

PROGRAMMA NAAR EEN RIJKE WADDENZEE



WAD VEERKRACHTIG!

Toelaten getij in Polder Wassenaar

Verkenning naar de haalbaarheid van een waterinlaat



Inhoudsopgave

1	ACHTERGROND	5
1.1	Introductie	5
1.2	Doel	6
1.3	Aanpak en leeswijzer	7
	1.3.1 Aanpak	7
	1.3.2 Leeswijzer	8
2	HYDROMORFOLOGISCHE BESCHRIJVING	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Gebiedsbeschrijving	9
	2.2.1 Locatie	9
	2.2.2 Bodemligging en bodemtype	10
2.3	Historische ontwikkeling bodemligging	11
	2.3.1 Robbengat	11
	2.3.2 Polder Wassenaar en intergetijdengebied	12
3	HYDRODYNAMISCHE MODELLERING	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Opzet numeriek model	14
	3.2.1 Modelbeschrijving	14
	3.2.2 Randvoorwaarden	15
	3.2.3 Modelsimulaties	16
	3.2.4 Kleppensysteem	18
	3.2.5 Baggervolumes aanleg	20
3.3	Resultaten	20
	3.3.1 Waterstanden	20
	3.3.2 Uitwisselingsvolumes	22
	3.3.3 Vermenging in- en uitstromend water	24
	3.3.4 Stroomsnelheden	24

4	MORFODYNAMISCHE MODELLERING	27
4.1	Inleiding	27
4.2	Aanslibbing Polder Wassenaar	27
4.3	Aanzanding intergetijdengebied	28
4.3.1	Modellsimulaties	28
4.4	Resultaten	29
4.4.1	L03-A, Erosie wadgeul	29
4.4.2	L03-B, Erosie drempel	30
4.4.3	L03-C, Evenwichtsprofiel	30
5	OMGEVINGSEFFECTEN	32
5.1	Inleiding	32
5.2	Zoute kwel	32
5.3	Effecten op kwelder De Volharding	34
5.4	Effecten op bestortingen Robbengat	34
6	ANTWOORDEN OP ONDERZOEKSVRAGEN	35
6.1	Inleiding	35
6.2	Onderzoeksvragen	35
6.2.1	Ontwerp	35
6.2.2	Hydrodynamica	36
6.2.3	Morfodynamica	37
6.2.4	Omgeving	37
6.2.5	Kosten	38
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	40
7.1	Conclusies	40
7.2	Aanbevelingen	41
	BIJLAGE 1: OVERZICHT MODELSIMULATIES	43
	BIJLAGE 2: WATERSTANDTIJDSERIES	50

Toelaten getij in Polder Wassenaar



Datum: 14 augustus 2020

Auteurs:

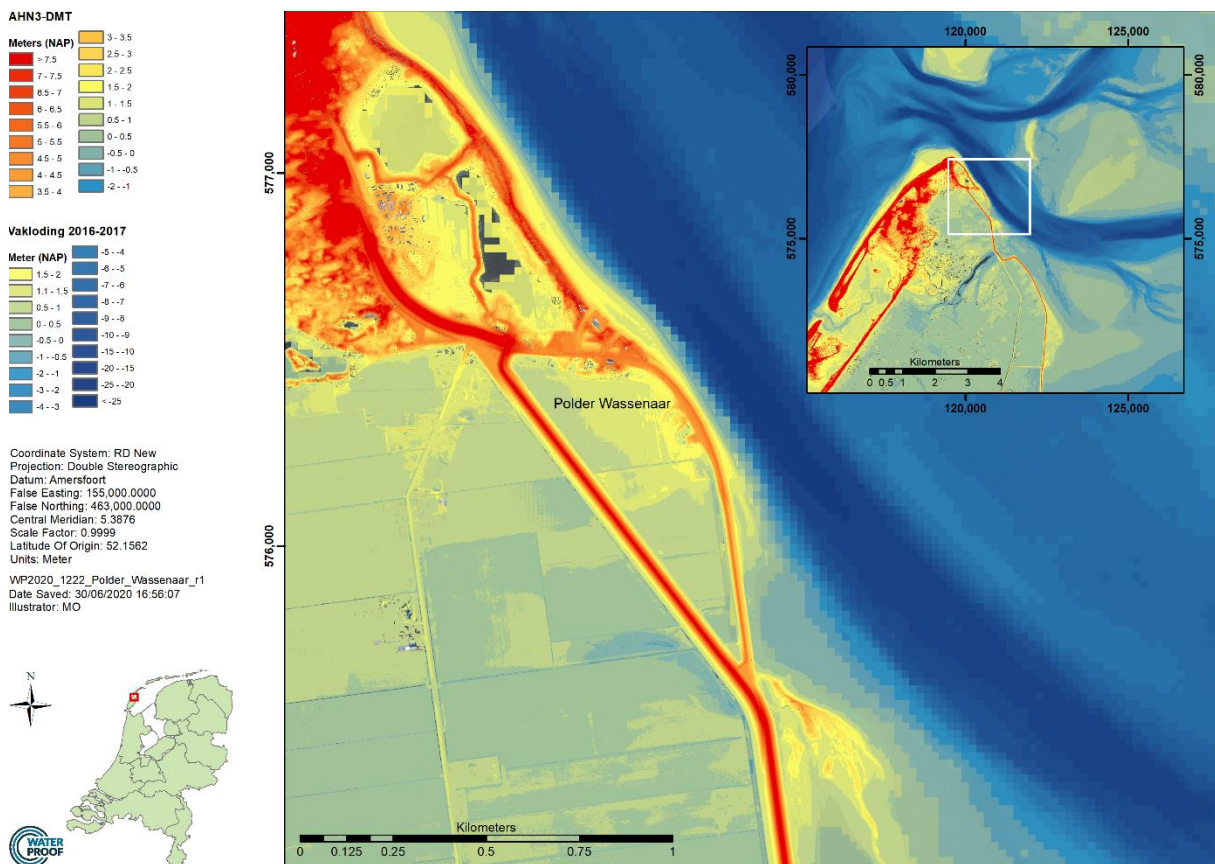
Koen van der Laan MSc

Luitze Perk MSc

1 Achtergrond

1.1 Introductie

Polder Wassenaar is een buitendijkse polder in het noordoosten van Texel, nabij De Cocksdorp. Een smalle dijk aan de oostzijde van de polder scheidt de polder van de Waddenzee; de feitelijke (primaire) waterkering ligt landinwaarts. Het gebied is in beheer van Staatsbosbeheer.



Figuur 1.1 Locatie Polder Wassenaar.

Enkele jaren geleden is het plan ontwikkeld om een deel van de polder tijdelijk te gebruiken voor onderzoek naar binnendijkse kokkelteelt, uitgevoerd door het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ), en vervolgens in te richten voor zilte natuurontwikkeling. Hiertoe is in 2015 begonnen met de aanleg van een achttal kweekbassins, die middels een hevelsysteem, onder invloed van het getij, van voedselrijk water uit de Waddenzee worden voorzien. Het NIOZ is in 2017 gestart met een eerste verkennend onderzoek.

Door onvoorziene technische problemen en de beperkte capaciteit van het hevelsysteem, is de wateraanvoer naar de kweekbassins nooit optimaal geweest (ca. 6.000 m³ per getij i.p.v. de beoogde 20.000 m³ per getij). Het NIOZ heeft hierdoor slechts een beperkt aantal proeven kunnen uitvoeren, op een kleinere schaal dan beoogd.

In opdracht van de Stichting Zilte Zone (SZZ) bekijkt het Programma naar een Rijke Waddenzee (PRW) samen met betrokken partijen en deskundigen of de wateraanvoer kan worden geoptimaliseerd voor de doorstart van het onderzoek naar binnendijkse kokkelteelt voor een periode van ca. 5 jaar. De eerste stap hiertoe is een verkenning naar de (technische) haalbaarheid en het ontwerp van een waterinlaat die voldoende debiet creëert voor een zo optimaal mogelijke teelt van aquacultures. De tweede stap is een onderzoek naar het optimaliseren van de bestaande installatie. Het PRW heeft WaterProof Marine Consultancy & Services BV. (WaterProof) gevraagd stap 1 uit te voeren.

1.2 Doel

Dit rapport beschrijft de resultaten van een verkenning naar de (technische) haalbaarheid en het ontwerp van een zo natuurlijk mogelijke en goed functionerende waterinlaat tussen de Waddenzee en Polder Wassenaar met als doel:

- Op korte termijn (1-5 jaar) voldoende debiet te kunnen garanderen voor een zo optimaal mogelijke kokkelteelt in de kweekbassins;
- Op langere termijn (> 5 jaar) zilte natuurontwikkeling mogelijk te maken na voltooiing van het onderzoek naar binnendijkse kokkelteelt.

Om dit doel te bereiken is door het PRW een Programma van Eisen (PvE) opgesteld. Hierin zijn de randvoorwaarden opgenomen waar het ontwerp aan moet voldoen. Op basis van het PvE zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld, onderverdeeld per thema:

- Ontwerp:
 - Wat zijn de optimale dimensies van de waterinlaat om te voldoen aan de vereiste watertoevoer van 20.000 m³/getij?
 - Kan er voldoende water worden geborgen voor het goed functioneren van de polder als voorraadbassin voor de kweekbassins bij alle waterstanden in de Waddenzee of zijn er aanvullende ontwerpkeuzes noodzakelijk?
 - Hoe wordt ondermijning van de dijk / waterkering / aanwezige structuren voorkomen?
- Hydrodynamica:
 - Wat is het getijgedrag in de polder, in welke mate stroomt de polder vol en wat zijn de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes?
- Morfodynamica:
 - Wat is de optimale locatie van de opening in de dijk om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de lokale hydromorfologische situatie op de aanwezige kwelder?
 - Wat zijn de te verwachten korte en lange termijn ontwikkelingen het traject van de waterinlaat en de polder met betrekking tot de hydrologie en morfologie?:
 - Hoe gaat een eventueel uitgegraven geul zich gedragen? Kiest het de kortste route?
 - Waar hoopt het sediment zich op: in de kwelder of gaat het er uit?
 - Wat is de te verwachten onderhoudslast?
 - Wat gebeurt er met de troebelheid van het water?
- Omgeving:
 - Is er een toename te verwachten van zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied?
 - Is er een effect te verwachten op de naastgelegen kwelder De Volharding van Natuurmonumenten?
 - Is er een effect te verwachten op de aanwezige bestortingen in het Robbengat?
- Kosten:
 - Wat zijn, globaal ingeschat, de kosten van aanleg en onderhoud?

1.3 Aanpak en leeswijzer

1.3.1 AANPAK

Om de gestelde onderzoeksvragen uit Paragraaf 1.2 zo efficiënt en zo goed mogelijk te kunnen beantwoorden zijn 5 stappen gedefinieerd:

1. Inventarisatie huidige situatie
2. Modelsimulaties van de waterbeweging voor enkele varianten van een waterinlaat
3. Modelsimulaties van de bodemdynamica voor de voorkeursvariant
4. Beschrijving te verwachten omgevingseffecten
5. Beantwoording onderzoeksvragen

Hieronder worden de stappen nader toegelicht.

Stap 1, inventarisatie huidige situatie

Een inventarisatie van de huidige situatie met als doel inzicht te krijgen in Polder Wassenaar als systeem. Onderdeel van de inventarisatie zijn beschrijvingen van de (hoogte)ligging van de polder en de bestaande en historische dynamiek van de polder op basis van topografische en bathymetrische data uit publieke bronnen.

Stap 2, modelsimulaties van de waterbeweging voor enkele varianten van een waterinlaat

Op basis van de kennis van de huidige situatie en het lokale hydromorfologische systeem, zijn een aantal modelvarianten opgesteld die hydrodynamisch zijn doorgerekend. Zo wordt inzicht verkregen in:

- De te verwachten waterstanden en de mate waarin de waterstanden in de polder de waterstanden buiten de polder kunnen volgen;
- De te verwachten stroomsnelheden in het gebied, de eventuele risico's voor bestaande structuren door te hoge stroomsnelheden en benodigde bodembescherming om ontgroning tegen te gaan;
- De te verwachten in- en uitstromende volumes water (uitwisselingsvolumes) in relatie tot de benodigde volumes voor binnendijkse kokkelteelt;
- De noodzaak om bij de aanleg van een waterinlaat een geultje over de voorliggende wadplaat te baggeren.

Stap 3, modelsimulaties van de bodemdynamica voor één modelvariant

De modelvariant die het beste aansluit bij de eisen uit het PvE, is ook morfologisch doorgerekend. Deze modelsimulaties geven inzicht in:

- De mate van te verwachten aanslibbing in de polder;
- De mate waarin aanzanding in het geultje over de wadplaat door de stroming kan worden weggespoeld en het geultje van nature open wil blijven;
- De richting waarin het sediment uit het geultje naartoe wordt getransporteerd (richting de polder of richting de Waddenzee).

Stap 4, beschrijving te verwachten omgevingseffecten

Met kennis van het hydromorfologische gedrag van polder bij aanleg van een waterinlaat, wordt ingegaan op de te verwachten effecten op de omgeving. Hierbij wordt ingegaan op:

- Zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied;
- Effecten op De Volharding van Natuurmonumenten en de bestortingen in het Robbengat.

Stap 5, beantwoorden onderzoeksvragen

De inzichten uit Stap 1 t/m Stap 4 worden gebruikt om antwoord te geven op de onderzoeksvragen uit Hoofdstuk 1. De onderzoeksvragen worden één voor één beantwoord, waarna een synthese volgt.

In Figuur 1.2 zijn de hierboven beschreven stappen schematisch weergegeven.



Figuur 1.2 Schematische weergave van de aanpak.

1.3.2 LEESWIJZER

Het rapport begint met een beschrijving van de hydromorfologie in en rondom de polder in Hoofdstuk 2. Hier wordt in beeld gebracht waar in het landschap de polder zich bevindt en wat de historische ontwikkeling van de bodemligging is. In Hoofdstuk 3 wordt een beschrijving gegeven van het stromingsmodel dat is opgezet voor deze verkenning en wordt inzicht gegeven in de resultaten van dit model. Hieruit wordt duidelijk wat de te verwachten waterstanden, snelheden en debieten zijn ten gevolge van de voorgestelde waterinlaat. Hoofdstuk 4 gaat vervolgens in op de morfodynamische doorrekening van het voorkeursalternatief. Zo wordt inzicht verkregen in de hoeveelheid aanslibbing die in de polder verwacht wordt en de mate waarin het geultje op de wadplaat van nature open kan blijven. In Hoofdstuk 5 worden de inzichten uit de eerdere hoofdstukken samengebracht en wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvragen uit Hoofdstuk 1. Tot slot volgen in Hoofdstuk 6 de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

2 Hydromorfologische beschrijving

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de historische ontwikkeling en de huidige situatie van het projectgebied omschreven. Dit omvat een gebiedsomschrijving en een beschrijving van de historische ontwikkeling van de bodemligging.

2.2 Gebiedsbeschrijving

2.2.1 LOCATIE

Polder Wassenaar is een buitendijkse polder met een oppervlakte van ca. 24 ha in het noordoosten van Texel, nabij De Cocksdorp. Een smalle dijk scheidt de polder van de Waddenzee; de feitelijke waterkering ligt landinwaarts. Figuur 2.1 toont enkele foto's van het veldbezoek dat wij op 3 juni 2020 aan Polder Wassenaar hebben gebracht.



Figuur 2.1 Enkele foto's van het veldbezoek aan Polder Wassenaar. Linksboven: zicht op het zuidelijke deel van Polder Wassenaar met links de Waddenzee en rechts de polder. Rechtsboven: de uitgang van het hevelsysteem: bij opgaand tij stroomt het water via dit hevelsysteem van de Waddenzee naar de kweekbassins. Linksonder: de hoogwaterbuffer aan de westzijde van de kweekbassins. Rechtsonder: één van de kweekbassins (raceways) waarin de kokkelteelt plaatsvindt.

2.2.2 BODEMLIGGING EN BODEMTYPE

In Figuur 1.1 is de huidige bodemligging in en rondom Polder Wassenaar weergegeven, gebaseerd op het AHN3 (2016) en de meest recente Vaklodings data (2017). Hieruit kan worden afgeleid dat het laagst gelegen deel van de polder zich in het zuiden bevindt, met een hoogte tussen NAP+0.50 m en NAP+0.65 m. Het maaiveld loopt geleidelijk op richting het noorden tot een hoogte van ca. NAP+1.30 m. In het uiterste noorden is een klein duinlandschap zichtbaar met hoogtes tot NAP+5 m. Binnen de polder zijn enkele slootjes aanwezig, waarvan de meest prominente gelegen is in het oosten van de polder, parallel aan de dijk die de polder scheidt van de Waddenzee.

De bodemligging voor de kust van Polder Wassenaar wordt voor een groot deel bepaald door de aanwezigheid van het Robbengat, één van de belangrijkste getijdengeulen van de Waddenzee. Dit zeegat is de zuidelijkste van twee getijdengeulen die overgaan in het Eierlandse Gat, dat ten noorden van Texel de verbinding vormt tussen de Noordzee en de Waddenzee. Het Robbengat is tot ca. 1.2 km breed en bestaat uit een noordelijke en een zuidelijke geul, waarvan de zuidelijkste het diepst is (tot NAP-18 m). Het noordoostelijke deel van Polder Wassenaar grenst aan deze getijdengeul, waardoor het intergetijdengebied hier relatief smal is (30-50 m, hier gedefinieerd als het gebied tussen NAP+0.64 m, de gemiddelde hoogwaterstand, en NAP-0.76 m, de gemiddelde laagwaterstand). Het zuidelijke deel van de polder ligt verder van het Robbengat af en wordt gekenmerkt door een aanzienlijk breder intergetijdengebied (150-230 m). Een kleine wadplaat (zie Figuur 2.2) markeert de transitie tussen beide intergetijdengebieden.



Figuur 2.2 Wadplaat aan de buitendijkse kant van Polder Wassenaar.

Het uiterste noorden van de polder bestaat uit relatief zandig materiaal en wordt in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) Nederland geclassificeerd als leemarm en zwak, lemig fijn zand. Het zuiden van de polder bestaat in de basis uit ditzelfde materiaal, maar wordt gekenmerkt door een 15-40 cm dikke toplaag van zavel of klei. De bodem wordt daarmee geclassificeerd als lichte zavel. De wadplaat aan de buitendijkse kant van Polder Wassenaar is

bemonsterd tijdens een recent veldbezoek aan Polder Wassenaar. Uit een korrelgrootte-analyse blijkt dat dit zand een mediane korrelgrootte (D50) heeft van 300 µm. Dit duidt op matig grof tot zeer grof zand.

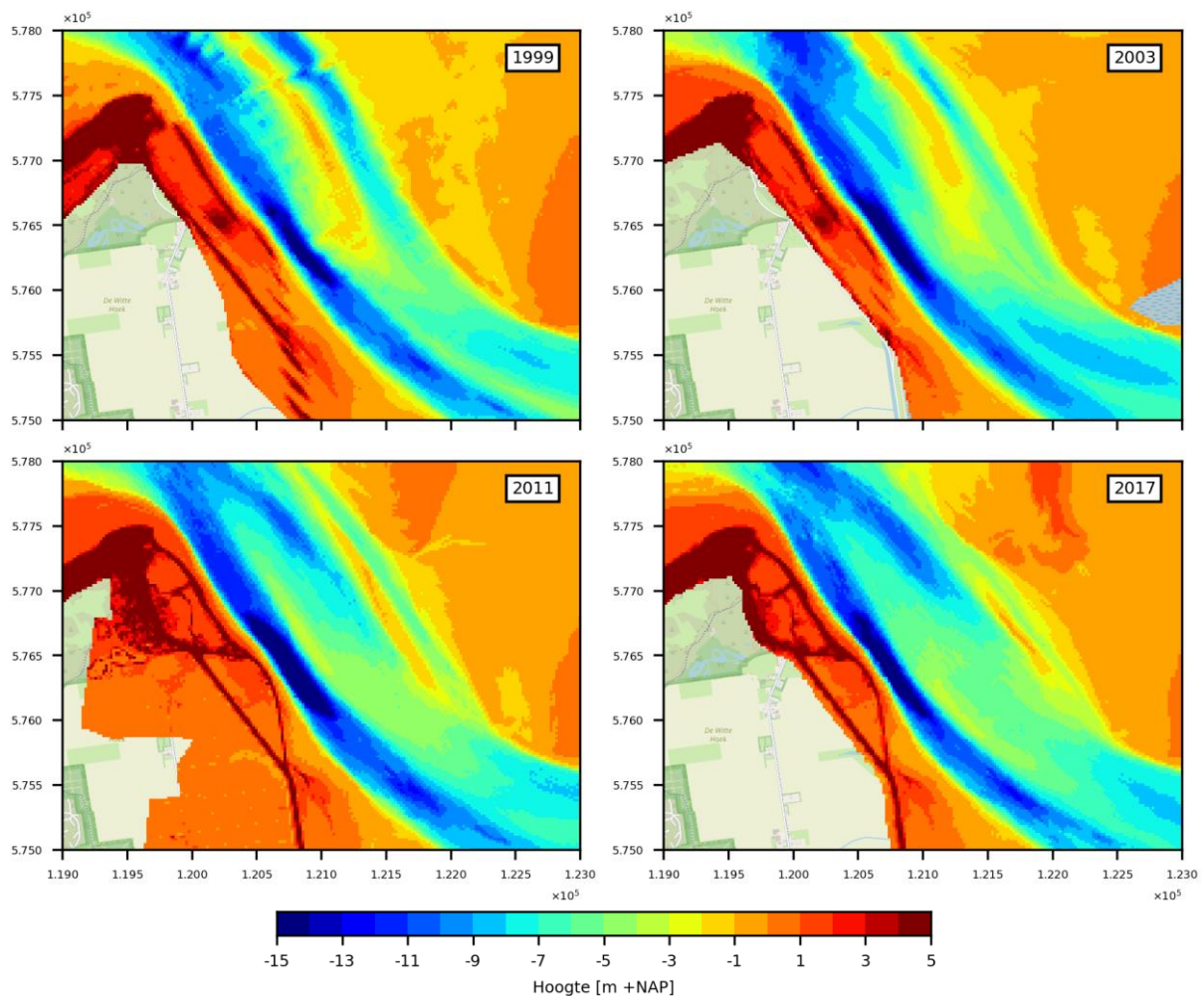
2.3 Historische ontwikkeling bodemligging

2.3.1 ROBBENGAT

Om een goed beeld te krijgen van het getijdensysteem waar Polder Wassenaar aan grenst, is het van belang inzicht te krijgen in de historische ontwikkeling van de bathymetrie. Door de veranderingen in de bathymetrie te analyseren kan worden geconcludeerd of er sprake is van een stabiel of een (zeer) dynamisch systeem. Eén van de manieren om inzicht te krijgen in de historische ontwikkeling van de bathymetrie, is middels de (openbare) vaklodingen datasets van Rijkswaterstaat. Figuur 2.3 laat de meest complete Vaklodingen zien voor de periode tussen 1999 en 2017.

