys 2004 Winter-gruttos bij Harlingen.

Woters et al 2005 Success of salt marsh restoration.

BIJLAGE I RELEVANTE WET- EN REGELGEVING NATUUR

Alle ruimtelijke ingrepen in Nederland dienen, onder andere volgens de Wabo (Wet algemene bepalingen omgevingsrecht), aan de ecologische wet- en regelgeving te worden getoetst. Deze is in dit hoofdstuk kort samengevat. Voor een precieze weergave van juridisch relevante teksten raadplege men de oorspronkelijke uitgaven van de wetsteksten. De wettelijke bescherming van natuurwaarden valt in grote lijnen uiteen in twee delen: gebiedsbescherming (§ 1) en soortbescherming (§ 2).

I.1. GEBIEDSBESCHERMING

Gebiedsbescherming in Nederland is geregeld via de Natuurbeschermingswet (Natura 2000-gebieden en Beschermd Natuurmonumenten) en via regelgeving omtrent de Ecologische Hoofdstructuur en ruimtelijke ordening (bestemmingsplannen).

I.1.1. Natuurbeschermingswet en Natura 2000

Natura 2000

Natura 2000 is een netwerk van beschermde gebieden in de Europese Unie, dat wordt opgebouwd ter behoud en herstel van biodiversiteit. De Nederlandse Natura 2000-gebieden vormen een essentiële schakel in de internationale vliegroute van vele soorten trekvogels. Een aantal natuurgebieden is van bijzonder internationaal belang, zoals de Waddenzee, de duinen en de laagveenmoerassen. Voor een aantal planten- en diersoorten, die meer of minder onder druk staan, zoals de Noordse woelmuis, de Grote vuurvlieder en de Groenknolorchis heeft Nederland ook een grote internationale verantwoordelijkheid. Met de Nederlandse bijdrage aan Natura 2000 wordt voorkomen dat de natuur in Europa verder achteruitgaat. Om dit Natura 2000-netwerk in Nederland adequaat in stand te houden, te herstellen en te beschermen is het nodig om hieraan een wettelijk regime te verbinden: de Natuurbeschermingswet 1998.

Natuurbeschermingswet

De Natuurbeschermingswet 1998 is op 1 oktober 2005 in werking getreden. Daarmee verankerde Nederland de gebiedsbescherming van de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn in nationale wetgeving. De Natura 2000-gebieden die in het kader van deze richtlijnen zijn vastgesteld, worden ook wel Vogelrichtlijn- c.q. Habitatrichtlijngebieden of Speciale beschermingszones genoemd. Handelingen die deze gebieden schaden zijn verboden, tenzij de Provincie vergunning verleent. Habitatrichtlijngebieden zijn aangewezen vanwege bijzondere habitattypen en soorten. Vogelrichtlijngebieden zijn aangewezen ter bescherming van leefgebieden van bedreigde vogels en trekvogels. De soorten en habitattypen waarvoor een gebied is aangewezen, worden de 'kwalificerende waarden' genoemd.

De Natuurbeschermingswet 1998 schrijft voor dat er voor ieder Natura 2000-gebied een aanwijzingsbesluit moet worden opgesteld waarin heldere instandhoudingdoelen zijn vastgelegd. Op dit moment is nog bij veel Natura 2000-gebieden sprake van een ontwerp-aanwijzingsbesluit. Op basis daarvan worden de komende jaren beheerplannen ontwikkeld. Daarin is vastgelegd hoe habitattypen en soorten in een Natura 2000-gebied beschermd worden en welke activiteiten in en om de Natura 2000-gebieden zijn toegestaan. Voor een aantal Natura 2000-gebieden is het beheerplan gereed en is het ontwerpbesluit omgezet in een aanwijzingsbesluit.

