Wetterskip Fryslân

Opwaaiingsberekeningen project gemaal Vijfhuizen

Witteveen+Bos

Wetterskip Fryslân

Opwaaiingsberekeningen project gemaal Vijfhuizen

referentie	projectcode	status
VDM64-2/15-007.124	VDM64-2	definitief
projectleider	**projectdirecteur**	**datum**
D.W. Dusseljee MSc	drs. M.J. Schilt	28 april 2015

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	D.W. Dusseljee MSc	

Witteveen+Bos
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
0570 69 79 11
www.witteveenbos.nl

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos
Niets uit dit bestek/drukwerk mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm, hetzij elektronisch, mechanisch dan wel met digitale technieken door fotokopieën, opnamen, internet of op enige andere wijze zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder een dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

INHOUDSOPGAVE **blz.**

SAMENVATTING

1. INLEIDING **1**
1.1. Aanleiding 1
1.2. Plangebied zoet-zout gradiënt Bokkenpollenpolder 1
1.3. Doel van de studie 2
1.4. Leeswijzer 2

2. UITGANGSPUNTEN **3**
2.1. Geometrie en lay-out 3
2.2. Overstromingsfrequenties 3
2.3. Windcondities 4
2.4. Golven en overslag 6
2.5. Modelscenario's 7
2.6. Onzekerheidstoeslag 7

3. MODELOPZET **9**
3.1. Inleiding 9
3.2. Uitgangspunten en aannames 9
3.3. Rekenrooster 9
3.4. Bodemschematisatie 10
3.5. Randvoorwaarden 10
3.5.1. Waterstanden 10
3.5.2. Windcondities 11
3.6. Golven en overslag 11
3.7. Observatielocaties 11

4. MODELRESULTATEN **13**
4.1. Opwaaiing 13
4.1.1. Verschil referentiesituatie en geplande situatie 13
4.1.2. Opwaaiing geplande situatie 13
4.2. Golven en overslag 16

5. CONCLUSIES, ADVISERING EN AANBEVELINGEN **17**
5.1. Conclusies 17
5.2. Advisering benodigde kadehoogte 17
5.3. Aanbevelingen 17

6. REFERENTIES **19**

laatste bladzijde **19**

BIJLAGEN **aantal blz.**
I Plankaart verkweldering Bokkenpollenpolder 1

SAMENVATTING

Nabij gemaal Vijfhuizen/Hallumer Ryt wordt een verkweldering gepland door Wetterskip Fryslân. Om de kadehoogte van het plangebied vast te stellen moet het effect opwaaiing meegenomen worden. In deze studie is de opwaaiing berekend, middels 2DH Delft3D modelberekeningen.

Er is geconcludeerd dat:
- de maximale opwaaiing (ter plaatse van het gemaal) voor een herhalingstijd van 1 jaar is maximaal voor NW-wind: 5 cm tot een hoogte van NAP +3,22 m;
- de maximale opwaaiing (ter plaatse van het gemaal) voor een herhalingstijd van 10 jaar is maximaal voor NNW-wind: 8 cm tot een hoogte van NAP +3,66 m en kan gebruikt worden om de kadehoogte van het plangebied te bepalen;
- in de geplande situatie zal golfoverslag reduceren met 30 tot 50 % vanwege het reducerende effect van de geometrie van het zoet-zout plangebied en een opgehoogde kade (tot NAP +3,60 m).

Afgaande op de bovenstaande punten is geconcludeerd dat, om een waterstand met een herhalingstijd van 10 jaar te keren:
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject A-B is NAP +3,63 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject B-C is NAP +3,66 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject D-E is NAP +3,63 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject E-F is NAP +3,66 m.

Bovenop de bovenstaande kadehoogtes kan rekening gehouden worden met een extra marge bovenop trajecten A-B en B-C, zodat het westelijk deel eerder dan het oostelijk deel overstroomt [ref. 5.]. Een marge van 15 cm is realistisch en is gebaseerd op het feit dat de maximale golfoverslag hiermee ongeveer halveert. Met zeespiegelstijging is geen rekening gehouden.

Overstromingen en overslag kunnen de stabiliteit van de geplande kades in gevaar brengen. Dit resulteert in herstelwerkzaamheden aan de kades. Indien dit ongewenst is, dan dient men hiermee rekening te houden in het ontwerp.

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Op 20 augustus 2014 werd door Raad van State het projectplan voor de bouw van gemaal Vijfhuizen/Hallumer Ryt ongeldig verklaard in het kader van de Waterwet [ref. 1.], [ref. 2.]. In de oorspronkelijke planning zou de bouw van het gemaal al gestart moeten zijn. Echter, naar aanleiding van bezwaren van een grondeigenaar is het projectplan vernietigd en daarmee het gemeentelijk besluit tot de verleende omgevingsvergunning.

Het project maakt een doorstart waarbij het buitendijkse verkwelderingsplan is aangepast. Met dit nieuwe plan wordt een bijdrage geleverd aan diverse doelen vanuit KRW, vismigratie tussen Waddenzee en binnenwater, voorkomen van wateroverlast, EHS, Natura 2000 doelen met zoet-zout gradiënt buitendijks, verziltingsbestrijding en recreatie [ref. 2.], [ref. 3.], [ref. 4.].

Tijdens overleg op 23 februari jl. zijn de provinciale vereniging voor natuurbescherming It Fryske Gea, Wetterskyp Fryslân, Gemeente Ferwerderadiel, Gebiedscommissie Ferwerderadiel Fernijt en de buitendijkse grondeigenaren overeengekomen over de inrichting van het buitendijkse gebied [ref. 5.]. De hoogtes van de kades, welke de verkweldering omgrenzen, zijn ook vastgelegd tijdens het genoemde overleg, op voorwaarde dat de overstromingskans van de het gebied op hetzelfde niveau blijft. De voorgenomen hoogte van die waterkering dient te worden getoetst en is afhankelijk van waterstandfluctuaties op de Waddenzee, lokale opwaaiing en golven.

Eerste-orde berekeningen met een 1D SOBEK model van het buitendijkse gebied bij gemaal Vijfhuizen, hebben aangetoond dat opwaaiingseffecten langs de as van de waterloop orde 0,05-0,12 m zijn, afhankelijk van de windcondities [ref. 6.]. De berekeningen geven een globaal beeld van de te verwachten opwaaiing in het gebeid. Echter, er is geen rekening gehouden met opwaaiingseffecten loodrecht op de as van de waterloop. Ook golven (en overslag) zijn in de berekeningen niet meegenomen.

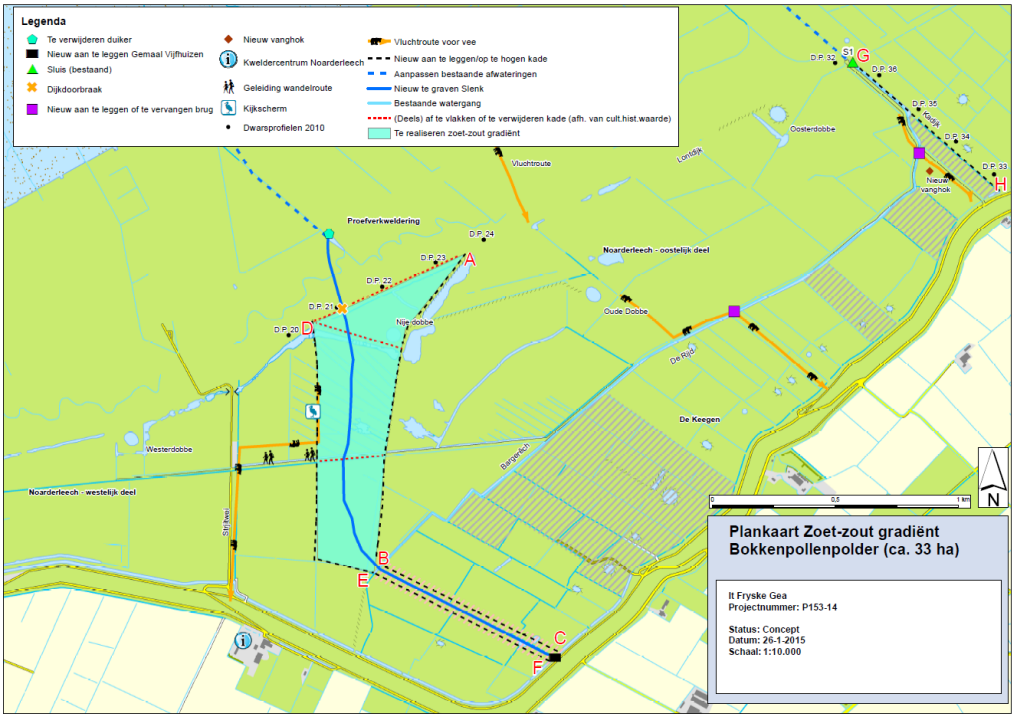
1.2. Plangebied zoet-zout gradiënt Bokkenpollenpolder

Het plangebied bevindt zich in het buitendijkse gebied ten noorden van de zeedijk bij Vijfhuizen (Friesland) en ten zuiden van de huidige Lontdijk (zie Afbeelding 1.1). Aan de oostzijde van het verkwelderingsgebied bevinden zich landbouwpercelen die in het verleden zijn gebruikt voor zilte teelt [ref. 3.]. Momenteel worden de landbouwpercelen (deels) beschermd tegen hoog water door de Lontdijk aan de noordzijde.