Op basis van de figuur kan het volgende worden geconcludeerd:

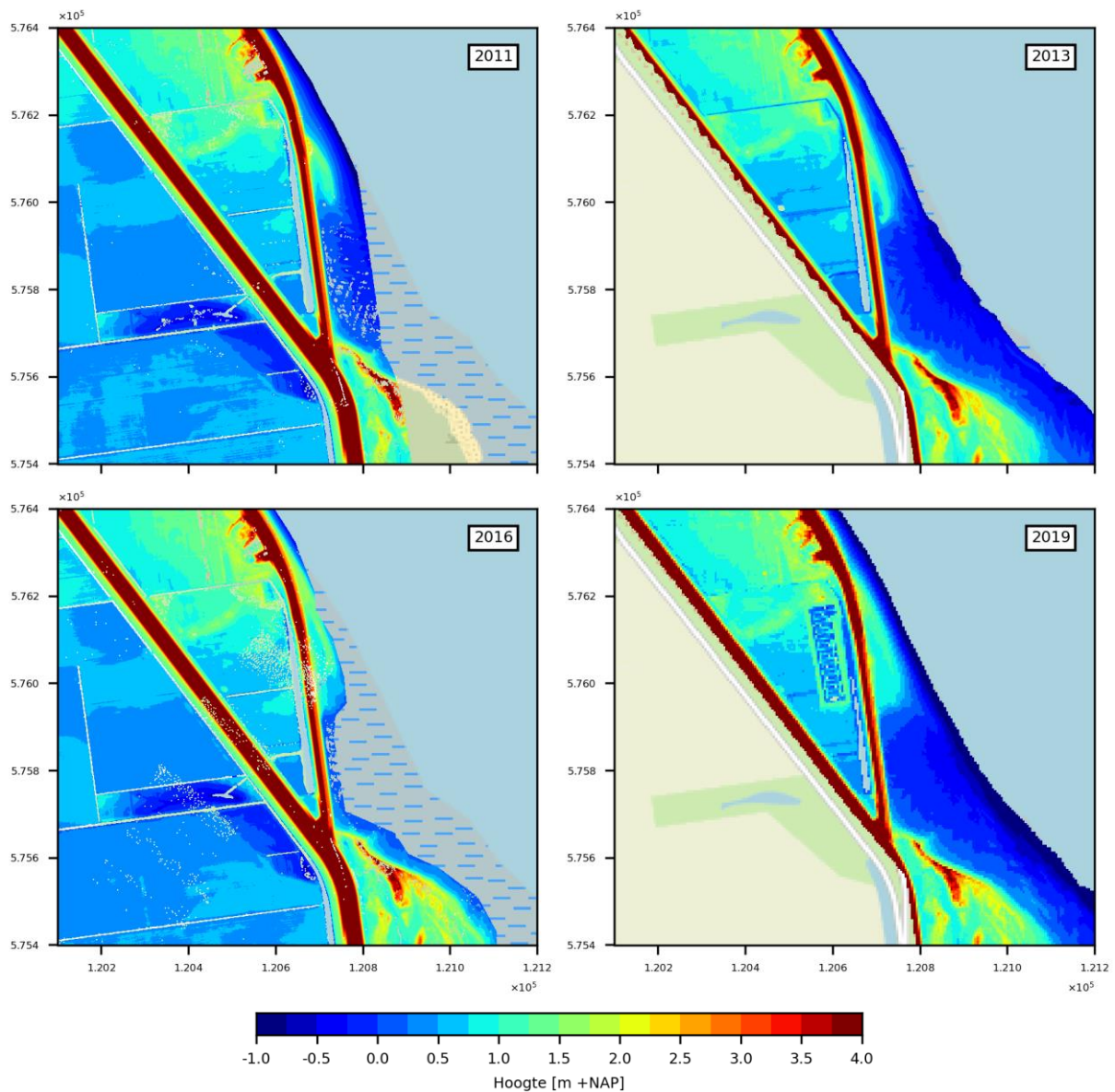
- De noordelijke geul van het Robbengat is zeer dynamisch: de locatie is sterk verweven met de noordoostelijke migratie van de zandbank die de noordelijke geul van de zuidelijke scheidt.
- De zuidelijke geul van het Robbengat migreert niet tot nauwelijks. De gefixeerde kustlijn van Texel is hier hoogstwaarschijnlijk de belangrijkste reden toe.



Figuur 2.3 Historische ontwikkeling Robbengat (1999-2017).

2.3.2 POLDER WASSENAAR EN INTERGETIJDENGEBIED

Figuur 2.4 geeft inzicht in de historische ontwikkeling van de bodemligging in Polder Wassenaar en het aanliggende intergetijdengebied (boven ca. NAP-1 m) op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (2011 en 2016) en kustmetingen van Rijkswaterstaat (2013 en 2019).



Figuur 2.4 Historische ontwikkeling bodemligging Polder Wassenaar en het aangrenzende intergetijdengebied (2011-2019).

Op basis van de figuur kan het volgende worden geconcludeerd:

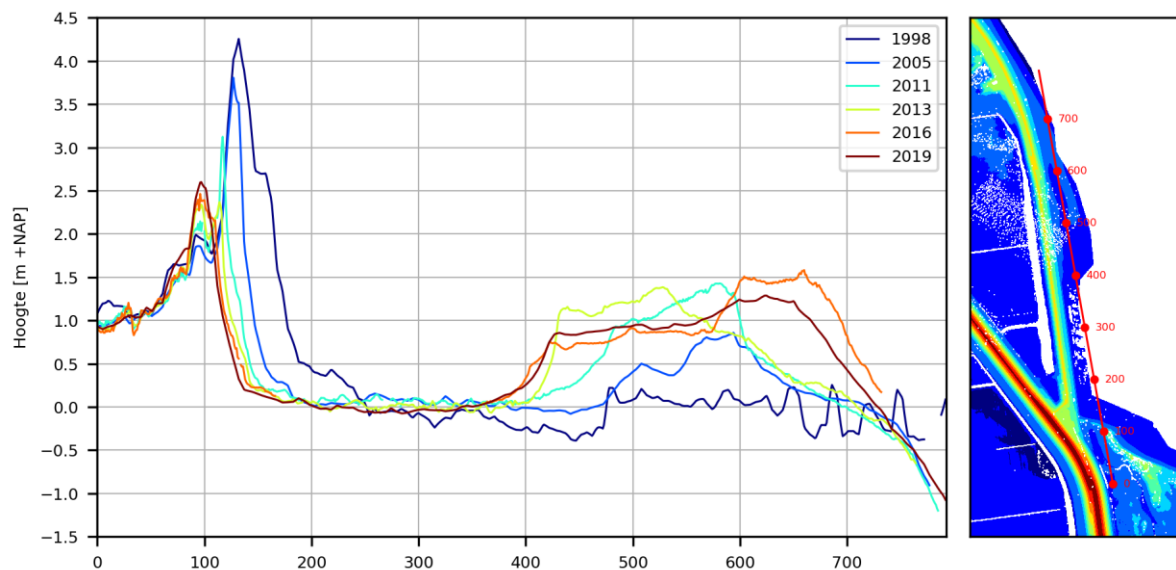
- De bodemligging in de polder ondervindt weinig tot geen verandering tussen 2011 en 2019. De plaatsing van de kweekbassins, zichtbaar in 2019, is de meest ingrijpende verandering in het tussendijkse gebied;
- Tussen de oostwaarden 120700 en 120800 en de noordwaarden 575900 en 576200 bevindt zich een wadplaat die langzaam richting het zuiden migreert. De wadplaat is zeer dynamisch en varieert in hoogte, lengte en breedte van jaar tot jaar (zie ook Figuur 2.5);

- De kwelder aan de zuidoostkant van de polder (De Volharding, in beheer van Natuurmonumenten) migreert langzaam (met enkele meters per jaar) in zuidoostelijke richting.

De zuidwaartse migratie van deze wadplaat in de periode 1998-2019 is in Figuur 2.5 weergegeven middels een dwarsdoorsnede. Uit de figuur valt het volgende op te maken:

- De wadplaat was in 1998 niet / slechts in zeer beperkte omvang op de huidige locatie aanwezig; pas in 2005 is de wadplaat voor het eerst (duidelijk) zichtbaar;
- De wadplaat migreerde tussen 2005 en 2013 met een gemiddelde snelheid van ca. 10 m/jaar naar het zuiden. Tussen 2013 en 2019 was de zuidwaartse migratie beperkter (ca 1-2 m/jaar) en neemt vooral het volume van de wadplaat toe (aangroei vooral in het noorden). Het Robbengat, waarin de wadplaat is gelegen, is waarschijnlijk de voornaamste bron van sediment.

Op basis van bovenstaande observaties is de verwachting dat de wadplaat zich ook in de komende jaren verder naar het zuiden zal verplaatsen. De snelheid waarmee dit plaatsvindt is, op basis van de beschikbare data, moeilijk te bepalen. Wel is af te leiden dat, indien de verplaatsing zich met een vergelijkbare snelheid als in de periode 2005-2013 voortzet (ca. 10 m/jaar), pas na 20-25 jaar de zuidelijkste punt van Polder Wassenaar (rond x=150) wordt bereikt.



Figuur 2.5 Zuidwaartse migratie van de wadplaat (tussen x=400 en x=700).

3 Hydrodynamische modellering

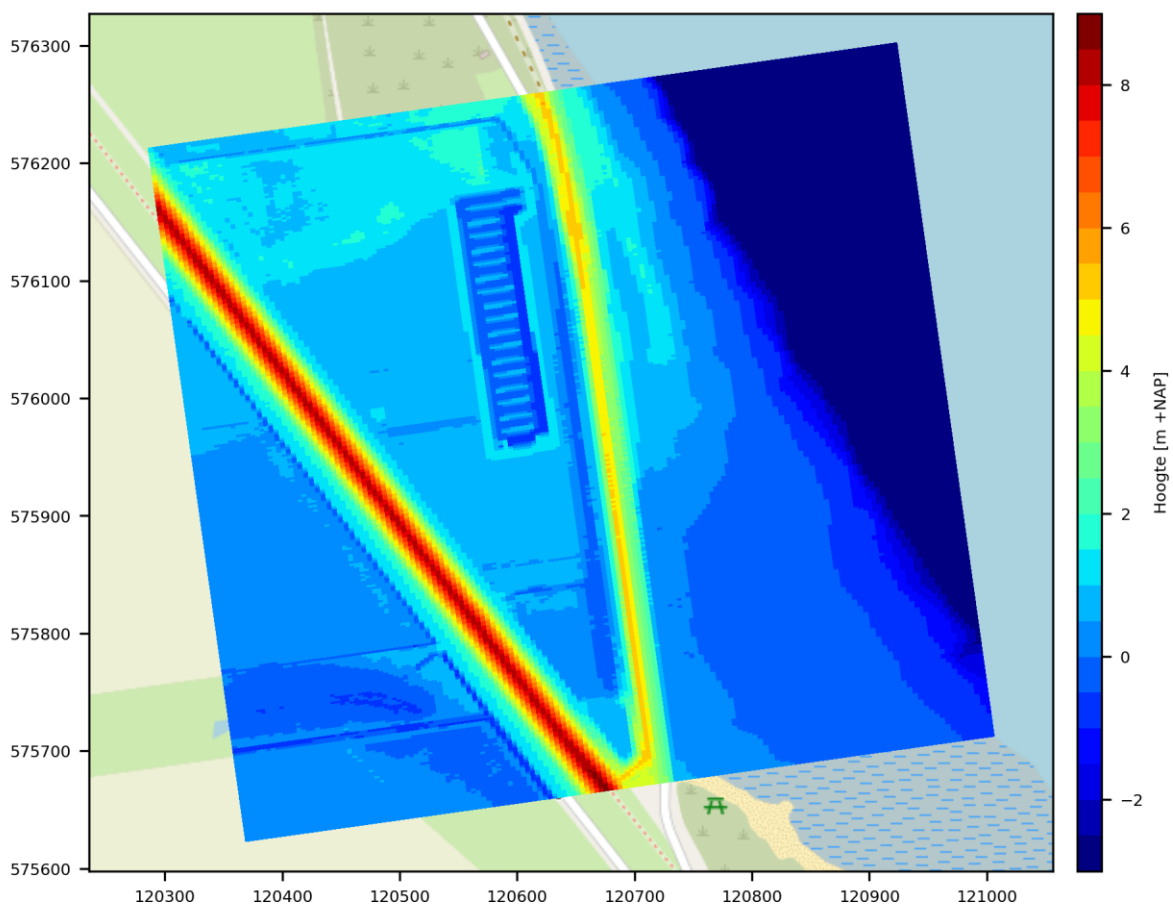
3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het numerieke stromingsmodel toegelicht en worden de resultaten van de hydrodynamische berekeningen besproken.

3.2 Opzet numeriek model

3.2.1 MODELBESCHRIJVING

Om inzicht te bieden in de te verwachten waterstanden, snelheden en debieten ten gevolge van een waterinlaat, is een numeriek stromingsmodel opgezet met Delft3D. Met Delft3D kan de waterbeweging op een nauwkeurige manier worden gemodelleerd en kan inzicht worden gegeven in de functionaliteit van een ontwerp.



Figuur 3.1 Bodemligging in de huidige situatie. Het rekenrooster is te fijn om weer te geven; een indicatie van de resolutie van het rekenrooster kan worden verkregen uit Figuur 3.5.

Het model dat voor deze verkenning is opgezet bestaat uit een rechthoekig rooster met 299x162 rekencellen van 2 m bij 4 m. Deze resolutie biedt enerzijds voldoende detail voor het doorrekenen van de effecten van een waterinlaat op de watervoorziening in de polder en leidt anderzijds tot een acceptabele rekentijd. De bodemligging in het model is

afgeleid uit een combinatie van het AHN3 (2016) en Vaklodingen data (2017). Op locaties waar geen data beschikbaar was, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van begroeiing of wateroppervlakten, is door middel van lineaire interpolatie de bodemligging bepaald. De dimensies en hoogteligging van de kweekbassins zijn overgenomen uit de aangeleverde ontwerptekeningen. De reeds aanwezige sloot aan de oostkant van de polder is verdiept tot een diepte van NAP-0.5 m over de gehele lengte. Een weergave van de bodemligging in de schematisatie is te vinden in Figuur 3.1.

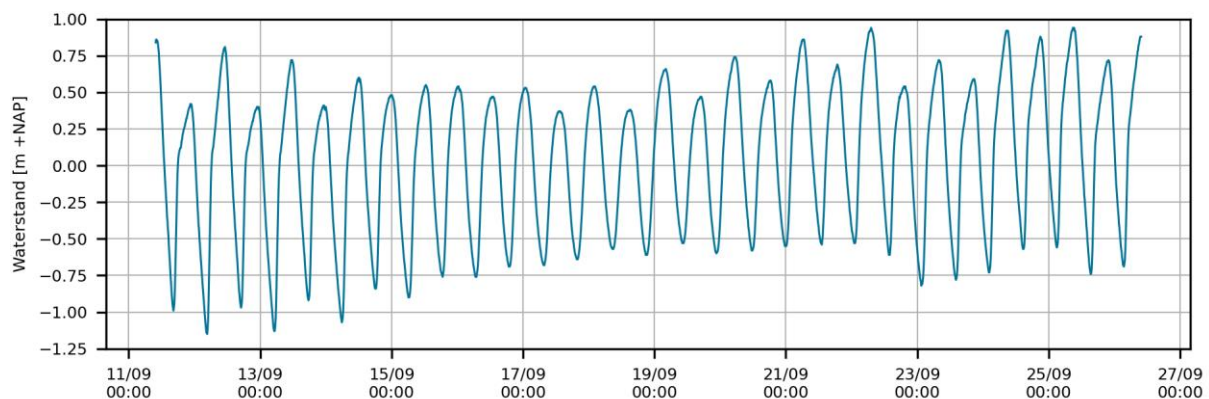
De hierboven beschreven schematisatie beschrijft de huidige situatie en dient als basismodel voor de overige modellen in dit rapport. In Paragraaf 3.2.3 worden de varianten op de huidige situatie toegelicht.

3.2.2 RANDVOORWAARDEN

De oostrand van het stromingsmodel is voorzien van een waterstandtijdserie die dient als randvoorwaarde voor de stroming in het model. Om een zo realistisch mogelijk beeld te geven van de te verwachten waterstanden, snelheden en debieten, is een tijdserie geselecteerd waarvan:

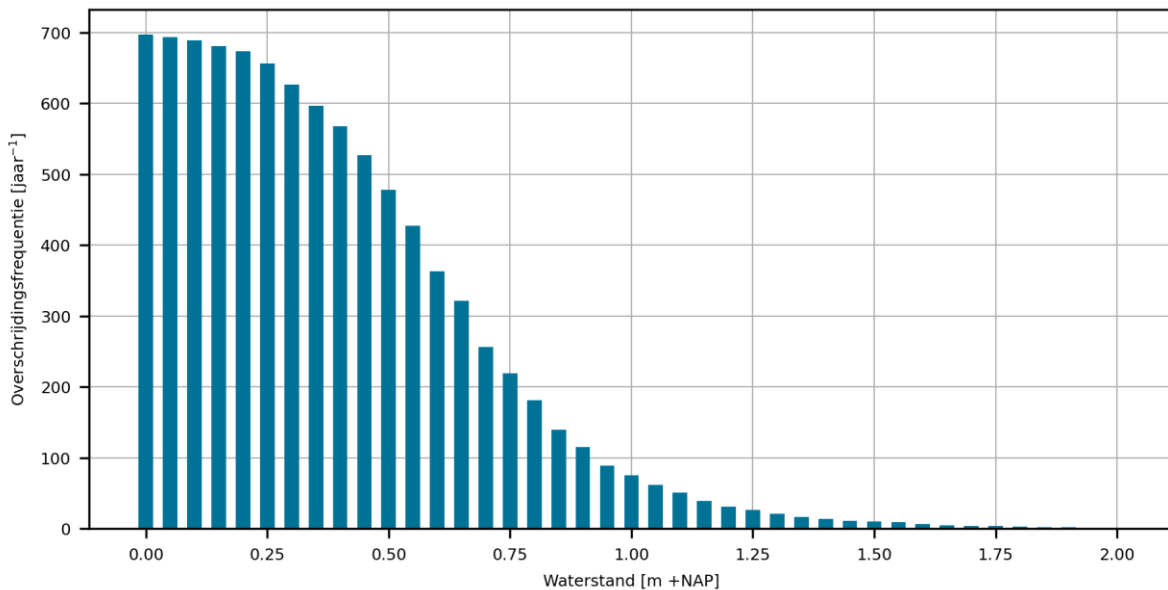
- de voortschrijdend (15-daagse) gemiddelde waterstand overeenkomt met de gemiddelde waterstand van de afgelopen 10 jaar (NAP+0.05 m);
- de voortschrijdend (15-daagse) gemiddelde hoogwaterstand overeenkomt met de gemiddelde hoogwaterstand van de afgelopen 10 jaar (NAP+0.64 m).

De 10-jaarse waterstandtijdserie is afkomstig van het RWS-meetstation bij Oudeschild. Dit is het meest nabijgelegen meetstation in de Waddenzee. In aanvulling op de hierboven genoemde criteria is gekeken of windeffecten geen bovengemiddeld groot effect hadden op de waterstand. De geselecteerde tijdserie is weergegeven in Figuur 3.2 en beslaat de periode tussen 11 september 2014 en 27 september 2014.



Figuur 3.2 Tijdsree van gemeten waterstanden bij Oudeschild. De tijdsree dient als randvoorwaarde voor de stroming in het model.