Beschermd Natuurmonumenten

Onder de huidige Natuurbeschermingswet is het onderscheid tussen Staatsnatuurmonumenten en Beschermd Natuurmonumenten vervallen. Beide vallen onder de noemer Beschermd Natuurmonumenten. Als Beschermd Natuurmonumenten binnen Natura 2000-gebieden liggen, worden de natuurwaarden en het natuurschoon waarvoor deze gebieden onder de oude wet zijn aangewezen, opgenomen in de instandhoudingdoelstellingen van

het betreffende Natura 2000-gebied. Het oude beschermingsregime treedt terug. Handelingen in of rondom Beschermd Natuurmonumenten die buiten de Natura 2000-gebieden liggen, zijn verboden als ze schadelijk kunnen zijn voor het natuurschoon, voor de natuurwetenschappelijke betekenis of voor dieren en planten in dat gebied, of als ze het Beschermd Natuurmonument ontsieren. Dit geldt echter niet als de minister van LNV of de provincie een vergunning heeft verleend.

Externe werking

De kwaliteit van Natura 2000-gebieden is mede afhankelijk van de ruime omgeving. Als een activiteit die buiten een beschermd gebied plaats zal vinden, negatieve gevolgen kan hebben voor een Natura 2000-gebied, moet deze beoordeeld worden. Locale en regionale overheden mogen in bestemmingsplannen geen ontwikkelingen mogelijk maken die in potentie een bedreiging voor Natura 2000-gebieden inhouden. Dit geldt voor nieuwe ontwikkelingen maar in beginsel ook voor bestaand gebruik.

Activiteiten op korte afstand van een Natura 2000-gebied kunnen kwalificerende soorten in het Natura 2000-gebied verstoren of verontrusten. Ook activiteiten op grotere afstand van een Natura 2000-gebied kunnen gevolgen hebben voor Natura 2000-gebieden, zoals hydrologische effecten (bijvoorbeeld als gevolg van grote grondwateronttrekkingen) en een toename van vliegverkeer. Verstoring treedt ook op wanneer kwalificerende soorten vanuit het Natura 2000-gebied gebruik maken van de omgeving en dat gebruik door ruimtelijke ontwikkelingen minder mogelijk wordt. Een dergelijke situatie kan zich voordoen bij een soort als de Wespandief, die binnen een straal van zeven kilometer rond zijn nest foerageergebieden bezoekt. Als een Natura 2000-gebied is aangewezen als broedgebied voor deze soort, zijn hiermee ook zijn foerageergebieden rond het Natura 2000-gebied beschermd. De bescherming van Natura 2000-gebieden is dus ook buiten de gebiedsgrenzen van kracht. Dit wordt aangeduid met de term externe werking.

Toetsing volgens de Natuurbeschermingswet

Als er nieuwe activiteiten in of nabij een Natura 2000-gebied plaatsvinden, moet oriënterend onderzoek uitwijzen of er een kans is dat deze significant negatieve effecten op de instandhoudingdoelen van de Natura 2000-gebieden hebben. Deze oriëntatie is de Voortoets. Er zijn drie uitkomsten daarvan mogelijk (ministerie van LNV 2005):

- 1 er is zeker geen negatief effect. Dit betekent dat er geen vergunning op grond van de Natuurbeschermingswet 1998 nodig is;
- 2 er is wel een mogelijk negatief effect, maar dit is zeker geen significant negatief effect. Dit betekent dat een vergunning moet worden aangevraagd die vergezeld moet gaan van de zogenaamde Verslechterings- en verstoringtoets;
- 3 er is een kans op een significant negatief effect. Dan moet een vergunningsprocedure worden gevolgd die vergezeld moet gaan van een Passende beoordeling. Hiervoor is onderzoek nodig op basis van de beste wetenschappelijke kennis ter zake. Als op grond hiervan wederom blijkt dat niet valt uit te sluiten dat het plan significante gevolgen heeft voor het gebied, kan de provincie slechts een vergunning verlenen als voldaan wordt aan de zogenaamde 'ADC-criteria'. Dat wil zeggen dat er geen alternatieven (A) voor het plan zijn, er een dwingende reden van groot openbaar belang (D) met het plan is gemoeid en vóór de ingreep compensatie van natuurwaarden (C) is gerealiseerd.

In een korte natuurtoets of quickscan is meestal de Voortoets opgenomen in de teksten over gebiedsbescherming. Een Verslechterings- en verstoringtoets of een Passende beoordeling valt buiten de reikwijdte van een quickscan.