In het nieuwe verkwelderingsplan wordt er binnen een gebied van 33 ha een zoet-zout gradiënt gerealiseerd, daarbij de uitstroom van het gemaal Vijfhuizen/Hallumer Ryt waarborgend [ref. 7.]. In dit plan wordt verkweldering gerealiseerd door het (deels) afvlakken van de Lontdijk tussen locatie A en D (afgebeeld in Afbeelding 1.1 en in groot formaat in 0**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**), waarbij er een zoet-zout gradiënt ontstaat in gebied ABDE. De Lontdijk wordt op één locatie doorgestoken (aangeduid met een oranje ‘X’ in Afbeelding 1.1) om doorgang aan de nieuw te graven Slenk (gemarkeerd als gebied BCFE) te verschaffen, welke voor de afwatering van het gemaal zorgt. Het totale gebied ABCFED wordt afgebakend door nieuw aan te leggen zomerkaden, die de primaire waterkering verbinden met de Lontdijk. De kades over de trajecten BA, AG en GH worden aangelegd op minimaal NAP +3,60 m; en het traject B-C loopt op van NAP +3,60 m bij punt B tot NAP +3,80 m aan de zeedijk [ref. 5.]. De trajecten E-F en E-D worden lager aangelegd dan de oostzijde maar hoger dan bestaande kaden aan de westzijde, zodat de overstromingskans

ten westen van het kanaal op het huidige niveau blijft. De voorgenomen hoogte van die waterkering dient te worden getoetst en is afhankelijk van waterstandsfluctuaties op de Waddenzee, lokale opwaaiing en golven.

Afbeelding 1.1. Plankaart verkweldering Bokkenpollenpolder



1.3. Doel van de studie

Deze studie heeft als doel opwaaiing – gedefinieerd als opstuwing door van wind – te berekenen om de voorgenomen hoogte van de nieuwe waterkering ten westen en oosten van de buitendijkse zoet-zout gradiënt te toetsen en, indien noodzakelijk, het vaststellen van de benodigde kadehoogten.

Voor het realiseren van het doel zijn de volgende twee situaties beschouwd:
- huidige situatie waarin landbouwpercelen worden (deels) beschermd door de Lontdijk. Deze situatie is aangeduid als de **referentiesituatie**;
- geplande situatie waarin de landbouwpercelen worden beschermd door enerzijds de Lontdijk en anderzijds de kades ten oosten en westen van de verkweldering. Deze situatie is aangeduid als de **plansituatie**.

1.4. Leeswijzer

De uitgangspunten gehanteerd in deze studie voor de lay-out van het plangebied, de overstromingsfrequenties, de windcondities en de simulatiescenario's zijn beschreven in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 beschrijft de modelopzet. De resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 4. De conclusies, advisering en aanbevelingen zijn vermeld in hoofdstuk 5.

2. UITGANGSPUNTEN

2.1. Geometrie en lay-out

Voor de geometrie en lay-out van het projectgebied zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- de bodemligging in het buitendijkse gebied is bepaald met behulp van gedetailleerde AHN 5m data [ref. 8.];
- de bodemligging van de Waddenzee is bepaald met behulp van vaklodingen (2011) afkomstig van Rijkswaterstaat [ref. 9.];
- de bodemruwheid is bepaald op basis van een hoge-resolutie luchtfoto en het Handboek Stromingsweerstand Vegetatie in Uiterwaarden [ref. 10.];
- de hoogtes van de Lontdijk en de kades in de trajecten C-B-A-G-H en D-E-F zijn als aangegeven in paragraaf 1.2;
- het gemaal sluit bij een waterstand van NAP +2,70 m;
- de kades hebben een talud van 1:3 [ref. 6.];
- de gemiddelde kadehoogte voor traject A-G is NAP +3,40 m [ref. 12.].

2.2. Overstromingsfrequenties

Tabel 2.1 en Afbeelding 2.1 geven de karakteristieke waterstanden voor Vijfhuizen, welke zijn benaderd door ruimtelijke interpolatie tussen de meetstations Harlingen en Lauwersoog. De statistische analyse is uitgevoerd op basis van waterstandgegevens uit de periode 2000-2015 [ref. 11.].

Deze waterstandgegevens zijn gemeten waterstanden en zijn dus inclusief alle externe factoren zoals opwaaiing. Deze waterstanden kunnen daarom gebruikt om inzicht te verkrijgen in de overstromingsfrequenties van het plangebied.

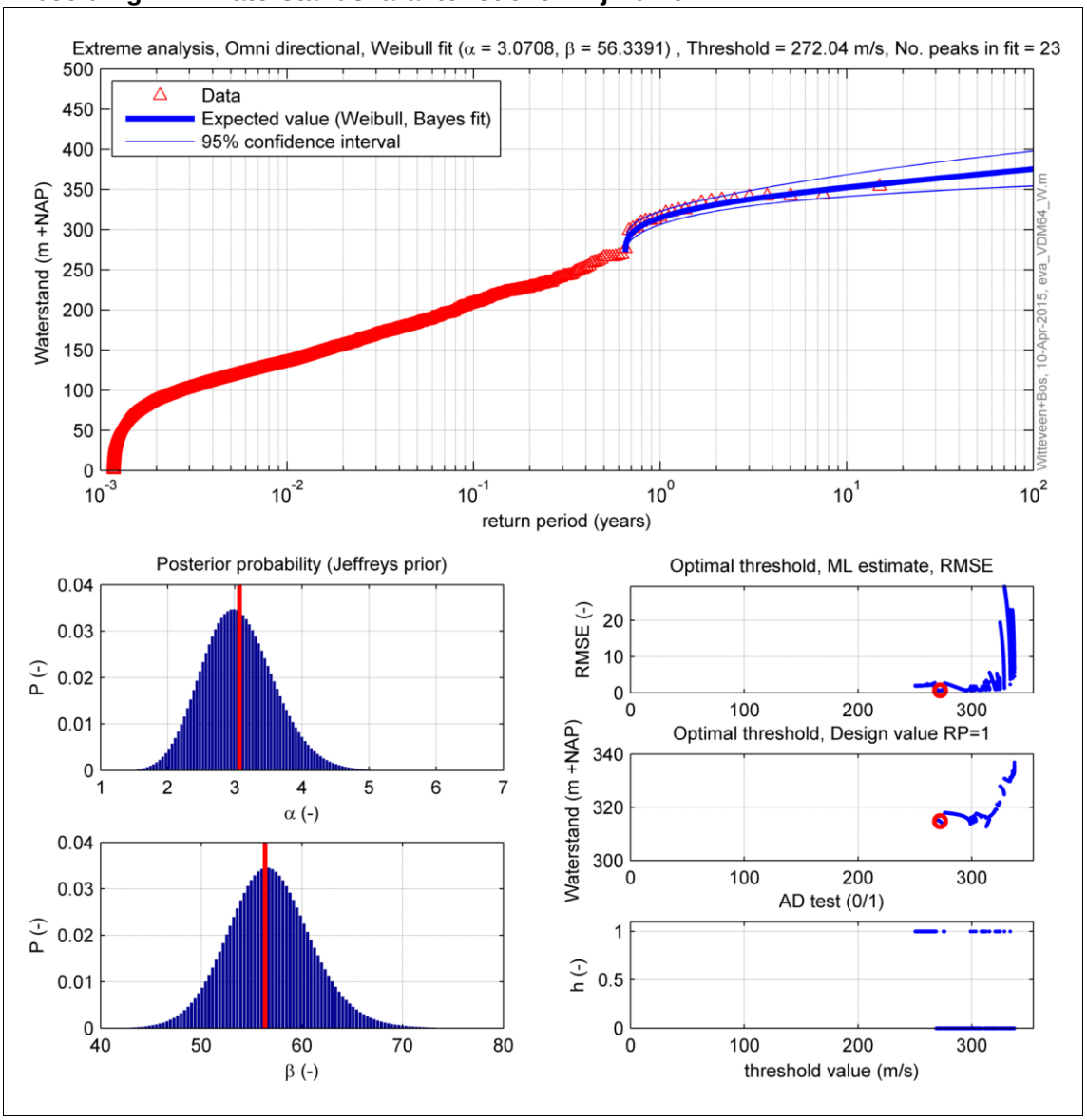
Tabel 2.1. Extreme waarden analyse waterstanden Vijfhuizen

herhalingstijd	waterstand [cm +NAP]
1x per week	154,6
1x per maand	202,2
1x per half jaar	265,6
1x per jaar	314,7
1x per 10 jaar	352,4