In Figuur 3.3 wordt weergegeven hoe vaak een waterstand gemiddeld per jaar wordt overschreden. Hieruit valt af te leiden dat de gemiddelde waterstand bij Oudeschild (NAP+0.10 m) tijdens nagenoeg ieder getij wordt overschreden (ca. 689 keer per jaar). De gemiddelde hoogwaterstand (NAP+0.64 m) wordt ca. 331 keer per jaar overschreden.



Figuur 3.3 Overschrijdingsfrequentie op basis van gemeten waterstanden bij Oudeschild tussen mei 2010 en april 2020. De overschrijdingsfrequentie geeft weer hoe vaak een waterstand gemiddeld per jaar wordt overschreden.

Tabel 3.1 presenteert de hoogwaterstanden bij lage overschrijdingsfrequenties, lopend van 10 keer per jaar tot 1 keer per 10 jaar. De tabel geeft inzicht in de te verwachten extreme hoogwaterstanden. Zo wordt gemiddeld 1 keer per jaar een hoogwaterstand van NAP+2.18 gehaald en komt een hoogwaterstand van NAP+2.71 m eens per 10 jaar voor.

Tabel 3.1 Hoogwaterstanden bij lage overschrijdingsfrequenties.

Frequentie	Hoogwaterstand [m +NAP]
10 keer per jaar	1.50
5 keer per jaar	1.65
1 keer per jaar	2.18
1 keer per 2 jaar	2.35
1 keer per 5 jaar	2.68
1 keer per 10 jaar	2.71

3.2.3 MODELSIMULATIES

Om tot een optimaal ontwerp te komen voor de waterinlaat, zijn een groot aantal modelsimulaties gedraaid. Een eerste serie van modelsimulaties is gebruikt om inzicht te krijgen in het effect van verschillende breedtes van de waterinlaat (2, 4 en 6 m), de locatie van waterinlaat (centraal vs. zuidelijk gelegen) en de toepassing van een kleppensysteem dat de waterbeweging binnen de polder reguleert. De resultaten van deze modelsimulaties hebben als basis gediend voor een verdere verfijning van het ontwerp in een tweede serie van modelsimulaties. Zo is in alle modelsimulaties uit de tweede serie gekozen voor een waterinlaat van 2 m breed (op NAP -0.50 m) op zuidelijke locatie en is in alle varianten een kleppensysteem toegepast (nader toegelicht in Paragraaf 3.2.4).

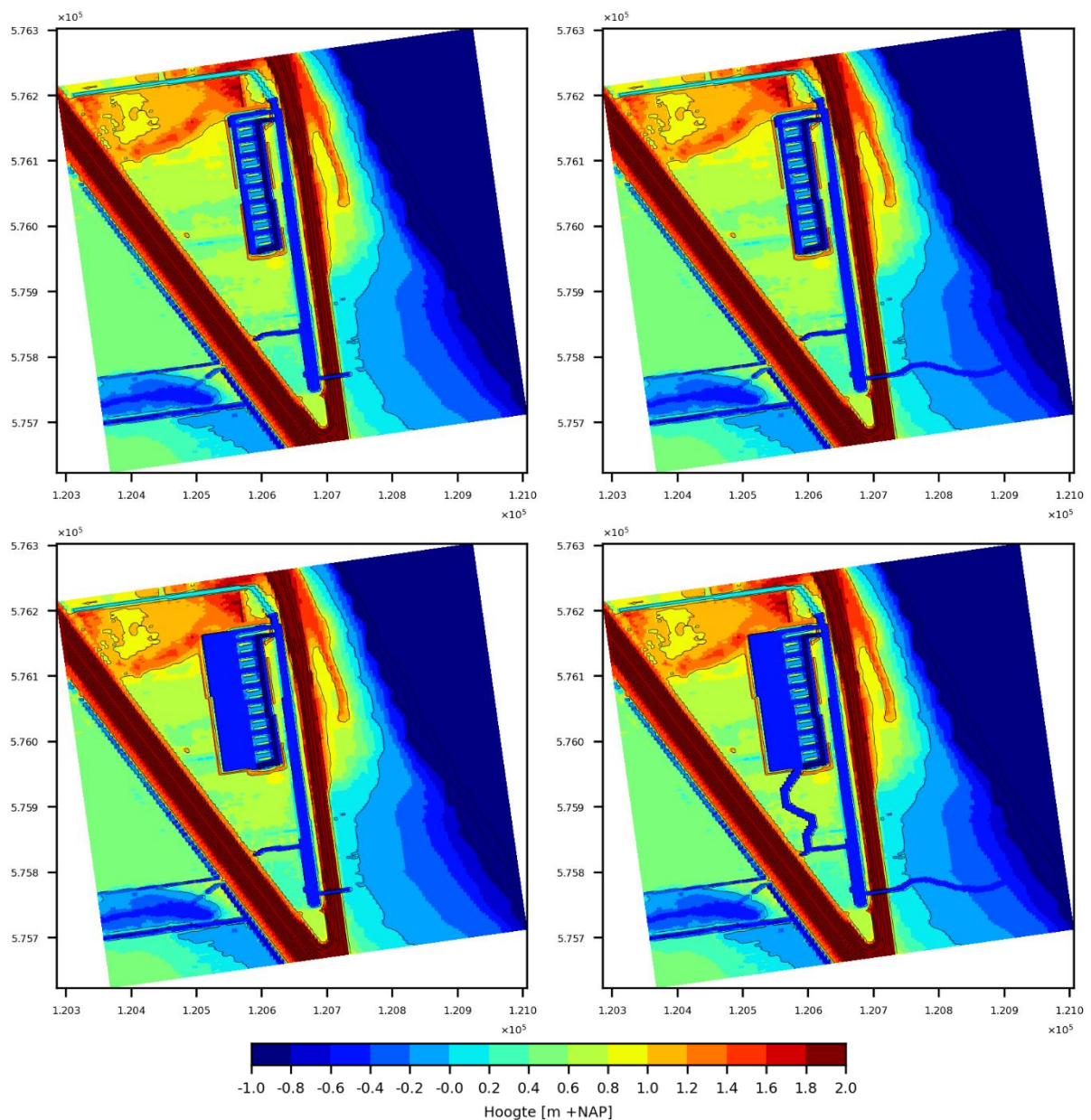
Om de effecten van de ontwerpkeuzes op de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes zo overzichtelijk mogelijk te beschrijven, worden alleen de (resultaten van de) tweede serie van modelsimulaties

gepresenteerd. Tabel 3.1 geeft een overzicht van deze modellen. De bovenaanzichten van de bodemligging in de modelsimulaties zijn weergegeven in Figuur 3.4 (L01, L02, L04 en L06) en opgenomen in Bijlage 1 van dit rapport.

Tabel 3.2 Wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie zoals beschreven in Paragraaf 3.2.1.

	L01	L02	L03	L04	L05	L06
Algemeen						
Een waterinlaat van 2 m breed op een diepte van NAP-0.50 m. De waterinlaat vormt een rechtstreekse verbinding tussen de polder en de Waddenzee.	X	X	X	X	X	X
Een verbinding tussen de hoog- en laagwaterbuffers en de aan de oostkant van de polder gelegen sloot. Zo staan de kweekbassins in verbinding met de waterinlaat.	X	X	X	X	X	X
Ontwerp						
Een uitgediepte geul in het intergetijdengebied op een diepte van NAP-0.50 m. Deze verbindt de bodem van de aan de oostkant van de polder gelegen sloot met de NAP-0.50 m hoogtelijn in de Waddenzee.		X	X		X	X
Een geul tussen de aan de oostkant van de polder gelegen sloot en de hoogwaterbuffer. Bij opgaand tij stroomt het water via deze geul naar de kweekbassins; bij afgaand tij dient de aan de oostkant van de polder gelegen sloot als afwateringskanaal.			X			X
Een vergrootte hoogwaterbuffer (ca. 10.000 m ² extra op een diepte van NAP-0.50 m).				X	X	X
Locatie kleppensysteem*						
In de verbinding tussen de hoog- en laagwaterbuffers en de aan de oostkant van de polder gelegen sloot.	X	X		X	X	
Op de splitsing tussen de aan de oostkant van de polder gelegen sloot en de voormalige afwateringssloot richting het westen van de polder.			X			X

* Nader toegelicht in Paragraaf 3.2.4.



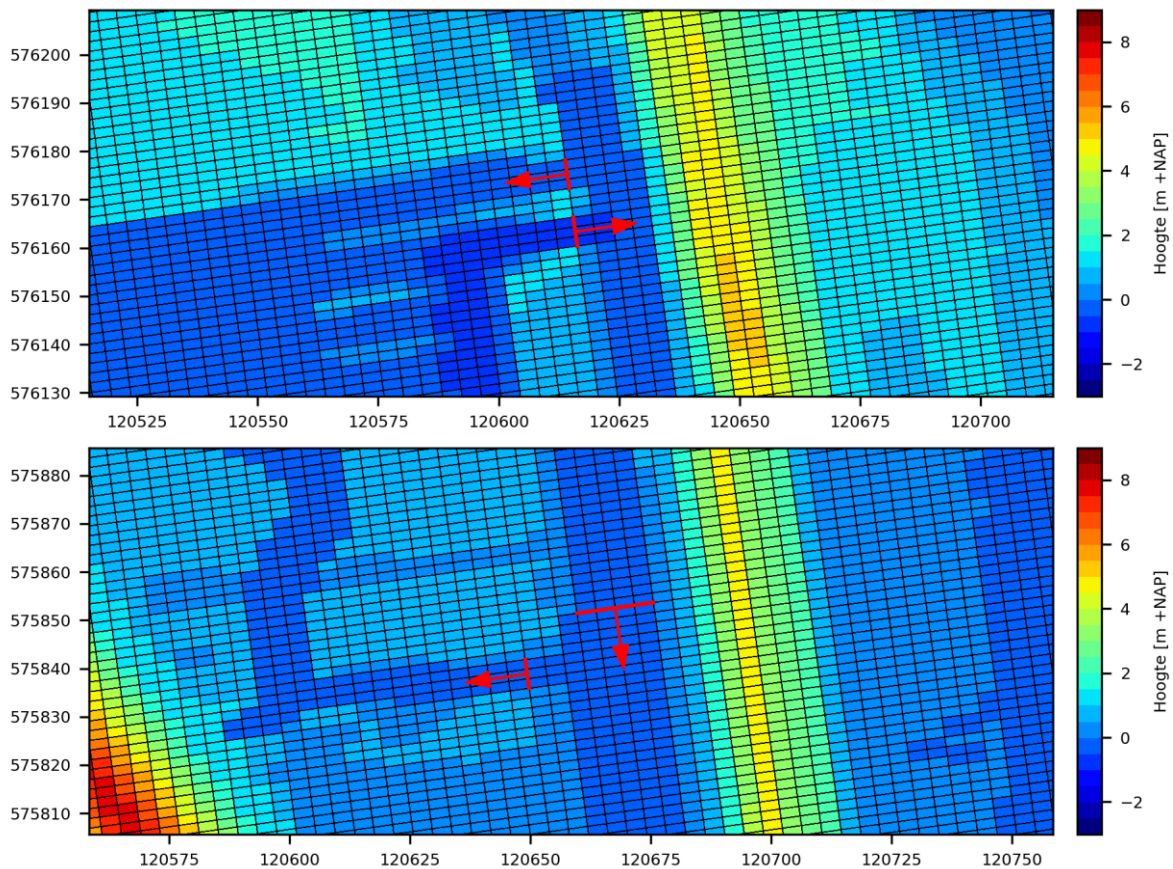
Figuur 3.4 Bodem in modelsimulaties L01 (linksboven), L02 (rechtsboven), L04 (linksonder) en L06 (rechtsonder). Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP -1.0 m tot NAP +2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal.

3.2.4 KLEPPENSYSTEEM

Voor een zo optimaal mogelijke kokkelteelt is het van belang dat zo veel mogelijk (voedselrijk) water door de bassins wordt geleid. De huidige kweekbassins voorzien hierin door water bij opgaand tij middels een hevelsysteem in de hoogwaterbuffer – het bassin aan de westzijde van de kweekbassins – te laten stromen. Dit water stroomt door de kweekbassins naar de laagwaterbuffer – het bassin aan de oostzijde van de kweekbassins – en bij afgaand tijd via hetzelfde hevelsysteem terug naar zee.

Om dezelfde functionaliteit ook in de modellen terug te laten komen, is gebruik gemaakt van een kleppensysteem, dat de aanvoer van water – van de Waddenzee, door de waterinlaat naar de hoogwaterbuffer – en de afvoer van water – van de laagwaterbuffer, door de waterinlaat naar de Waddenzee – van elkaar scheidt. Het systeem bestaat uit twee afzonderlijke kleppen / deuren die het water bij opgaand tij dan wel afgaand tij in 1 richting doorlaten. In modelsimulaties L01, L02, L04 en L05 zijn deze kleppen geplaatst in huidige ingang van de hoogwaterbuffer (deze functioneert als waterdoorlaat bij opgaand tij) en de huidige uitgang van de laagwaterbuffer (afgaand tij). In modelsimulaties L03 en L06 zijn beide kleppen dicht bij de waterinlaat geplaatst, op de splitsing tussen de aan de oostkant van de polder gelegen sloot en de voormalige afwateringssloot richting het westen van de polder. Dit wordt nader weergegeven in Figuur 3.5.

De plaatsing van de kleppen heeft als implicatie dat het water wordt rondgeleid: het water wat door de klep gaat, kan niet via dezelfde klep terug en wordt zodoende door de kweekbassins geleid. Door de kleppen dicht bij de waterinlaat te plaatsen, wordt het uitwisselingsvolume tussen de kweekbassins en de Waddenzee vergroot.



Figuur 3.5 Locatie kleppen in modelsimulaties L01, L02, L04 en L05 (boven) en L03 en L06 (onder). De pijlen geven de richting weer waarin het water kan stromen. De bodemligging in de figuren is gebaseerd op modelsimulaties L04 en L05 (boven) en L06 (onder).

3.2.5 BAGGERVOLUMES AANLEG

Het volume dat gebaggerd moet worden om de bodemligging aan te passen aan de verschillende modelvarianten, kan worden berekend door de huidige bodemligging van de bodemligging in de schematisatie van elkaar af te trekken. Het volumeverschil ten opzichte van de bestaande situatie wordt gepresenteerd in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Baggervolumes ten opzichte van de bestaande situatie voor modelsimulaties L01-L06.

L01 [m ³]	L02 [m ³]	L03 [m ³]	L04 [m ³]	L05 [m ³]	L06 [m ³]
800	1.400	3.700	11.200	11.800	14.100

Uit Tabel 3.3 kan worden opgemaakt dat er voor het uitdiepen van de aan de oostkant van de polder gelegen sloot en de aanleg van de waterinlaat ca. 800 m³ gebaggerd moet worden; voor de geul in het intergetijdengebied en de geul tussen de aan de oostkant van de polder gelegen sloot en de hoogwaterbuffer is dit respectievelijk ca. 600 m³ en ca. 2.300 m³. De uitbreiding van de hoogwaterbuffer met een oppervlak van ca. 10.000 m² (op NAP-0.5 m) is de meest omvangrijke ingreep met een baggervolume van ca. 10.400 m³.

3.3 Resultaten

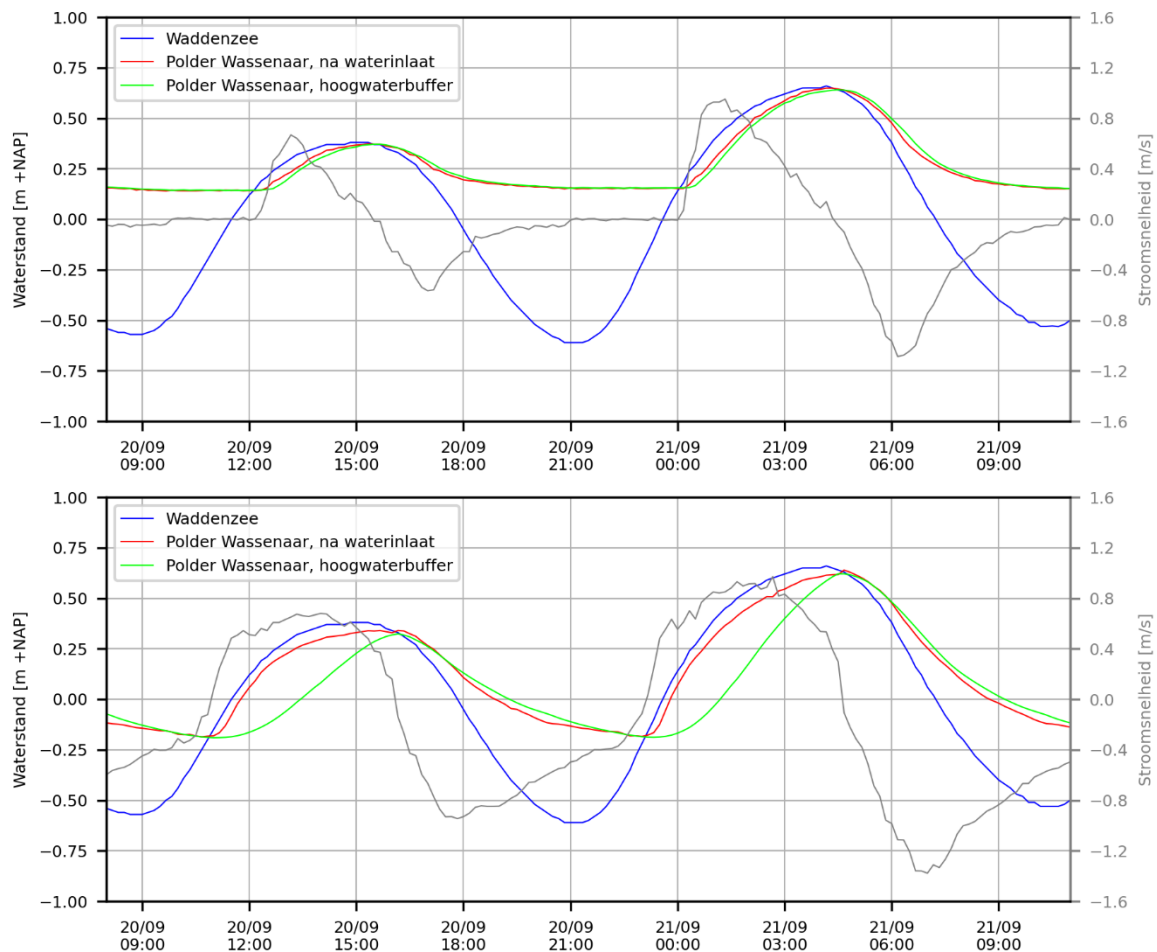
De modelsimulaties geven inzicht in de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en debieten. Hiermee kunnen de onderzoeksvragen uit Paragraaf 1.2 op het thema hydrodynamica worden beantwoord. Hieronder worden de parameters één voor één besproken.

3.3.1 WATERSTANDEN

Waterstandtijdseries geven een indruk van de te verwachten waterstanden in verschillende delen van de polder. Om de verschillende delen van de polder te belichten, wordt in Figuur 3.6 de waterstandtijdseries voor twee representatieve getijden uit respectievelijk modelsimulatie L04 en L06 gepresenteerd voor drie locaties in de polder:

1. In de Waddenzee;
2. In de aan de oostkant van de polder gelegen sloot, ter hoogte van de waterinlaat;
3. In de hoogwaterbuffer.

De waterstandtijdseries van de overige modelsimulaties zijn opgenomen in Bijlage 2 van dit rapport.



Figuur 3.6 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L04 (boven) en L06 (onder). In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.

Uit de figuur kan worden opgemaakt dat de waterstanden in de polder de waterstanden in de Waddenzee bij opgaand tij goed kunnen volgen. In de hoogwaterbuffer (weergegeven in groen) is weliswaar sprake van een lichte vertraging ten opzichte van de waterstandbeweging in de Waddenzee, maar dit heeft geen invloed op de maximale waterstand die wordt bereikt: deze is in alle modelsimulaties (op enkele centimeters na) gelijk aan de maximale waterstand in de Waddenzee.