1.1.2. Overige vormen van gebiedsbescherming

De Ecologische hoofdstructuur (EHS) is onderdeel van het rijksbeleid voor een netwerk van natuurgebieden door Nederland. De provincies zijn verantwoordelijk voor een invulling van de EHS is een provinciale EHS. Waar de grenzen nog globaal zijn vastgesteld, moeten onomkeerbare ingrepen voorkomen worden. Na vaststelling van de exacte grenzen zijn ruimtelijke ingrepen binnen de EHS niet toegestaan, indien deze leiden tot aantasting van de wezenlijke waarden van het gebied. In uitzonderingsgevallen kan de provincie de natuurwaarden en functies van het EHS-gebied laten wijken voor andere functies van groot maatschappelijk belang. De initiatiefnemer dient deze belangen en mogelijke alternatieven uitgebreid te motiveren. Daarnaast dienen compenserende dan wel mitigerende maatregelen te worden uitgevoerd (ministerie van LNV 2003).

Op provinciaal niveau kan regelgeving zijn ontwikkeld om in weidegebieden mogelijkheden te creëren voor een extra bescherming van foeragerende watervogels tijdens de winter en weidevogels. Zo kunnen gebieden zijn aangewezen als ganzenfoerageergebied en/of weidevogelgebied. De bescherming van de overige natuurgebieden is veelal geregeld in bestemmingsplannen die zijn opgesteld krachtens de Wet op de Ruimtelijke Ordening.

1.2. SOORTBESCHERMING

1.2.1. Flora- en faunawet

In de Flora- en faunawet is de bescherming geregeld van soorten die in die wet zijn genoemd. Deze soorten zijn ingedeeld in beschermingscategorieën (Besluit vrijstelling beschermde dier- en plantensoorten). Daarnaast geldt voor alle in het wild levende dieren en planten en hun directe leefomgeving de 'zorgplicht'. Vanaf 26 augustus 2009 geldt een gewijzigde aanpak betreffende de beoordeling van ontheffingsaanvragen.

Zorgplicht

De zorgplicht houdt in dat iedereen dient te voorkomen dat zijn handelen nadelige gevolgen voor flora en fauna heeft. Als dat niet mogelijk is, dienen die gevolgen zoveel mogelijk beperkt of ongedaan gemaakt te worden (artikel 2). De zorgplicht geldt altijd, zowel voor beschermde als onbeschermde soorten. Bij overtreding zijn er overigens geen sancties.

Beschermde soorten

In de Flora- en faunawet heeft de overheid van nature in Nederland voorkomende planten- en diersoorten aangewezen die beschermd moeten worden. Ook de beschermde soorten onder de Europese richtlijnen (Habitatrichtlijn en Vogelrichtlijn) zijn hierin opgenomen. De bescherming houdt in dat het verboden is om beschermde, inheemse planten te beschadigen (artikel 8). Het is ook verboden om beschermde, inheemse dieren te doden, verontrusten, dan wel hun nesten, holen of andere voortplantings- of vaste rust- of verblijfplaatsen te beschadigen, te vernielen, uit te halen of te verstoren (artikelen 9 tot en met 12).

Zorgvuldig handelen

'Zorgvuldig handelen' (artikelen 2b, 2c, 2d en 16c AMvB) gaat verder dan het voldoen aan de zorgplicht. Dit begrip is gekoppeld aan de beschermde soorten waarvoor ontheffing kan worden aangevraagd. Niet-zorgvuldig handelen is strafbaar. Zorgvuldig handelen, vereist altijd een inspanning om te overzien wat de beoogde ingreep teweeg zal brengen. Een initiatiefnemer moet bijvoorbeeld altijd vooraf inventariseren welke beschermde, niet-vrijgestelde soorten aanwezig zijn in een gebied waar een ingreep is gepland. Ook moet hij in redelijkheid alles doen of laten om te voorkomen, of zoveel mogelijk te beperken, dat de artikelen 8-12 van de Flora- en faunawet worden overtreden. De eerste stap daartoe is een goede planning, bijvoorbeeld om verstoring van dieren in de voortplantingstijd te voorkomen.