Uit de bovenstaande gegevens blijkt dat in de huidige condities – waarbij het laagste punt van de Lontdijk op NAP +3,15 m ligt [ref. 12.] – gemiddeld eens per jaar de Bokkenpollenpolder overstroomd. Echter, de geplande kadehoogte voor de Lontdijk is NAP +3,60 m [ref. 5.], wat grofweg overeenkomt met een kans van ongeveer eens per 10 jaar op een overstroming in het plangebied.

Hierbij is nog geen rekening gehouden met golven, want bij een herhalingstijd van één jaar (of frequenter) slaan in de referentiesituatie golven over de Lontdijk. Daardoor kan een deel van het gebied (deels) onder water komen te staan.

Afbeelding 2.1. Waterstandskarakteristieken Vijfhuizen



2.3. Windcondities

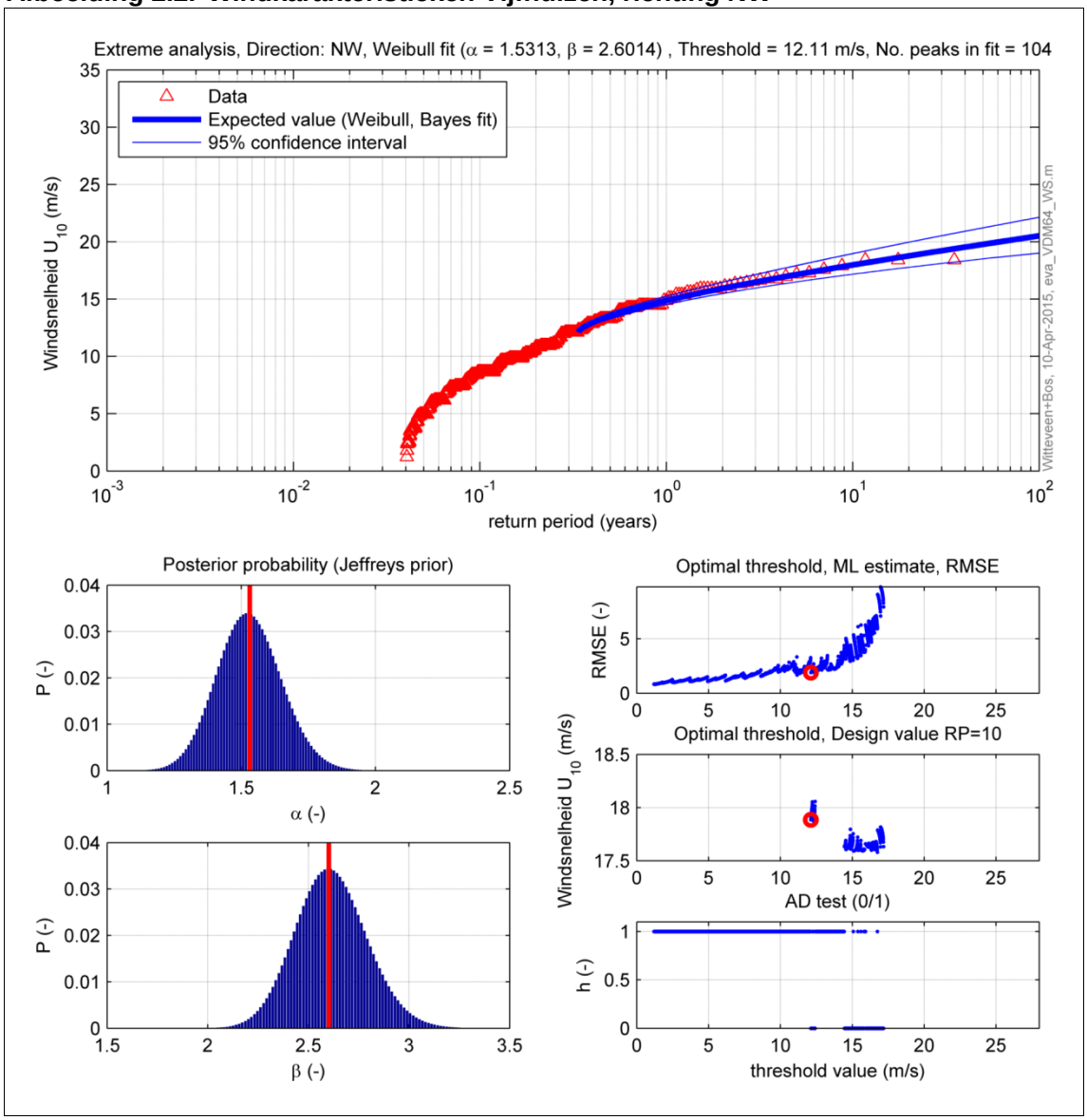
Tabel 2.2 geeft de karakteristieke windsnelheden voor enkele nabij Vijfhuizen [ref. 13.]. Voor de windkarakteristieken zijn de potentiële windcondities voor meetstation Leeuwarden omgerekend naar open-water windcondities. In Tabel 2.2, zijn slechts de windrichtingen (vanuit west t/m noord) gepresenteerd die maatgevend worden verondersteld voor opwaaiing in het plangebied.

In Afbeelding 2.2 en Afbeelding 2.3 zijn de windkarakteristieken afgebeeld voor de maatgevende windrichtingen.