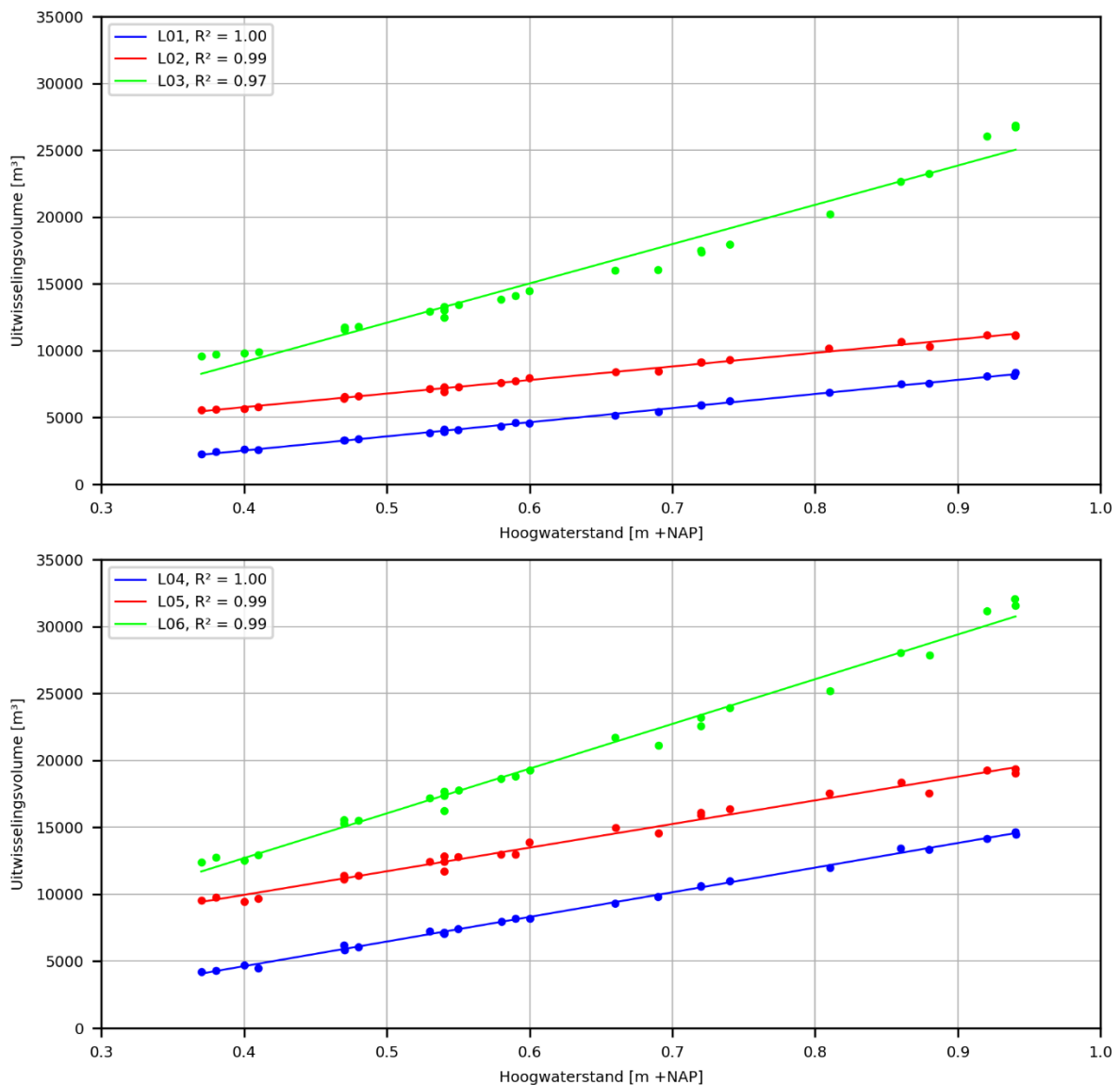
Bij afgaand tij is duidelijk zichtbaar dat in modelsimulatie L04 het ontbreken van een geul over het wad beperkend is voor de afvoer van water richting de Waddenzee: de waterstand in de polder ligt nooit lager dan ca. NAP+0.15 m. Het aanbrengen van een geul over het wad zorgt ervoor dat de waterstand in de polder kan zakken tot ca. NAP-0.20 m.

Bovenstaande illustreert dat de gehanteerde dimensies van de waterinlaat, een breedte van 2 m en diepteligging op NAP-0.5 m, voldoende is om de waterstanden binnendijks de waterstanden buitendijks te laten volgen. Een grotere inlaat is, gelet op de waterstanden, niet strikt noodzakelijk. Wel verwachten we dat een diepere geul over de buitendijkse wadplaat helpt om het uitwisselingsdebiet te vergroten. In de huidige modelsimulaties heeft deze een diepte van NAP-0.50 m. We verwachten dat een bodemligging op NAP-1.0 m het uitwisselingsvolume verder zal vergroten.

3.3.2 UITWISSELINGSVOLUMES

De uitwisseling van voldoende (voedselrijk) water tussen de kweekbassins en de Waddenzee is een belangrijke voorwaarde voor binnendijkse kokkelteelt. In de huidige situatie bedraagt dit uitwisselingsvolume maximaal 6000 m³/getij: veel lager dan de beoogde 20.000 m³/getij. De aanleg van een waterinlaat heeft als doel dit volume te vergroten.

Om inzicht te krijgen in de uitwisselingsvolumes in de verschillende modelvarianten, worden in Figuur 3.7 de uitwisselingsvolumes tussen de kweekbassins en de Waddenzee afgezet tegen de maximale hoogwaterstand in de Waddenzee. De lijn die door deze punten kan worden getrokken geeft een indicatie van de te verwachten volumes (per getij) bij iedere hoogwaterstand; andersom kan ook voor ieder uitwisselingsvolume de benodigde hoogwaterstand worden bepaald.



Figuur 3.7 Relatie tussen het uitwisselingsvolume tussen de kweekbassins en de Waddenzee en de hoogwaterstand, gemeten in de Waddenzee, voor modelsimulaties L01-L03 (boven) en L04-L06 (onder).

Tabel 3.4 presenteert de uitwisselingsvolumes tussen de kweekbassins en de Waddenzee bij een hoogwaterstand van NAP+0.50 m, NAP+0.64 m (de gemiddelde hoogwaterstand) en NAP +0.90 m. De gepresenteerde volumes zijn lager dan de uitwisselingsvolumes door de waterinlaat: een deel van het water dat naar binnen stroomt bereikt de kleppen die in het model zijn aangebracht niet en wordt daardoor niet door de kweekbassins geleid.

Tabel 3.4 Uitwisselingsvolumes tussen de kweekbassins en de Waddenzee bij een serie hoogwaterstanden. De uitwisselingsvolumes zijn afgeleid uit de lijnen uit Figuur 3.7.

Model	Uitwisselingsvolume bij hoogwaterstand NAP+0.50 m [m ³]	Uitwisselingsvolume bij hoogwaterstand NAP+0.64 m [m ³]	Uitwisselingsvolume bij hoogwaterstand NAP+0.90 m [m ³]
L01	3.500	5.000	7.800
L02	6.700	8.200	10.800
L03	12.000	16.200	23.800
L04	6.400	9.000	13.800
L05	11.700	14.100	18.700
L06	16.000	20.700	29.400

Uit Figuur 3.7 en Tabel 3.4 kan het volgende worden afgeleid:

- De modelsimulaties zonder geul over het wad, L01 en L04, kennen de laagste uitwisselingsvolumes: bij een waterstand van NAP+0.50 m (deze wordt gedurende ca. 478 getijden per jaar overschreden, zie Figuur 3.3) worden uitwisselingsvolumes van respectievelijk 3.500 m³ en 6.400 m³ behaald; bij een waterstand van NAP+0.90 m (ca. 115 keer per jaar) is dit respectievelijk 7.800 m³ en 13.800 m³;
- De modelsimulaties met een geul over het wad, maar zonder extra geul in de polder, L02 en L05, kennen een vergelijkbare relatie tussen het uitwisselingsvolume en de hoogwaterstand als modelsimulaties L01 en L04, met als verschil dat de uitwisselingsvolumes respectievelijk ca. 3.000 m³ en 5.000 m³ hoger liggen. Zo is het uitwisselingsvolume bij een hoogwaterstand van NAP+0.50 m 6.700 m³ voor modelsimulatie L02 en 11.700 m³ voor L05 en is het volume bij een hoogwaterstand van NAP+0.90 m respectievelijk 10.800 m³ en 18.700 m³;
- Modelsimulaties L03 en L06 worden gekenmerkt door een steiler verloop tussen de uitwisselingsvolumes en de hoogwaterstanden: waar het verschil bij een hoogwaterstand van NAP+0.50 m slechts 4.000-5.000 m³ is ten opzichte van modelsimulaties L02 en L05, is dit bij een hoogwaterstand van NAP+0.90 m 13.000 m³ en 10.700 m³ voor L03 en L06 respectievelijk. Dit groeiende verschil bij hogere waterstanden wordt veroorzaakt door de locatie van kleppen in het systeem: waar deze in de overige modelsimulaties zich relatief ver van de waterinlaat bevinden, zijn deze in modelsimulaties L03 en L06 dichterbij geplaatst (zie Figuur 3.5). De plaatsing van de kleppen dicht bij de waterinlaat heeft als voordeel dat het waterbergend volume achter de kleppen wordt vergroot. Vooral bij hoge waterstanden resulteert dit in een aanzienlijk groter uitwisselingsvolume.

In Tabel 3.5 worden de vereiste hoogwaterstanden en het aantal keer dat deze hoogwaterstand per jaar gemiddeld voorkomt gepresenteerd voor uitwisselingsvolumes van 10.000 m³/getij en 20.000 m³/getij. Hieruit valt af te leiden dat een uitwisselingsvolume van 20.000 m³ alleen in modelsimulatie L06 op een dagelijkse basis wordt gehaald. In de overige modelsimulaties is het aantal getijden waarin een volume van 20.000 m³ wordt gehaald beperkt tot eens per 2 dagen (L03), eens per 4 dagen (L05), eens per 2 weken (L04) of enkele keren per jaar (L01 en L02). De waterstanden die nodig zijn voor een uitwisselingsvolume van 10.000 m³ komen veel frequenter voor. Dit geldt in het bijzonder voor modelsimulaties L03, L05 en L06, waar op de meeste dagen gedurende beide getijden de grens van 10.000 m³ wordt overschreden.

Tabel 3.5 Hoogwaterstanden en de frequenties waarin deze voorkomen bij uitwisselingsvolumes van 10.000 en 20.000 m³. De frequentie is bepaald op basis van de overschrijdingsfrequentie uit Figuur 3.3.

Model	Hoogwaterstand bij uitwisselingsvolume 10.000 m ³ [m +NAP]	Frequentie* bij uitwisselingsvolume 10.000 m ³ [jaar ⁻¹]	Hoogwaterstand bij uitwisselingsvolume 20.000 m ³ [m +NAP]	Frequentie* bij uitwisselingsvolume 20.000 m ³ [jaar ⁻¹]
L01	1.11	48	2.05	1
L02	0.82	160	1.79	3
L03	0.44	535	0.76	211
L04	0.69	266	1.23	29
L05	0.41	553	0.96	88
L06	0.32	621	0.61	363

* Het totaal aantal getijden per jaar is ca. 720.

3.3.3 VERMENGING IN- EN UITSTROMEND WATER

Een deel van het water dat tijdens opgaand tij naar binnen stroomt, blijft bij afgaand tij achter in de polder. Dit water is voedselarmer en wordt tijdens het daaropvolgende getij nog een keer door de kweekbassins geleid. Vanuit het oogpunt van de kokkelteelt is dit nadelig, aangezien kokkels behoefte hebben aan vers, nutriëntrijk water. Idealiter is het volume aan water dat bij afgaand tij in de polder achterblijft, dus zo laag mogelijk.

Het volume dat in de polder achterblijft, staat gelijk aan het watervolume dat tijdens laag water tussen de waterinlaat en het kleppensysteem blijft staan. Dit volume alsmede het percentage van het totale uitwisselingsvolume, wordt voor iedere modelsimulatie gepresenteerd in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Volume aan water dat tijdens laagwater achterblijft tussen de waterinlaat en het kleppensysteem. Het percentage geeft weer hoe dit volume zich verhoudt tot het watervolume dat door de kweekbassins wordt geleid.

L01 [m ³]	L02 [m ³]	L03 [m ³]	L04 [m ³]	L05 [m ³]	L06 [m ³]
6.100 [114%]	8.900 [106%]	2.800 [17%]	6.000 [63%]	8.300 [57%]	2.500 [12%]

Uit de tabel valt af te leiden dat in modelsimulaties L01, L02, L04 en L05 het watervolume dat tussen de waterinlaat en de kleppen blijft staan, relatief hoog is (6.000-8.900 m³). In procentueel opzicht zijn het voornamelijk L01 en L02 die er negatief uitspringen: het watervolume dat in de polder achterblijft is hier groter dan het volume dat door de kweekbassins stroomt.

In modelsimulaties L03 en L06 blijft er relatief weinig water blijft staan tussen de waterinlaat en het kleppensysteem, zowel in absolute zin (2.500-2.800 m³) als in verhouding tot watervolume dat door de kweekbassins wordt geleid (12-17%). Met het oog op de kokkelteelt, hebben deze varianten de voorkeur.

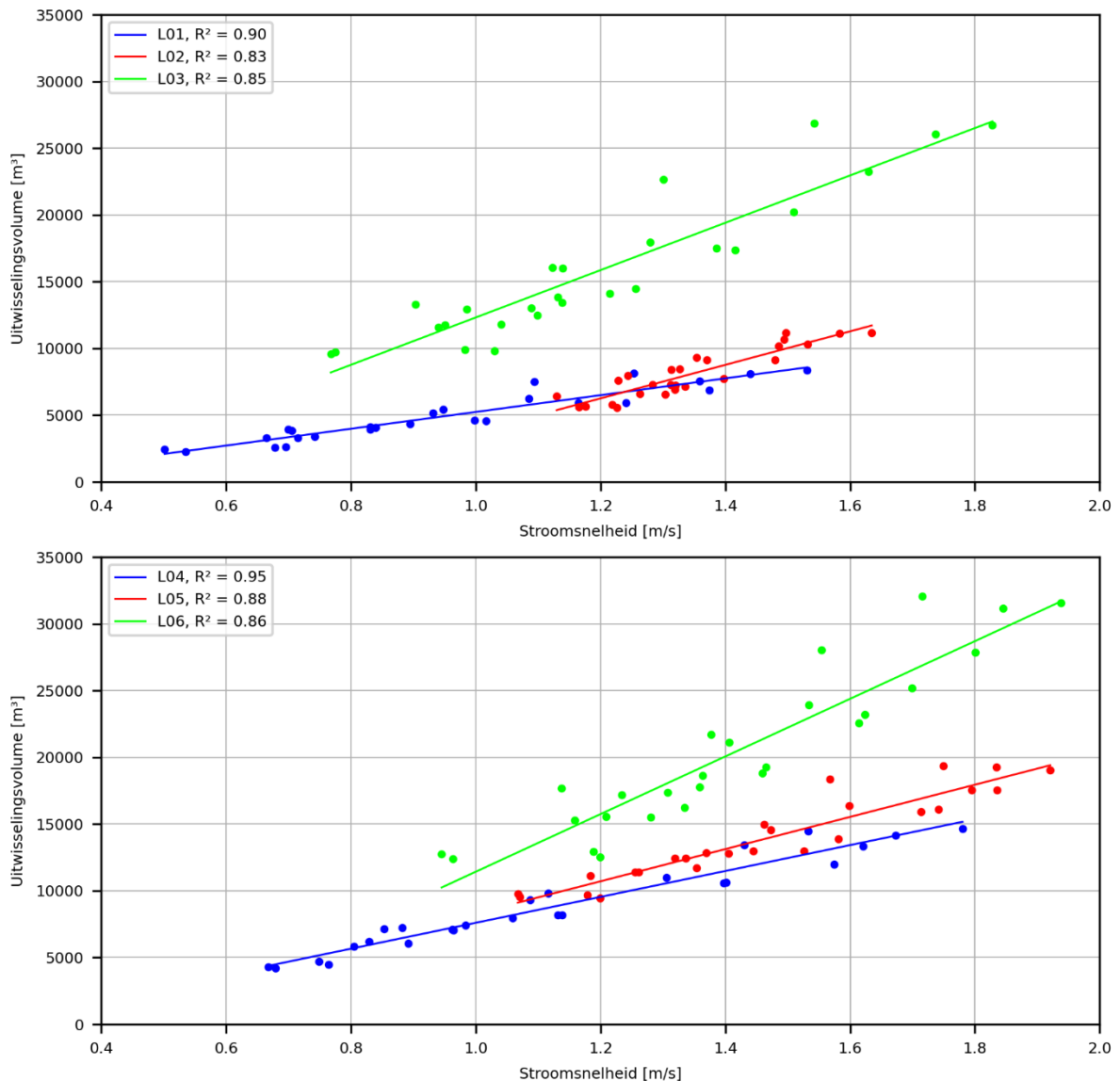
3.3.4 STROOMSNELHEDEN

Stroomsnelheden zijn een belangrijke randvoorwaarde voor het goed functioneren van het systeem. Te lage snelheden leiden tot de sedimentatie van fijn sediment (slib) op plaatsen waar dit niet gewenst is en te hoge snelheden leiden tot overmatig veel erosie (met bijvoorbeeld ondermijning van het dijklichaam als gevolg). De stroomsnelheid door de waterinlaat kan worden beïnvloed door de waterinlaat groter of kleiner te dimensioneren.

In Figuur 3.8 zijn de uitwisselingsvolumes tussen de kweekbassins en de Waddenzee en de maximale stroomsnelheden door de waterinlaat per getij tegen elkaar uitgezet. Over het algemeen valt te concluderen dat bij een hoger uitwisselingsvolume, de snelheid door de waterinlaat toeneemt. Dit is een logisch gevolg van het grotere volume aan water dat binnen één getijdencyclus door de kweekbassins wordt geleid. Desondanks zijn er duidelijke verschillen zichtbaar tussen de diverse modelsimulaties. Zo valt op dat:

- Modelsimulaties L01 en L03 een grote variatie in maximale stroomsnelheid kennen (resp. 0.50-1.53 m/s en 0.77-1.83 m/s). Modelsimulatie L02 wordt gekenmerkt door een kleiner bereik (1.13-1.63 m/s), wat inhoudt dat ook bij lage waterstanden hoge maximale snelheden worden behaald.
- De maximale stroomsnelheden door de waterinlaat in modelsimulatie L03 weliswaar hoog zijn (tot 1.83 m/s), maar deze in relatie tot de behaalde uitwisselingsvolumes erg laag zijn. Zo is de maximale stroomsnelheid bij een uitwisselingsvolume van 10.000 m³ voor modelsimulatie L03 0.92 m/s, terwijl dit voor modelsimulaties L01 en L02 respectievelijk 1.67 m/s en 1.47 m/s is. De reden hiervoor is dat L03 door de aanwezigheid van de geul op het intergetijdengebied een langere periode heeft waarop water naar binnen / buiten kan stromen waardoor de pieksnelheden lager zijn.
- Modelsimulaties L04 t/m L06 zich op eenzelfde manier tot elkaar verhouden als modelsimulaties L01 t/m L03, met als verschil dat zowel de uitwisselingsvolumes als de stroomsnelheden hoger liggen. De verschillen tussen de lijnen zijn bovendien iets genuanceerder: de vergrootte hoogwaterbuffer heeft een dempend effect op de relatie tussen het uitwisselingsvolume en de maximale stroomsnelheid.
- De stroomsnelheden door de waterinlaat bij opgaand tij over het algemeen lager zijn dan bij afgaand tij (zie Figuur 3.6). Dit verschil kan oplopen tot enkele tientallen centimeters per seconde, vooral bij hoge waterstanden.

De stroomsnelheden vlak voor en vlak na de waterinlaat liggen 2 tot wel 4 keer lager dan de stroomsnelheden door de waterinlaat. De grootte van het doorstroomoppervlak is hier de belangrijkste reden toe. Verder kan worden afgeleid dat de stroomsnelheden aan de buitendijkse kant van de polder bij opgaand tij lager liggen dan bij afgaand tij, met andere woorden: de ebstroom is sterker dan de vloedstroom. Voor de stroomsnelheden vlak na de waterinlaat (binnendijkse kant) geldt het tegenovergestelde: hier liggen de stroomsnelheden bij opgaand tij hoger dan bij afgaand tij. Het verschil tussen de vloed- en ebstroom kan oplopen tot enkele tientallen centimeters per seconde.



Figuur 3.8 Relatie tussen het uitwisselingsvolume tussen de kweekbassins en de Waddenzee en de maximale snelheid in de waterinlaat voor modelsimulaties L01-L03 (boven) en L04-L06 (onder). De maximale snelheid in de waterinlaat is het maximum van de vloed- en ebstroom.

Gebaseerd op bovenstaande resultaten adviseren we de doorlaat nog iets groter te maken dan de doorlaat toegepast in de modelsimulaties (2 m breed, bodemligging op NAP-0.5 m). We adviseren een doorlaat met een breedte van 2.5 m en een bodemligging op NAP-1.0 m. Daardoor blijven de stroomsnelheden in de doorlaat lager waardoor ook de steengrootte van de bodembescherming nabij de doorlaat niet al te grote dimensies behoeft te krijgen.

4 Morfodynamische modellering

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de morfologische effecten van de verschillende ontwerpkeuzes uit Hoofdstuk 3 op Polder Wassenaar besproken. Hierbij wordt ingegaan op de te verwachten aanzanding in de polder in alle modelsimulaties en wordt de aanzanding in de wadgeul onderzocht door middel van een morfologische doorrekening van modelsimulatie L03.

4.2 Aanslibbing Polder Wassenaar

De aanleg van een waterinlaat zorgt voor een open verbinding tussen Polder Wassenaar en de Waddenzee. Naast de uitwisseling van water, betekent dit dat ook sediment zich vrij tussen beide systemen kan bewegen. Hoewel dit vanuit het oogpunt van zilte natuurontwikkeling zeer welkom is, is een teveel aan slib in de polder niet bevorderlijk voor de kokkelteelt en zijn frequente baggerwerkzaamheden niet gewenst.