Beschermingsregimes

In 2005 is een aantal wijzigingen van Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB) bij de Flora- en faunawet in werking getreden. Hierdoor is het beschermingsregime van inheemse beschermde planten en dieren vastgelegd. Er zijn vier beschermingscategorieën, namelijk voor de soorten in tabel 1, 2 en 3 en de vogels. De indeling van de soorten is bepaald door de zeldzaamheid of de mate van bedreiging van soorten in Nederland, waarbij ook de aangewezen onder de Habitatrichtlijn zijn ingepast. Het gaat om de volgende beschermingscategorieën en de beoordeling voor projecten in het kader van ruimtelijke ontwikkeling:

- 1 licht beschermde soorten van tabel 1. Voor deze soorten geldt een algehele vrijstelling.
- 2 middelzwaar beschermde soorten van tabel 2. Dit zijn soorten waarvoor bij ruimtelijke ontwikkeling vrijstelling mogelijk is, mits aantoonbaar wordt gewerkt conform een door LNV goedgekeurde gedragscode.
- 3 zwaar beschermde soorten van tabel 3. Bij verstoring daarvan kan een ontheffing nodig zijn.
- 4 vogels.

Een ontheffing is een toestemming om in een bepaald geval af te kunnen wijken van een of meer verbodsbepalingen, zoals deze zijn vastgelegd in de artikelen 8 t/m 13 van de Flora- en faunawet.

Tabel 1

Deze tabel bevat licht beschermde, algemeen voorkomende planten- en diersoorten, zoals Zwanenbloem, Bruine kikker, Bosmuis, Bunzing en Egel. De wetgever gaat ervan uit dat verlening van vrijstelling voor deze soorten geen afbreuk doet aan hun huidige, gunstige staat van instandhouding. Bij ruimtelijke ontwikkeling hoeft voor de verstoring van deze soorten geen ontheffing te worden aangevraagd. Uiteraard geldt wél de zorgplicht (zie hiervoor).

Tabel 2

De tweede categorie betreft middelzwaar beschermde soorten. Hieronder is beschreven hoe met verstoring van deze soorten moet worden omgegaan bij gebruik van een gedragscode en zonder het gebruik daarvan.

Wanneer de beoogde werkzaamheden worden uitgevoerd volgens een gedragscode, hoeft voor de verstoring van soorten van tabel 2 geen ontheffing te worden aangevraagd. De gedragscode vermeldt hoe bij het uitvoeren van de werkzaamheden schade aan planten en dieren en hun verblijfplaatsen kan worden voorkomen of zoveel mogelijk wordt beperkt. De gedragscode die voor vrijstelling is vereist, moet goedgekeurd zijn door LNV en van toepassing zijn op de beoogde activiteit. Op de site van LNV zijn alle goedgekeurde gedragscodes beschikbaar die door verscheidene brancheorganisaties zijn opgesteld. Er moet aantoonbaar volgens de gedragscode worden gewerkt om te voldoen aan de bewijslast. Dit betekent dat de werkprocessen gedocumenteerd moeten worden.

Als er geen gedragscode wordt gebruikt bij de uitvoering van de beoogde werkzaamheden, moet bij overtreding van de artikelen 8-12 een ontheffing worden aangevraagd. De toetsing die dan plaatsvindt, betreft een 'lichte toets'. Hierbij wordt getoetst of de activiteiten de gunstige staat van instandhouding van een soort in gevaar brengen. Deze toets vereist dat er inzicht moet zijn in de betekenis van het plangebied als leefgebied voor de soort in relatie tot de omliggende populaties. Als dat inzicht niet bestaat, dient daar onderzoek naar plaats te vinden (omgevingscheck). Dat kan betekenen dat ook onderzoek buiten het plangebied nodig is.

De aanvraag wordt beoordeeld aan de hand van de volgende criteria:

- in welke mate wordt de functionaliteit van de vaste voortplantings-, rust- en/of verblijfplaats aangetast door uw activiteiten?
- komt de gunstige staat van instandhouding niet in gevaar?

Indien kan worden aangetoond dat de functionaliteit van de voortplantings- en/of vaste rust- en verblijfplaatsen van een soort wordt gegarandeerd, hoeft er bij een ruimtelijke ontwikkeling geen ontheffing te worden aangevraagd ten aanzien van soorten uit tabel 2. Dat betekent vrijwel altijd dat, aantoonbaar opgenomen in de plannen, voldoende mitigerende en/of compenserende maatregelen worden uitgevoerd. Is die garantie niet te geven (bijvoorbeeld doordat de mitigerende maatregelen mogelijk niet afdoende zijn), dan moet alsnog via een ontheffingsaanvraag aan LNV worden gevraagd om te bepalen of een ontheffing nodig is.