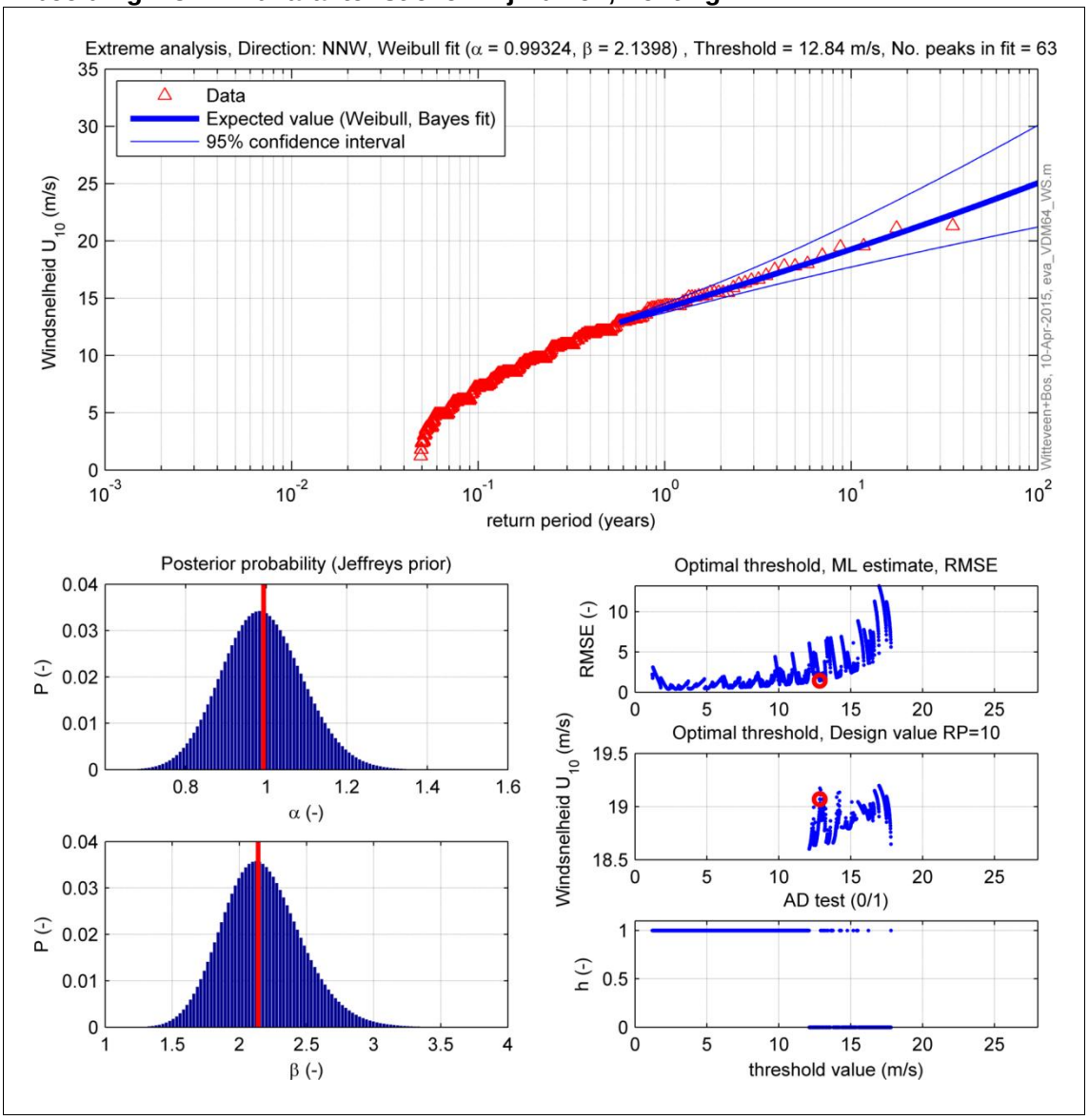
Tabel 2.2. Extreme waarden analyse uurlijkse windsnelheden Vijfhuizen

herhalingstijd	windsnelheid U10 [m/s]	windrichting [graden t.o.v. N]	
1x per jaar	17,6	270	W
	15,1	292,5	WNW
	14,9	315	NW
	14,1	337,5	NNW
	12,3	0	N
1x per 10 jaar	23,7	270	W
	20,4	292,5	WNW
	18,0	315	NW
	19,3	337,5	NNW
	16,7	0	N

Afbeelding 2.2. Windkarakteristieken Vijfhuizen, richting NW



Afbeelding 2.3. Windkarakteristieken Vijfhuizen, richting NNW



2.4. Golven en overslag

Voor de berekening van overslag als gevolg van golven is uitgegaan van de volgende punten [ref. 15.]:

- de significante golfhoogte H_s ter plaatse van de Lontdijk is ongeveer 0,8 m voor een herhalingstijd van 1 jaar;
- de piek golfperiode T_p is ongeveer 3,3 s voor een herhalingstijd van 1 jaar;
- de gemiddelde kadehoogte voor de Lontdijk in de referentiesituatie is ongeveer NAP +3,40 m;
- de invalshoek van golven voor de referentiesituatie is loodrecht op de Lontdijk;
- de invalshoek van golven voor de geplande situatie is ongeveer 30 graden. Deze waarde is gebaseerd op de hoek tussen traject A-B en traject A-G.

2.5. Modelscenario's

De maximale opwaaiing is berekend voor een herhalingstijd van 1 en 10 jaar. Aan de hand van waterstandsextremen (zie Tabel 2.1) en windkarakteristieken (zie Tabel 2.2) zijn 10 scenario's opgesteld waarbij de maximale opwaaiing bepaald wordt. Deze scenario's staan vermeld in Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Simulatiescenario's

ID	herhalingstijd	waterstand [cm + NAP]	windrichting	windsnelheid U10 [m/s]
W-RP1	1x per jaar	314,7	W	17,6
WNW-RP1			WNW	15,1
NW-RP1			NW	14,9
NNW-RP1			NNW	14,1
N-RP1			N	12,3
W-RP10	10x per jaar	352,4	W	23,7
WNW-RP10			WNW	20,4
NW-RP10			NW	18,0
NNW-RP10			NNW	19,3
N-RP10			N	16,7

De maximale opwaaiing is bepaald voor het plangebied zoals aangeduid in Afbeelding 1.1. De **additionele opwaaiing** voor het gebied ABCDEF is berekend ten opzichte van de gemiddelde opwaaiing voor traject A-D. In paragraaf 3.7 zijn de observatielocaties afgebeeld waar de waterstand (inclusief opwaaiing) als functie van de tijd zijn berekend.

2.6. Onzekerheidstoeslag

Aan de uitgangspunten van dit hoofdstuk en de modelaannames (zie paragraaf 3.2) is een onzekerheidstoeslag op de opwaaiing toegeschreven van 10 %.

3. MODELOPZET

3.1. Inleiding

De opwaaiingsberekeningen voor het water in het plangebied zijn uitgevoerd met het numerieke softwarepakket Delft3D. Delft3D (versie 4.00.00) is in staat de interactie tussen water, atmosfeer, ecologie, sediment en waterkwaliteit in ruimte en tijd te simuleren. Het softwarepakket (ontwikkeld door Deltares) wordt vooral gebruikt voor het modelleren van natuurlijke milieus zoals kusten, rivieren en estuaria, maar is eveneens geschikt voor gebouwde omgevingen zoals havens, sluizen, etc. Delft3D bestaat uit een aantal uitgebreid geteste en gevalideerde programma's, welke aan elkaar zijn gekoppeld en geïntegreerd. In deze studie is de stromingsmodule (FLOW) van Delft3D gebruikt.

Voor het bepalen van de opwaaiing – bij diverse windcondities en waterstanden – is een tweedimensionaal, dieptegemiddeld (2DH) model opgezet. In dit hoofdstuk wordt de gebruikte opzet van het Delft3D model toegelicht, waarbij wordt ingegaan op de belangrijkste uitgangspunten, het rekenrooster, de bodemligging, de randvoorwaarden en de impact van golven en overslag op het plangebied.

3.2. Uitgangspunten en aannames

In deze studie zijn de volgende aannames gedaan:

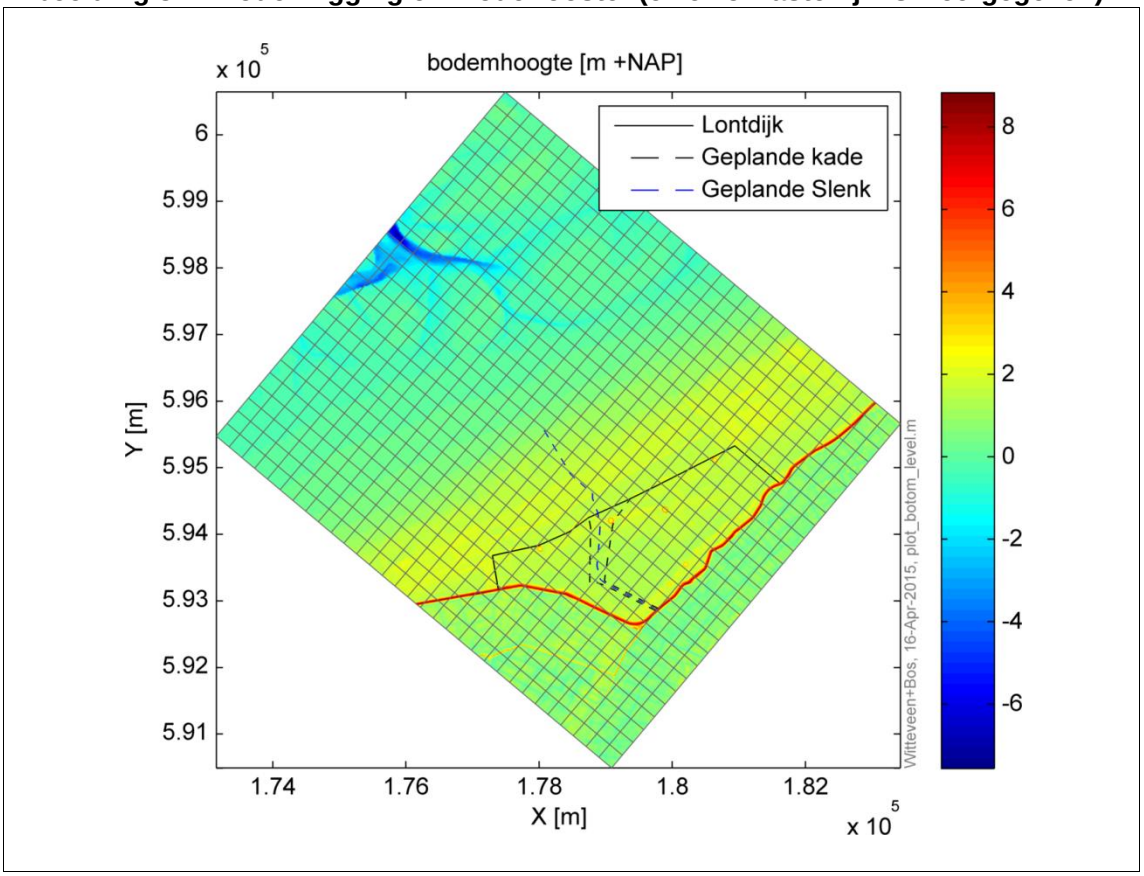
- waterstanden, inclusief opwaaiing, worden bepaald tot aan de kades en niet er overheen. Dit impliceert dat de kades hoog genoeg zijn en er geen overstromingen worden gemodelleerd. De waterstanden die langs de kades worden gevonden zijn maatgevend voor de bepaling van de advieshoogtes van de kades;
- windcondities zijn constant verondersteld per scenario, zowel in ruimtelijke zin als in de tijd;
- voor de luchtweerstandcoëfficiënt C_D is een windsnelheidsafhankelijke waarde aangenomen die lineair geïnterpoleerd is tussen de waarden C_D = 0,00063 en C_D = 0,00723 bij respectievelijk een windsnelheid van 0 en 100 m/s. Voor de maximale windsnelheid van 19,3 m/s geldt C_D = 0,002. Dit is een realistische (en licht-conservatieve) wind-drag coëfficiënt [ref. 13.];
- de windrichtingen zijn gediscretiseerd in 5 onderscheiden richtingsectoren, met gemiddelde windrichtingen lopend van 270-360 graden (in stappen van 22,5°);
- de Manning-coëfficient voor de bodemruwheid van grasland is 0,031 en voor de bodem van de Waddenzee 0,019 [ref. 10.];
- de effecten van de zoet-zout gradiënt worden niet gemodelleerd, omdat bij extreme waterstanden niet gemaald wordt en er een sterke menging met Waddenzeewater plaatsvindt.

3.3. Rekenrooster

In deze studie is gebruik gemaakt van een rechthoekig rekenrooster (met afmetingen 7750 x 6750 m) dat zowel het gehele plangebied alsmede een deel van de Waddenzee bedekt (zie Afbeelding 3.1). Het modelrooster is onderverdeeld in rechthoekige cellen van 10 x 10 m, zodat op hoge resolutie te opwaaiing in het plangebied bepaald kan worden. Het rooster is gedraaid (t.o.v. de noordrichting) zodat de oriëntatie in het verlengde van de kust ligt.

Het getoonde rooster in Afbeelding 3.1 is illustratief, en is 25x grover in beide horizontale richtingen) dan het daadwerkelijk toegepaste rekenrooster.

Afbeelding 3.1. Bodemligging en modelrooster (elke 25e rasterlijn is weergegeven)



3.4. Bodemschematisatie

Zoals vermeld in paragraaf 2.1 is de bodemschematisatie in het stromingsmodel opgebouwd uit (gedetailleerde) AHN 5m data en vaklodingen van Rijkswaterstaat. De AHN data is vertaald naar het rooster door middeling van de data per roostercel. Voor de overige cellen zijn vaklodingen geïnterpoleerd naar het rooster. De gebruikte bodemligging voor het model is geïllustreerd in Afbeelding 3.1.

3.5. Randvoorwaarden

De additionele opwaaiing als gevolg van wind is in deze studie gesimuleerd door een extreme (constante) waterstand op te leggen in combinatie met een uniforme extreme windconditie, volgens de scenario's van Tabel 2.3.

3.5.1. Waterstanden

In deze studie worden initiële (constante) waterstanden beschouwd voor twee verschillende herhalingstijden voor de locatie Vijfhuizen:
- een waterstand met een herhalingstijd van 1 jaar: NAP +3,15 m;
- een waterstand met een herhalingstijd van 10 jaar: NAP +3,52 m.

Deze waarden komen overeen met waterstanden waarvoor het plangebied in de referentiesituatie overstroomd voor verschillende kadehoogten (zie paragraaf 2.2).

3.5.2. Windcondities

De windscenario's die zijn gesimuleerd komen overeen met de windcondities die zijn gegeven in Tabel 2.2. Voor ieder scenario bouwt de windsnelheid in een dag op vanaf windstil (0 m/s) tot aan de windsnelheid van het betreffende scenario. Deze windsnelheid wordt uniform aangehouden totdat er een evenwichtsituatie ontstaat in de opwaaiing. In deze studie is een totale simulatietijd van 36 uur afdoende gebleken om de evenwichtssituatie te bereiken.

De gebruikte luchtweerstandcoëfficiënt is zoals aangegeven in paragraaf 3.2.

3.6. Golven en overslag

De impact van golven op de overslag is bepaald voor een waterstand (inclusief opwaaiing) met een herhalingstijd van 1 jaar. Voor een waterstand met een herhalingstijd van 10 jaar is geen overslaganalyse gedaan, aangezien bij een dergelijke waterstand het plangebied al zal overstromen.

De overslaganalyse is gedaan voor de referentiesituatie en de geplande situatie. Bij deze situaties zijn de volgende kenmerken gebruikt (zie paragraaf 2.4):

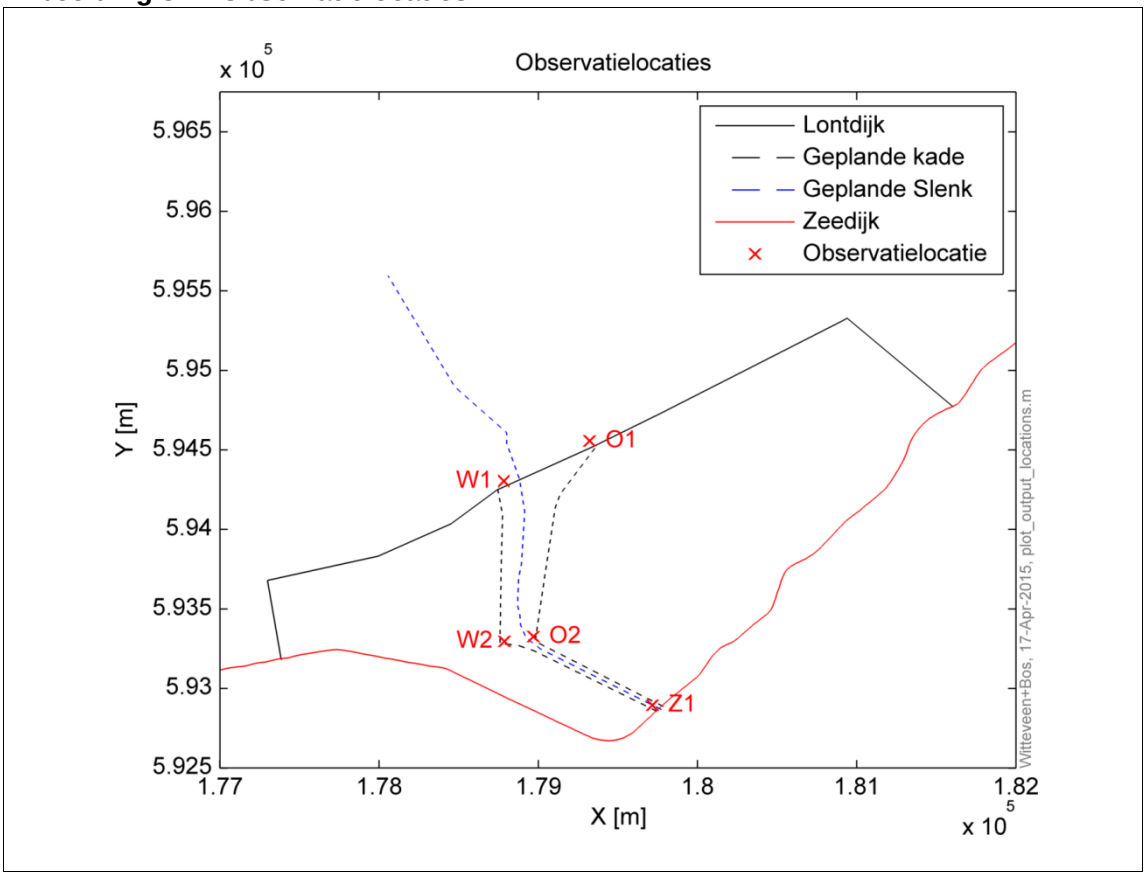
- referentiesituatie:
  - de invalshoek golf is loodrecht op de kade;
  - de gemiddelde kadehoogte is NAP +3,40 m;
  - het talud is 1:3;
- geplande situatie:
  - de invalshoek golf is 30 graden;
  - de gemiddelde kadehoogte is NAP +3,60 m;
  - het talud is 1:3.