Een inschatting van de te verwachten aanslibbing in Polder Wassenaar is weergegeven in Tabel 4.1. De volumes zijn bepaald op basis van de volgende uitgangspunten:

- De slibconcentratie in het binnenstromende water is gemiddeld 13 mg/l, gebaseerd op metingen van NIOZ tussen april 2015 en september 2015¹;
- Uit het water dat de kweekbassins bereikt / door de kleppen wordt geleid, zakt 100% van het sediment naar de bodem;
- Uit het water dat de kweekbassins niet bereikt / niet door de kleppen wordt geleid, zakt 50% van het sediment naar de bodem;
- De uitwisselingsvolumes zijn gebaseerd op de uitwisselingsvolumes bij een gemiddelde hoogwaterstand (NAP+0.64 m). De uitwisselingsvolumes achter het kleppensysteem zijn gelijk aan de volumes uit Paragraaf 3.3.2; de volumes voor het kleppensysteem zijn berekend door de uitwisselingsvolumes achter het kleppensysteem af te trekken van de uitwisselingsvolumes door de waterinlaat.

Tabel 4.1 Te verwachten aanslibbing in Polder Wassenaar, gepresenteerd in m³/jaar en cm/jaar. De aanzanding in cm/jaar is berekend door het aanzandingsvolume te delen door het oppervlak.

Model	Voor kleppensysteem		Achter kleppensysteem		Totaal	
	[m ³ /jaar]	[cm/jaar]	[m ³ /jaar]	[cm/jaar]	[m ³ /jaar]	[cm/jaar]
L01	57	0.9	92	1.4	150	1.2
L02	84	1.3	152	2.3	236	1.8
L03	26	1.3	299	2.5	325	2.3
L04	56	0.9	166	1.1	223	1.1
L05	80	1.3	260	1.7	340	1.6
L06	23	1.1	383	1.9	406	1.8

¹ Verkenning kokkelteelt polder Wassenaar waterkwaliteit, November 2015, Version 2015-11-25.

Uit Tabel 4.1 kan worden afgeleid dat:

- In modelsimulaties L03 en L06 het overgrote deel van het slib, respectievelijk 299 m³/jaar en 383 m³/jaar van de in totaal 325 m³/jaar en 406 m³/jaar, uitzakt achter het kleppensysteem. Dit wordt veroorzaakt door de plaatsing van de kleppen dichtbij de waterinlaat.
- Het vergroten van de hoogwaterbuffer tot een extra aanslibbing van 74-108 m³/jaar achter de kleppen leidt, maar dit tegelijkertijd betekent dat het sediment over een groter oppervlak kan bezinken. Dit laatste is terug te zien in de lagere aanslibbingsnelheid (1.1-1.9 cm/jaar in L04-L06 t.o.v. 1.4-2.5 cm/jaar in L01-L03).

Na de resterende onderzoeksperiode van ca. 5 jaar zullen de kweekbassins worden verwijderd en zal de polder worden ingericht voor zilte natuurontwikkeling. Na verwijdering van de bassins zal naar verwachting het uitwisselingsvolume onder normale getijcondities gelijk blijven of iets afnemen t.o.v. de situatie met kweekbassins. Daarbij zal ook de te verwachten aanslibbing nagenoeg gelijk zijn. Wanneer na verwijdering van de kweekbassins ook extreme waterstanden worden toegestaan in Polder Wassenaar en daarmee de hoger gelegen delen van de polder onder water komen, zal zich hier ook een dun laagje slib gaan afzetten, buiten de kreken en sloten.

4.3 Aanzanding intergetijdengebied

4.3.1 MODELSIMULATIES

Erosie treedt op als de schuifspanning die het water op de bodem uitoefent groter is dan de weerstand die de bodem kan leveren. Met andere woorden, als de kritieke schuifspanning wordt overschreden. Omgekeerd geldt hetzelfde voor sedimentatie: zodra de schuifspanning lager is dan de kritieke schuifspanning, wordt er sediment afgezet. Het patroon van erosie en sedimentatie wordt zodoende bepaald door de krachten die op de bodem werken. Deze krachten kunnen ontstaan door de werking van golven of onder invloed van de waterbeweging.

Een manier om de mate van erosie en sedimentatie te bepalen, is het gebruik van een morfologisch model. Zo'n model gebruikt de krachten die resulteren uit de waterbeweging om te berekenen waar sediment erodeert en waar het uitzakt naar de bodem. Om de gevolgen van de waterinlaat op de bodemligging in de polder te bepalen, is modelsimulatie L03 morfologisch doorgerekend. Er zijn drie scenario's doorgerekend, ieder antwoord gevend op een andere vraag:

1. L03-A, kan een geul over het wad zich op natuurlijke wijze vormen?

De mate van erosie in de geul in het intergetijdengebied kan worden bepaald door een laag sediment aan te brengen en het model te laten bepalen hoe het sediment zich, onder invloed van de waterbeweging in de geul, verplaatst. Zo kan worden onderzocht of de stroomsnelheden in de wadgeul voldoende zijn voor het op natuurlijke wijze eroderen van een geul.

In modelsimulatie L03-A is dit toegepast door een laag sediment met een korrelgrootte van 300 µm in de geul aan te brengen. De korrelgrootte is gebaseerd op de D50 statistiek van het sediment op de zandplaat ten oosten van de polder (bemonsterd tijdens een veldbezoek aan Polder Wassenaar).

2. L03-B, zijn de stroomsnelheden in de wadgeul voldoende om een drempel in de geul te eroderen?

Een ondiepte (drempel) in de geul in het intergetijdengebied kan ontstaan door de verplaatsing van grote hoeveelheden sediment in een kort tijdsbestek (bijv. tijdens stormen). Het vermogen van de geul om een dergelijke ondiepte op natuurlijke wijze te eroderen en de geul open te houden, is wenselijk vanuit meerdere opzichten en kan worden onderzocht door een ondiepte aan te brengen in een morfologisch model. Het model bepaald vervolgens zelf of de stroomsnelheden in de geul hoog genoeg zijn voor het eroderen van de ondiepte.

Modellsimulatie L03-B gaat in op deze vraag. Hiertoe is een ondiepte op NAP-0.20 m aangebracht in de geul over de volledige breedte van de geul en een lengte van 8 m, op ca. 40 m afstand van de waterinlaat. Over de gehele lengte van de geul is een erodeerbare toplaag aangebracht met een korrelgrootte van 300 μm .

3. L03-C, wat is de grootte van de geul die van nature wil ontstaan (evenwichtsprofiel)?

Door niet alleen in de geul, maar ook rondom de geul in het intergetijdengebied een laag sediment aan te brengen, kan het natuurlijke gedrag van erosie en sedimentatie onder invloed van de getijwerking worden bestudeerd. Het model bepaald daardoor zelf hoe groot de geul van nature wil worden. Bovendien kan, door op een langere tijdschaal te rekenen, worden bepaald of de geul zich op de huidige locatie handhaaft, groter wordt of juist kleiner door aanzanding.

In modellsimulatie L03-C is hiertoe een laag sediment (korrelgrootte 300 μm) aangebracht over het volledige buitendijkse deel van modellsimulatie L03. Er is gerekend met een morfologische factor van 10, wat inhoudt dat morfologische processen zich een factor 10 versneld zullen afspelen. Een modellsimulatie van 15 dagen komt zo overeen met een morfologische som van 150 dagen.

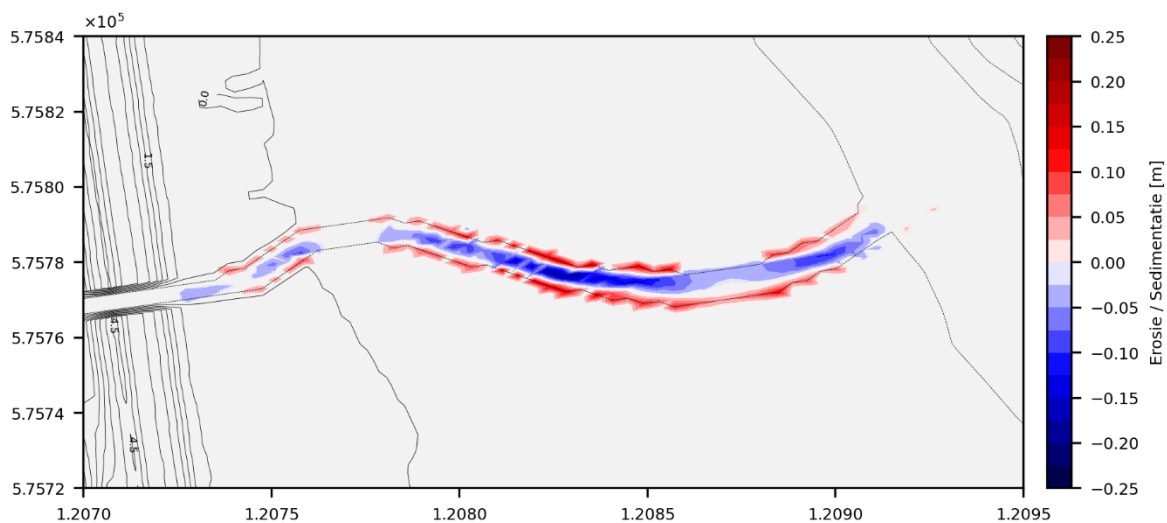
Het Robbengat is geen onderdeel van de modellsimulatie. De waterbeweging en het sedimenttransport die hieruit volgen, zijn daarom niet opgenomen in de berekening.

De resultaten van bovenstaande berekeningen worden in Paragraaf 4.4.1 t/m Paragraaf 4.4.3 besproken.

4.4 Resultaten

4.4.1 L03-A, EROSIE WADGEUL

De mate van aanzanding en erosie in de geul in het intergetijdengebied kan het beste worden geïllustreerd op basis van het verschil tussen de begin- en eindsituatie van de morfologische doorrekening van L03-A. Dit is weergegeven in Figuur 4.1.



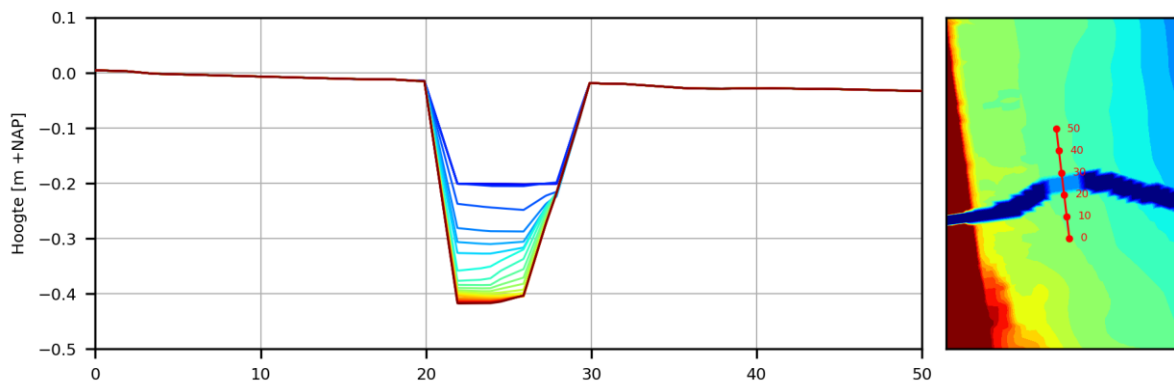
Figuur 4.1 Erosie en sedimentatie in modellsimulatie L03-A. Rode kleuren geven sedimentatie weer; blauwe kleuren erosie. De figuur laat het verschil zien over een periode van 35 uur (ca. 3 getijden).

Uit de figuur wordt duidelijk dat er sprake is van uitdieping van de geul: sediment uit het midden van de geul wordt geërodeerd en afgezet aan de zijkanten. Dit duidt erop dat de stroomsnelheden in de geul volstaan voor het op natuurlijke wijze open houden van de geul.

Door de stroomsnelheden door de geul naast de diepteverandering te plotten, kan worden afgeleid bij welke snelheid erosie optreedt. Hieruit blijkt dat erosie plaatsvindt bij stroomsnelheden vanaf ca. 0.4 m/s.

4.4.2 L03-B, EROSIE DREMPEL

Figuur 4.2 presenteert de resultaten van de morfologische doorrekening van modelsimulatie L03-B. De figuur laat zien dat er sprake is van een geleidelijke erosie van de aangebrachte drempel. Dit impliceert dat de stroomsnelheden in de geul voldoende lijken te zijn voor het op natuurlijke wijze open houden van de geul wanneer er plotseling, door bijvoorbeeld een storm, een laag sediment in de geul wordt afgezet.



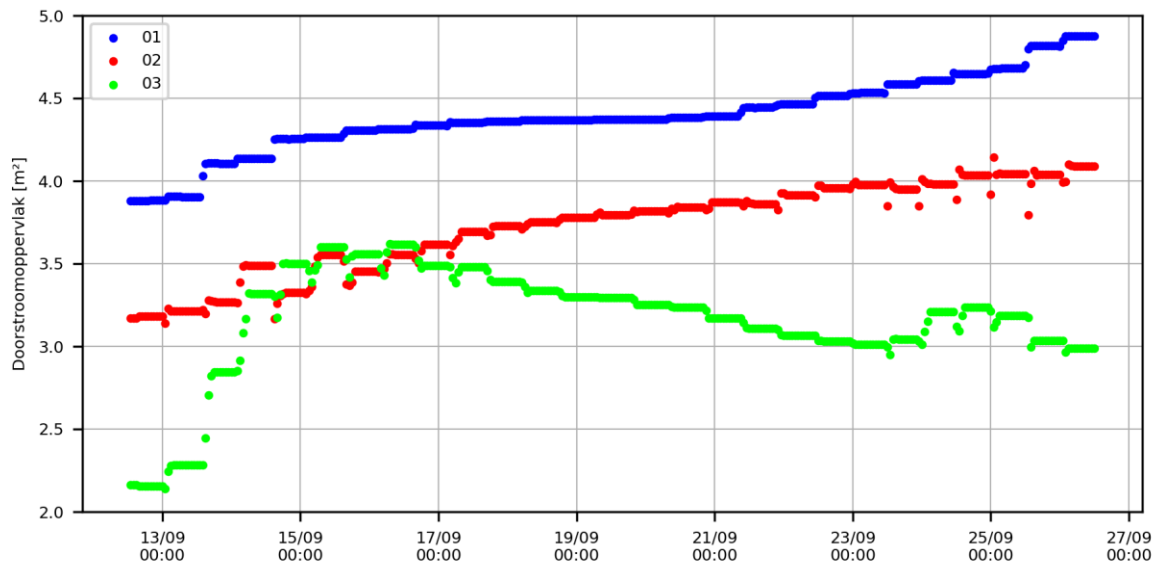
Figuur 4.2 Geleidelijke erosie van de ondiepte in de geul. De ondiepte erodeert over een periode van ca. 4 uur. De afstanden langs de x-as zijn in meters.

4.4.3 L03-C, EVENWICHTSPROFIEL

In modelsimulatie L03-C is gerekend met een morfologische factor van 10. Dit betekent dat morfologische processen zich een factor 10 versneld afspelen. Het doorrekenen van 15 dagen komt zo overeen met een morfologische som van 150 dagen. De resultaten van deze morfologische som zijn gepresenteerd in Figuur 4.3 als het doorstroomoppervlak van de geul als functie van de tijd op drie locaties in de geul (zie Figuur 4.4).

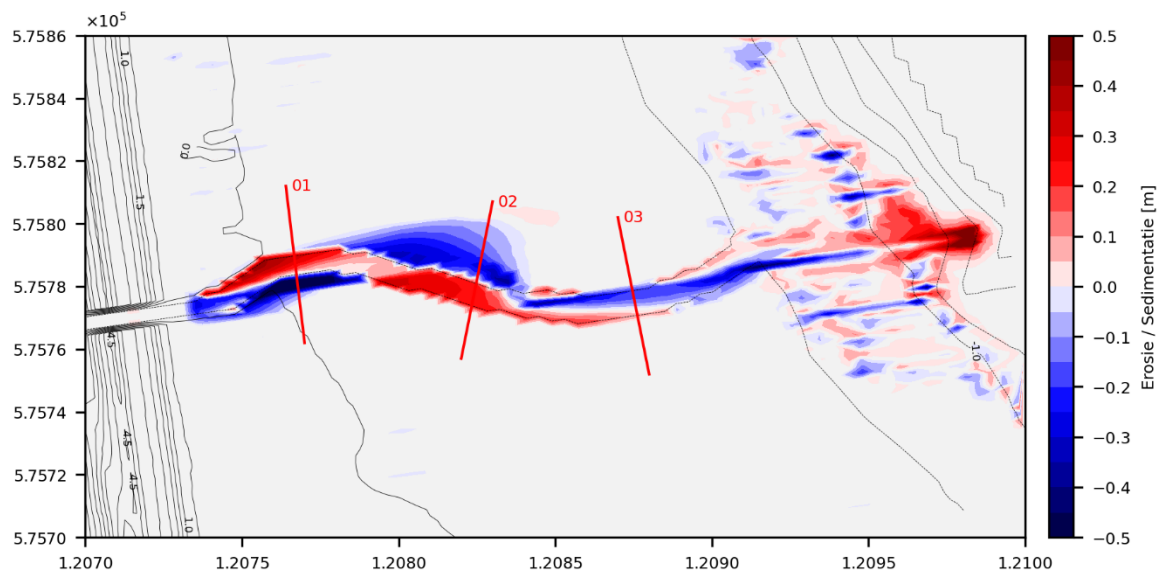
Figuur 4.3 laat zien dat:

- De doorstroomoppervlaktes naar een evenwicht naderen (het evenwichtsprofiel). Dit profiel is een evenwicht tussen de stroomsnelheden in de geul (deze hangen samen met de uitwisselingsvolumes tussen de polder en de Waddenzee, zie Figuur 3.8) en de weerstand die de bodem kan bieden. Het doorstroomoppervlak dat uit dit evenwicht resulteert, zorgt ervoor dat de snelheden zo laag liggen, dat er geen erosie meer optreedt. In de praktijk zal dit evenwicht zo nu en dan verstoord worden, bijv. door een storm, of verschuiven naar een nieuw evenwicht (bij een af- of toename van het uitwisselingsvolume). Ter hoogte van doorsnede 01 is het vereiste doorstroomoppervlak ca. 5 m², terwijl dit voor dwarsdoorsneden 02 en 03 respectievelijk ca. 4 m³ en 3 m³ is. Het kleinere doorstroomoppervlak in dwarsdoorsneden 02 en 03 is een logisch gevolg van de positie lager op de kwelder: de bodem ligt hier lager, waardoor een deel van het water niet via de geul, maar over de kwelder richting de Waddenzee afstroomt.
- Het volume aan water dat zich per getij door de geul verplaatst, groot genoeg is om de geul open te houden.



Figuur 4.3 Doorstroomoppervlak van de geul als functie van de tijd op drie locaties in de geul.

In Figuur 4.4 wordt het verschil tussen het begin en het eind van modelsimulatie L03-C gepresenteerd. De figuur laat zien dat de geul de neiging heeft om te meanderen. Dit is een natuurlijk proces dat zich op iedere kwelder afspeelt.



Figuur 4.4 Erosie en sedimentatie in modelsimulatie L03-C. Rode kleuren geven sedimentatie weer; blauwe kleuren erosie. De figuur laat het verschil zien over een periode van 150 dagen. De rode lijnen geven de dwarsdoorsneden weer waarvoor in Figuur 4.3 het doorstroomoppervlak is bepaald.

5 Omgevingseffecten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de te verwachten effecten van de aanleg van de waterinlaat op de omgeving beschreven. Dit omvat onder andere het effect op zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied en de effecten op de kwelder De Volharding en de bestortingen in het Robbengat.

5.2 Zoute kwel

Een inschatting van de te verwachten zoute kwel kan worden gegeven door te kijken naar:

- De hoogteligging van de polder ten opzichte van het aangrenzende landbouwgebied;
- De samenstelling van de ondergrond in de polder: een zandige bodem kent een hogere permeabiliteit (waterdoorlatendheid) dan een bodem die uit een meer fijnkorrelig sediment (bijv. slib) bestaat;
- De afwateringsmogelijkheden in het aangrenzende landbouwgebied.

Hoogteligging

De hoogteligging van de polder en het aangrenzende landbouwgebied is weergegeven in Figuur 5.1. Uit de figuur valt op te maken dat de polder een gradiënt in hoogte kent, lopend van noord naar zuid: het noordelijke deel van de polder ligt op ca. NAP+1.3 m; het zuidelijke deel van de polder op een hoogte van ca. NAP+0.5 m. Over het algemeen valt te stellen dat de hoogteligging van de polder ca. 10-30 cm groter is dan die van het aangrenzende landbouwgebied aan de andere kant van het dijklichaam (Stengweg).