Tabel 3

Dit betreft zwaar beschermde soorten. Deze tabel bevat de soorten die zijn vermeld in Bijlage 1 Besluit vrijstelling beschermde dier- en plantensoorten en de soorten die zijn vermeld in Bijlage IV van de Habitatrichtlijn. Wanneer ten aanzien van een of meer soorten uit Bijlage 1 of Bijlage IV verbodsbepalingen worden overtreden door een ruimtelijke ontwikkeling, kan een ontheffingsaanvraag nodig zijn, die wordt getoetst aan de volgende criteria:

- in welke mate wordt de functionaliteit van de vaste voortplantings-, rust- en/of verblijfplaats aangetast door de activiteiten?
- komt de gunstige staat van instandhouding niet in gevaar?
- is er een wettelijk belang?
- is er een andere bevredigende oplossing?

Voor een ontheffing moet aan alle criteria zijn voldaan.

Voor de Bijlage 1-soorten van tabel 3 kan ontheffing worden aangevraagd op grond van de belangen die in het Besluit vrijstelling beschermde dier- en plantensoorten zijn genoemd. Bij een ruimtelijke ingreep kan het om de volgende belangen gaan:

- bescherming van flora en fauna;
- volksgezondheid of openbare veiligheid;
- dwingende reden van openbaar belang, met inbegrip van redenen van sociale of economische aard, en voor milieu, wezenlijk gunstige effecten;
- uitvoering van werkzaamheden in het kader van ruimtelijke inrichting of ontwikkeling.

Voor de Bijlage IV-soorten van tabel 3 geldt dat er alleen vrijstelling mogelijk is op grond van de wettelijke belangen die in de Habitatrichtlijn zijn genoemd. Deze zijn:

- bescherming van flora en fauna;
- volksgezondheid of openbare veiligheid;
- dwingende reden van openbaar belang, met inbegrip van redenen van sociale of economische aard, en voor milieu, wezenlijk gunstige effecten.

Het belang van een ruimtelijke ontwikkeling geldt voor deze soorten dus niet.

Indien kan worden aangetoond dat de functionaliteit van de voortplantings- en/of vaste rust- en verblijfplaatsen van een soort wordt gegarandeerd, hoeft er bij een ruimtelijke ontwikkeling geen ontheffing te worden aangevraagd ten aanzien van soorten uit tabel 3. Dat betekent vrijwel altijd dat, aantoonbaar opgenomen in de plannen, voldoende mitigerende en/of compenserende maatregelen worden uitgevoerd. Is die garantie niet te geven (bijvoorbeeld doordat de mitigerende maatregelen mogelijk niet afdoende zijn), dan moet alsnog via een ontheffingsaanvraag aan LNV worden gevraagd om te bepalen of een ontheffing nodig is.

Vogels

Tijdens werkzaamheden moet rekening worden gehouden met de broedperiode van vogels. De Flora- en faunawet kent geen standaardperiode voor het broedseizoen, maar van veel vogelsoorten is bekend dat de broedperiode ligt tussen half maart en half juli. Het is voor de wet van belang of broedgevallen aanwezig zijn die door de werkzaamheden kunnen worden verstoord. De meeste soorten zijn elk broedseizoen in staat om een nieuw nest te maken. Deze vogelnesten voor eenmalig gebruik vallen alleen tijdens de broedperiode onder bescherming van artikel 11 van de Flora- en faunawet. Voor versturende werkzaamheden buiten de broedperiode is dus geen ontheffing nodig. Er is evenmin ontheffing nodig voor het nemen van maatregelen vooraf aan de broedperiode, die de vestiging van vogels voorkomen. Ontstaan er binnen of nabij het plangebied toch nesten die kunnen worden verstoord, dan dienen de werkzaamheden te worden gestaakt tot na de broedperiode.