Door deze twee situaties te beschouwen is overslag berekend voor de geplande situatie ten opzichte van de referentiesituatie.

3.7. Observatielocaties

Afbeelding 3.2 geeft de observatielocaties weer waar de resultaten van de stromingssimulaties zijn weergegeven.

Afbeelding 3.2. Observatielocaties



4. MODELRESULTATEN

4.1. Opwaaiing

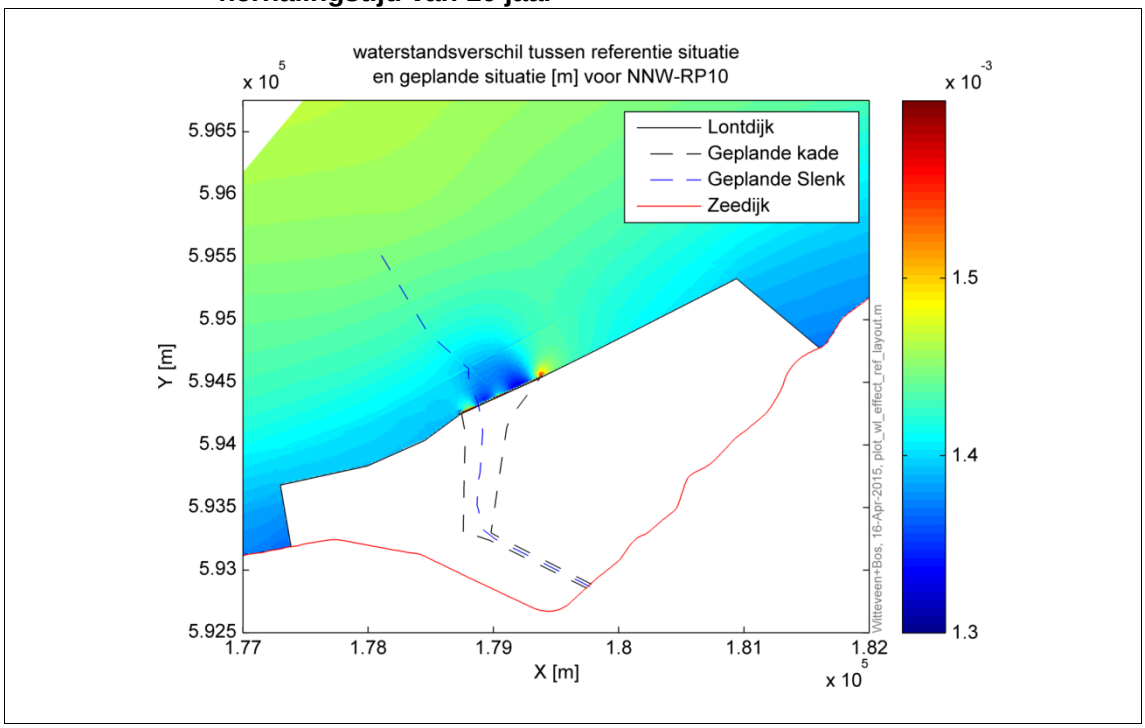
4.1.1. Verschil referentiesituatie en geplande situatie

Als eerste is er gekeken naar de verschillen tussen de resultaten voor de geplande situatie en de referentiesituatie in het buitengebied (noord van de Lontdijk). Als deze verschillen erg klein zijn (< 1 cm), dan kan – op basis van de overige modelonzekerheden – gezegd worden dat het verschil verwaarloosbaar klein is. In dit laatste geval zijn dan simulaties voor de geplande situatie afdoende om de additionele opwaaiing te bepalen.

Afbeelding 4.1 geeft de verschillen in waterstanden door opwaaiing tussen de referentiesituatie en de geplande situatie. Hiervoor zijn de waterstanden voor een herhalingstijd van 10 jaar gebruikt.

Afbeelding 4.1 illustreert dat het maximale verschil in het buitengebied kleiner is dan 2 mm. Hieruit wordt geconcludeerd dat dit verschil verwaarloosbaar klein is, op basis van de overige modelonzekerheden. Met andere woorden, de additionele opwaaiing kan dus bepaald worden door slechts de geplande situatie te analyseren.

Afbeelding 4.1. Waterstandsverschil tussen de referentiesituatie en de geplande situatie voor de meest extreme opwaaiing bij een gemiddelde herhalingstijd van 10 jaar



4.1.2. Opwaaiing geplande situatie

Een samenvatting van de waterstanden (inclusief opwaaiing) en de additionele opwaaiing voor de gesimuleerde scenario's is gegeven in respectievelijk Tabel 4.1. Tevens zijn afbeeldingen bijgevoegd die extra visuele ondersteuning bieden.

Afbeelding 4.2 geeft de waterstanden als functie van de tijd voor de observatielocaties (zie paragraaf 3.7) voor de sterkste opwaaiing behorend bij een herhalingstijd van 1 en 10 jaar. Voor een herhalingstijd van 1 jaar is dit een NW-wind, terwijl voor een herhalingstijd van 10 jaar dit een NNW-wind betreft (zie ook Tabel 4.1).

Afbeelding 4.3 geeft de waterstanden voor het plangebied voor de sterkste opwaaiing behorend bij een herhalingstijd van 1 en 10 jaar.

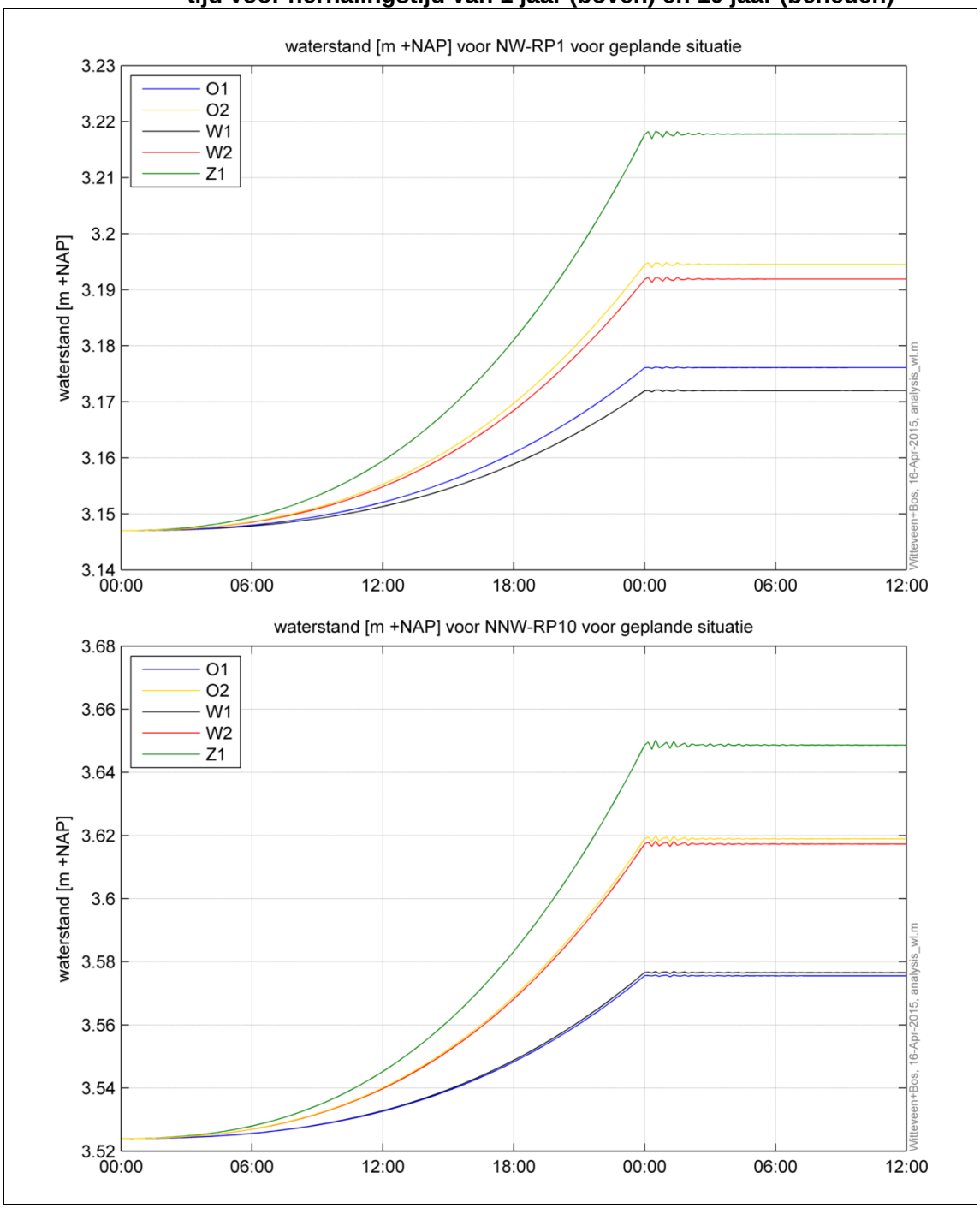
Tabel 4.1. Additionele opwaaiing [cm] voor simulatiescenario's (zie paragraaf 2.4)