Bodemsamenstelling

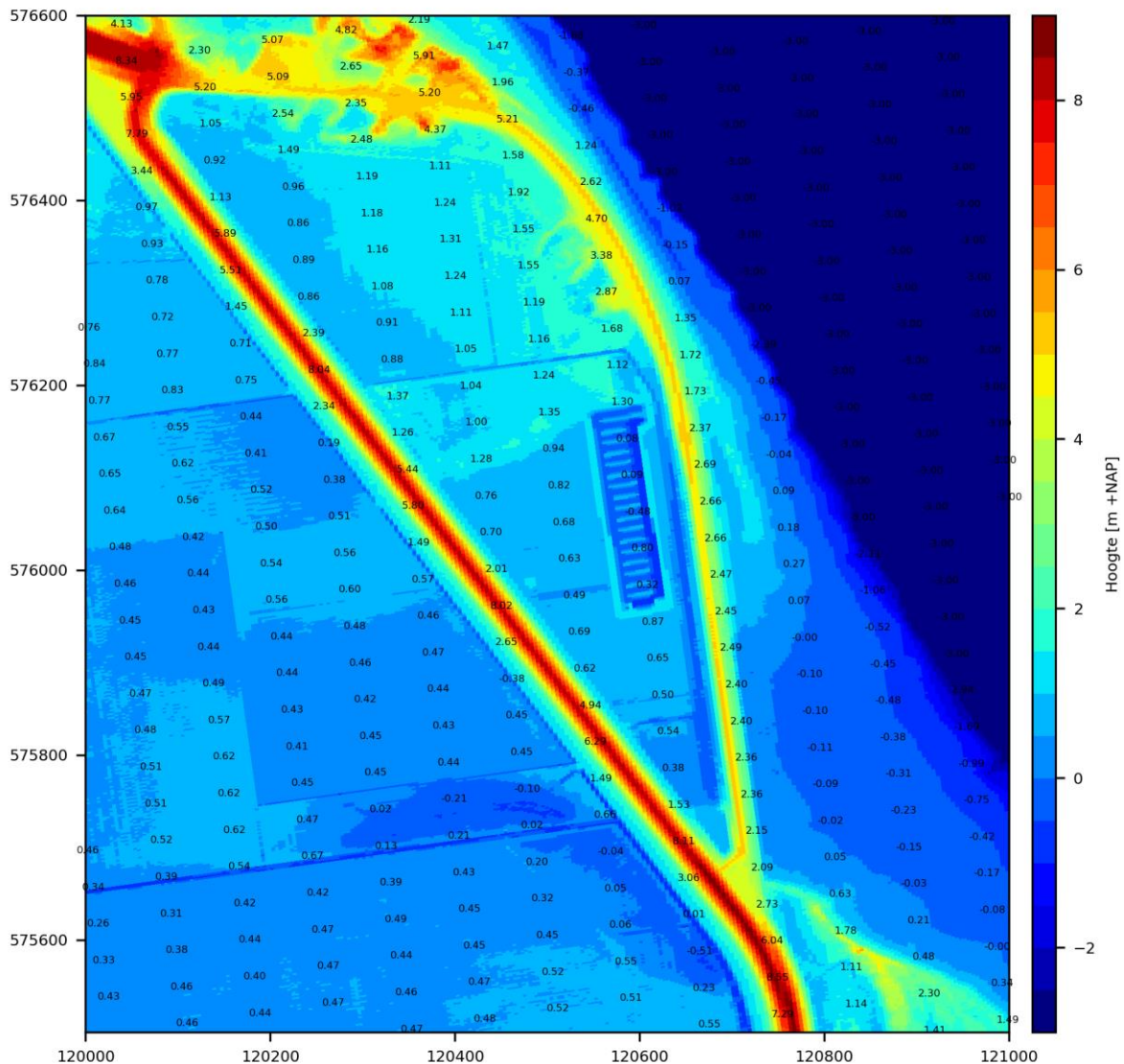
De aanwezigheid van een kleinschalig duinlandschap in het uiterste noorden van de polder wijst erop dat de bodem hier uit relatief zandig materiaal bestaat. Dit komt overeen met bodemdata uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) Nederland, waar twee typen sediment worden onderscheiden:

- Het noorden van de polder (tot enkele tientallen meters ten zuiden van de noordkant van de kweekbassins) bestaat uit leemarm en zwak, lemig fijn zand;
- Het zuiden van de polder bestaat in de basis uit leemarm en zwak, lemig zand, maar wordt afgedekt door een zavel- of klei-dek van 15-40 cm dikte. De bodem wordt daarmee geïnclassificeerd als lichte zavel.

De classificatie uit het BIS duidt erop dat het zuidelijke deel van de polder uit een fijnkorreliger sediment bestaat. Het bestaan van deze gradiënt dankt de polder aan het duinlandschap dat de noordpunt van Texel vormt, een restant van het voormalige Waddeneiland Eierland, en het voormalige kwelderlandschap dat het zuidelijke deel van de polder ooit kenmerkte.

Afwatering

De afwatering in het aangrenzende landbouwgebied verloopt richting het zuiden via de parallel aan de primaire waterkering gelegen sloot. De sloot watert af in de Roggesloot ten zuidoosten van De Cocksdorp, waar het via het in 2018 nieuw gebouwde gemaal Eierland in verbinding staat met de Waddenzee.



Figuur 5.1 Hoogteligging Polder Wassenaar en het aangrenzende landbouwgebied in de huidige situatie.

Uit de modelsimulaties blijkt dat alleen bij zeer grote getideslagen (met een frequentie van één tot enkele keren per jaar) het water tot het noorden van de polder rijkt; over het resterende gedeelte van het jaar zijn de kweekbassins het meest noordelijk gelegen deel van de polder dat onder water komt te staan. Daarmee is de verandering ten opzichte van de huidige situatie in het noordelijke deel van de polder minimaal.

Het zuidelijke deel van de polder staat, door de lagere ligging, onder meer invloed van het getij. Bij hoogwaterstanden boven de gemiddelde hoogwaterstand (NAP+0.64 m), treden de sloten in het zuidelijkste deel van de polder buiten hun oevers en komt het water op enkele locaties tegen de Waddenzeedijk aan te staan. Met een gemiddelde frequentie van circa 330 getijden per jaar, is dit aantal aanzienlijk hoger dan in het noordelijk deel van de polder.

De omvang van zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied is moeilijk vast te stellen op basis van bovenstaande data. Op basis van de hoogteligging is een kleine toename van zoute kwel niet uitgesloten. Doordat 1) alleen het uiterste zuiden van de polder frequent onder water komt te staan en 2) de bodem in dit deel van de polder uit moeilijk doorlatend sediment bestaat, is de verwachting dat de omvang van zoute kwel beperkt zal zijn.

Modellen die kwel kunnen simuleren gebruiken de bodemtypologie als invoer. Veelal is de bodemtypologie een onzekere parameter waardoor ook de modeluitkomsten aangaande kwel / grondwaterstroom onzekerheden met zich mee brengen.

Uit zoutmetingen in 2015, 2018 en 2019² volgt dat de aanleg van de bestaande hevel het zoutgehalte in de achterliggende polder maar zeer beperkt heeft doen toenemen. Wanneer er voor een duiker wordt gekozen die kan worden afgesloten en geen hogere waterstanden toelaat dan ca. NAP+1.50 m, is het verschil in zoutlast tussen de huidige situatie (met kweekbassins en hevel) en de toekomstige situatie (met kweekbassins en afsluitbare duiker) beperkt. Wanneer er geen afsluitmiddel in de duiker wordt aangebracht en extremere waterstanden in de polder kunnen voorkomen kan de zoutlast naar het achterland wel wat groter worden dan momenteel aanwezig.

Om meer inzicht te krijgen in de omvang van mogelijke zoute kwel, adviseren wij daarom het plaatsen van peilbuizen in de polder en het aangrenzende landbouwgebied en deze te monitoren. Door deze vroegtijdig aan te leggen, nog voor aanvang van de werkzaamheden, kan een referentiekader worden verkregen waar metingen in de toekomst tegen kunnen worden afgezet. Een raai in het zuiden van de polder, lopend van de polder tot in het aangrenzende landbouwgebied, dient daarbij als meest ideale locatie.

5.3 Effecten op kwelder De Volharding

De Volharding is een kwelder ten zuidoosten van Polder Wassenaar in beheer van Natuurmonumenten. De effecten op deze kwelder ten gevolge van de aanleg van de waterinlaat zijn te verwaarlozen: de waterinlaat brengt slechts een zeer beperkte ingreep op de getijdenstroom op de voorliggende wadplaat teweeg.

5.4 Effecten op bestortingen Robbengat

De stroomsnelheden nabij de bestortingen in het Robbengat die ontstaan als gevolg van de aanleg van een waterinlaat zijn dusdanig laag vergeleken met de stroomsnelheden in het Robbengat, dat er geen effecten te verwachten zijn op de bestortingen in het Robbengat.

² Zoutmetingen Polder Wassenaar – Texel, vervolg verslaglegging 2020, R.H. Twijnstra

6 Antwoorden op onderzoeksvragen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit Hoofdstuk 3, Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5 gebundeld om antwoord te kunnen geven om de onderzoeksvragen uit Hoofdstuk 1.

6.2 Onderzoeksvragen

6.2.1 ONTWERP

Wat zijn de optimale dimensies van de waterinlaat om te voldoen aan de vereiste watertoevoer van 20.000 m³/getij?

De optimale dimensies van de waterinlaat zijn een balans tussen meerdere factoren: een te kleine waterinlaat zorgt ervoor dat de waterstanden in de polder die in de Waddenzee niet kunnen volgen (waardoor het uitwisselingsvolume afneemt) en leidt tot hoge stroomsnelheden met erosie tot gevolg, terwijl een te grote opening tot een onnodig grote ingreep in het landschap leidt en extra kosten met zich meebrengt. In de uiteindelijke dimensionering van de waterinlaat zal een afweging tussen deze factoren moeten worden gemaakt.

In de modelsimulaties uit Hoofdstuk 3 zijn verschillende breedtes van de waterinlaat verkend. Een waterinlaat van 2 m breed op een diepte van NAP-0.5 m blijkt zowel in de eerste als de tweede serie van modelsimulaties te volstaan: de waterstanden in de polder kunnen de waterstanden in de Waddenzee goed volgen. De waterinlaat is daarmee niet limiterend voor de behaalde uitwisselingsvolumes. Zodra het kombergend volume (het volume achter de waterinlaat) verder wordt vergroot, bijvoorbeeld door het verder vergroten van de hoofwaterbuffer, vervalt dit mogelijk.

Uit de modelresultaten blijkt verder dat de maximale stroomsnelheid in de waterinlaat tot ca. 1.9 m/s bedraagt. Dit is aan de hoge kant en kan leiden tot erosie; idealiter bedragen de maximale stroomsnelheden ca. 1.0 m/s. Om de stroomsnelheden iets te verlagen, wordt geadviseerd de opening 2.5 m breed te maken. Verder adviseren wij de waterinlaat op NAP-1.0 m aan te leggen, zodat optimaal gebruik wordt gemaakt van de getijdenslag in de Waddenzee. We stellen daarom een koker voor van circa 2.5 m breed en 2.0 m hoog.

Kan er voldoende water worden geborgen voor het goed functioneren van de polder als voorraadbassin voor de kweekbassins bij alle waterstanden in de Waddenzee of zijn er aanvullende ontwerpkeuzes noodzakelijk?

In Tabel 3.4 zijn de uitwisselingsvolumes gepresenteerd voor de verschillende modelvarianten. Uit de tabel blijkt dat een uitwisselingsvolume van 20.000 m³/getij alleen in modelsimulaties L03 en L06 op een regelmatige basis (211 en 363 getijden per jaar respectievelijk) wordt behaald. Een lager uitwisselingsvolume van 10.000 m³/getij wordt in modelsimulaties L03, L04 en L06 in meer dan 74% van de getijden behaald.

Op basis van bovenstaande kan een uitwisselingsvolume van 20.000 m³/getij in geen van de modellen gedurende ieder getij worden behaald. Dit lijkt door de relatief hoge ligging van de polder ten opzichte van de Waddenzee ook in andere configuraties uitgesloten. Er zal zodoende een afweging moeten worden gemaakt tussen het gewenste uitwisselingsvolume en de frequentie waarin deze dient voor te komen. De exacte omvang van de waterinlaat en de dimensionering / positionering van de overige ontwerpkeuzes kan daarop worden afgestemd. Een combinatie van de voorgestelde ontwerpkeuzes wordt daarin geadviseerd.

Over het algemeen geldt dat het uitwisselingsvolume tussen de kweekbassins en de Waddenzee kan worden vergroot door:

- Het aanleggen van een geul in het intergetijdengebied;
- Het vergrootten van het kombergend volume. Dit kan worden bereikt door:
 - Het vergrootten van de hoogwaterbuffer;
 - Het toepassen van een kleppensysteem dichtbij de waterinlaat.

Door het verder vergrootten van de hoogwaterbuffer, kan een groter uitwisselingsvolume dan nu gepresenteerd worden bereikt. Echter dient hierbij de dimensionering van de waterinlaat opnieuw te worden bekeken: een groter uitwisselingsvolume leidt immers tot hogere snelheden in de waterinlaat.

Hoe wordt ondermijning van de dijk / waterkering / aanwezige structuren voorkomen?

Ondermijning van aanwezige structuren vindt doorgaans plaats op plekken waar de stroomsnelheid hoog is. Uit de modelsimulaties blijkt dat dit met name in en nabij de waterinlaat het geval is. Om ondermijning van het dijklichaam te voorkomen, dient daar lokaal bodembescherming te worden geplaatst, zowel aan de binnenzijde als de buitenzijde van de waterinlaat. Als type bodembescherming lijkt stortsteen het beste. De benodigde sortering (steengrootte) en locatie van de bodembescherming dient gedetailleerd te worden nadat bekend is hoe groot de bassins en waterberging zullen worden omdat deze mede bepalen wat de stroomsnelheden zullen zijn.

6.2.2 HYDRODYNAMICA

Wat is het getijdegedrag in de polder, in welke mate stroomt de polder vol en wat zijn de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes?

In Hoofdstuk 3 zijn 6 modellen besproken waarin een aantal ontwerpkeuzes hydrodynamisch zijn doorgerekend. Uit de modelresultaten kan worden afgeleid wat de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes zijn. Hieruit blijkt het volgende:

- De waterstanden in de polder volgen de waterstanden in de Waddenzee. Bij extreme waterstanden (voorbij de waterstanden uit voor deze verkenning gebruikte waterstandtijdserie) is dit mogelijk anders en werkt de waterinlaat limiterend.
- De stroomsnelheden in de waterinlaat correleren met de uitwisselingsvolumes tussen de kweekbassins en de Waddenzee. Over het algemeen geldt: hoe groter het uitwisselingsvolume, hoe hoger de stroomsnelheid door de waterinlaat. Uit de relatie tussen het uitwisselingsvolume en de stroomsnelheid kan worden geconcludeerd dat de behaalde stroomsnelheden aan de hoge kant zijn. Wij raden daarom aan de waterinlaat iets groter te dimensioneren dan in de modelsimulaties: 2.5 m breed op een diepte van NAP-1.0 m.
- De conclusies met betrekking tot de uitwisselingsvolumes zijn reeds beschreven in Paragraaf 6.2.1.

Een uitgebreide beschrijving van de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes is te vinden in Paragraaf 3.3.

6.2.3 MORFODYNAMICA

Wat is de optimale locatie van de opening in de dijk om zo goed mogelijk aan te sluiten bij de lokale hydromorfologische situatie op de aanwezige kwelder?

Aan de oostkant van Polder Wassenaar ligt een zandplaat die langzaam richting het zuiden migreert (zie beschrijving in Paragraaf 2.3.2). De verwachting is dat deze migratie doorzet. Om te voorkomen dat de zandplaat de waterinlaat in de nabije toekomst blokkeert, wordt aangeraden de waterinlaat aan de zuidoostkant van de polder aan te leggen.

Wat zijn de te verwachten korte en lange termijn ontwikkelingen het traject van de waterinlaat en de polder met betrekking tot de hydrologie en morfologie?

In Hoofdstuk 4 is ingegaan op de morfologische aspecten van de waterinlaat en de voorliggende kwelder op basis van een morfologische doorrekening van modelsimulatie L03. Uit de modelresultaten blijkt dat:

- De stroomsnelheden in de wadgeul hoog genoeg zijn voor het op natuurlijke wijze open houden van een geul over het wad.
- De stroomsnelheden volstaan voor het op natuurlijke wijze eroderen van een ondiepte / drempel, die kunnen ontstaan ten gevolge van bijvoorbeeld een storm.
- Het doorstroomoppervlak naar een evenwicht nadert. Nabij de waterinlaat is dit doorstroomoppervlak ca. 5 m²; lager op de kwelder neemt het vereiste oppervlak af, doordat water ook via de kwelder afstroomt.
- De geul de neiging heeft om te gaan meanderen over de voorliggende kwelder. Dit is een natuurlijk proces wat zich op iedere kwelder afspeelt.

Wanneer de geul over het intergetijdengebied een diepte heeft tot circa NAP-1.0 m werkt deze optimaal en zijn de uitwisselingsvolumes het grootste. Of de geul deze diepte van nature kan bereiken is onzeker. De nu uitgevoerde morfologische simulaties geven een positief beeld (bij NAP-0.5 m lijkt de geul uit te schuren) maar de nu gehanteerde modelinstellingen brengen nog onzekerheden met zich mee die in een latere fase in meer detail moeten worden verkleint.

6.2.4 OMGEVING

Is er een toename te verwachten van zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied?

De omvang van zoute kwel in het aangrenzende landbouwgebied is moeilijk vast te stellen op basis van de beschikbare data. Op basis van de hoogteligging van de polder ten opzichte van het aangrenzende landbouwgebied, is een kleine toename van zoute kwel niet uitgesloten. Echter, doordat 1) alleen het uiterste zuiden van de polder frequent onder water komt te staan en 2) de bodem in dit deel van de polder uit slecht doorlatend, fijnkorrelig sediment bestaat, is de verwachting dat de omvang van zoute kwel beperkt zal zijn.

Uit zoutmetingen in 2015, 2018 en 2019² volgt dat de aanleg van de bestaande hevel het zoutgehalte in de achterliggende polder maar zeer beperkt heeft doen toenemen. Wanneer er voor een duiker wordt gekozen die kan worden afgesloten en geen hogere waterstanden toelaat dan ca. NAP + 1,50 m, is het verschil in zoutlast tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie zeer beperkt. Wanneer er geen afsluitmiddel in de duiker wordt aangebracht en extremere waterstanden kunnen voorkomen kan de zoutlast naar het achterland wel wat groter worden dan momenteel aanwezig.

Om meer inzicht te krijgen in de omvang van zoute kwel, adviseren wij het plaatsen van peilbuizen in de polder en het aangrenzende landbouwgebied of het (maandelijks) meten van het zoutgehalte in de sloten. Door de metingen vroegtijdig te starten, nog voor aanvang van de werkzaamheden, kan een referentiekader worden verkregen waar metingen in de toekomst tegen kunnen worden afgezet.

Is er een effect te verwachten op de naastgelegen kwelder De Volharding van Natuurmonumenten?

Nee, de effecten op de kwelder De Volharding zijn te verwaarlozen.

Is er een effect te verwachten op de aanwezige bestortingen in het Robbengat?

Nee, de stroomsnelheden die ontstaan ten gevolge van de aanleg van een waterinlaat zijn dusdanig laag ten opzichte van die in het Robbengat, dat er geen effecten zijn te verwachten op de aanwezige bestortingen.

6.2.5 KOSTEN

Het PRW heeft WaterProof gevraagd een prijsindicatie te geven van de aanleg van een waterinlaat. In Tabel 6.1 wordt een inschatting van de kosten gegeven, op basis van de volgende uitgangspunten:

- Het grondwerk en alle daaraan verbonden werkzaamheden zijn gebaseerd op een baggervolume van 10.000 m³ en ontwerp L06 (zie Tabel 3.3 voor de baggervolumes per modelvariant);
- De kosten voor een afsluitmiddel in de duiker (na oplevering van het conceptrapport en de daaropvolgende presentatie aan alle betrokkenen, is de wens uitgesproken om de duiker bij extreme hoogwaterstanden af te kunnen sluiten) en de kosten van een kleppensysteem zijn niet opgenomen in de kostenraming. De kostenraming voor beide onderdelen zal in een separate SSK raming worden uitgewerkt;
- De prijzen in Tabel 6.1 zijn gebaseerd op inschattingen van Paape BV (aannemer) en Giverbo B.V. (prefab betonelementen);
- Er geldt een onzekerheid van ca. 30% op de ingeschatte prijzen.

Tabel 6.1 Prijsindicatie voor de aanleg van een waterinlaat.

Omschrijving	Prijsindicatie* [€]
Vorstudies	
- Detailmodel, uitwerking ontwerp, afstemming belanghebbenden, detailtekeningen + berekeningen, bestek, bemonstering/studie zoutgehalte omliggende polders, eventueel sondering, SSK-raming	60.000
Grondwerk	
- Graafwerkzaamheden kraan (30 dagen)	24.000
- Personeel (30 dagen, 2 man)	21.600
- Machinemodel vormgeving	2.000
Duiker	
- Prefab betonelementen (2.5x2.0x35 m)	60.000
- Aanbrengen fundering	20.000
- Transportkosten betonelementen	5.000
- Telekraan t.b.v. inhijzen betonelementen (2 dagen)	5.000
- Personeel t.b.v. ontgraven, stellen en plaatsen betonelementen (15 dagen, 2 man)	10.800
- Verwijderen + opnieuw aanbrengen asfalt	5.000
Bodembescherming	
- Kraan (5 dagen)	4.000
- Personeel (5 dagen, 2 man)	3.600
Stortstenen (7x7x1 m aan beide zijden van de waterinlaat)	10.000
Inzaaien dijklichaam	500
Plaatsen rijplaten en bouwhekken	1.000
Plaatsen keet	1.000
Extra transportkosten i.v.m. locatie op Texel / mobilisatie & demobilisatie	5.000
Overnachtingskosten personeel	10.000
Subtotaal	248.500
Onvoorzien (20%)	49.700
Subtotaal	298.200
Opslag voor winst en risico (16%)	47.712
Totaal	345.912

* Prijzen excl. btw

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het PRW heeft WaterProof gevraagd een verkenning uit te voeren naar de haalbaarheid van een waterinlaat in Polder Wassenaar met als doel:

- Op korte termijn (1-5 jaar) voldoende debiet te kunnen garanderen voor een zo optimaal mogelijke kokkelteelt in de kweekbassins;
- Op langere termijn (> 5 jaar) zilte natuurontwikkeling mogelijk te maken na voltooiing van het onderzoek naar binnendijkse kokkelteelt.