Verblijfplaatsen van vogels die hun verblijfplaats het gehele jaar gebruiken, zijn jaarrond beschermd. Er is in augustus 2009 door LNV een indicatieve lijst gepubliceerd van jaarrond beschermde vogelnesten, waarin vijf categorieën zijn te onderscheiden. Daarin zijn bijvoorbeeld Gierzwaluw, Kerkuil, Ransuil, Roek en Sperwer opgenomen. Eén van de categorieën betreft soorten die geen jaarrond beschermde verblijfplaats hebben, maar wel vaak terugkeren naar de locatie waar zij het vorige jaar gebroed hebben. Dat geldt bijvoorbeeld voor zwaluw- en spechtsoorten.

Indien kan worden aangetoond dat de functionaliteit van de voortplantings- en/of vaste rust- en verblijfplaatsen van de vogelsoorten op bovengenoemde lijst wordt gegarandeerd, hoeft er bij een verstoring geen ontheffing te worden aangevraagd. Dat betekent vrijwel altijd dat er een omgevingscheck van belang is om te kunnen bepalen of nabij het plangebied voldoende leefruimte beschikbaar is. Een deskundige bepaalt dan of er voldoende gelegenheid is voor de soort om zelfstandig een vervangend nest te vinden in de omgeving. Is dit niet het geval, dan moet, voor zover mogelijk, een alternatief nest worden geboden. Is dat ook niet mogelijk, dan moet ontheffing worden aangevraagd.

Voor vogels geldt dat alleen ontheffing kan worden verkregen op grond van een wettelijk belang uit de Vogelrichtlijn. Deze belangen zijn:

- bescherming van flora en fauna;
- veiligheid van het luchtverkeer;
- volksgezondheid of openbare veiligheid.

Het belang van een ruimtelijke ontwikkeling geldt voor deze soorten dus niet.

I.2.2. Rode Lijsten

Nederland heeft voor een aantal bedreigde en kwetsbare planten- en diergroepen Rode Lijsten samengesteld. De doelstelling van de Rode Lijst is het bieden van duurzame bescherming aan een soort en zijn leefgebied. De Rode Lijst bestaat uit Nederlandse soorten die vanwege hun aantalverloop of kwetsbaarheid speciale aandacht nodig hebben om hun voorkomen in ons land veilig te stellen. Hoewel de Rode Lijsten officieel door het ministerie van LNV zijn vastgesteld, hebben ze geen juridische status. Wel verwacht het ministerie van LNV van de verschillende overheden en terreinbeherende organisaties dat zij bij beleid en beheer rekening houden met de Rode Lijsten. Een aantal Rode-Lijstsoorten is ondergebracht in de Flora- en faunawet. Op 26 augustus 2009 zijn wijzigingen uitgevoerd in de soortenlijsten van de Rode Lijst.

I.3. ECOLOGISCHE BEOORDELING

Bij een ecologische beoordeling dient onderzocht te worden of de beoogde plannen een bedreiging vormen voor beschermde (natuur)gebieden in de regio en/of beschermde soorten.

Gebiedsbescherming

Ten aanzien van gebiedsbescherming komen de volgende vragen aan de orde:

- 1 liggen er beschermde (natuur)gebieden in het plangebied of nabije omgeving?
- 2 heeft de activiteit mogelijk (significant) negatieve gevolgen voor de beschermde gebieden?
- 3 zijn die gevolgen te voorkomen?
- 4 welke consequenties heeft dat voor de plannen (conclusies)?

Binnen de Natuurbeschermingswet vormen de eerste drie vragen de zogenaamde 'Voor-toets'.

Er wordt gebruik gemaakt van websites van LNV en de provincie om te bepalen waar de grenzen liggen van beschermde gebieden. Op de website van LNV zijn de gegevens beschikbaar van alle Natura 2000-gebieden, zoals het (ontwerp)aanwijzingsbesluit met de in-standhoudingdoelen en begrenzing.

Soortbescherming

Ten aanzien van soortbescherming komen de volgende vragen aan de orde:

- 1 komen in het plangebied beschermde en kritische soorten en vegetaties voor?
- 2 zo ja, worden deze bij realisatie van het plan geschaad en kan dat voorkomen worden?
- 3 zijn er vanuit de wet- en regelgeving bezwaren tegen de plannen?