	observatielocaties (zie Afbeelding 3.2)				
ID	**O1**	**O2**	**W1**	**W2**	**Z1**
W-RP1	1	0	-1	-1	4
WNW-RP1	0	1	0	1	4
NW-RP1	0	2	0	2	5
NNW-RP1	0	3	0	2	4
N-RP1	0	2	0	2	3
W-RP10	2	0	-2	-2	6
WNW-RP10	1	2	-1	1	7
NW-RP10	0	3	0	3	6
NNW-RP10	0	5	0	5	8
N-RP10	0	4	0	4	5

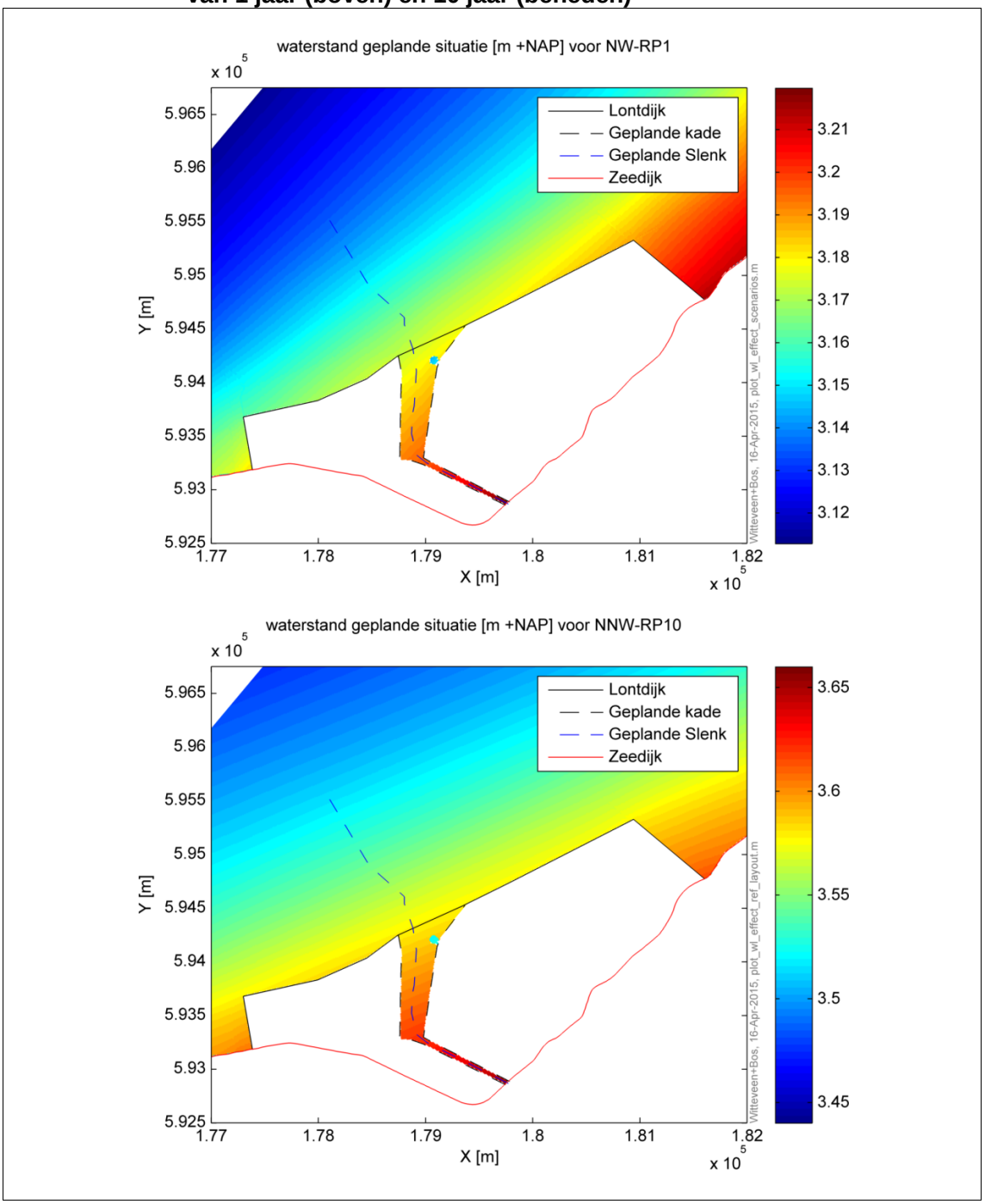
Geconcludeerd is:

- de initieel opgelegde waterstand op de Waddenzee (NAP +3,15 m, 1 jaar herhalingstijd; NAP +3,52 m, 10 jaar herhalingstijd) neemt toe tussen de Waddenzee en de Lontdijk (NAP +3,17 m, 1 jaar herhalingstijd; NAP +3,58 m, 10 jaar herhalingstijd);
- de additionele opwaaiing voor een herhalingstijd van 1 jaar is maximaal voor NW-wind. Met een onzekerheidstoeslag van 10 % komt de maximale opwaaiing op **5 cm (NAP +3,22 m)**;
- de additionele opwaaiing voor een herhalingstijd van 10 jaar is maximaal voor NNW-wind. De maximale opwaaiing inclusief onzekerheidstoeslag van 10 % komt op **8 cm (NAP +3,66 m);**
- tijdens deze NW- en NNW-windcondities stuwt het water extra op in het plangebied. De maximale opwaaiing treedt daardoor op ter plaatse van het gemaal.

Afbeelding 4.2. Waterstanden door opwaaiing bij observatielocaties als functie van tijd voor herhalingstijd van 1 jaar (boven) en 10 jaar (beneden)



Afbeelding 4.3. Waterstanden door opwaaiing voor plangebied voor herhalingstijd van 1 jaar (boven) en 10 jaar (beneden)



4.2. Golven en overslag

De impact van de beschouwde aanpassing op golfoverslag is als volgt:

- op basis van de in paragraaf 2.4 genoemde uitgangspunten is golfoverslag in de huidige situatie ongeveer 100 L/s/m. In dit geval slaan golven over de Lontdijk. Daardoor kan een deel van het gebied (deels) onder water komen te staan;
- in de geplande situatie zal golfoverslag reduceren met 30 tot 50 % vanwege het reducerende effect van de geometrie van het zoet-zout plangebied en een opgehoogde kade (NAP +3,60 m).

5. CONCLUSIES, ADVISERING EN AANBEVELINGEN

5.1. Conclusies

In deze studie is de opwaaiing berekend in het plangebied, middels 2DH Delft3D modelberekeningen.