In dit rapport is met behulp van numerieke modellering onderzocht of een waterinlaat haalbaar is. Hierin is ingegaan op hydrodynamische aspecten, zoals de te verwachten waterstanden, stroomsnelheden en uitwisselingsvolumes, en de effecten van de waterinlaat op morfologisch vlak en de omgeving.

De belangrijkste conclusies uit de verkenning kunnen als volgt worden samengevat:

- **Ontwerp & hydrodynamica:**
 - Een waterinlaat verhoogt het uitwisselingsvolume tussen de Waddenzee en de kweekbassins aanzienlijk ten opzichte van de huidige situatie. De hoogste uitwisselingsvolumes worden behaald wanneer een waterinlaat van 2 m breed op een diepte van NAP-0.5 m wordt gecombineerd met 1) een geul over het voorliggende wad, 2) het vergroten van de hoogwaterbuffer en 3) het plaatsen van een kleppensysteem dicht bij de waterinlaat (door middel van een nieuwe binnendijkse geul). Wij adviseren een combinatie van alle ontwerpkeuzes.
 - In verband met de hoge stroomsnelheden in de modelsimulaties, wordt aangeraden de waterinlaat iets groter te dimensioneren dan in de modelsimulaties is aangehouden. Wij adviseren een breedte van 2.5 m op een diepte van NAP-1.0 m. In verband met de verwachte zuidwaartse migratie van de wadplaat aan de buitendijkse zijde van de polder, wordt een locatie in het zuiden van de polder aangeraden.
- **Morfologie:**
 - De stroomsnelheden in de wadgeul lijken voldoende voor het op een natuurlijke wijze openhouden van een geul over het wad.
 - Het doorstroomoppervlak van de geul nadert van nature naar een evenwicht (het evenwichtsprofiel). Deze is afhankelijk van het uitwisselingsdebiet, hoe groter die is hoe beter de geul open kan blijven.
 - De wadgeul zal zich naar verwachting meanderend gaan gedragen.
- **Omgeving:**
 - Zoute kwel is op basis van de beschikbare data moeilijk te kwantificeren. De verwachting is dat de omvang beperkt zal zijn. Wij raden aan peilbuizen te plaatsen voor het monitoren van zoute kwel en op korte termijn te starten met meten. Door ook in de situatie zonder waterinlaat de mate van zoute kwel vast te stellen, wordt een referentiekader verkregen waar toekomstige metingen tegen kunnen worden afgezet.
 - Er zijn geen effecten te verwachten op de kwelder De Volharding van Natuurmonumenten de bestortingen in het Robbengat.
- **Kosten:**
 - De kosten van de aanleg van een waterinlaat bedragen (op basis van een baggervolume van 10.000 m³) ca. € 346.000 excl. btw (onzekerheidsmarge van ca. 30%). De kosten van een afsluitmiddel in de waterinlaat / duiker en de kosten van een kleppensysteem maken hier geen onderdeel van uit en worden in een separate SSK raming uitgewerkt.

7.2 Aanbevelingen

Onderliggende studie is een verkenning naar de haalbaarheid van een waterinlaat in Polder Wassenaar. In deze studie zijn veel aspecten globaal onderzocht waarbij uitgangspunten zijn aangehouden die onzekerheden met zich mee brengen. Op sommige vlakken zal een globale berekening genoeg zijn, op andere vlakken is een meer gedetailleerde studie noodzakelijk om risico's dat het gebied zich na aanleg anders gedraagt dan bepaald uit te sluiten.

Naar aanleiding van deze verkenning adviseren we om op een aantal punten een meer gedetailleerde studie uit te voeren:

Gezamenlijk vaststellen definitief ontwerp korte- en lange termijn

- We adviseren om deze verkenning met alle belanghebbende partijen te bespreken en gezamenlijk een definitief ontwerp te kiezen van de inrichting van de polder, de te graven bassins en sloten, en resulterende hoogteligging van de polder. Keuzes die gemaakt dienen te worden zijn o.a.:
 - Hoe groot worden de bassins?;
 - Kan de waterdoorlaat op de voorkeurslocatie (zuidoost kant polder) worden gerealiseerd?;
 - Hoe dient de aan- en afvoer van de sloten te worden en welke dimensies mogen deze krijgen?;
 - Worden de bassins/ sloten iets dieper gegraven om aanslibbing op te kunnen vangen?;
 - Is een geul(tje) op het voorliggende intergetijdengebied haalbaar?;
 - Is de voorgestelde doorlaat van 2,5 m met bodemligging op NAP-1.0 m haalbaar?;
 - Hoe ziet de situatie er na 5 jaar uit wanneer de bassins worden afgestoten?

Bepalen waterbeweging definitieve ontwerpen

- Wanneer bekend is wat het definitieve ontwerp wordt voor de korte termijn (incl. bassins) en lange termijn (intergetijdengebied) wordt aanbevolen deze 2 situaties in een meer gedetailleerd hydromorfologische model in te bouwen. Voornamelijk de resolutie van het model (nu 2 x 4 m) dient verfijnt te worden om de sloten in iets meer detail te kunnen schematiseren. Dit model geeft vervolgens gedetailleerd inzicht in de te bereiken uitwisselingsvolumes, stroomsnelheden en waterstanden voor de definitieve ontwerpen van de korte- en lange termijn.

Bepalen morfologische aspecten definitieve ontwerpen

- We adviseren om, gegeven de hierboven benoemde uitwisselingsvolumes, na te gaan of de geul op het intergetijdengebied open kan blijven, ook wanneer er door stormen grote hoeveelheden zand in de geul wordt getransporteerd;
- Bij voorkeur vinden er geen graafwerkzaamheden plaats t.b.v. het creëren van het geultje op het intergetijdengebied. Of dit geultje zelf kan ontstaan wanneer de doorlaat is gerealiseerd en daarmee geen graafwerkzaamheden nodig zijn hangt enerzijds af van de erosiebestendigheid van de bodem in het intergetijdengebied (bij welke stroomsnelheid gaat de zand-slib bodem wegspoelen) en anderzijds de uitwisselingsvolumes en stroomsnelheden die bereikt worden wanneer er nog helemaal geen geultje aanwezig is. We bevelen aan de erosiebestendigheid van het bodemmateriaal middels een kleine stroomgootproef met sediment van het intergetijdengebied te beproeven en vervolgens middels modelsimulaties te bepalen of- en hoe een geul van nature kan ontstaan en er inderdaad wel / geen graafwerkzaamheden nodig zijn;
- De mate van aanslibbing is nu gebaseerd op een slibconcentratie van 13.2 mg/L waarbij we veronderstellen dat het grootste deel van het slib neerslaat. De concentratie is echter niet constant en is afhankelijk van de getijcondities en voorkomen van stormen. De mate van neerslaan hangt af van de snelheid waarmee slibdeeltjes uitzakken. Om met meer zekerheid te bepalen wat de aanslibbing is stellen we voor om de

slibconcentraties nabij de toekomstige waterinlaat te meten en middels een bezinkproef te bepalen hoe snel het slib uitzakt.

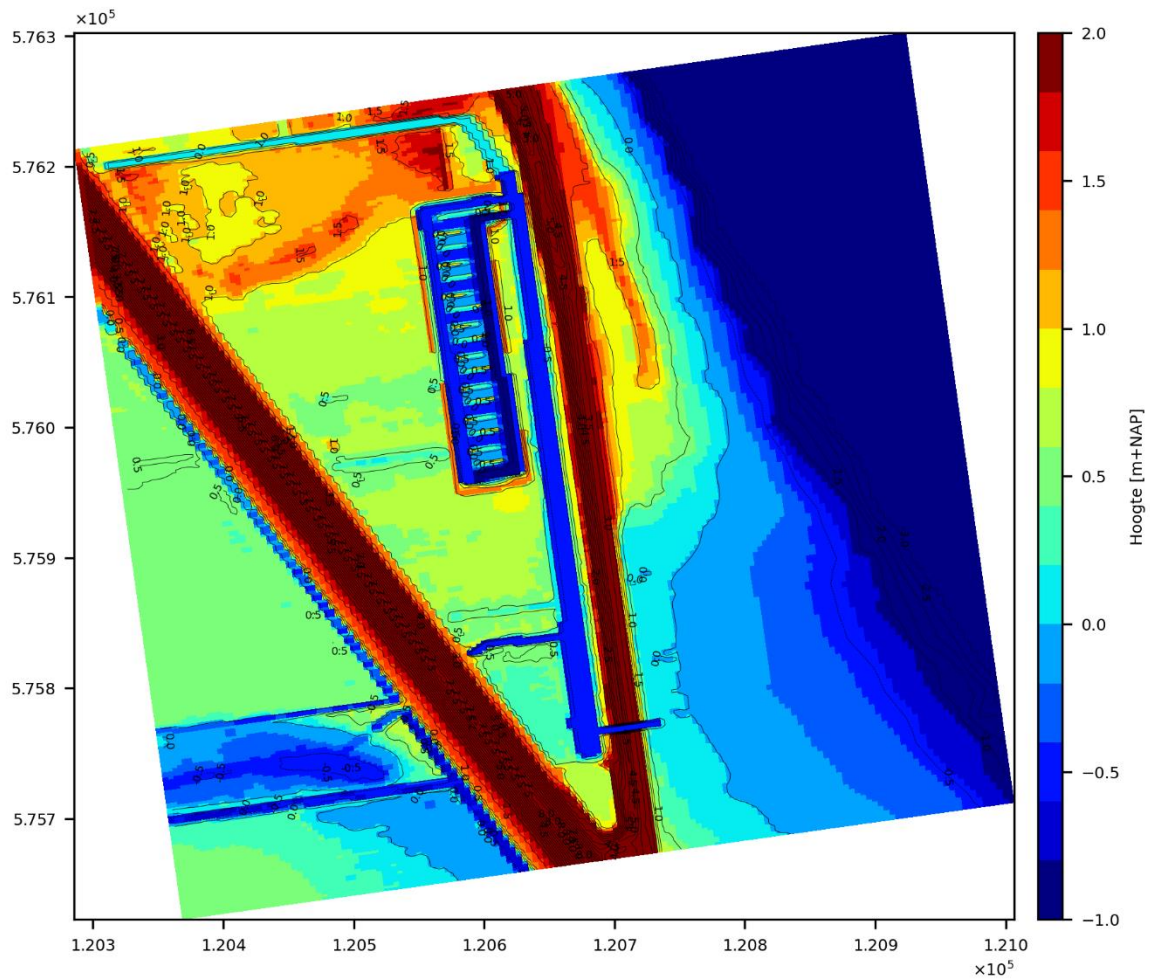
Bescherming monding doorlaat

- De in- en uitstroom bij de doorlaat mag het dijklichaam niet ondermijnen. Daartoe dient de stroom nabij de dijk geleid te worden middels bijvoorbeeld palenrijen of stortstenen dammetjes. Er wordt aanbevolen hier een ontwerp van te maken;
- Daarnaast dient onderzocht te worden of er nabij de doorlaat in de dijk (mondning waterinlaat) aanvullende werken (palenrij of stortstenen dammetjes) dienen te moeten komen om zandtransport naar de polder en een mogelijke blokkade te voorkomen.

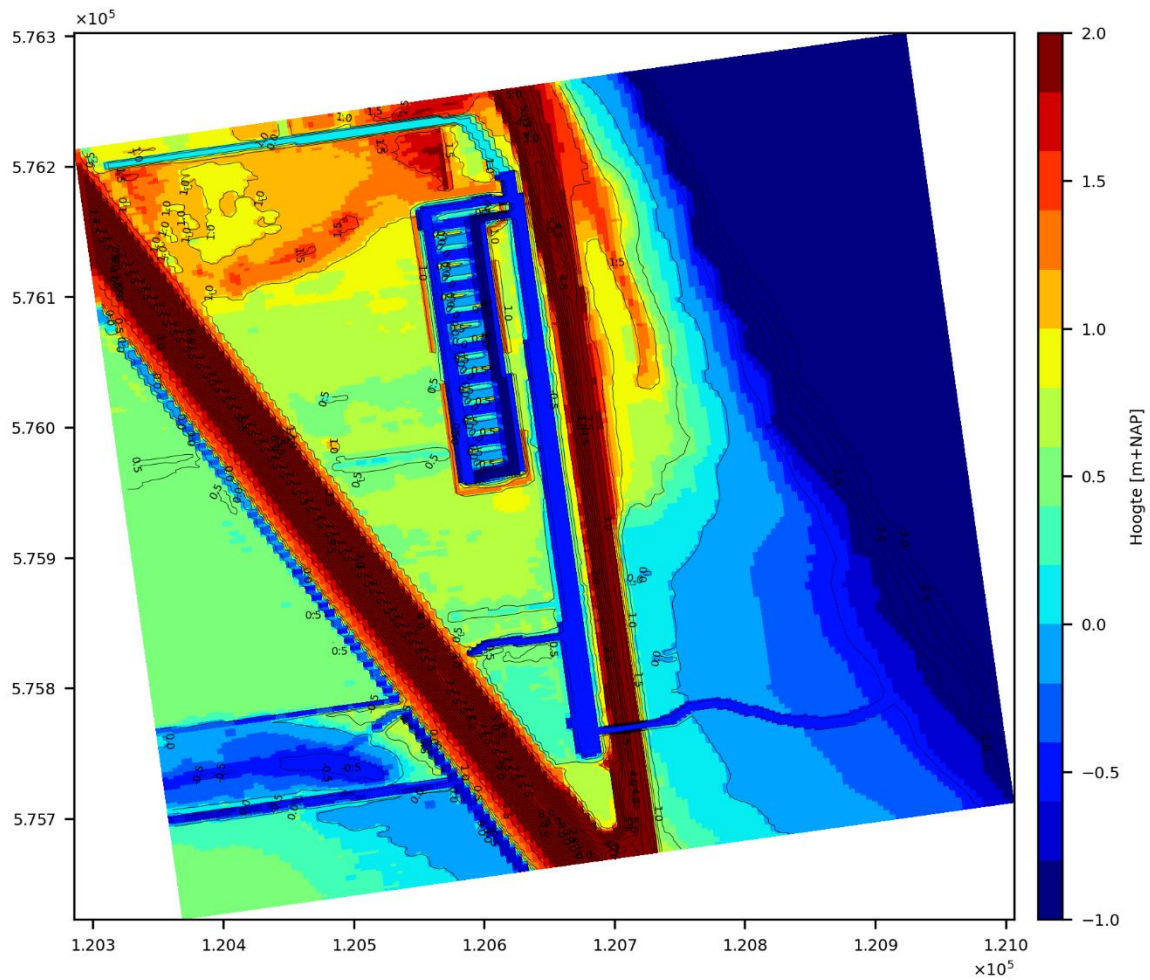
Zoute kwel

- De omvang van zoute kwel is op basis van de beschikbare data moeilijk te kwantificeren. Wij raden aan peilbuizen te plaatsen voor het monitoren van zoute kwel en op korte termijn te starten met meten. Door ook in de situatie zonder waterinlaat de mate van zoute kwel vast te stellen, wordt een referentiekader verkregen waar toekomstige metingen tegen kunnen worden afgezet.

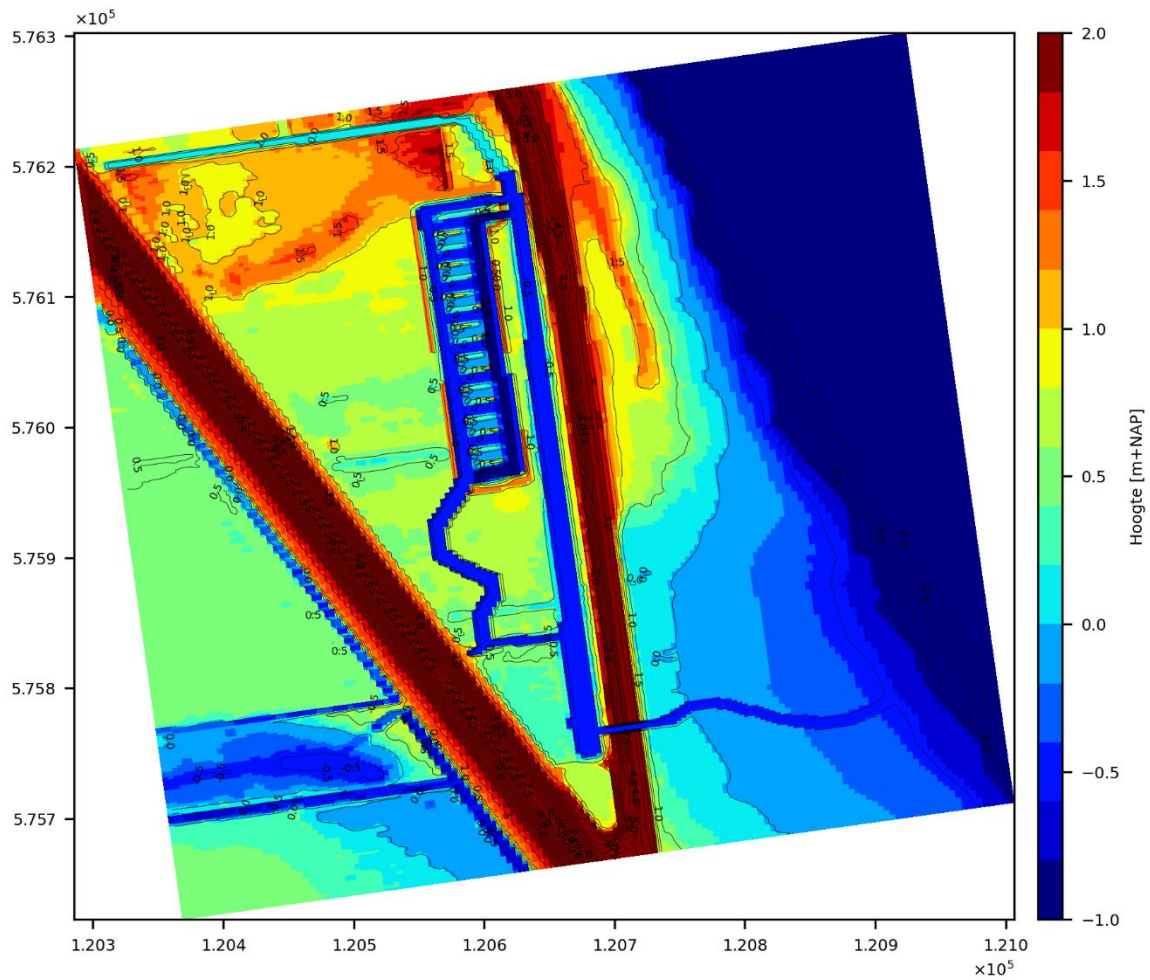
Bijlage 1: Overzicht modelsimulaties



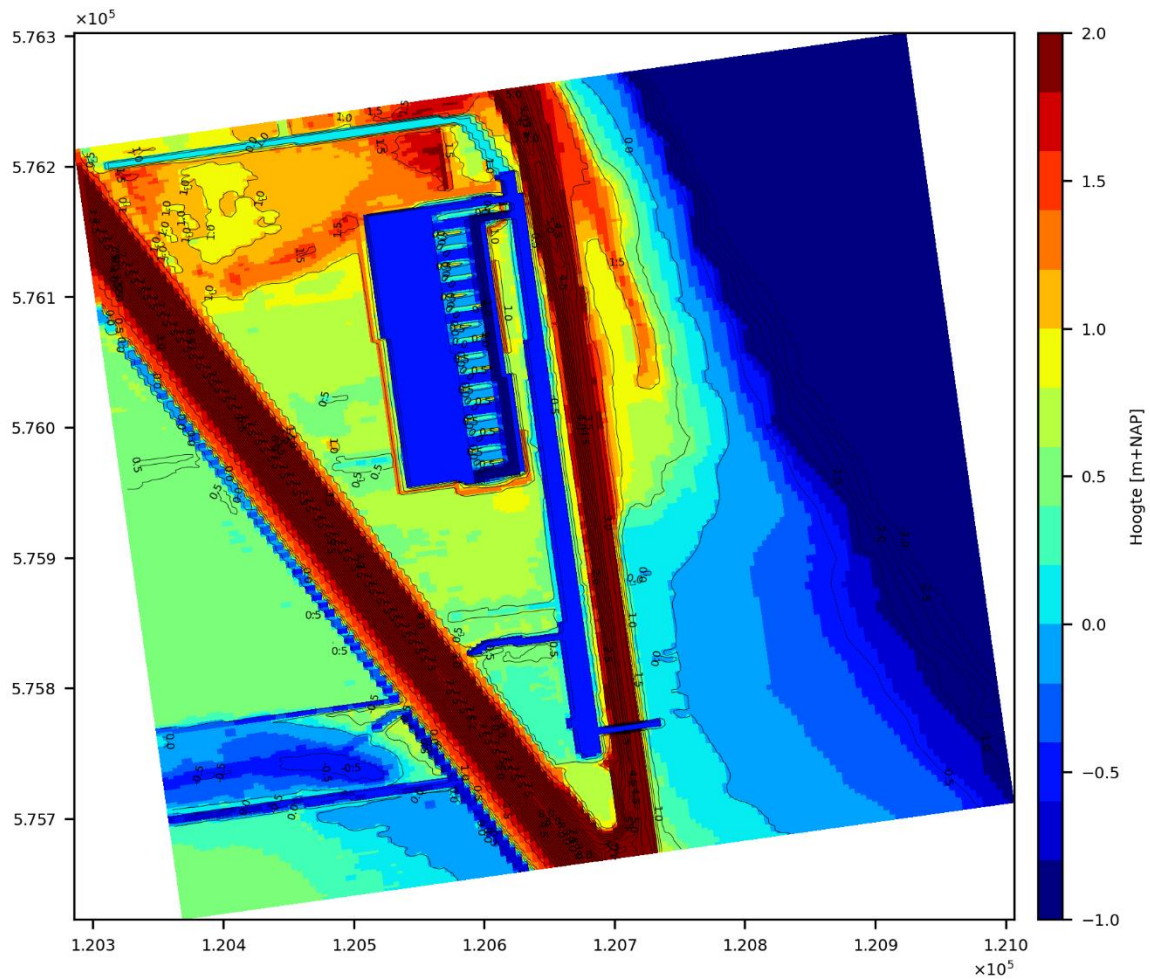
Bijlage 1.1 Bodemligging modelsimulatie LO1. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.