Relevante soorten en vegetaties

Voor de eerste stap zijn overzichtswerken, websites en andere bronnen geraadpleegd en is veldonderzoek uitgevoerd. Daarbij is vaak ook informatie van derden betrokken. Er is daarbij vooral gelet op soorten die in het kader van de Flora- en faunawet en de Natuurbeschermingswet zijn beschermd, soorten die zijn opgenomen in de Rode Lijst en soorten die een indicatie geven van bepaalde ecologische kwaliteiten van het plangebied.

Bronnen

Voor de ecologische beoordeling wordt per soortgroep gebruik gemaakt van de meest recente informatiebronnen over de verspreiding van soorten in Nederland. Er wordt is in een aantal overzichtswerken en op betrouwbare websites nagegaan welke bijzondere en beschermde planten- en diersoorten er in (de ruime omgeving van) het betreffende plangebied voorkomen.

Veldonderzoek

De natuurwaarden worden eveneens onderzocht aan de hand van een veldbezoek. Hierbij wordt gelet op (sporen van) de aanwezigheid van beschermde en kwetsbare soorten in het plangebied. Daarnaast wordt beoordeeld voor welke beschermde soorten (die in de omgeving kunnen voorkomen) de ecologische randvoorwaarden in het plangebied aanwezig zijn. Het veldonderzoek is tevens van belang om een inschatting te kunnen maken van effecten die samenhangen met de beoogde activiteiten tijdens en na voltooiing van de werkzaamheden.

Effecten en beoordeling

Na de beschrijving van de relevante soorten die in en nabij het plangebied voorkomen, volgt een overzicht van de te verwachten effecten van de ingreep op de ecologische kwaliteiten van het plangebied. Deze verstoringen kunnen verder reiken dan de grenzen van het plangebied. We maken hier volgens de voorschriften van LNV in Werken aan Natura 2000 (ministerie van LNV 2004) onderscheid in vijf soorten effecten, onder te verdelen in kwantitatieve effecten (winst of verlies van habitats), kwalitatieve effecten (chemische effecten, fysieke effecten en verstoring) en achteruitgang in ruimtelijke samenhang (versnippering). Het gaat in alle gevallen om effecten die een verstoring veroorzaken van de (beschermde) soorten en van de functionaliteit van hun leefgebied.

De beoordeling vindt plaats aan de hand van de natuurwetgeving (Natuurbeschermingswet, Flora- en faunawet en Wet Ruimtelijke Ordening (i.c. Ecologische Hoofdstructuur). Bovendien kan een beoordeling nodig zijn ten aanzien van provinciale regelgeving, zoals betreffende ganzenfoerageergebied en weidevogelgebied. Het kan nodig zijn dat de initiatiefnemer contact opneemt met de provincie wanneer effecten op kunnen treden ten aanzien van ganzenfoerageergebied en weidevogels. Indien negatieve effecten kunnen optreden ten aanzien van de instandhoudingdoelen van een Natura 2000-gebied of een Beschermd Natuurmonument, kan het nodig zijn om een vergunning volgens de Natuurbeschermingswet aan te vragen.

Wanneer verbodsbepalingen uit de Flora- en faunawet kunnen worden overtreden, dienen mitigerende en/of compenserende maatregelen in de plannen te worden opgenomen. Wanneer door dergelijke maatregelen de functionaliteit van het leefgebied gegarandeerd is, is er geen ontheffing nodig (§ 2.1).