Het volgende is geconcludeerd:
- de geplande kadehoogte voor de Lontdijk is NAP +3,60 m [ref. 5.], wat grofweg overeenkomt met een kans van eens per 10 jaar op een overstroming in het plangebied;
- de maximale opwaaiing (ter plaatse van het gemaal) voor een herhalingstijd van 1 jaar is maximaal voor NW-wind: 5 cm tot een hoogte van NAP +3,22 m;
- de maximale opwaaiing (ter plaatse van het gemaal) voor een herhalingstijd van 10 jaar is maximaal voor NNW-wind: 8 cm tot een hoogte van NAP +3,66 m en kan gebruikt worden om de kadehoogte van het plangebied te bepalen;
- in de geplande situatie zal golfoverslag reduceren met 30 tot 50 % vanwege het reducerende effect van de geometrie van het zoet-zout plangebied en een opgehoogde kade (tot NAP +3,60 m).

5.2. Advisering benodigde kadehoogte

Afgaande op de bovenstaande punten is geconcludeerd dat, om een waterstand met een herhalingstijd van 10 jaar te keren:
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject A-B is NAP +3,63 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject B-C is NAP +3,66 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject D-E is NAP +3,63 m;
- de minimaal benodigde kadehoogte voor traject E-F is NAP +3,66 m.

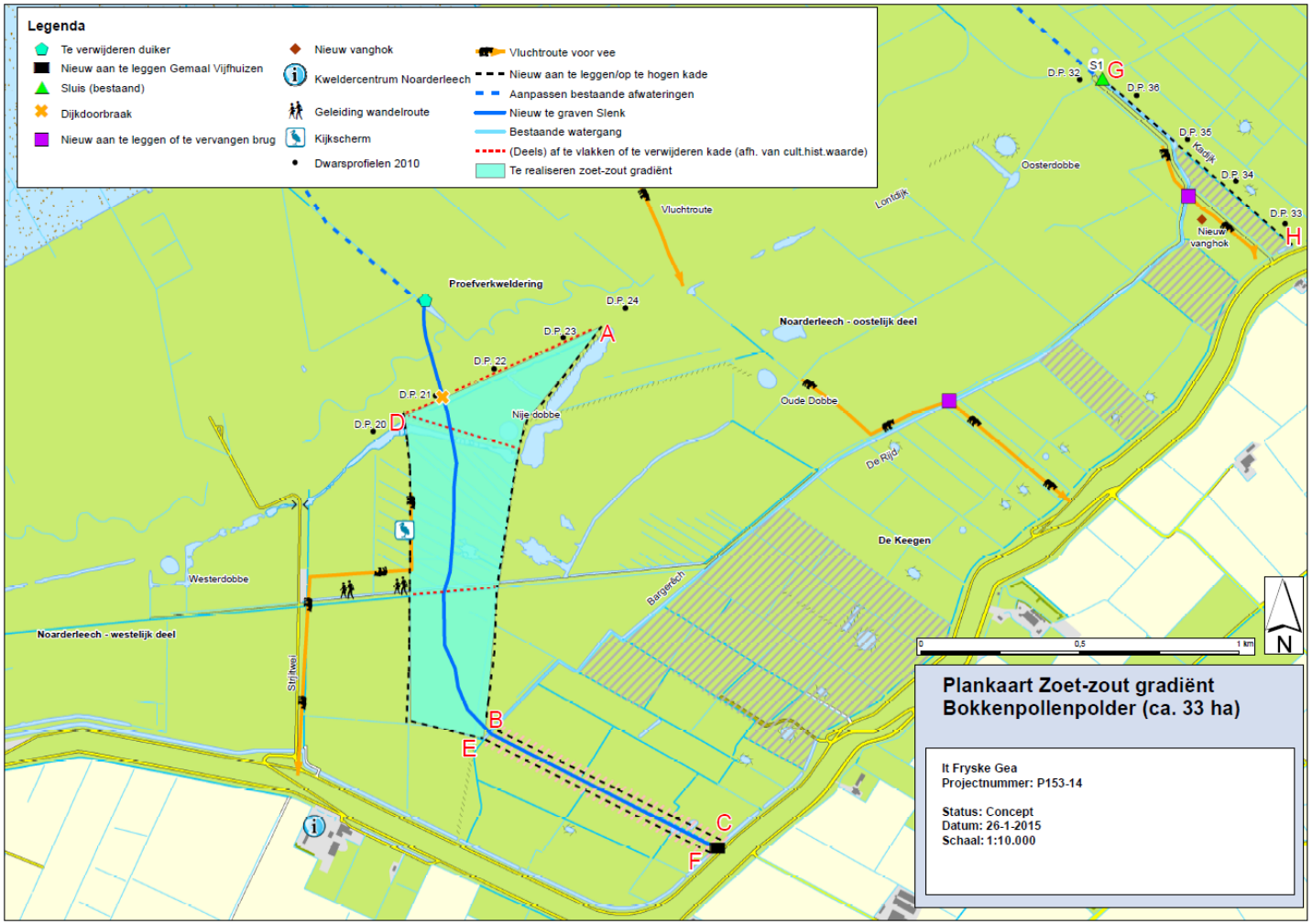
Bovenop de bovenstaande kadehoogtes kan daarnaast rekening gehouden worden met een extra marge bovenop trajecten A-B en B-C, zodat het westelijk deel eerder dan het oostelijk deel overstroomt [ref. 5.]. Een marge van 15 cm is realistisch en gebaseerd op het feit dat de maximale golfoverslag hiermee ongeveer halveert. Met zeespiegelstijging is geen rekening gehouden.

5.3. Aanbevelingen

Overstromingen en overslag kunnen de stabiliteit van de geplande kades in gevaar brengen. Dit resulteert in herstelwerkzaamheden aan de kades [ref. 5.]. Indien dit ongewenst is, dan dient men hiermee rekening te houden in het ontwerp.

6. REFERENTIES

1. Raad van State, Uitspraak 201400116/1/A4, https://www.raadvanstate.nl/uitspraken/zoeken-in-uitspraken/tekst-uitspraak.html?id=80537, geraadpleegd: april 2015;
2. Wetterskip Fryslân, http://www.wetterskipfryslan.nl/nl/news/hogere-kaden-langs-uitstroomkanaal-gemaal-vijfhuizen, geraadpleegd: april 2015;
3. Officiële overheidspublicaties, https://repository.officiele-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2013-11034/1/pdf/exb-2013-11034.pdf, geraadpleegd: april 2015;
4. Gezamenlijke vergadering van de adviescommissies Wetterskip Fryslân, 08.a bestuursvoorstel project vijfhuizen, http://195.28.22.223/sjablonen/1/infotype/committeemonitor/meeting/view.asp?objectID=6684, geraadpleegd: april 2015;
5. Wetterskip Fryslân. Overleg over de kadehoogtes nieuw plan Vijfhuizen. 3 februari 2015. WFN1504071;
6. H. Paap, 20 februari 2015, Interne memo, Opwaaiingseffecten over het buitendijkse traject gemaal Vierhuizen;
7. Gemeente Ferwerderadiel, Principebesluit verkweldering buitendijks in verband met gemaal Vijfhuizen, 12/59.14, https://www.ferwerderadiel.nl/fileadmin/files/ferwerderadiel/bestuur_en_politiek/Gemeenteraad/2014/2014-12/12.Gemaal_Vijhuizen_buitendijks_dec14_aangepast.pdf, geraadpleegd: april 2015;
8. Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), http://www.ahn.nl/, geraadpleegd: april 2015;
9. Vaklodingen, Rijkswaterstaat, http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/vaklodingen/, geraadpleegd: april 2015;
10. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden: deel 1: Handboek versie 1-2003; RIZA rapport 2003.028 en deel 2: Achtergronddocument versie 1-2003; RIZA rapport 2003.029
11. Historische waterkwantiteitsgegevens Waterbase, live.waterbase.nl, geraadpleegd: april 2015;
12. Overzicht kadehoogtes Noarderleech, Metingen Oranjewoud 2010;
13. Uurgegevens van potentiële wind in Nederland, http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/, geraadpleegd: april 2015;
14. S.D. Smith, 1988, Coefficients for Sea Surface Wind Stress, Heat Flux, and Wind Profiles as a Function of Wind Speed and Temperature;
15. Witteveen+Bos (2010). Hindcast of the flotsam levels of the 1 November 2006 storm in the Eastern Wadden Sea, DT314-1/winb/012.

BIJLAGE I PLANKAART VERKWELDERING BOKKENPOLLENPOLDER

Afbeelding I.1. Plankaart verkweldering Bokkenpollenpolder