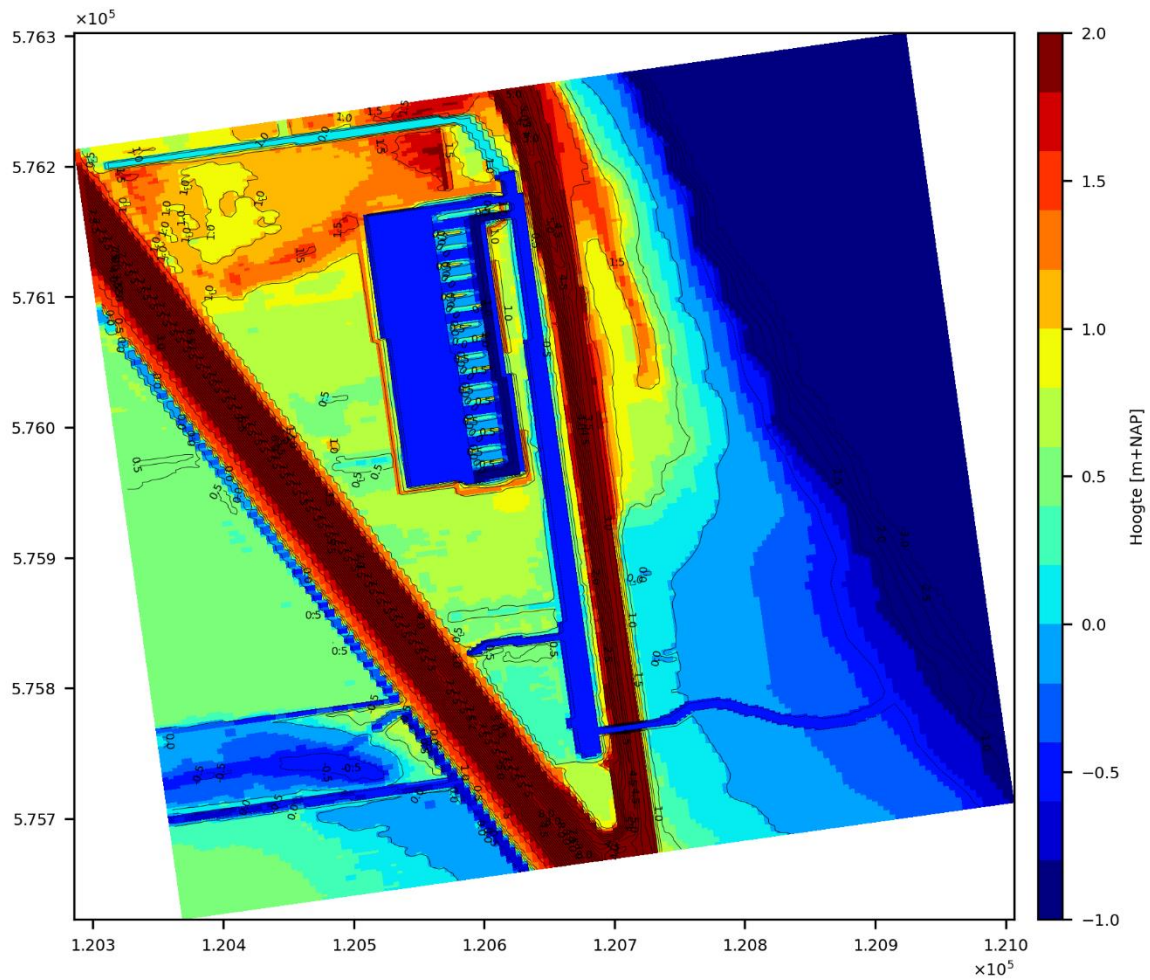
Bijlage 1.2 Bodemligging modelsimulatie L02. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.



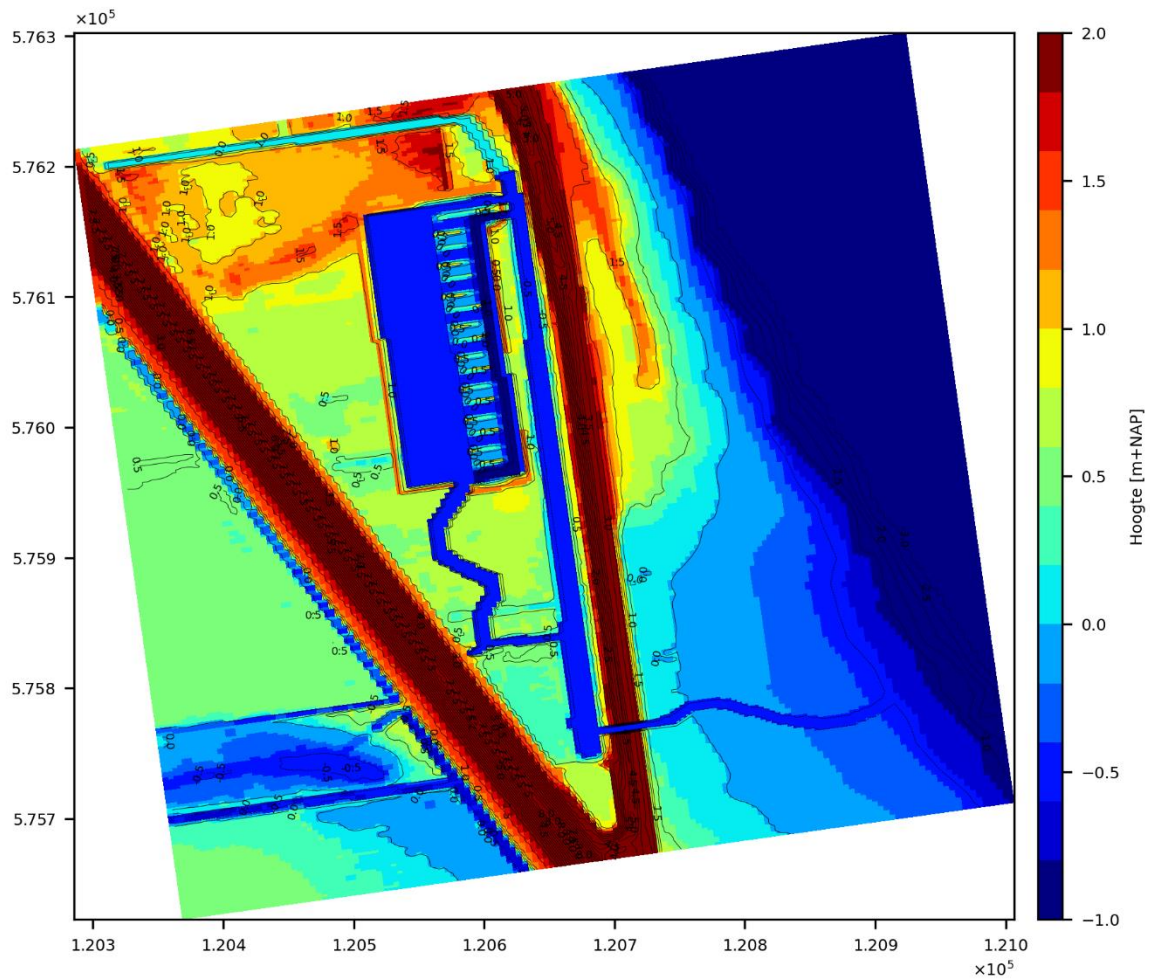
Bijlage 1.3 Bodemligging modelsimulatie L03. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.



Bijlage 1.4 Bodemligging modelsimulatie LO4. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.

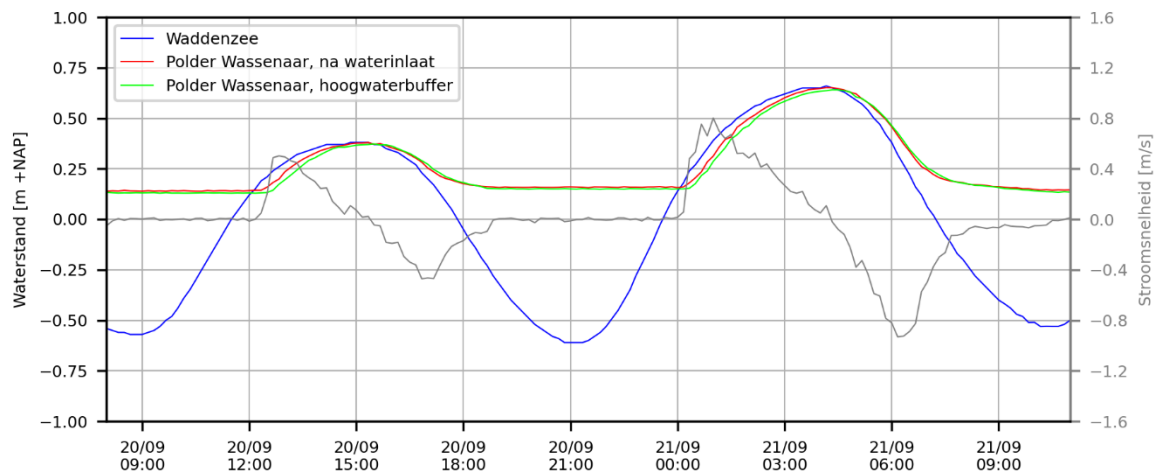


Bijlage 1.5 Bodemligging modelsimulatie L05. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.

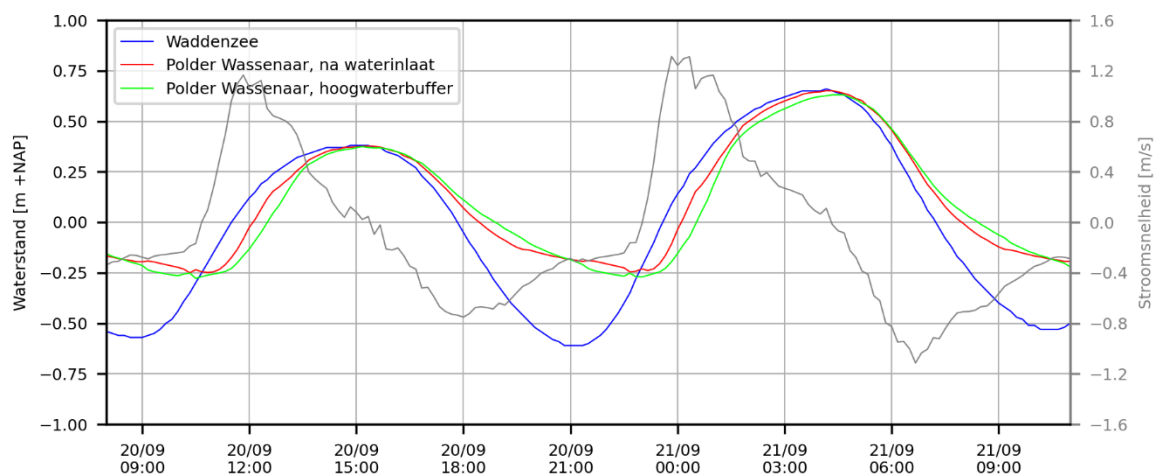


Bijlage 1.6 Bodemligging modelsimulatie L06. Ter verduidelijking van de ontwerpkeuzes zijn hoogtes buiten het bereik NAP-1.0 m tot NAP+2.0 m niet opgenomen in de kleurschaal. Het werkelijke bereik is groter.

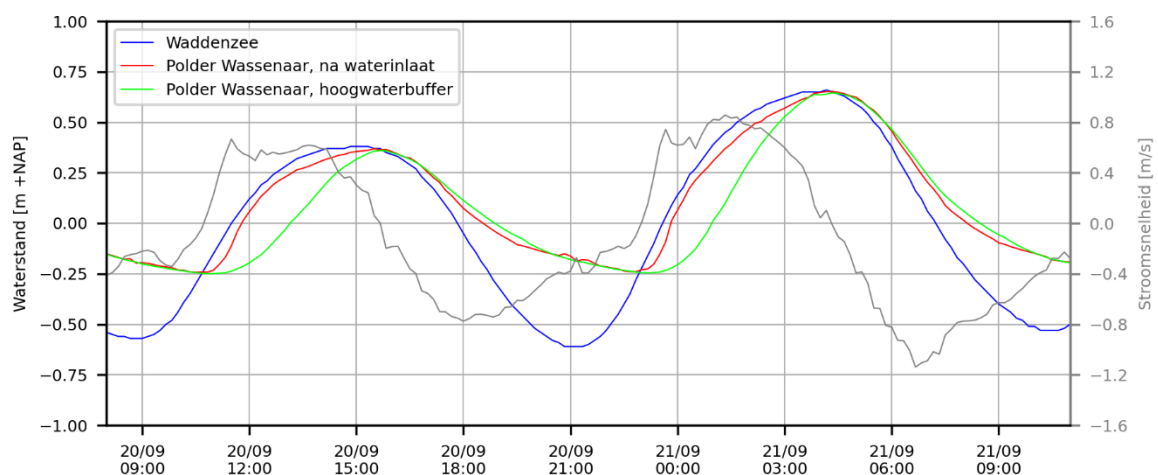
Bijlage 2: Waterstandtijdseries



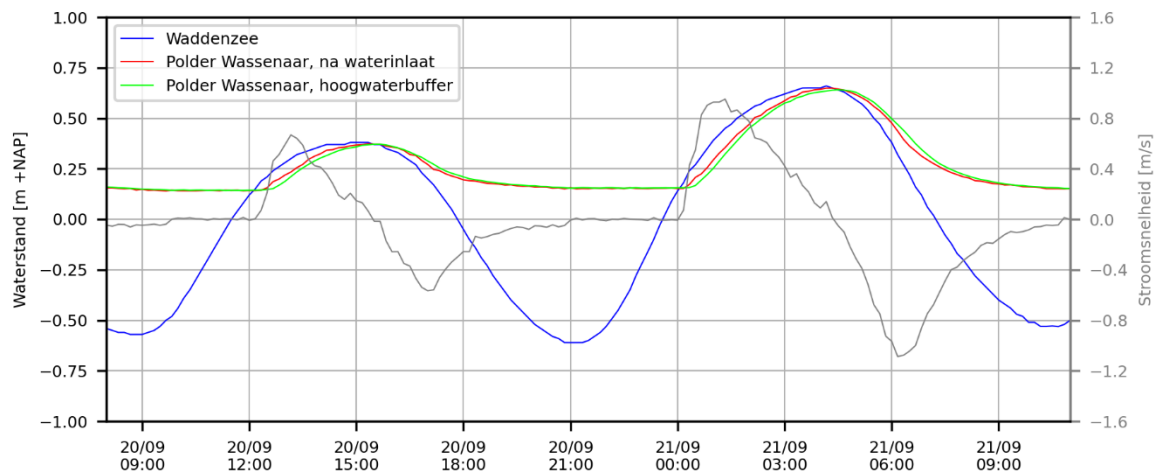
Bijlage 2.1 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L01. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.



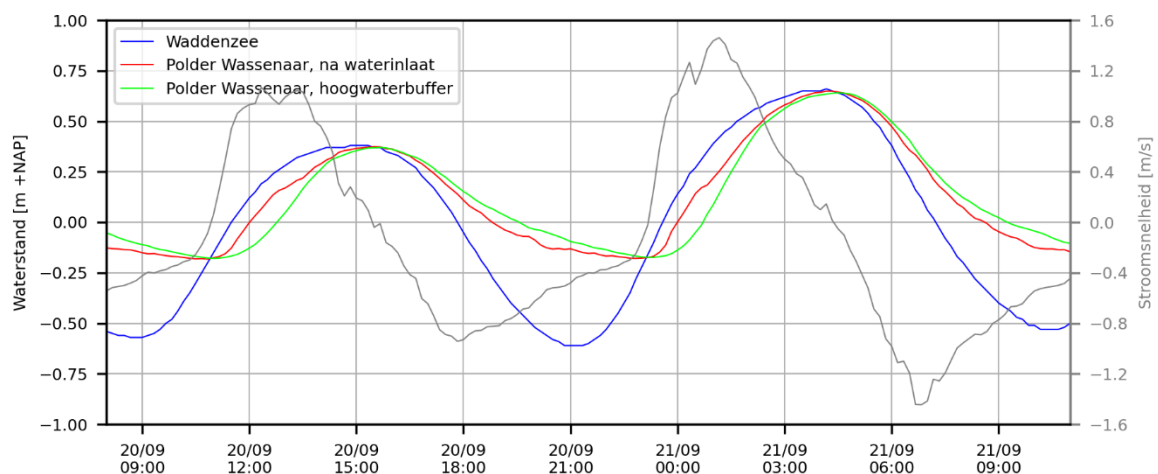
Bijlage 2.2 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L02. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.



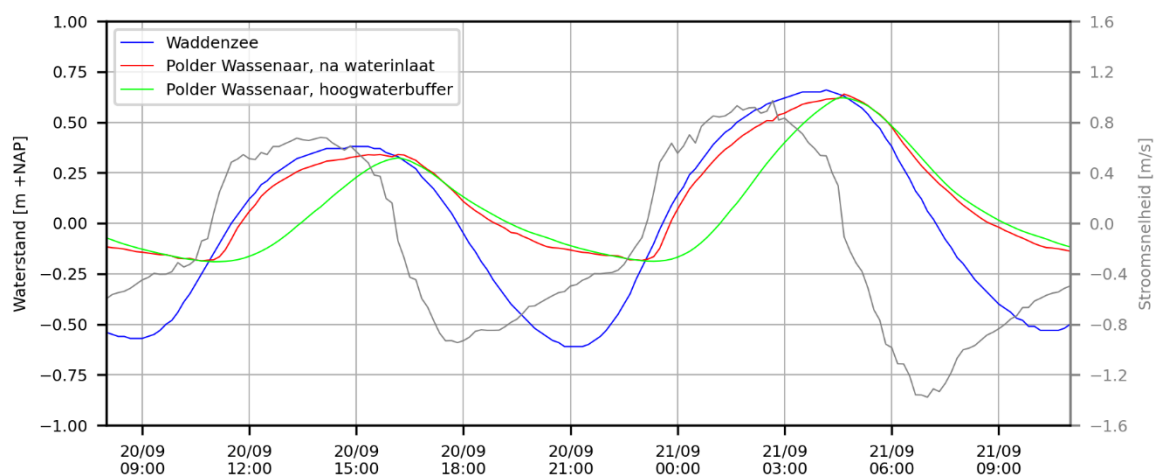
Bijlage 2.3 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L03. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.



Bijlage 2.4 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L04. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.



Bijlage 2.5 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L05. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.



Bijlage 2.6 Waterstandtijdserie op drie locaties in de polder voor modelsimulatie L06. In grijs is de stroomsnelheid door de waterinlaat weergegeven.

COLOFON

Programma naar een Rijke Waddenzee

Rijkskantoor Middelzeehuys
Zuidersingel 3 8911 AV Leeuwarden

Huis voor de Wadden
Ruiterskwartier 121A 8911 BS Leeuwarden

Postbus 20401, 2500 EK Den Haag

088 - 797 44 00
secretariaatprw@minezk.nl
www.rijkewaddenzee.nl
🐦 RijkeWaddenzee

14 augustus 2020



PROGRAMMA **NAAR EEN
RIJKE WADDENZEE**

WWW.RIJKEWADDENZEE.NL

 [@RIJKEWADDENZEE](https://twitter.com/RIJKEWADDENZEE)