BIJLAGE II INSTANDHOUDINGSDOELSTELLINGEN WADDENZEE

		SVI Landelijk	Doelst. Opp.vl.	Doelst. Kwal.	Doelst. Pop.	Draagkracht # vogels	Draagkracht # paren	Kernopgaven
Habitattypen								
H1110A	Permanent overstroomde zandbanken (getijdengebied)	-	=	>				1.03,W
H1140A	Slik- en zandplaten (getijdengebied)	-	=	>				1.10,W
H1310A	Zilte pionierbegroeiingen (zeekraal)	-	=	=				
H1310B	Zilte pionierbegroeiingen (zeevetmuur)	+	=	=				
H1320	Slijmgrasvelden	--	=	=				
H1330A	Schorren en zilte graslanden (buitendijks)	-	=	>				1.16,W
H1330B	Schorren en zilte graslanden (binnendijks)	-	=	=				
H2110	Embryonale duinen	+	=	=				1.13
H2120	Witte duinen	-	=	=				
H2130A	*Grijze duinen (kalkrijk)		=	=				
H2130B	*Grijze duinen (kalkarm)	--	=	>				
H2160	Duindoornstruwelen	+	=	=				
H2190B	Vochtige duinvalleien (kalkrijk)	-	=	=				
Habitatsoorten								
H1014	Nauwe korfslak	-	=	=	=			
H1095	Zeeprik	-	=	=	>			
H1099	Rivierprik	-	=	=	>			1.07,W
H1103	Fint	--	=	=	>			1.09,W
H1364	Grijze zeehond	-	=	=	=			1.11
H1365	Gewone zeehond	+	=	=	>			1.11
Broedvogels								
A137	Bontbekplevier	-	=	=			60	1.13
A195	Dwergstern	--	>	>			200	1.13
A063	Eider	--	=	>			5000	1.03,W
A191	Grote stern	--	=	=			16000	1.13
A183	Kleine Mantelmeeuw	+	=	=			19000	
A132	Kluut	-	=	>			3800	1.13
A034	Lepelaar	+	=	=			430	
A194	Noordse Stern	+	=	=			1500	
A138	Strandplevier	--	>	>			50	1.13
A193	Visdief	-	=	=			5300	1.13
A082	Blauwe Kiekendief	--	=	=			3	
A081	Bruine Kiekendief	+	=	=			30	
A222	Velduil	--	=	=			5	
Niet-broedvogels								
A017	Aalscholver	+	=	=		4200		
A048	Bergeend	+	=	=		38400		
A137	Bontbekplevier	+	=	=		1800		1.13
A149	Bonte strandloper	+	=	=		206000		1.11

		SVI Lan- delijk	Doelst. Opp.vl.	Doelst. Kwal.	Doelst. Pop.	Draag- kracht # vogels	Draag- kracht # paren	Kernopgaven
A067	Brilduiker	+	=	=		100		
A144	Drieteenstrandloper	-	=	=		3700		
A063	Eider	--	=	>		90000- 115000		1.11
A005	Fuut	-	=	=		310		
A164	Groenpootruiter	+	=	=		1900		
A070	Grote Zaagbek	--	=	=		70		
A143	Kanoet	-	=	>		44400		1.11
A132	Kluut	-	=	=		6700		1.13
A051	Krakeend	+	=	=		320		
A147	Krombekstrandloper	+	=	=		2000		
A034	Lepelaar	+	=	=		520		
A069	Middelste Zaagbek	+	=	=		150		
A054	Pijlstaart	-	=	=		5900		
A157	Rosse grutto	+	=	=		54400		1.11
A046	Rotgans	-	=	=		26400		
A130	Scholekster	--	=	>		140000- 160000		1.11
A103	Slechtvalk	+	=	=		40		
A056	Slobeend	+	=	=		750		
A050	Smient	+	=	=		33100		
A062	Toppereend	--	=	>		3100		
A162	Tureluur	-	=	=		16500		
A053	Wilde eend	+	=	=		25400		
A052	Wintertaling	-	=	=		5000		
A160	Wulp	+	=	=		96200		
A141	Zilverplevier	+	=	=		22300		
A161	Zwarte ruiter	+	=	=		1200		
A197	Zwarte Stern	--	=	=		23000		
A045	Brandgans	+	=	=		36800		
A140	Goudplevier	--	=	=		19200		
A043	Grauwe Gans	+	=	=		7000		
A156	Grutto	--	=	=		1100		
A142	Kievit	-	=	=		10800		
A037	Kleine Zwaan	-	=	=		1600		
A169	Steenloper	--	=	>		2300-3000		1.11
A039b	Toendrarietgans	+	=	=		geen		

BIJLAGE III LAAGWATERTELLINGEN VOGELS (MAART EN AUGUSTUS 2011)

[Figuur: kaartje met aantallen foeragerende vogels uit waarnemingen maart en augustus 2011, per boei, op 500 m en > 500 m afstand van het midden van de geul.]{in voorbereiding]

